УДК 621.391

Ю.Г. Даник, д.т.н., проф.
Ю.В. Журавський, к.т.н., с.н.с.
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету

ЗАКОНИ РОЗПОДІЛУ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ КООРДИНАТ

У статті виведено закони розподілу потужності сигналу на вході приймача для трьох основних випадків умов невизначеності координат передавача та (або) приймача сигналу: наявність похибок визначення місцезнаходження; належність координат певній зоні; відсутність будь-якої інформації про розміщення засобів.

Постановка проблеми в загальному вигляді. У багатьох практичних випадках координати радіоелектронних засобів (РЕЗ) точно невідомі. Основними причинами такої невизначеності координат є неточність інформації про місцезнаходження (у тому числі внаслідок похибок пеленгування) або неможливість визначення положення РЕЗ через його мобільність. Останнім часом навіть спостерігається загострення даного питання внаслідок підвищення мобільності РЕЗ, збільшення їх кількості, застосування складних сигналів, що ускладнює пеленгування. У таких умовах потужність сигналу на вході приймача розрахувати точно неможливо, оскільки невизначеність координат трансформується в невизначеність відстані між передавачем і приймачем, а вона, в свою чергу, – у невизначеність самого значення потужності. Спрощений підхід до вирішення даного питання на основі заміни невизначених координат їх математичними сподіваннями може призводити до істотних прорахунків та прийняття хибних рішень. Використання ймовірнісного підходу дозволяє отримувати точні розв’язки, але для цього необхідно мати закони розподілу потужності сигналу на вході приймача в умовах невизначеності координат. Під законом розподілу розуміється будь-яке співвідношення, яке встановлює зв’язок між можливими значеннями випадкової величини та відповідними їм імовірностями [1]. Таким чином, отримання законів розподілу потужності сигналу на вході приймача в умовах невизначеності координат його та (або) передавача є важливим й актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання оцінювання в різних умовах потужності сигналу чи завади на вході приймача розглядаються в багатьох джерелах, наприклад [2–5], але наведені там підходи не стосуються умов невизначеності координат. Взагалі потужність сигналу на вході приймача в умовах невизначеності координат може прийняти будь-яке одне значення, наперед невідоме, що відповідає визначенню випадкової величини [6], проте статистична радіотехніка [7] випадки невизначеності координат РЕЗ не розглядає. Розв’язок задачі оцінювання ефективності радіозаглушення в умовах похибок визначення координат передавача [8] містить виведення закону розподілу потужності сигналу на вході приймача для вказаних умов. Проте решту можливих умов невизначеності координат, наприклад, додаткові похибки визначення координат приймача при цьому не досліджено. Закони розподілу потужності сигналу на вході приймача в інших можливих випадках умов невизначеності координат невідомі.

Постановка завдання. Мета. Отже однією з невирішених раніше частин загальної проблеми є отримання законів розподілу потужності сигналу на вході приймача в усіх основних випадках умов невизначеності координат (як приймача, так і передавача сигналу): наявність похибок визначення місцезнаходження; належність координат певній зоні; відсутність будь-якої інформації про розміщення РЕЗ. Відповідно метою статті є розвиток окремих напрацювань з виведення законів розподілу потужності сигналу та доповнення їх для охоплення всіх можливих випадків невизначеності координат РЕЗ. Нехай у декартовій системі координат розглядається РЕЗ ультракороткохвильового діапазону, який здійснює приймання сигналів на фоні білого (гауссівського) шуму при великому відношенні сигнал/шум. Антени передавача та приймача в азимутальній площині мають кругові діаграми спрямованості. Необхідно отримати закони розподілу потужності сигналу на вході приймача в зазначених вище умовах невизначеності координат.

Викладення основного матеріалу дослідження. Потужність сигналу на вході приймача P_c для відомих координат (без урахування впливу рельєфу місцевості та явищ розповсюдження радіохвиль [5]) обчислюється відомим чином [2]:

$$P_c = \frac{P_{nc} G_{nc} A_e}{4\pi R^2 \left(x_{nc}, y_{nc}; x_{np}, y_{np}\right)} = \frac{P_{nc} G_{nc} A_e}{4\pi R_c^2}, \tag{1}$$

де $P_{пс}$ – потужність передавача сигналу, Вт; $G_{пс}$ – коефіцієнт підсилення антени передавача сигналу; A_e – ефективна площа антени приймача сигналу, м^2; $(x_{пс}, y_{пс})$, $(x_{пр}, y_{пр})$ – координати передавача та приймача сигналу, м; $R(.)$ – відстань між двома точками, м.

Аналіз виразу (1) показує, що обчислити значення P_c за невизначеності координат передавача чи приймача безпосередньо неможливо.

Розглянемо спочатку найпростіші умови невизначеності координат, коли мають місце похибки визначення розміщення лише приймача. Тоді його місцезнаходження (для однакових та незалежних між собою похибок за кожною з двох координат) можна описати нормальним законом розподілу [6]:

$$f_{пр}(x_{пр}, y_{пр}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{пр}^2} \exp\left\{-\frac{(x_{пр} - m_{x_{пр}})^2 + (y_{пр} - m_{y_{пр}})^2}{2\sigma_{пр}^2}\right\}, \tag{2}$$

де $m_{x_{пр}}$, $m_{y_{пр}}$ – математичні сподівання координат приймача, м; $\sigma_{пр}$ – середньоквадратичне відхилення координат приймача відносно $(m_{x_{пр}}, m_{y_{пр}})$, м.

Потужність сигналу на вході приймача в таких умовах є залежністю від його координат, тобто $P_c = \varphi(x_{пр}, y_{пр})$. Для отримання функції розподілу $F(p_c)$ скористаємось відомим підходом [6], який полягає у введенні площини, паралельної xOy та розміщеної на відстані p_c від неї. Дана площина пересіче поверхню $P_c = \varphi(x_{пр}, y_{пр})$ по деякій кривій. Проекція цієї кривої описується рівнянням $\varphi(x_{пр}, y_{пр}) = p_c$ і поділяє площину xOy на дві області. Ту з них, де $\varphi(x_{пр}, y_{пр}) > p_c$, позначимо як D. Щоб виконувалась нерівність $p_c < P_c$, координати приймача повинні належати області D, тобто [6]:

$$F(p_c) = P(p_c < P_c) = P(\varphi(x_{пр}, y_{пр}) \in D) = \iint_{(D)} f_{пр}(x_{пр}, y_{пр})\, dx_{пр} dy_{пр}. \tag{3}$$

Виразу (3) величина P_c належить не явно, а через межі інтегрування. Для розв'язання (3) пропонується область D описати одиничною функцією $1[\cdot]$, у результаті чого отримаємо:

$$F(p_c) = \int_0^\infty\int_0^\infty f_{пр}(x_{пр}, y_{пр}) D(x_{пр}, y_{пр})\, dx_{пр} dy_{пр} = \int_0^\infty\int_0^\infty f_{пр}(x_{пр}, y_{пр})\, 1[p_c - \varphi(x_{пр}, y_{пр})]\, dx_{пр} dy_{пр}. \tag{4}$$

Підставляючи (1) і (2) в (4), матимемо:

$$F(p_c) = \int_0^\infty\int_0^\infty \frac{1}{2\pi\sigma_{пр}^2} \exp\left\{-\frac{(x_{пр} - m_{x_{пр}})^2 + (y_{пр} - m_{y_{пр}})^2}{2\sigma_{пр}^2}\right\} 1\left[P_c - \frac{P_{пс} G_{пс} A_e}{4\pi R^2(x_{пс}, y_{пс}; x_{пр}, y_{пр})}\right] dx_{пр} dy_{пр}. \tag{5}$$

Тоді густина ймовірності потужності сигналу на вході приймача $f(p_c)$ знаходиться шляхом диференціювання (5) за P_c [9]:

$$f(p_c) = \frac{d}{dP_c}\left(\int_0^\infty\int_0^\infty \frac{1}{2\pi\sigma_{пр}^2} \exp\left\{-\frac{(x_{пр} - m_{x_{пр}})^2 + (y_{пр} - m_{y_{пр}})^2}{2\sigma_{пр}^2}\right\} 1\left[P_c - \frac{P_{пс} G_{пс} A_e}{4\pi R^2(x_{пс}, y_{пс}; x_{пр}, y_{пр})}\right] dx_{пр} dy_{пр}\right). \tag{6}$$

Вирази (5) і (6) дозволяють для конкретного значення P_c обчислити величину функції розподілу та густини ймовірності потужності сигналу на вході приймача. Проте безпосереднє інтегрування (5) неможливе, що не дозволяє отримати простий аналітичний вигляд $F(p_c)$ для подальшого диференціювання (6).

Для виходу з даної ситуації пропонується підхід, який ґрунтується на тому, що, з урахуванням рівності похибок за обома координатами, закон розподілу відстані між передавачем та приймачем R_c також можна вважати нормальним, тобто:

$$f_R(R_c) = \frac{1}{\sigma_{пр}\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(R_c - m_{R_c})^2}{2\sigma_{пр}^2}\right\}, \tag{7}$$

де $m_{R_c} = R(m_{x_{пр}}, m_{y_{пр}}; x_{пс}, y_{пс})$, м.

Густину ймовірності потужності сигналу на вході приймача $f(p_c)$ вже для одного випадкового аргументу, яким є R_c, можна отримати за такою формулою [6]:

$$f(P_c) = f_R(R_c(P_c))\left|R'_c(P_c)\right|, \tag{8}$$

де $R_c(P_c)$ – функція, обернена до $P_c(R_c)$.

Залежність $R_c(P_c)$ відповідно до (1) можна описати таким чином:

$$R_c(P_c) = \sqrt{\frac{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} A_e}{4\pi P_c}}\ . \tag{9}$$

Модуль похідної оберненої функції $\left|R'_c(P_c)\right|$ визначається так:

$$\left|R'_c(P_c)\right| = \left|\left(\sqrt{\frac{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} A_e}{4\pi P_c}}\right)'\right| = P_c^{-1,5}\ \frac{\sqrt{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} A_e}}{4\sqrt{\pi}}\ . \tag{10}$$

Підставляючи (7), (9), (10) у (8), отримаємо вираз для густини ймовірності потужності сигналу на вході приймача в умовах похибок визначення його координат [8]:

$$f(P_c) = P_c^{-1,5}\ \frac{\sqrt{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} A_e}}{4\sqrt{2\pi}\sigma_{\text{пр}}} \exp\left\{-\left(\sqrt{\frac{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} A_e}{4\pi P_c}} - R(m_{x_{\text{пр}}}, m_{y_{\text{пр}}}; x_{\text{пс}}, y_{\text{пс}})\right)^2 \Big/ 2\sigma^2_{\text{пр}}\right\}. \tag{11}$$

Достовірність отриманого закону розподілу (11) забезпечується оберненістю до P_c його одиниці вимірювання (Вт$^{-1}$) та виконанням умови щодо площі за функцією $f(P_c)$ [6]:

$$\int_0^\infty f(P_c)\,dP_c = 1\,. \tag{12}$$

Як бачимо, запропонований підхід, завдяки переходу від інтегрування за двома (x, y) змінними до лише однієї P_c, дозволяє отримати закон розподілу в простому аналітичному вигляді. За результатами моделювання принципово різні вирази (6) та (11) розраховують однакові значення, що доводить їх правильність.

Для випадку, коли мають місце похибки визначення координат і приймача, і передавача, ці похибки можна вважати незалежними. Тоді загальна похибка σ_Σ визначення відстані R_c знаходиться так [6]:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sigma^2_{\text{пс}} + \sigma^2_{\text{пр}}}\ . \tag{13}$$

З урахуванням (13) аналогічним чином (7)–(11) знайдемо закон розподілу потужності сигналу на вході приймача в умовах похибок визначення координат і передавача, і приймача:

$$f(P_c) = P_c^{-1,5}\ \frac{\sqrt{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} A_e}}{4\pi\sqrt{2(\sigma^2_{\text{пс}} + \sigma^2_{\text{пр}})}} \exp\left\{-\left(\sqrt{\frac{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} A_e}{4\pi P_c}} - R(m_{x_{\text{пс}}}, m_{y_{\text{пс}}}; m_{x_{\text{пр}}}, m_{y_{\text{пр}}})\right)^2 \Big/ 2(\sigma^2_{\text{пс}} + \sigma^2_{\text{пр}})\right\}, \tag{14}$$

де $m_{x_{\text{пс}}}$ $m_{y_{\text{пс}}}$ – математичні сподівання координат передавача, м.

Розглянемо інші умови невизначеності координат, коли вони належать певній заданій зоні. Для точно відомого розміщення передавача та знаходження приймача в зоні $Z_{\text{пр}}(x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}})$ функцію розподілу потужності сигналу на вході приймача слід виводити аналогічно до (3)–(5). У результаті чого з урахуванням рівномірності $f_{\text{пр}}(x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}})$ у зоні $Z_{\text{пр}}(x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}})$ при описі останньою одиничною функцією матимемо:

$$F_c(P_c) = \left(\int_0^\infty\!\!\int_0^\infty \left(P_c - \frac{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} A_e}{4\pi R^2(x_{\text{пс}}, y_{\text{пс}}; x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}})}\right) Z_{\text{пр}}(x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}})\,dx_{\text{пр}}dy_{\text{пр}}\right) \cdot \left(\int_0^\infty\!\!\int_0^\infty Z_{\text{пр}}(x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}})\,dx_{\text{пр}}dy_{\text{пр}}\right)^{-1}; \tag{15}$$

$$f_c(P_c) = \left(\int_0^\infty\!\!\int_0^\infty Z_{\text{пр}}(x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}})\,dx_{\text{пр}}dy_{\text{пр}}\right)^{-1} \cdot \frac{d}{dP_c}\left(\int_0^\infty\!\!\int_0^\infty \left(P_c - \frac{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} A_e}{4\pi R^2(x_{\text{пс}}, y_{\text{пс}}; x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}})}\right) Z_{\text{пр}}(x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}})\,dx_{\text{пр}}dy_{\text{пр}}\right). \tag{16}$$

Вирази (15) та (16) є загальною формою закону розподілу потужності сигналу для знаходження приймача в заданій зоні. Конкретний вигляд функцій (15) і (16) залежить від форми та розміщення цієї зони.

Коли координати передавача також невідомі, функції (15) та (16) залежатимуть від цих координат, тобто мають записуватись як $F_c(P_c, x_{nc}, y_{nc})$ і $f_c(P_c, x_{nc}, y_{nc})$. При розміщенні й передавача у певній зоні $Z_{nc}(x_{nc}, y_{nc})$ з урахуванням рівномірності розподілу його координат в ній функцію розподілу можна отримати шляхом усереднення $F_c(P_c, x_{nc}, y_{nc})$ за $Z_{nc}(x_{nc}, y_{nc})$ [9]:

$$F_c(P_c) = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty} \left(\frac{\displaystyle\int_0^{\infty}\int_0^{\infty} \left(P_c - \frac{P_{nc} G_{nc} A_e}{4\pi R^2(x_{nc}, y_{nc}; x_{np}, y_{np})} \right) Z_{np}(x_{np}, y_{np})\, dx_{np} dy_{np}}{\displaystyle\int_0^{\infty}\int_0^{\infty} Z_{np}(x_{np}, y_{np})\, dx_{np} dy_{np}} \right) Z_{nc}(x_{nc}, y_{nc})\, dx_{nc} dy_{nc} . \tag{17}$$

Густину ймовірності для умов знаходження передавача та приймача в заданих різних зонах можна отримати шляхом диференціювання (17) за P_c [6].

Розглянемо найбільш складні умови невизначеності координат, коли відсутня будь-яка інформація про розміщення РЕЗ. Аналіз таких умов показав, що все одно координати приймача мають належати зоні радіозв’язку з передавачем, тобто невизначеність не є абсолютною, бо має певні просторові обмеження. Для отримання функції розподілу $F(P_c)$ за невизначеності координат приймача скористаємось підходом, аналогічним до (3)–(5). У зазначених умовах густину ймовірності координат приймача можна описати так:

$$f_{np}(x_{np}, y_{np}) = \frac{1}{\pi R_{зв}^2} 1\left[R_{зв} - \sqrt{(x_{np} - x_{nc})^2 + (y_{np} - y_{nc})^2} \right], \tag{18}$$

де $R_{зв}$ – радіус зони радіозв’язку, м.

Значення $R_{зв}$ знаходиться через чутливість приймача P_o відомим чином [1]:

$$R_{зв} = \sqrt{\frac{P_{nc} G_{nc} A_e}{4\pi P_o}} . \tag{19}$$

За даних умов область D є такою самою, як і в (4), у результаті чого матимемо:

$$F(P_c) = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty} \frac{4P_o}{P_{nc} G_{nc} A_e} 1\left[\sqrt{\frac{P_{nc} G_{nc} A_e}{4\pi P_o}} - \sqrt{(x_{np} - x_{nc})^2 + (y_{np} - y_{nc})^2} \right] 1\left[P_c - \frac{P_{nc} G_{nc} A_e}{4\pi R^2(x_{nc}, y_{nc}; x_{np}, y_{np})} \right] dx_{np} dy_{np} . \tag{20}$$

Густина ймовірності потужності сигналу на вході приймача знаходиться диференціюванням (20) за P_c [6]. Аналіз виразу (20) показує, що його безпосереднє інтегрування, а тим більш подальше диференціювання неможливі.

Для отримання простого аналітичного опису закону розподілу потужності сигналу на вході приймача в умовах невизначеності координат останнього пропонується піти дещо іншим шляхом. Взагалі функція розподілу $F(P_c)$ дорівнює ймовірності того, що значення p_c менше за аргумент P_c [6]. З урахуванням необхідності перевищення p_c над чутливістю P_o матимемо:

$$F(P_c) = P(p_c < P_c) , \quad p_c \geq P_o . \tag{21}$$

Аналіз умови $P_o \leq p_c < P_c$, отриманої з (21), показує, що вона виконується в зоні, яка має форму кільця із зовнішнім радіусом, що дорівнює радіусу зони радіозв’язку, – $R_{зв}$ (19) та внутрішнім радіусом – R_c (9). Площа S зони, у якій виконується умова $P_o \leq p_c < P_c$, обчислюється через $R_{зв}$ і R_c:

$$S = \pi R_{зв}^2 - \pi R_c^2 = \frac{P_{nc} G_{nc} A_e (P_c - P_o)}{4 P_o P_c} . \tag{22}$$

Для рівномірного розподілу координат приймача в зоні радіозв’язку ймовірність P_s його знаходження на ділянці площею S (22) дорівнює відношенню S до площі зони радіозв’язку:

$$P_s = \frac{S}{\pi R_{зв}^2} = \left(\frac{P_{nc} G_{nc} A_e (P_c - P_o)}{4 P_o P_c} \right) \Big/ \left(\frac{\pi P_{nc} G_{nc} A_e}{4\pi P_o} \right) = 1 - \frac{P_o}{P_c} . \tag{23}$$

Аналіз виразів (21) і (23) показує, що значення P_s і є ймовірністю того, що потужність сигналу на вході приймача є меншою за P_c. Отже з урахуванням вимоги $p_c \geq P_o$ отримаємо такий вираз для $F(P_c)$:

$$F(P_c) = 1[P_c - P_o]\left(1 - \frac{P_o}{P_c}\right). \tag{24}$$

Для отримання густини розподілу $f(P_c)$ обчислимо похідну $F(P_c)$ за аргументом P_c:

$$f(P_c) = \frac{dF(P_c)}{dP_c} = 1[P_c - P_o]\frac{P_o}{P_c^2}. \tag{25}$$

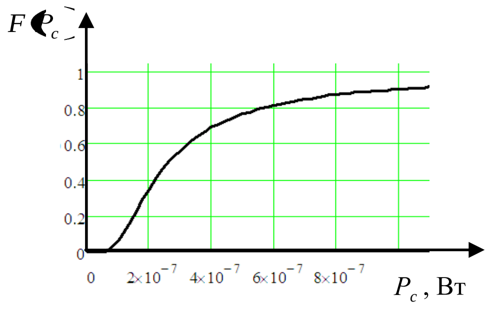
Аналіз (24) і (25) показує, що, окрім аргументу P_c, функції $F(P_c)$ і $f(P_c)$ залежать лише від чутливості приймача. Достовірність отриманих залежностей (24) і (25) також підтверджується розмірністю $f(P_c)$, оберненою до P_c та виконанням для будь-яких значень P_o умови, яка висувається до густини ймовірності (12). За результатами моделювання принципово різні вирази (20) та (24) розраховують однакові значення, що також доводить їх правильність.

З виразу (25) видно, що даний закон інваріантний до координат передавача сигналу, оскільки він їх не містить. Із залежності (25) також можна отримати значення математичного сподівання потужності сигналу m_{Pc} на вході приймача сигналу, координати якого невідомі (рівномірно розподілені в зоні радіозв'язку). Величина m_{Pc} розраховується з урахуванням обмеження P_c зверху значенням P_{nc} таким чином [6]:

$$m_{Pc} = \int_{-\infty}^{\infty} P_c\, f(P_c)\, dP_c = \int_{-\infty}^{\infty} P_c\, 1[P_c - P_o]\frac{P_o}{P_c^2}\, dP_c = \int_{P_o}^{P_{nc}} P_c \frac{P_o}{P_c^2}\, dP_c = P_o\left(\ln(P_{nc}) - \ln(P_o)\right). \tag{26}$$

Для врахування впливу рельєфу та явищ розповсюдження радіохвиль в отриманих законах розподілу потужності сигналу на вході приймача необхідно у відповідних виразах множити потужність передавача сигналу на квадрат коефіцієнта послаблення V^2 [5]. Даний коефіцієнт залежить від координат і передавача, і приймача, тобто його слід описати як $V^2(x_{nc}, y_{nc}; x_{np}, y_{np})$. Як видно, в умовах невизначеності координат врахувати $V^2(x_{nc}, y_{nc}; x_{np}, y_{np})$ можна тільки в тих варіаціях законів розподілу, які містять інтегрування за двома координатами (x, y), тобто в (5), (6), (15)–(17), (20).

Розглянемо приклади отриманих законів. При розрахунках використаємо такі вихідні дані: $P_{nc} = 100$ Вт; $G_{nc} = 5$; $A_e = 1$ м^2; $x_{nc} = 20$ км; $y_{nc} = 20$ км. Для вказаних вихідних даних закон розподілу потужності сигналу на вході приймача в умовах похибок визначення його координат (11) для $\sigma_{np} = 3$ км, $m_{x_{np}} = 25$ км, $m_{y_{np}} = 10$ км має вигляд, зображений на рисунку 1.



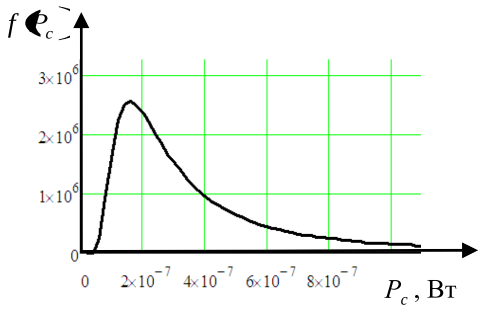


Рис. 1. Закон розподілу P_c в умовах похибок визначення координат приймача

Аналіз рисунка 1 показує, що отриманий закон розподілу є несиметричним, не зважаючи на симетричність $f_R(R_c)$ (7). Для обраних вихідних даних мода [6] дорівнює 1,5·10^{-7} Вт, хоча математичне сподівання P_c є дещо більшим (3,1·10^{-7} Вт) внаслідок несиметричності $f(P_c)$.

На рисунку 2 зображено закон розподілу P_c (15), (16) для умов належності координат приймача прямокутній зоні з такими межами: 20 $< x_{np} < 30$; $5 < y_{np} < 15$ км.

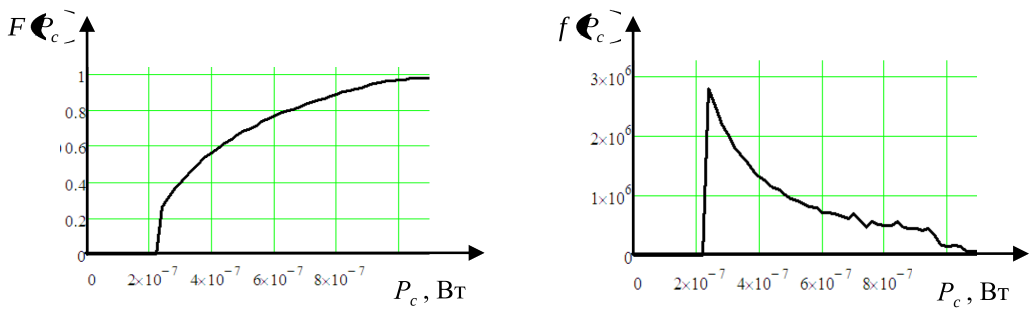


Рис. 2. Закон розподілу P_c *для знаходження приймача в прямокутній зоні*

Як видно з рисунка 2, зростання функції $F(P_c)$ на ділянках, розмежованих значенням потужності 2,5·10^{-7} Вт, відбувається з істотно різними швидкостями, що зумовлено положенням зони $Z_{пр}(x_{пр}, y_{пр})$ відносно точки $(x_{пс}, y_{пс})$. Невеликі флуктуації $f(P_c)$ пов'язані з тим, що даний графік будувався за допомогою числових методів, оскільки простого аналітичного вигляду густина ймовірності в даних умовах не має (16).

На рисунку 3 зображено закон розподілу потужності сигналу на вході приймача за відсутності будь-якої інформації про координати РЕЗ (24), (25). При цьому чутливість приймача задано на рівні 10^{-7} Вт, що відповідає радіусу зони радіозв'язку (19) $R_{зв} = 20$ км.

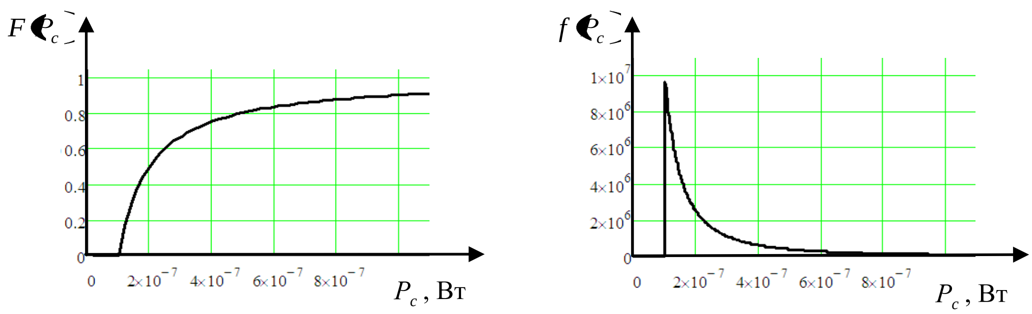


Рис. 3. Закон розподілу P_c *за відсутності інформації про положення РЕЗ*

Аналіз рисунка 3 показує, що залежність $f(P_c)$ в області $P_c > P_o$ має нелінійний монотонний характер і спадає від свого максимального значення (P_o^{-1}), яке досягається при $P_c = P_o$. Така властивість функції $f(P_c)$ означає, що суттєве перевищення потужності сигналу на вході приймача над його чутливістю є малоймовірним, оскільки для цього він має знаходитись досить близько до передавача (відносно $R_{зв}$). Таким чином, отримана залежність для $f(P_c)$ не суперечить фізичній сутності процесів, які розглядаються.

Висновок. У результаті проведених досліджень отримано закони розподілу потужності сигналу на вході приймача в таких умовах: наявність похибок визначення координат передавача та (або) приймача (5), (6), (11); належність координат передавача та (або) приймача до певної зони (15)–(17); відсутність будь-якої інформації про розміщення РЕЗ (20), (24), (25). Оцінено математичне сподівання потужності сигналу на вході приймача в умовах невизначеності його координат (26). Обґрунтовано порядок врахування впливу рельєфу місцевості та явищ розповсюдження радіохвиль при отриманні даних законів. Достовірність виведених законів розподілу забезпечується: відповідністю одиниці вимірювання густини ймовірності P_c (обернена до потужності); рівністю площі під залежністю густини ймовірності одиниці (12); збігом залежностей, отриманих різними шляхами – (6) і (11), (20) та (24). Одержані результати доведені до рівня, який дозволяє використовувати їх практично.

Перспективами подальших досліджень у даному напрямку є виведення законів розподілу потужності сигналу в змішаних умовах невизначеності координат, коли, наприклад, передавач розміщено в заданій зоні, а приймач пеленгується з певними похибками.

Список використаної літератури:

1. *Підченко Ю.П.* Вища математика / *Ю.П. Підченко, С.М. Пастушенко*. – К. : Діал, 2008. – 392 с.
2. *Харкевич А.А.* Основы радиотехники / *А.А. Харкевич*. – М. : Физмат, 2009. – 512 с.
3. *Перунов Ю.М.* Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления / *Ю.М. Перунов, Л.М. Юдин.* – М. : Радиотехника, 2010. – 419 с.
4. *Мандзій Б.А.* Основи теорії сигналів / *Б.А. Мандзій, Р.І. Желяк*. – Львів : Вид. дім "Ініціатива", 2008. – 240 с.
5. Системы подвижной радиосвязи / пер. с польск. ; под ред. *А.И. Ледовского*. – М. : Телеком, 2010. – 536 с.
6. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения / *Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров*. – 3-е изд. стер. – М. : Высшая школа, 2008. – 480 с.
7. Статистическая радиотехника: теория и практика / под ред. *В.И. Гурмана.* – М. : Радиотехника, 2011. – 436 с.
8. *Журавський Ю.В.* Оцінювання ефективності радіоподавлення в умовах похибок визначення координат передавача сигналу / *Ю.В. Журавський* // зб. наук. пр. Академії Сухопутних Військ. – Львів : АСВ, 2012. – № 7 (2). – С. 63–68.
9. Довідник з вищої математики. Ч. 2 / за ред. *Є.І. Орлюка*. – Житомир : ЖВІНАУ, 2011. – 316 с.

ДАНИК Юрій Григорович – доктор технічних наук, професор, начальник Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– кібернетична безпека;

– завадозахищеність складних радіотехнічних систем.

ЖУРАВСЬКИЙ Юрій Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– радіоелектронна боротьба в умовах невизначеності.

Стаття надійшла до редакції 17.10.2012