

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ДАЛЬНОСТІ ДІЇ ЗВУКОМОВНОЇ СТАНЦІЇ

У статті наведено математичну модель прогнозування дальності дії звукомовної станції, яка враховує метеорологічні умови та рельєф місцевості.

Постановка проблеми. Досвід останніх локальних війн та конфліктів показує, що провідні країни світу для досягнення переваги в інформаційній сфері широко використовують звукомовні станції різних типів [1].

Звукомовні станції – це технічні засоби, призначені для здійснення інформаційно-психологічного впливу на противника шляхом передачі мовних і музичних передач, для введення противника в оману шляхом розповсюдження звуків бойових дій (вибухи, постріли), функціонування військової техніки.

На озброєнні відповідних частин Збройних Сил України також знаходяться звукомовні станції. Суттєвим недоліком таких станцій є відсутність засобів прогнозування дальності розповсюдження мовних програм залежно від умов застосування (рельєфу місцевості, штучних перешкод та погоди).

Огляд останніх досліджень і публікацій з цієї проблеми [1, 2] показує, що в закордонних аналогах звукомовних станцій є додаткові засоби, які значно розширюють їх функціональні можливості.

Так на озброєння Збройних сил Російської Федерації нещодавно було прийнято нову звукомовну станцію ЗС-96.03 [1, 2]. До її складу входить портативна метеостанція для визначення погодних умов та врахування їх впливу на якість розповсюдження мовних програм. Особливістю її конструкції є наявність апаратно-програмного комплексу прогнозування дальності звукового мовлення. Він призначений для оперативної видачі бойовому розрахунку параметрів щодо орієнтації звукових випромінювачів і рекомендацій з оптимального розміщення і застосування звукомовної станції.

Таким чином, актуальною задачею є розробка математичного апарату для прогнозування дальності дії звукомовної станції.

Постановка завдання статті. Метою статті є розробка математичної моделі прогнозування дальності дії звукомовної станції з урахуванням реальних погодних умов та рельєфу місцевості. Це дасть можливість розрахунку оцінити можливості станції щодо виконання завдань у певних умовах, дозволить підвищити ефективність її застосування.

Виклад основного матеріалу. Відомі методики щодо визначення дальності розповсюдження звукових хвиль в атмосфері залежно від існуючих умов розповсюдження [3, 4]. Суттєвий вплив на дальність розповсюдження звуку також надають характеристики турбулентності, підстильної поверхні, геометрії розповсюдження й самого джерела звуку. Але ці методики мають більш теоретичний характер і не дають розрахункових формул для практичного результату. Також відома математична модель для розрахунку рівня шуму в

міських та природних умовах [5]. Скористаємось нею, але адаптуємо її для визначення рівня звуку на певній відстані з урахуванням рельєфу місцевості, перешкод та частотного діапазону.

Визначення еквівалентного рівня звукового тиску з підвітряного боку $L_{\beta}DW$ розрахуємо для смуги з частотою від 31,5 до 8000 Гц за виразом

$$L_{\beta}DM = L_w + D_c - A, \quad (1)$$

де L_w – октавний рівень звукової потужності точкового джерела звуку відносно опорного значення звукової потужності, який дорівнює 1 пВт, дБ;

D_c – поправка, яка враховує спрямованість точкового джерела звуку і показує, наскільки відрізняється еквівалентний рівень звукового тиску точкового джерела в заданому напрямі від рівня звукового тиску неспрямованого точкового джерела з тим же рівнем звукової потужності L_w , дБ. Поправка D_c дорівнює сумі показника спрямованості точкового джерела звуку D_i і поправки D_{Ω} , яка вводиться при поширенні звуку в межах тілесного кута Ω , меншого 4π ср (стерадіан);

A – згасання в октавній смузі частот при поширенні звуку від точкового джерела звуку до приймача, дБ.

Згасання A в (1) розрахуємо за виразом

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}, \quad (2)$$

де A_{div} – згасання через геометричну дивергенцію (через розбіжності енергії при випромінюванні у вільний простір);

A_{atm} – згасання через звукопоглинання атмосферою;

A_{gr} – згасання через вплив землі;

A_{bar} – згасання через екранування;

A_{misc} – згасання, які виникають у лісі та місті.

Рівень звуку L_{pA} визначимо сумарним відкоригованим за A октавним рівнем звукового тиску і розрахуємо за виразом

$$L_{pA} = 10 \cdot I_g \sum 10^{0,1(L_T(DW)+A)}. \quad (3)$$

Розглянемо згасання, які суттєво впливають на розповсюдження звуку у різних умовах.

Згасання через геометричну дивергенцію

Згасання через геометричну дивергенцію (згасання у вільному просторі через розбіжності звукової енергії) A_{div} дБ, що відбувається в результаті сферичного поширення звуку точкового джерела звуку у вільному звуковому полі, розрахуємо за виразом

$$A_{div} = 20 \cdot I_g (d / d_0) + 11, \quad (4)$$

де d – відстань від джерела звуку до приймача;

d_0 – опорна відстань.

Згасання через звукопоглинання атмосферою

Згасання через звукопоглинання атмосферою A_{atm} дБ на відстані d , м від джерела звуку визначимо за виразом

$$A_{atm} = \alpha \cdot d / 1000, \tag{5}$$

де α – коефіцієнт згасання звуку в октавній смузі частот в атмосфері.

Значення α визначимо згідно з табличними даними, наведеними в [5]. При визначенні коефіцієнта згасання α в атмосфері візьмемо середні показники за погодними умовами цієї місцевості. Значення α візьмемо за умовними показникам при таких погодних умовах: температура повітря 20°C; відносна вологість 70%; атмосферний тиск 101,325 кПа.

Згасання через вплив землі

Основна причина згасання через вплив землі A_{gr} – інтерференція звукових хвиль, відбитих від поверхні землі, з хвилями прямого звуку від джерела до приймача.

При поширенні звуку за вітром це згасання в основному визначається впливом землі поблизу джерела звуку і приймача. Метод розрахунку згасання через вплив землі застосовуємо тільки у разі практично плоскої поверхні землі незалежно від того, горизонтальна вона або похила.

При цьому слід розрізняти (рис. 2) три основні зони:

зону джерела завдовжки до $30h_s$ і максимальним значенням, яке дорівнює d_p (h_s – висота точкового джерела звуку над землею; d_p – проекція відстані від точкового джерела звуку до приймача на площину землі);

зону приймача довжиною до $30h_r$ і максимальним значенням, яке дорівнює d_p (h_r – висота приймача над землею);

середню зону (якщо $d_p < (30h_s + 30h_r)$, то це зони джерела і приймача, які частково перекриваються, а середня зона відсутня).

Розрахунок величини d_p проводиться з урахуванням рельєфу поверхні землі.

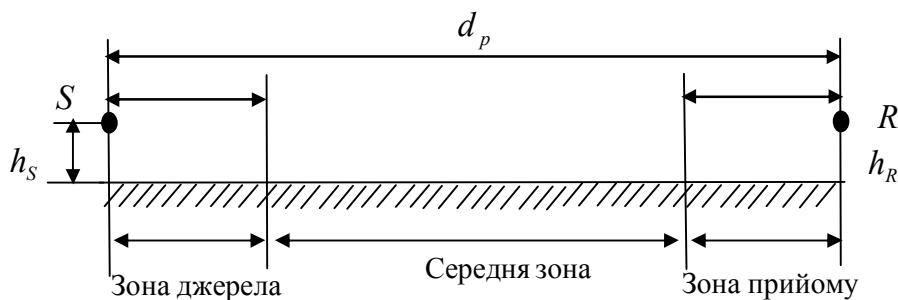


Рис. 2. Основні зони при визначенні згасання через вплив землі

Згасання через вплив землі значною мірою залежить від характеристик поверхні землі в зонах джерела і приймача. Акустичні характеристики поверхні землі в зонах враховують

коефіцієнтом відбиття від поверхні землі G . Розрізняємо три категорії поверхонь землі за звуковідбиттям.

1. Тверду поверхню (асфальт, залита водою, покрита льодом, бетонована та інші поверхні з низькою пористістю), наприклад утрамбований ґрунт. Для твердої поверхні коефіцієнт відбиття становить 0.

2. Пористу поверхню (покрита травою земля, дерева та інша рослинність, а також орана земля). Для пористої поверхні – 1.

3. Змішану поверхню. Якщо поверхня має тверді і пористі ділянки, то набуває значень від 0 до 1 пропорційно до площі поверхні пористих ділянок.

Для визначення згасання через вплив землі в заданій смузі частот розрахуємо : згасання A_s в зоні джерела при заданому показнику поверхні землі G_s ; згасання A_r в зоні приймача з показником поверхні G_r ; згасання A_m в середній зоні з показником поверхні G_m – за виразом [6]. Загальне згасання через вплив землі в заданій смузі частот визначимо за виразом

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m. \quad (6)$$

Згасання через екрануючі перешкоди

Об'єкт вважають бар'єром, або екрануючою перешкодою, якщо поверхня його суцільна (без великих розривів або просвітів, горизонтальний розмір якої в напрямі, перпендикулярному до лінії, що сполучає джерело звуку і приймач, більший за довжину звукової хвилі λ з частотою, що дорівнює середньгеометричній частоті смуги, тобто $l_s + l_r > \lambda$ (рис. 3).

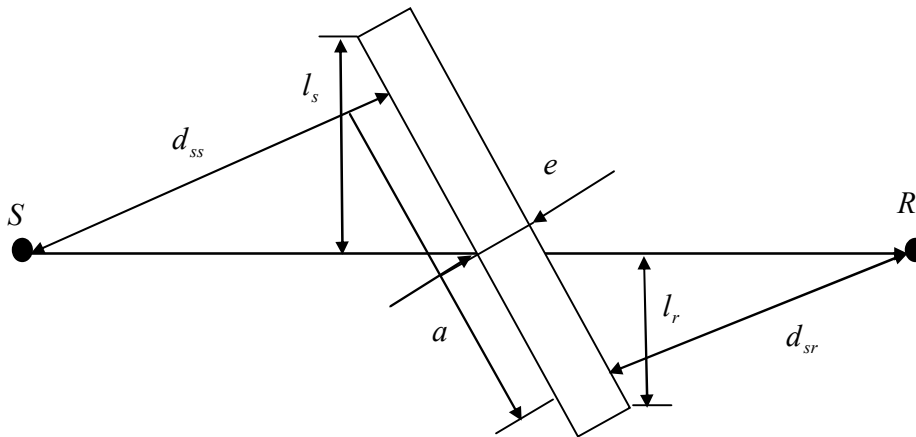


Рис. 3. Згасання через бар'єр між джерелом звуку S і приймачем R

Візьмемо, що бокові кромки бар'єра вертикальні. Його верхня кромка є прямою лінією, яка може бути похилою.

Об'єкт вважають бар'єром, якщо його горизонтальний розмір, перпендикулярний до лінії SR , яка з'єднує джерело звуку і приймач, перевищує довжину звукової хвилі, тобто $l_s + l_r > \lambda$.

Згасання через екранування вважають втратами, які вносяться. При поширенні звуку за вітром згасання з урахуванням дифракції на верхній кромці розрахуємо за виразом

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0, \tag{7}$$

де D_z – згасання на бар'єрі для кожної октавної смуги частот, яке розрахуємо за виразом (9);

A_{gr} – згасання через вплив землі за відсутності бар'єра. Значення A_{gr} розрахуємо за виразом (7).

Згасання з урахуванням дифракції на вертикальних кромках розрахуємо за виразом

$$A_{bar} = D_z > 0. \tag{8}$$

Якщо A_{bar} , визначене за виразом (7), підставимо у формулу (2) для визначення загального згасання A , то члени A_{gr} взаємознищуються. Згасання на бар'єрі D_z у виразі (7) включає згасання через вплив землі за наявності екрануючої перешкоди.

При розрахунку згасання на екрануючій перешкоді D_z вважаємо, що є один основний шлях поширення звуку від джерела звуку до приймача. Згасання на екрануючій перешкоді D_z , дБ для цього шляху розрахуємо за виразом

$$D_z = 10 \cdot \lg \left[3 + (C_2 / \lambda) \cdot C_3 \cdot Z \cdot K_{met} \right], \tag{9}$$

де C_2 – константа, що враховує ефект відбиття від землі ($C_2 = 20$). Якщо в особливих випадках (твердий ґрунт, скельні породи і тому подібне) до уваги візьмемо відбиття від землі звуку уявних джерел, то $C_2 = 40$;

C_3 – константа, що враховує дифракцію на верхніх кромках. При дифракції на одній кромці $C_3 = 1$. При дифракції на двох кромках (рис. 4) константу розрахуємо за виразом (10);

Z – різниця довжин шляхів поширення звуку через дифракційну кромку (кромки) і прямого звуку, розрахованих за виразом (11);

K_{met} – коефіцієнт, що враховує вплив метеорологічних умов, визначимо за виразом

$$C_3 = \left[1 + (5 \cdot \lambda / e)^2 \right] / \left[1/3 + (5 \cdot \lambda / e)^2 \right], \tag{10}$$

де λ – довжина звукової хвилі з частотою, що дорівнює середньгеометричній частоті октавної смуги, м;

e – відстань між дифракційними кромками (рис. 4).

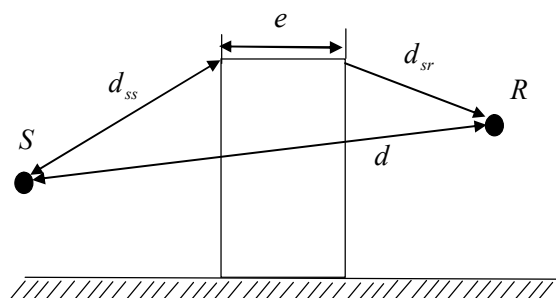


Рис. 4. Визначення різниці довжин шляхів поширення звуку при дифракції на двох кромках

При дифракції на двох кромках (рис. 5) різницю довжин шляхів розрахуємо за виразом

$$Z = \left[(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2 \right]^{1/2} - d. \quad (11)$$

Коефіцієнт K_{med} у (9) визначимо за виразом

$$K_{med} = \exp \left\{ -0,0005 \cdot [d_{ss} \cdot d_{sr} \cdot d / 2 \cdot Z]^{1/2} \right\} \quad \text{для } Z > 0, \quad (12)$$

$$K_{med} = 1 \quad \text{для } Z \leq 0. \quad (13)$$

Згасання на бар'єрі D_z у будь-якій октавній смузі частот не слід брати більшим 20 дБ у разі дифракції на одній кромці (тонкі бар'єри) і 25 дБ у разі дифракції на двох кромках (товсті бар'єри).

Згасання, які виникають у лісі та місті

Згасання A_{misc} у (2) виникає внаслідок різних додаткових ефектів при поширенні звуку і визначимо за виразом

$$A_{misc} = A_{fol} + A_{site} + A_{hous}, \quad (14)$$

де A_{fol} – згасання при поширенні звуку через листя дерев, наприклад, у лісі;

A_{hous} – згасання при поширенні звуку в житлових масивах.

Згасання при поширенні звуку через листя дерев

Листя дерев і кущів впливає на згасання у разі, коли вони щільні (не мають просвітів). Згасання може відбуватися поблизу джерела звуку або приймача, або в обох випадках (рис. 5). Траєкторія звуку може бути зображена прямими лініями на ділянках d_1 і d_2 , нахиленими до землі під кутом 15° .

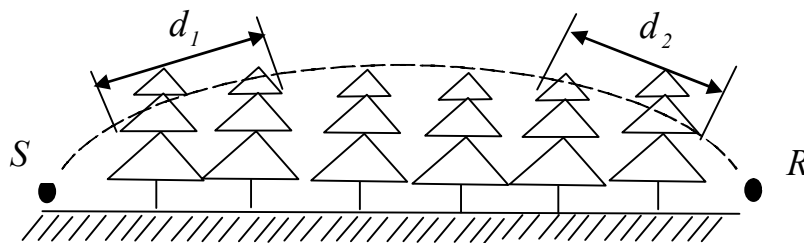


Рис. 5. Згасання при поширенні звуку через листя

Довжина траєкторії звуку через листя дорівнює $d_f = d_1 + d_2$. Згасання в листі визначимо з табличних даних [5] для різної довжини траєкторії звуку через листя для випадків від 10 до 20 м та від 20 до 200 м. Для траєкторій, довжина яких перевищує 200 м, візьмемо, що згасання дорівнює значенню при довжині 200 м.

Згасання в житлових масивах

Якщо звукомовна станція та об'єкт впливу або обоє вони знаходяться в житловому масиві, то виникає згасання через екранування будинками (рис. 5). Проте цей ефект може бути понижений за рахунок проходження звуку між будинками і відбиття його від інших будинків. Комбінаційний ефект екранування і відбиття звуку A_{hous} може бути розрахований для кожної ситуації за правилами розрахунку згасання через екранування і звуковідбиття.

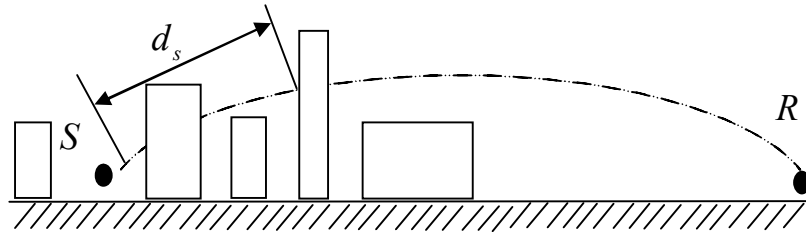


Рис. 6. Згасання при поширенні звуку через будівлі

Оскільки значення величини A_{hous} дуже залежить від ситуації, то правильність розрахунку слід перевіряти практичними вимірами. Тому корисніше, особливо у разі багатократних відбивань, що знижують точність розрахунків, виконати виміри на місці.

Приблизне згасання рівня звуку A_{hous} , яке не повинне перевищувати 10 дБ, може бути оцінене за виразом

$$A_{hous} = A_{hous1} + A_{hous2} \tag{15}$$

Середнє значення величини A_{hous1} може бути розраховане за виразом

$$A_{hous1} = 0,1Bd_b \tag{16}$$

де B – щільність забудови вздовж траєкторії поширення звуку, що дорівнює відношенню площі ділянок під будинками до загальної площі житлового масиву, включаючи площу ділянок під будинками;

d_b – довжина траєкторії звуку через провітри між будинками, визначена аналогічно до рис. 6.

Довжина траєкторії d_b може включати ділянку d_1 поблизу джерела звуку і d_2 поблизу приймача, як показано на рис. 6.

Якщо вздовж автомобільної або залізничної дороги, або іншого подібного коридора є щільна рядна забудова, то може бути враховане додаткове згасання A_{hous2} (за умови, що воно менше втрат, що вносяться будинками як екранами в тій же точці, якщо висоту екрана взяти такою, що дорівнює середній висоті будинків), що розрахуємо за виразом

$$A_{hous2} = 10 \lg [1 - (p/100)] \tag{17}$$

де p – відношення довжини фасадів будинків до довжини автомобільної або залізничної дороги вздовж них ($p \leq 90\%$).

Для житлових масивів величина A_{hous1} , розрахована за виразом (17), і згасання через вплив землі A_{gr} , розраховане за виразом (6), пов'язані таким чином. Нехай $A_{gr,b}$ – згасання через вплив землі в житловому масиві, а $A_{gr,0}$ – згасання через вплив землі за відсутності будинків, тобто розраховане за виразом (6). При поширенні звуку в житловому масиві в загальному випадку у виразі (2) візьмемо $A_{gr,b} = 0$. Проте якщо $A_{gr,0}$ перевищує A_{hous} , то згасанням A_{hous} знехтуємо, а у формулу (2) підставимо тільки $A_{gr,0}$.

Вищеописаний зв'язок має різне значення залежно від щільності забудови B , для забудови з низькою щільністю домінує згасання $A_{gr,b}$, з високою щільністю A_{hous} .

Таким чином, визначивши рівень звукового тиску з урахуванням природних та штучних факторів, можна знайти дальність розповсюдження звуку, скориставшись табличними даними [5].

Приклад. Проведемо розрахунок дальності дії звукомовної станції у міських умовах, якщо вона працює на повну потужність. Візьмемо середню висоту будівель 15 м. Щільність забудови B уздовж траєкторії поширення звуку дорівнює 0,2. Довжина траєкторії d_b звуку через провітри між будинками дорівнює 20 м.

За виразом (16) визначимо першу складову згасання при поширенні звуку в житлових масивах $A_{hous1} = 0,2$ дБ.

За виразом (17) визначимо другу складову згасання при поширенні звуку в житлових масивах $A_{hous2} = -6,2$ дБ.

За виразом (15) визначимо повне згасання при поширенні звуку в житлових масивах $A_{hous} = 6$ дБ.

За виразом (1) визначимо рівень еквівалентного звукового тиску $L_{fi}(DM) = 1 + 0,8 + 6 = 7,8$ (пВт, дБ) при $D_c = 0,8$.

Визначивши рівень еквівалентного звукового тиску, скориставшись табличними даними [5], знайдемо дальність чутності звуку $H_A = 2,2$ (км).

Отже, на відкритій місцевості станція має дальність чутності звуку $H_{max} = 6$ км, а з урахуванням дії перешкод у вигляді будинків цей показник становить 2,2 км. Таким чином, наведена математична модель дозволяє адекватно прогнозувати дальність чутності звукомовної станції з урахуванням характеру перешкод.

Висновки. Наведена в статті математична модель прогнозування дальності дії звукомовної станції дозволить її розрахунку оцінити можливості станції щодо ефективності ведення мовних передач з урахуванням метеорологічних умов та рельєфу місцевості. Це підвищать ефективність застосування звукомовної станції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шестаков В. І. / Сили і засоби психологічних операцій провідних країн світу : навч. посіб. / В. І. Шестаков, І. М. Орищук, В. П. Фриз. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – 208 с. з іл.
2. Прибутько П. С. Інформаційні впливи: роль у суспільстві та сучасних воєнних конфліктах / П. С. Прибутько, І. Б. Лук'янець. – К. : Паливода А. В., 2007. – 252 с.

3. Красненко Н. П. Приземное распространение звуковых волн в атмосфере / Н. П. Красненко // Сб. трудов XV сессии Российского акустического общества «Акустические измерения. Ультразвук и ультразвуковые технологии. Атмосферная акустика. Акустика океана». – М. : ГЕОС, 2004. – Т. 2. – С. 97–102.
4. Красненко Н. П. Дальнее звуковое вещание: проблемы, итоги, возможности / Н. П. Красненко // Сверхширокополосные сигналы в радиолокационных и акустических системах : консп. лекций. – Муром : Изд.-полиграф. центр МИВлГУ, 2006. – С. 96–115.
5. Шум. Расчетная модель [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.eco-c.ru>.

Подано 20.08.13

В. П. Фриз, И. А. Орищук

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ
ЗВУКОВЕЩАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ**

В статье приведена математическая модель прогнозирования дальности действия звуковещательной станции, которая учитывает метеорологические условия и рельеф местности.

V. P. Frees, I. A. Orischuk

**MATHEMATICAL MODEL OF PROGNOSTICATION OF DISTANCE OF ACTION
OF THE BROADCASTING STATION**

A mathematical model over of prognostication of distance of action of the sound broadcasting station is brought that takes into account meteorological terms and hypsography.