

МОДЕЛЬ ОБЧИСЛЕННЯ РІВНІВ ЗВУКУ ШУМУ ВІД КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ ГРАНИЦЬ САНІТАРНО-ЗАХИСНОЇ ЗОНИ

Запорожець О.І., доктор технічних наук, Національний Авіаційний Університет, Київ, Україна, zap@nau.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7580-0921.

Карпенко С.В., Національний Авіаційний Університет, Київ, Україна, karpenko_serg@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2114-2377.

Пузик С.О., кандидат технічних наук, Національний Авіаційний Університет, Київ, Україна, s.puzik@email.ua, orcid.org/0000-0001-6151-1240.

Сагайдак Б.В., Національний Авіаційний Університет, Київ, Україна, sagaydak-bv@tsoua.com, orcid.org/0000-0002-9210-2156.

MODEL OF SOUND LEVELS CALCULATION FOR NOISE FROM COMPRESSOR STATIONS FOR JUSTIFICATION OF SANITARY PROTECTION ZONE BOUNDARIES

Zaporozhets O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, zap@nau.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7580-0921.

Karpenko S.V., National Aviation University, Kyiv, karpenko_serg@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2114-2377.

Puzik S.O., PhD in Technical Sciences, National Aviation University, Kyiv, s.puzik@email.ua, orcid.org/0000-0001-6151-1240.

Sagaidak B.V., National Aviation University, Kyiv, sagaydak-bv@tsoua.com, orcid.org/0000-0002-9210-2156.

МОДЕЛЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ УРОВНЯ ЗВУКИ ШУМА ОТ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ГРАНИЦЬ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ

Запорожец А.И., доктор технических наук, профессор, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, zap@nau.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7580-0921.

Карпенко С.В., старший научный сотрудник, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, karpenko_serg@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2114-2377.

Пузик С.А., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, s.puzik@email.ua, orcid.org/0000-0001-6151-1240.

Сагайдак Б.В., Национальный авиационный университет, Киев, Украина, sagaydak-bv@tsoua.com, orcid.org/0000-0002-9210-2156.

Вступ

Компресорна станція (КС) є складовою частиною магістрального газопроводу і призначена для збільшення його пропускної спроможності за рахунок підвищення тиску на виході станції за допомогою газоперекачувальних агрегатів (ГПА). Тип приводу, його потужність, технологічне призначення і склад споруд КС можуть значно варіюватися. Технологічною схемою кожної КС передбачається зонування її території в залежності від функціональних і санітарно-гігієнічних умов експлуатації застосовуваних ГПА. Технологічне зонування, як правило, передбачає поділ території КС в залежності від функціонального призначення і з урахуванням технологічних та протипожежних вимог майданчика КС на виробничу зону, до складу якої входять всі виробничі і допоміжні споруди, безпосередньо пов'язані з технологічним процесом стиснення газу (котельня, акумуляторне приміщення; будівля компресорних установок; дизельна електростанція; приміщення виробничого персоналу; блок маслогосподарства; сховище паливо-мастильних матеріалів (ПММ), резервуари протипожежних систем, тощо), і спеціальну зону службово-виробничого комплексу.

На КС магістральних газопроводів набули поширення ГПА з різними типами приводу. Використання того чи іншого типу установки залежить від пропускної здатності газопроводу, робочого тиску газу, ступеня підвищення тиску, наявності доступного джерела енергії для приводу дешевої енергії для приводу і інших міркувань. Використання газо-турбінних установок (ГТУ) на магістральних газопроводах відкриває великі можливості для надійної автоматизації виробничого

процесу та зниження числа робочого персоналу КС. До істотних переваг ГПА з газотурбінним типом приводу слід віднести насамперед високу питому потужність на одиницю маси; можливість регулювання об'єму подачі природного газу за рахунок зміни частоти обертання силової турбіни; можливість використання газу, що перекачується у вигляді технологічного енергетичного ресурсу; відносно мала питома витрата води і масла для роботи ГПА порівняно, наприклад, з поршневими двигунами внутрішнього згорання.

Серед недоліків ГТУ одним з найбільш несприятливих слід зауважити на акустичний шум. Захист персоналу КС від шумового впливу є досить актуальною проблемою, вона вирішується комплексом заходів відповідно з економічною доцільністю і технічними можливостями газотранспортної системи (ГТС). В частині забезпечення вимог гігієни праці набули поширення різні методи зниження шкідливого впливу шуму на робочих місцях персоналу, серед них найбільш ефективним є зниження шуму в джерелі його виникнення. Існуючі рекомендації щодо зниження шуму лопаткових машин вкрай нечисленні. Вони зазвичай отримуються на підставі досліджень транспортних енергетичних (наприклад, авіаційних) машин, які мають значні відмінні риси в конструкції і в застосуванні режимів роботи по відношенню до стаціонарних ГПА. Наявні рівні звукової потужності випромінювання шуму поширених ГПА значно перевищують діючі гранично допустимі рівні, закріплені санітарними нормами. Найбільш гучними є ГТУ, які обладнані ГПА з газотурбінним приводом (нагнітачі і редуктори). Запуск в експлуатацію нових, більш потужних КС, на яких встановлені агрегати ГТК-10, ГТК-16, ГТК-25, а також ГПА на базі авіаційних і суднових двигунів, істотно порушив рівновагу навколишнього середовища. Акустичні обстеження об'єктів ГТС показують, що на тлі поліпшення шумових характеристик основних джерел шуму - ГПА - істотним, а іноді і домінуючим стає внесок допоміжного обладнання (апарати повітряного охолодження газу, запірні апаратура, системи газоповітряних скидів та ін.) у загальне шумове поле КС. Основною причиною виникнення вібрації і шуму в цьому випадку є турбулентність і вихровий характер перебігу газу в трубопроводах, регуляторах тиску і клапанах. До числа основних джерел шуму, що визначають шумовий режим на промисловому майданчику КС і прилеглої до неї території, відносяться ГПА, системи технологічних скидів газу з контурів нагнітача, паливного та пускового газу ГПА, а також лінійних частин КС.

Виявлено залежності умов шуму на виробничому майданчику та у довкіллі від рівня звукової потужності ГПА, встановленої потужності ГТУ, звукової потужності турбокомпресора, терміну служби ГПА, кількості одночасно працюючих ГПА, характеристик виробничих приміщень, конструктивного виконання ГПА, стану засобів поглинання шуму ГПА [3]. У ГТУ компресорних станцій ГТС інтенсивний шум виникає в системі всмоктування повітря і вихлопу газів, у вентиляторі системи охолодження, в корпусі турбомашини і в генераторі.

До 90% парку ГПА, що експлуатуються, не відповідають вимогам санітарних норм по шуму, який гнітюче діє на обслуговуючий персонал КС та жителів прилеглих районів, які втрачають в результаті цього здоров'я і працездатність. 15,8% працівників підприємств працюють в умовах підвищеного шуму, а розміри санітарно-захисних зон (СЗЗ) по шуму можуть досягати 6 км [1]. В роботі [2] стверджується, що наявність високих рівнів шуму в зонах обслуговування технологічного обладнання КС зумовлює 81% працівників підприємств працюють в умовах підвищеного шуму, крім того, КС іноді розташовані в густо населених районах і ці підприємства є джерелом шумового забруднення цих територій. Коли зниження шуму в джерелі утворення неможливе або економічно не вигідне, доцільним є використання засобів індивідуального захисту працюючих – спеціальних вкладишів, протишумових навушників і шоломів, які дозволяють значно знизити шкідливий вплив шуму на органи слуху працівників КС.

Робота присвячена дослідженню рівнів звуку для шуму від ГТУ та технологічного обладнання КС в умовах повсякденної експлуатації з метою оцінки витримування умов СЗЗ навколо КС і з метою захисту населення, що мешкає в околиці КС. Основною метою дослідження є оцінка відповідності розмірів СЗЗ за умовами шумового навантаження на довкілля.

Актуальність дослідження екологічних ризиків діяльності КС не викликає сумнівів. Компресорні станції є джерелом інтенсивного шуму, який поширюється як в приміщеннях і на території самої КС, так і на території найближчої до неї житлової забудови. Високим рівнем шуму характеризуються [4]: ГПА; блоки редукування; системи вентиляції; системи технологічного скидання газу; агрегати повітряного охолодження (АПО) газу.

Основна частина

Для розрахунків рівнів звуку в окремій точці в залежності від відстані до джерела шуму використана модель з урахуванням ефектів розповсюдження звукових хвиль в атмосферному повітрі та характеристик джерела шуму:

- характеристики джерела шуму, включаючи направленість і спектральні характеристики випромінювання, висоту встановлення джерела над поверхнею;
- відстань від джерела до точки визначення рівня звуку;
- поглинання звуку в атмосферному повітрі, що залежить від частоти та параметрів стану атмосфери;
- ефекту впливу землі (а саме, відбивання і поглинання звукової енергії поверхнею землі, що залежать від частоти та параметрів стану поверхні, висоти джерела шуму, тощо);
- погодні ефекти (а саме, швидкість вітру, зміна швидкості вітру та температури повітря з висотою, які визначають умови рефракції звукових хвиль);
- форми підстеляючої поверхні, що може як посилювати (фокусувати звукові хвилі), так і знижувати інтенсивність звукових хвиль.

Велика розмаїтість існуючих типів ГТУ ускладнює визначення значень рівня шуму, створюваного корпусами. Можна лише відзначити, що рівень звукової потужності зростає зі збільшенням розмірів газової турбіни[5]. У табл. 1 наведені октавні рівні звукової потужності, випромінюваної агрегатами ГТУ в машинний зал.

Таблиця 1 – Рівні звукової потужності, випромінюваної ГТУ в машинному залі (дБ)
Table 1 – Sound power levels emitted by the gas turbine engine in the engine room (dB)

| Тип ГТУ | Середньогометрична частота октавної смуги, Гц [5] | | | | | | | |
|------------|---|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| ГТ-700-12М | 113 | 112 | 109 | 100 | 112 | 117 | 120 | 115 |
| ГТ-25-700 | 112 | 108 | 101 | 103 | 105 | 113 | 110 | 107 |
| ГТ-50-800 | 118 | 119 | 109 | 108 | 113 | 120 | 120 | 116 |
| ГТ-100-750 | 117 | 120 | по | 111 | 112 | 118 | 118 | 117 |

Більшість ГПА випромінюють звук неоднаково у різних напрямках. Нерівномірність випромінювання звуку джерелом за напрямками від нього характеризують чинником (коефіцієнтом) спрямованості Φ , що дорівнює відношенню інтенсивності звуку I_{cp} , створюваного джерелом у вільному полі в даній точці сфери, в центрі якої він знаходиться, до середньої інтенсивності звуку I_n на поверхні тієї ж сфери:

$$\Phi = \frac{I_n}{I_{cp}}, \tag{1}$$

$$I_{cp} = \frac{P}{4\pi r^2}, \tag{2}$$

де r - радіус вказаної сфери, P – потужність випромінювання звуку джерелом.

Величина Φ є нормованою відповідно до відношення:

$$\oint \Phi d\Omega = 4\pi \tag{3}$$

де $d\Omega$ - елемент тілесного кута 4π , в який випромінюється звук.

На практиці спрямованість випромінювання характеризують також відношенням інтенсивності звуку або звукового тиску в даній точці простору L_{li} до інтенсивності або звукового тиску на осі випромінювача L_{cp} на такій же відстані від останнього. Переходячи до значень рівнів звукового тиску, можемо отримати

$$ПС = L_{li} - L_{cp}, \tag{4}$$

де $ПС$ - показник спрямованості, пов'язаний з чинником (коефіцієнтом) спрямованості співвідношенням

$$ПС = 10 \lg \Phi, \tag{5}$$

L_i - рівень звукового тиску в октавній смузі частот в i -ій точці.

Таким чином, формула (3) для визначення значень рівнів звукового тиску в розрахункових точках з урахуванням впливу чинника спрямованості буде мати вигляд

$$L(r) = L_p - 10 \lg \Phi - 20 \lg \frac{r}{r_0} \quad (6)$$

Джерела шуму компресорних станцій в залежності від виду можуть проявляти властивості як точкового, так і лінійного або поверхневого акустичного джерела. На практиці при обчисленні величини загасання звуку від джерел КС за формулою (6) найчастіше задовольняє форма точкового джерела. Звукові хвилі, поширюючись в атмосфері, загасають внаслідок поглинання звукової енергії через теплопровідності повітря, його в'язкості і молекулярної дисипації. Остання пов'язана з перерозподілом енергії між різними ступенями свободи молекул і є домінуючою. Загасання гармонійних хвиль відбувається за експоненціальним законом [6], отже, зниження рівнів звуку в результаті поглинання (дисипації) пропорційно пройденому звуковою хвилею відрізьку шляху, дБ:

$$\Delta L_\alpha = \beta_\alpha (r / 1000), \quad (7)$$

де β_α - коефіцієнт поглинання звуку в повітрі, дБ/км (табл. 1 в методиці [7]).

При поширенні звуку над землею поверхнею, що поросла травою або покритою снігом, звук зазнає додаткового загасання. З наближенням до землі, при виконанні умови (8), пряма та відбита хвилі (рис. 2) синфазно складаються і рівень звукового тиску додатково зростає на величину $\Delta L_{\text{волн}} = 3$ дБ [6]:

$$h \ll r, H_{\text{учм}} \ll r; f \leq \frac{40 \cdot r}{H \cdot h} \quad (8)$$

де h - висота приймача звуку, м; r - відстань від джерела до точки спостереження, м; H - висота джерела, м; f - середньгеометрична частота октавних смуг, Гц.

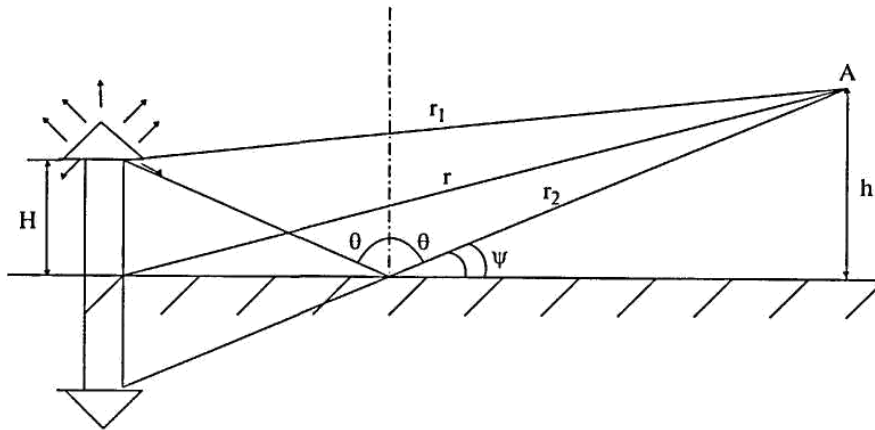


Рисунок 2 – Схема поширення звуку від джерела на висоті H до приймача на висоті h над землею поверхнею: r_1 - прямий промінь; r_2 - відбитий промінь від поверхні

Figure 2 –

Фізично наявність зони загасання пояснюється тим, що при відбиванні звукової хвилі від поверхні змінюється не тільки амплітуда (через поглинання), але й фаза звукової хвилі, причому зміна фази, що відбувається при ковзному відбиванні, тобто при наближенні кута ковзання $\psi \rightarrow 0$ (рис. 2), наближується до 180° . Тому при надмалих значеннях кута ковзання ψ пряма і відбита хвилі гасять одна одну [8]. Відбувається інтерференційний перерозподіл звукової енергії, і над поверхнею землі встановлюється зона мінімальних рівнів ($\Delta L_{\text{нов}} > 0$), а над нею – зона максимуму $\Delta L_{\text{волн}} > 0$.

Для розрахунку додаткового загасання $\Delta L_{\text{нов}}$, дБ, над землею поверхнею з трав'яним (сніжним) покривом визначають нижню і верхню межі інтервалу частот, в якому воно можливо, за формулами (за умови $h > 1$ м, $H > 1$ м):

$$f_H = 2 \cdot 10^3 / \sqrt{r}; f_\theta = 20 \cdot r / H \cdot h \quad (9)$$

Для частот, що належать до цього інтервалу, розрахунок додаткового загасання $\Delta L_{\text{нов}}$ виконується за формулою:

$$\Delta L_{\text{нов.}} = 20 \lg r - 10 \lg \left[\frac{2 \cdot 10^{13}}{f^4} + 10^{-3} f^2 (h \cdot H)^2 \right] \quad (10)$$

Точність такого розрахунку не завжди є достатньо високою внаслідок змін акустичних властивостей трав'яного або снігового покриву в області частот $f < 200$ Гц і впливу вітру і

турбулентності в області $f > 200$ Гц. Над твердою поверхнею вважають $\Delta L_{нов} = 0$, якщо відбитий промінь потрапляє в точку спостереження, і $\Delta L_{нов} = 3$ дБ за умови що він не потрапляє в точку спостереження [8]. Формула (10) дає досить гарне узгодження з експериментальними даними [5] врахування впливу поверхні землі на розсіювання звуку. Зазвичай його і використовують при розрахунках, зокрема в методиці [7].

Погодні ефекти, а саме, швидкість вітру, зміна швидкості вітру та температури повітря з висотою, які визначають умови рефракції звукових хвиль, сучасна методика [7], а також чинний нормативний документ ДСТУ-Н Б В.1.1-35:2013[9], не враховують.

Алгоритм розрахунку очікуваних рівнів звукового тиску від КС. Октавні рівні звукового тиску L (дБ) в розрахункових точках слід визначати за формулою:

$$L = L_p + 10 \cdot \lg \Phi - 10 \cdot \lg \Omega - 20 \cdot \lg r - \beta_\alpha \cdot r / 1000 + \Delta L_{omp} - \Delta L_c, \quad (11)$$

де L_p - октавний рівень звукової потужності джерела шуму, дБ; Φ - чинник спрямованості джерела шуму для направлення на розрахункову точку, безрозмірний; для ненаправленого джерела шуму $\Phi = 1$; при оцінці шуму, створюваного джерелом з невідомим чинником спрямованості Φ , його слід вважати ненаправленим; Ω - просторовий кут (в стерadianах), в який випромінюється шум; для джерела шуму в простір $\Omega = 4\pi$ ($10 \cdot \lg \Omega = 11.0$); на поверхні території або огорожувальних конструкцій будівель і споруд $\Omega = 2\pi$; r - відстань (м) від акустичного центру джерела шуму до розрахункової точки; за акустичний центр джерела шуму, розташованого на поверхні, приймається проекція його геометричного центру на поверхню; у джерела в просторі акустичний і геометричний центри збігаються; β_α - коефіцієнт поглинання звуку в повітрі дБ/км, приймається за таблицею 3; при $r \leq 50$ м поглинанням звуку в повітрі нехтується; $\Delta L_{omp} = 3n$, дБ - підвищення рівня звукового тиску внаслідок відображень звуку від великих поверхонь (земля, стіна, кут двох стін), розташованих на відстані r від розрахункової точки, що не перевищує $0,1 r$; n - число поверхонь, що відбивають ($n \leq 3$); поверхню землі не включається в число n , якщо відбивання від неї вже враховано у значенні просторового кута Ω ; ΔL_c - додаткове зниження рівня звукового тиску елементами навколишнього середовища

$$\Delta L_c = \Delta L_{екр} + \Delta L_{нов} + \beta_{зел} \cdot l + \Delta L_{ног}, \quad (12)$$

де $\Delta L_{екр}$ - зниження рівня звукового тиску екранами, розташованими між джерелом шуму і розрахунковою точкою; $\Delta L_{нов}$ - зниження рівня звукового тиску поверхнею землі; $\beta_{зел}$ - коефіцієнт ослаблення звуку смугою лісонасаджень, дБ/м, l - ширина лесосмуги, м; $\Delta L_{ног}$ - зниження рівня звукового тиску, обумовлене погодними умовами.

Джерело шуму, що знаходиться над поверхнею території або на конструкціях будівель і споруд (рис. 2), слід вважати розташованим в просторі при виконанні умови

$$H_{шум} > 0,5 r_1,$$

де $H_{шум}$ - висота джерела шуму над поверхнею території; r_1 - відстань від джерела шуму до розрахункової точки.

Зниження рівня звукового тиску екраном (будівля, стіна, насип), розташованим між джерелом шуму і розрахунковою точкою $\Delta L_{екр}$ 1,2,3, дБ, на кожному з шляхів поширення звукових хвиль слід визначати за формулою

$$\Delta L_{аєдi} = 20 \cdot \lg \left[\sqrt{0,037 f \delta_i} / th \sqrt{0,037 f \delta_i} \right] + 5 \quad (13)$$

де f - середньгеометрична частота октавної смуги (Гц) і $\delta_i = a_i + b_i - d_i$; $a_i + b_i$ - довжина найкоротшого шляху від джерела шуму до розрахункової точки, що проходить через i -у кромку екрану, м; d_i - найкоротша відстань між джерелом шуму і розрахунковою точкою, м.

Результуюче зниження рівня звукового тиску $\Delta L_{екр}$ (дБ) слід визначати за формулою

$$\Delta L_{аєд} = -10 \lg \left(\sum_{i=1}^3 10^{-0,1 \Delta L_{аєдi}} \right). \quad (14)$$

Для джерела великих розмірів в порівнянні з відстанню до екрану за відстань $a_i + b_i$ слід приймати довжину найкоротшого шляху від розрахункової точки до поверхні джерела шуму, що проходить через верхню кромку екрану, а за d_i - найкоротша відстань від розрахункової точки до джерел шуму, найближчих до крайок екрану.

При орієнтовних розрахунках зниження рівня звуку екранами $\Delta L_{екр}$, дБ, допускається визначати за формулою (15), в якій величини знижень рівнів звуку ΔL на кожному із шляхів слід визначати за формулою

$$\Delta L_{\Delta_{\delta\delta i}} = 10 \lg \delta_i + \Delta_{\Delta_{\delta\delta}}, \quad (15)$$

де $\Delta_{\Delta_{\delta\delta}}$ - поправка, значення якої наведено на рис. 5 стандартної методики [7], в залежності від $\Delta_{L-A} = L_{P_{lin}} - L_{PA}$, дБА.

Модель та програмне забезпечення *NoBel*. Умовам, що висуваються до методик обчислення шуму від КС і наведені в попередньому підрозділі, відповідає модель та програмне забезпечення *NoBel*, які розроблені в Національному авіаційному університеті. Рівні звукового тиску $L_p(f)$ в точці контролю шуму на відстані R в залежності від частоти f (як правило в третино-октавних смугах частот) випромінювання у загальному випадку розраховуються за формулою:

$$L_p(f) = L_w(f) - 10 \lg(2\pi r^2) - \alpha r - \Delta L_{gr} - \Delta L_{scr} - \Delta L_{ref} - \Delta L_{it}$$

де $L_w(f)$ – рівні звукової потужності джерела шуму (наприклад, ГТУ, табл. 1), α – коефіцієнт поглинання звуку в повітрі, ΔL_{gr} – ефект впливу землі, ΔL_{scr} – ефект екранування звукових хвиль, ΔL_{ref} – ефект рефракції звукових хвиль, ΔL_{it} – ефект звукоізоляції огорожуючої будівлі (розглядається за умови розміщення джерела шуму всередині будівлі – наприклад ГТУ розміщуються в машинному залі КС).

Коефіцієнти поглинання звуку в повітрі розраховані для стану атмосфери за вимогами МСА: температура 15°C, тиск 101,325 кПа, відносна вологості повітря 70%. Рефракцію та екранування звукових хвиль в даному випадку ми не враховуємо. В табл. 2 наведені значення коефіцієнта поглинання звуку у смугах третино-октавного спектру для вологості 70% та 100% при температурі 15°C та тиску 760 мм рт. ст.

Таблиця 2 – Порівняння коефіцієнтів поглинання звуку в атмосфері для вологості 70% та 100% (температура 15°C, тиск 760 мм рт. ст.)

| Частота, Гц | 50. | 63. | 80. | 100. | 125. | 160. | 200. | 250. |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| α_{70} , дБ/м | 0.00024 | 0.00030 | 0.00038 | 0.00047 | 0.00059 | 0.00075 | 0.00094 | 0.00118 |
| α_{100} , дБ/м | 0.00024 | 0.00030 | 0.00038 | 0.00047 | 0.00059 | 0.00075 | 0.00094 | 0.00118 |
| Частота, Гц | 315. | 400. | 500. | 630. | 800. | 1000. | 1250. | 1600. |
| α_{70} , дБ/м | 0.00149 | 0.00190 | 0.00238 | 0.00301 | 0.00384 | 0.00482 | 0.00607 | 0.00785 |
| α_{100} , дБ/м | 0.00149 | 0.00190 | 0.00238 | 0.00301 | 0.00384 | 0.00482 | 0.00607 | 0.00785 |
| Частота, Гц | 2000. | 2500. | 3150. | 4000. | 5000. | 6300. | 8000. | 10000. |
| α_{70} , дБ/м | 0.01000 | 0.01320 | 0.01793 | 0.02506 | 0.02984 | 0.04198 | 0.06099 | 0.09002 |
| α_{100} , дБ/м | 0.00992 | 0.01257 | 0.01612 | 0.02105 | 0.02444 | 0.03278 | 0.04534 | 0.06511 |

Вплив вологості повітря на розповсюдження звуку, в першу чергу, відбувається через залежність ефекту поглинання звукової енергії в повітрі, який визначається величинами коефіцієнта поглинання звуку α , дБ/м. Можна побачити, що тільки на частотах 2000 Гц і вище вплив вологості повітря на поглинання звуку є істотним. Але діапазон високих частот для спектру потужності випромінювання ГТУ є менш значимим у зв'язку з перевагою випромінювання шуму ГТУ у діапазоні низьких і середніх частот, тобто до 1000 Гц, де вологість на ефект поглинання звуку не впливає.

Вплив вітру та температури атмосферного повітря на розповсюдження звукових хвиль відбувається через так званий ефект рефракції звуку в результаті зміни швидкості вітру та температури з висотою над поверхнею землі, що характеризуються значеннями їх градієнтів. В даній статті ефекти рефракції не розглядаються.

Дослідження рівнів звуку від КС «Глушківська». В сценарії розрахунку відповідно до розглянутого алгоритму обчислення рівнів звуку в звіті ОВНС [10] приймаємо максимальний можливий рівень звукового тиску на відкритій території майданчика КС «Глушківська», що розташована на території Яготинського ЛМГУ, від усіх розташованих на них джерел шуму – 92 дБА.

За цих умов, рівень звуку (P3) від усіх джерел шуму, що розташовані на КС Яготин та КС Глушківська, на межі найближчої житлової забудови, в населеному пункті Ничипорівка (на відстані 700 м від паркану станції), відповідно до алгоритму за вимогами ДБН В.1.1-31:2013 [9] становить:

від одного ГПА – $L_A = 92 - 15 \lg 700 + 10 \lg 1 - 10 \lg 2\pi = 41,34 \text{ дБА} < 45 \text{ дБА}$;

від двох ГПА – $L_A = 10 \lg (2 \times 10^{0,1 \times 41,34}) = 44,44 \text{ дБА} < 45 \text{ дБА}$.

За результатами звіту [10] P3 за умови одночасної роботи двох ГПА при максимальному P3 в околиці території КС «Глушківська» не перевищує нормативів ДБН В.1.1-31:2013 для території житлових приміщень в нічний період.

Рівні звукової потужності турбоагрегатів в кожусі ГПА з газотурбінним приводом ГТ-750-6, що встановлюються в загальному цеху, становлять 124 дБА за даними бази даних каталогу зі стандарту [11, табл. 6]. Обчислення для стандартних умов атмосфери за методикою стандарту [7] вказує, що на відстані 700 м від джерела P3 становитиме 50 дБА, що на 5 дБА перевищує нічний норматив шуму для умовна території житлової забудови [9]. Обчислення для стандартних умов атмосфери за методикою *NoBel* вказує, що на відстані 700 м від джерела P3 становитиме 41,3 дБА, що співпадає з результатами звіту [10] і також не перевищує нічний норматив шуму для умовна території житлової забудови [9]. Але за умови роботи тільки одного ГПА. На території КС «Глушківська» таких ГПА 12 штук, розміщених в одному цеху, загальна потужність компресорного цеху – 72 МВт. Тобто за умови роботи усіх ГПА P3 на дистанції 700 м від джерела обчислюється 52,1 дБА, що на понад 7 дБА перевищує нічний норматив шуму для умовна території житлової забудови [9].

Результати обчислення для стандартних умов атмосфери за міжнародною методикою *CONCAW* [11] вказують, що на відстані 700 м від джерела P3 становитиме 50,0 дБА, що співпадає з результатами обчислення за методикою стандарту [7] і також перевищує нічний норматив шуму на 5 дБА для умов на території житлової забудови [9] навіть при роботі тільки одного ГПА. За умови роботи усіх ГПА P3 на дистанції 700 м від джерела обчислюється величиною 61,2 дБА, що на 16 дБА перевищує нічний норматив шуму для умовна території житлової забудови [9].

Всі результати обчислення отримані для умови, що всі джерела (всі ГПА) приведені до координати центру компресорного цеху, що в принципі підтверджується результатами обчислення для розподіленого розміщення ГПА за їх координатами на території КС (цеху).

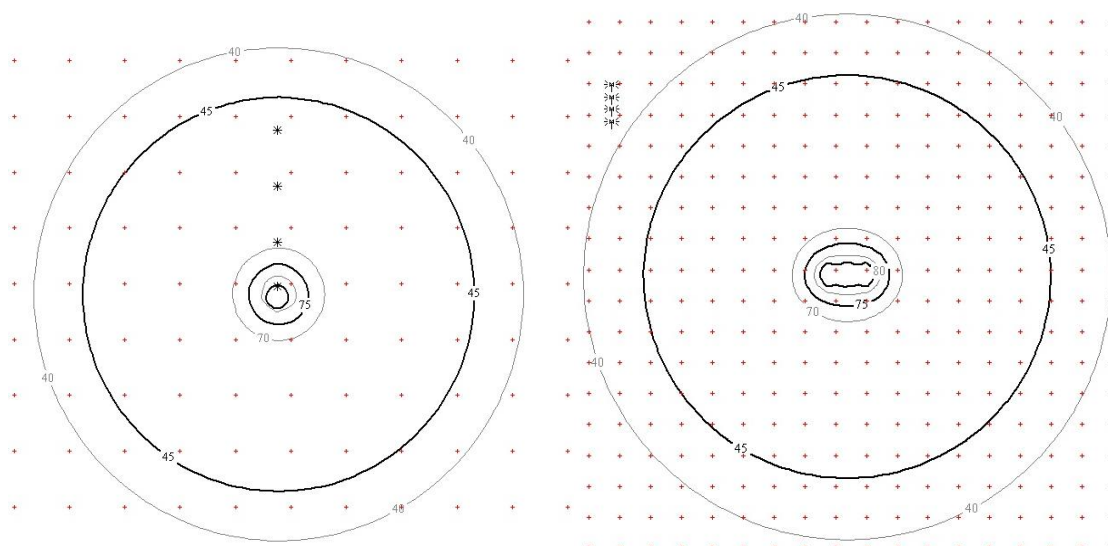


Рисунок 3 – Результати обчислення контурів рівнів звуку для шуму від джерел КС: а) варіант приведеної звукової потужності до однієї координати в центрі компресорного цеху; б) варіант 4 ГПА з визначеними координатами для кожного з них

Figure 1 –

Висновки

Методика стандарту [7] та міжнародна методика *CONCAW* [11] за результатами обчислення рівнів звуку на межі СЗЗ, тобто на дистанції 700 м від джерела шуму на КС, вказують на перевищення нічного нормативу шуму для території житлової забудови [9].

Результати обчислення отримані для умови приведення всіх характерних джерел шуму КС до координати провідного (домінантного) джерела – висоти шахти викиду газів ГТУ, що відпрацювали. Якщо розглянути окремо звукову потужність вихлопу ГТУ, всмоктування ГТУ, нагнітачів та технологічної обв'язки нагнітачів, тобто 4-ох найбільш потужних окремих джерел шуму ГПА, слід очікувати дещо іншого розподілу РЗ у просторі. На відстані, що відповідає межі СЗЗ навколо КС, при наявності до 10 ГПА і більше, необхідно враховувати як розподілені координати кожного ГПА, так і окремих домінуючих акустичних джерел кожного ГПА.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Терехов А.Л.. Снижение шума газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва 2005
2. Заяц Б.С., Заяц И.Б., Яговкин Н.Г.. Снижение шума на газораспределительных станциях магистральных газопроводов // Вектор науки ТГУ. 2013. № 3. – Сс. 181-183.
3. Заяц Б.С. Снижение шума при эксплуатации газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций: дис. канд. техн. наук / Б. С. Заяц. Самара, 2008. Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/snizhenie-shuma-pri-ekspluatatsii-gazoperekachivayuschih-agregatov-kompressornyh-stantsiy-magistralnyh-azoprovodov#ixzz3yt3wu6X8>
4. Защита от шума технологического оборудования ОАО «Газпром»: стандарт организации. СТО Газпром 2-3.5-043–2005. Режим доступа: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/49/49220.
5. Терехов А.Л. Исследования и снижение шума на компрессорных станциях. - М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2002.
6. Справочник по технической акустике/Под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера. - Л.: Судостроение, 1980.
7. Защита от шума технологического оборудования ОАО «Газпром»: стандарт организации. СТО Газпром 2-3.5-042–2005. Методика расчета уровня шума от компрессорных станций. Введен в действие Распоряжением ОАО "Газпром" от 22 сентября 2005 г. № 237.
8. Борьба с шумом на производстве. Справочник. /Под ред. Е.Я. Юдина. - М.: Машиностроитель, 1985.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-35:2013. Настанова з розрахунку рівнів шуму в приміщеннях і на територіях» Київ, Мінрегіон України, 2014 р.
10. Звіт з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності з реконструкції компресорної станції «Яготин». Акціонерне товариство «Укртрансгаз», реєстр. № 20192142852, розробник ТОВ НВП «Екосистема», 2019 р.
11. Защита от шума технологического оборудования ОАО «Газпром»: стандарт организации. СТО Газпром 2-3.5-041–2005. Каталог шумовых характеристик газотранспортного оборудования. Введен в действие Распоряжением ОАО "Газпром" от 10 ноября 2005 г. № 239.

РЕФЕРАТ

Запорожець О.І. Модель обчислення рівнів звуку шуму від компресорних станцій для обґрунтування границь санітарно-захисної зони / О.І. Запорожець, С.В. Карпенко, С.О. Пузік, Б.В. Сагайдак // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3 (50).

Дана стаття присвячена дослідженню рівнів звуку для шуму від газотурбінної установки та технологічного обладнання компресорної станції в умовах повсякденної експлуатації з метою оцінки витримування умов санітарно-захисних зон навколо компресорної станції з метою захисту населення, що мешкає в околиці компресорної станції.

Основною метою дослідження є оцінка відповідності розмірів санітарно-захисних зон за умовами шумового навантаження на довкілля.

Основним джерелом шуму на компресорних газоперекачувальних станціях, що визначають шумовий режим на промисловому майданчику окрім допоміжного обладнання відносяться газоперекачувальні агрегати, системи технологічних скидів газу з контурів нагнітача, паливного та пускового газу газоперекачувальних агрегатів.

Виявлено та перевірено залежності умов шуму на виробничому майданчику та у довкіллі від рівня звукової потужності газоперекачувальних агрегатів, встановленої потужності газотурбінних установок, звукової потужності турбокомпресора, терміну служби газоперекачувальних агрегатів, кількості одночасно працюючих газоперекачувальних агрегатів, характеристик виробничих

приміщень, конструктивного виконання газоперекачувальних агрегатів, стану засобів поглинання шуму газоперекачувальних агрегатів. У газотурбінних установках компресорних станцій інтенсивний шум виникає в системі всмоктування повітря і вихлопу газів, у вентиляторі системи охолодження, в корпусі турбомашини і в генераторі.

Для розрахунків рівнів звуку в окремій точці в залежності від відстані до джерела шуму використана модель з урахуванням ефектів розповсюдження звукових хвиль в атмосферному повітрі та характеристик джерела шуму такі як: направленість і спектральні характеристики випромінювання, висоту встановлення джерела над поверхнею; відстань від джерела до точки визначення рівня звуку; поглинання звуку в атмосферному повітрі, що залежить від частоти та параметрів стану атмосфери; ефекту впливу землі; погодні ефекти та інші.

Використана методика стандарту та міжнародна методика *CONCAW* за результатами обчислення рівнів звуку на межі санітарно-захисної зони на компресорній станції.

Результати обчислення для стандартних умов атмосфери за міжнародною методикою *CONCAW* вказують, що на відстані 700м від джерела розповсюдження звуку становитиме 50,0 дБА, що співпадає з результатами обчислення за методикою стандарту і також перевищує нічний норматив шуму на 5 дБА для умов на території житлової забудови навіть при роботі тільки одного газоперекачувального агрегату, доводить актуальність дослідження екологічних ризиків діяльності компресорних станцій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ШУМ, ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ, ДЖЕРЕЛО ШУМУ, КОМПРЕСОРНА СТАНЦІЯ, ГАЗОТУРБІННА УСТАНОВКА, ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИЙ АГРЕГАТ, ЗВУК.

РЕФЕРАТ

Запорожец А.И. Модель вычисления уровней звука шума от компрессорных станций для обоснования границ санитарно-защитной зоны / А.И. Запорожец, С.В. Карпенко, С.А. Пузик, Б.В. Сагайдак // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3 (50).

Данная статья посвящена исследованию уровней звука для шума от газотурбинной установки и технологического оборудования компрессорной станции в условиях повседневной эксплуатации, с целью оценки выдержки условий санитарно-защитных зон вокруг компрессорной станции и в целях защиты населения, проживающего в окрестностях компрессорной станции.

Основной целью исследования является оценка соответствия размеров санитарно-защитных зон по условиям шумовой нагрузки на окружающую среду.

Основным источником шума на компрессорных газоперекачивающих станциях, определяют шумовой режим на промышленной площадке, кроме вспомогательного оборудования, относятся газоперекачивающие аппараты, системы технологических сбросов газа из контуров нагнетателя, топливного и пускового газа газоперекачивающих аппаратов.

Выявлено и проверено зависимости условий шума на производственной площадке и в окружающей среде от уровня звуковой мощности газоперекачивающих аппаратов, установленной мощности газотурбинных установок, звуковой мощности турбокомпрессора, срока службы газоперекачивающих аппаратов, количества одновременно работающих газоперекачивающих аппаратов, характеристик производственных помещений, конструктивного исполнения газоперекачивающих аппаратов, состояния средств поглощения шума газоперекачивающих аппаратов. В газотурбинных установках компрессорных станций интенсивный шум возникает в системе всасывания воздуха и вихлопа газов, в вентиляторе системы охлаждения, в корпусе турбомашини и в генераторе.

Для расчетов уровней звука в отдельной точке в зависимости от расстояния до источника шума использована модель с учетом эффектов распространения звуковых волн в атмосферном воздухе и характеристик источника шума такие как: направленность и спектральные характеристики излучения, высота установки источника над поверхностью; расстояние от источника до точки определения уровня звука; поглощения звука в атмосферном воздухе, зависит от частоты и параметров состояния атмосферы; эффекта влияния земли; погодные эффекты и другие.

Использована методика стандарта и международная методика *CONCAW* по результатам вычисления уровней звука на границе санитарно-защитной зоны на компрессорной станции.

Результаты вычисления, для стандартных условий атмосферы, по международной методике *CONCAW* указывают, что на расстоянии 700м от источника распространения звука составит 50,0 дБА, что совпадает с результатами вычисления по методике стандарта и также превышает ночной

норматив шума на 5 дБА для умов на території жилой застройки даже при работе только одного газоперекачивающего аппарата, доказывая актуальность исследования экологических рисков деятельности компрессорных станций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ШУМ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ, ИСТОЧНИК ШУМА, КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ, ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ, ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЙ АГРЕГАТ, ЗВУК.

ABSTRACT

Zaporozhets O.I., Karpenko S.V., Puzik S.A., Sagaidak B.V. A model for calculating the sound levels of noise from compressor stations to justify the boundaries of the sanitary protection zone. Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 3 (50).

This article is devoted to the study of sound levels for noise from a gas turbine plant and technological equipment of a compressor station in everyday operation, in order to assess the sustainability of the conditions of sanitary protection zones around the compressor station and in order to protect the population living near the compressor station.

The main purpose of the study is to assess the compliance of the sizes of sanitary protection zones in terms of noise load on environment.

The main source of noise at compressor gas-pumping stations is determined by the noise regime at the industrial site, in addition to auxiliary equipment; include gas-pumping devices, systems of technological gas discharge from the blower circuits, fuel and starting gas of gas-pumping devices.

The dependence of the noise conditions at the production site and in the environment on the sound power level of gas-pumping apparatuses, the installed power of gas-turbine plants, the sound power of the turbocompressor, service life of gas-pumping apparatuses, the number of simultaneously operating gas-pumping apparatuses, the characteristics of production premises, the design of the gas-pumping apparatuses, the state of means of noise absorption of gas-pumping apparatuses. In gas turbine installations of compressor stations, intense noise occurs in the air intake and exhaust systems, in the cooling system fan, in the turbomachine housing and in the generator.

To calculate the sound levels at a separate point, depending on the distance to the noise source, a model was used taking into account the effects of sound wave propagation in atmospheric air and the characteristics of the noise source, such as: directivity and spectral characteristics of radiation, the height of the source above the surface; distance from the source to the point of determining the sound level; absorption of sound in atmospheric air, depends on the frequency and parameters of the state of the atmosphere; the effect of the influence of the earth; weather effects and others.

The methodology of the standard and the international method CONCAW were used based on the results of calculating sound levels at the border of the sanitary protection zone at the compressor station.

The calculation results, for standard atmospheric conditions, according to the international CONCAW method indicate that at a distance of 700 m from the sound source, the sound propagation will be 50.0 dBA, which coincides with the calculation results using the standard method and also exceeds the night noise standard by 5 dBA for conditions in the residential area. Development even when only one gas compressor is in operation, which proves the relevance of studying the environmental risks of compressor stations.

KEY WORDS: NOISE, ENVIRONMENTAL RISKS, NOISE SOURCE, COMPRESSOR STATIONS, GAS PUMPING UNIT, GAS PUMPING APPARATUS, SOUND.

АВТОРИ:

Запорожець Олександр Іванович, доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, проректор з міжнародного співробітництва і освіти, e-mail: zap@nau.edu.ua. тел. +380 44 406 77 64, Україна, 03680, Київ, просп. Любомира Гузара, 1, orcid.org/0000-0002-7580-0921.

Карпенко Сергій Володимирович, Національний Авіаційний Університет, старший науковий співробітник, e-mail: karpenko_serg@ukr.net, тел.: +380 44 406 77 64, Україна, 03680, Київ, просп. Любомира Гузара, 1, orcid.org/0000-0003-2114-2377.

Пузік Сергій Олексійович, кандидат технічних наук, Національний Авіаційний Університет, Навчально-наукова лабораторія «Технологічні процеси у авіапаливобезпеженні», e-mail: s.puzik@email.ua, тел.: +380 44 502 82 35, Україна, 03680, Київ, просп. Любомира Гузара, 1, orcid.org/0000-0001-6151-1240.

Сагайдак Б.В., Національний Авіаційний Університет, e-mail: sagaydak-bv@tsoua.com, тел.: +380 44 406 77 64, Україна, 03680, Київ, просп. Любомира Гузара, 1, orcid.org/0000-0002-9210-2156.

АВТОРЫ:

Запорожец Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, Национальный авиационный университет, проректор по международному сотрудничеству и образования, e-mail: zap@nau.edu.ua. тел. +380 44 406 77 64, Украина, 03680, Киев, ул. Любомир Гузар, 1, orcid.org/0000-0002-7580-0921.

Карпенко Сергей Владимирович, Национальный Авиационный Университет, старший научный сотрудник, e-mail: karpenko_serg@ukr.net, тел. : +380 44 406 77 64, Украина, 03680, Киев, ул. Любомир Гузар, 1, orcid.org/0000-0003-2114-2377.

Пузик Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, Национальный Авиационный Университет, учебно-научная лаборатория «Технологические процессы в авиатопливообеспечения», e-mail: s.puzik@email.ua, тел. : +380 44 502 82 35, Украина, 03680, Киев, просп. Любомир Гузар, 1, orcid.org/0000-0001-6151-1240.

Сагайдак Б.В., Национальный Авиационный Университет, e-mail: sagaydak-bv@tsoua.com, тел.: +380 44 406 77 64, Украина, 03680, Киев, ул. Любомир Гузар, 1, orcid.org/0000-0002-9210-2156.

AUTHORS:

Zaporozhets Oleksandr I., Doctor of Technical Sciences, National Aviation University, vice-rector of international cooperation and education, e-mail: zap@nau.edu.ua, tel. +380 44 406 77 64, Ukraine, 03680, Kyiv, Lubomir Husar ave.1, orcid.org/0000-0002-7580-0921.

Karpenko Serhiy V., National Aviation University, senior researcher, e-mail: karpenko_serg@ukr.net, tel. : +380 44 406 77 64, Ukraine, 03680, Kyiv, Lubomir Husar ave.1, orcid.org/0000-0003-2114-2377.

Puzik Serhiy O., PhD in Technical Sciences, National Aviation University, Educational and Scientific Laboratory "Technological Processes in Aviation Fuel Supply", e-mail: s.puzik@email.ua, tel. : +380 44 502 82 35, Ukraine, 03680, Kyiv, ave. Lubomira Huzara, 1, orcid.org/0000-0001-6151-1240.

Sagaidak B.V., National Aviation University, e-mail: sagaydak-bv@tsoua.com, tel. : +380 44 406 77 64, Ukraine, 03680, Kyiv, ave. Lubomira Huzara, 1, orcid.org/0000-0002-9210-2156.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Бойченко С.В., доктор технічних наук, професор, УкрНДНЦ хімотології і сертифікації ПММ і ТР, провідний науковий співробітник, Київ, Україна.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Boichenko S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, UkrRTC of chemotology and certification of fuels, lubricants and TF, leading researcher, Kyiv, Ukraine.

Mateichyk V.P, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, professor of ecology and safety of vital functions department, Kyiv, Ukraine.