

При такій смузі вхідний фронт сигналу з тривалістю часу 40 с передається без спотворень.

Для унеможливлення зовнішньої взаємної кореляції між коливаннями кварцових генераторів конструкція пристрою передбачає розташування кварцових резонаторів у взаємно перпендикулярних площинах, а провідники модулів генераторів (зокрема загальний і провідник живлення) з'єднуються з провідниками модулів фазового детектора і фільтрів через алюмінієві пластини. Всі катушки індуктивності розміщено з умови мінімального зв'язку між ними.

Висновки. Запропонований пристрій практично використовувався як астрономічний приймач сигналів неелектромагнітного походження. Зокрема, ним фіксувався час дійсного сходу Сонця, який на 8 хвилин випереджає появу видимого зображення [6]. Моменти флуктуаційного розподілу змінювались не тільки від зовнішньої дії на кварцовий резонатор, але і на інші елементи схеми, що буде предметом подальших досліджень.

1. Мелень М.В., Когут В.М., Павлов Б.О. Дослідження діапазонних властивостей і схематична модернізація системи АПЧ надвисокочастотного генератора // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Радіоелектроніка та телекомунікації". – Вип. № 618. – Львів, 2008. – С. 63 – 70. 2. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова и др.; Под ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь. – 1990. – 496 с. 3. Постоянные конденсаторы: Справочный листок // Радио. – 1991. – № 7. – С. 71 – 74. 4. Частотомер электронносчётный ЧЗ-36. // Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 1978. – 104 с. 5. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки частоты. Изд. 2-е, доп. – М., Связь, 1972. – 447 с. 6. Лаврентьев М.М., Гусев Е.А., Еганова И.А. и др. О регистрации истинного положения Солнца // Доклады Академии наук СССР: Физика. – 1991. – Т. 315. – № 2. – С. 368 – 370.

УДК 621.396.96

Д.О. Мимріков

Національний університет "Львівська політехніка"

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАЛЬНОСТІ ДІЇ ТА ЧАСУ ОГЛЯДУ АКТИВНИХ І ПАСИВНИХ ЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

© Мимріков Д.О., 2010

Подано числові розрахунки та графічні залежності для максимальної віддалі дії та часу огляду активних і пасивних систем локації.

In the paper numerical calculations and graphical dependences of maximal distance and revisit time for active and passive location are presented.

Вступ. Перспективи використання активно-пасивних систем виявлення об'єктів та дослідження сцен [1], які дають змогу отримувати кутові координати, віддаль і швидкість об'єктів та характеризуються підвищенням потаємності, вимагають детального дослідження їх параметрів. Для будь-якої локаційної системи одними з важливих параметрів є максимальна віддаль дії виявлення об'єктів і час огляду заданого сектора.

Аналіз максимальної віддалі дії системи. Відомо, що максимальна віддаль дії системи активної радіолокації – це така віддаль, за якої забезпечується виявлення і визначення параметрів

об'єкта (відстань до об'єкта та його координати) із заданою точністю. Отже, максимальна віддаль дії R_{\max} визначається мінімальною потужністю сигналу $P_{np\min}$ на вході приймача, при якому забезпечується необхідна якість виявлення (вимірювання параметрів) сигналу [2]:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_n \cdot G_a \cdot S_a \cdot S_{ef} \cdot k_n \cdot k_{np}}{(4 \cdot p)^2 \cdot P_{np\min}}} \cdot 10^{-0,05 \cdot a \cdot R_{\max}}, \quad (1)$$

де P_n – потужність передавача; G_a – коефіцієнт підсилення передавальної антени; S_a – ефективна площа приймальної антени; S_{ef} – ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) об'єктом; k_n , k_{np} – коефіцієнти втрат у передавальному і приймальному трактах відповідно; a – коефіцієнт загасання в атмосфері (в одному напрямі) [дБ/км].

Якщо для передавання і приймання використовується одна і та сама антена, виконуються співвідношення $k_{emp} = k_n = k_{np}$ і $S_a = \frac{G_a \cdot I^2}{4p}$, де I – довжина хвилі. Тоді максимальна віддаль дії визначається:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_n \cdot G_a^2 \cdot S_{ef} \cdot k_{emp}^2 \cdot I^2}{(4 \cdot p)^3 \cdot P_{np\min}}} \cdot 10^{-0,05 \cdot a \cdot R_{\max}}. \quad (2)$$

Для надійного виявлення мінімальна потужність прийнятого сигналу повинна перевищувати рівень шуму на величину $q_{c/u}$

$$P_{np\min} = k \cdot T_0 \cdot \Delta f \cdot F_n \cdot q_{c/u}, \quad (3)$$

де $q_{c/u}$ – відношення сигнал/шум; k – стала Больцмана; T_0 – опорна робоча температура; Δf – ширина смуги пропускання приймача; F_n – коефіцієнт шуму приймача.

Враховуючи (3) і кількість прийнятих імпульсів n , які додаються з ефективністю $E(n)$ [2], максимальна віддаль дії визначається як:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_n \cdot G_a^2 \cdot S_{ef} \cdot k_{emp}^2 \cdot I^2 \cdot n \cdot E(n)}{(4 \cdot p)^3 \cdot k \cdot T_0 \cdot \Delta f \cdot F_n \cdot q_{c/u}}} \cdot 10^{-0,05 \cdot a \cdot R_{\max}} \quad (4)$$

Отже, максимальна віддаль дії активного радіолокаційного каналу залежить від параметрів приймача-передавача, а саме: потужності передавача і порогової чутливості приймача, спрямованості антени, ефективної поверхні розсіювання об'єктом, параметрів середовища поширення хвиль.

Для розрахунку максимальної віддалі дії радіолокаційного каналу прийнято такі значення параметрів: робоча довжина хвилі $I = 3$ мм; потужність передавача в імпульсі $P_i = 10$ Вт; кількість прийнятих імпульсів $n = 20$; частота повторення імпульсів $f_{повт} = 20$ кГц; опорна робоча температура $T_0 = 290$ К; смуга пропускання приймача $\Delta f = 20$ МГц; коефіцієнт шуму приймача $F_n = 3$; відношення сигнал/шум $q_{c/u} = 15$ дБ; ЕПР об'єкта $S_{ef} = 10$ м² (відповідає площі вантажного автомобіля); коефіцієнт корисної дії антенно-фідерного тракту $k = 0,9$.

Залежність максимальної віддалі дії від коефіцієнта загасання в атмосфері a для дзеркальної параболоїдної антени з діаметром апертури $d_{a1} = 1$ м – суцільна крива і $d_{a2} = 0,6$ м – переривчаста крива подано на рис. 1.

Коефіцієнт загасання радіохвиль в атмосфері враховує стан погоди, а саме: $a \leq 0,1$ дБ/км, $a = 0,4$ дБ/км – відповідно зимові і літні сприятливі погодні умови; $a = 0,8$ дБ/км – погода з туманом (видимість ~ 200 м); $a = 3$ дБ/км – дощ середньої інтенсивності.

У випадку пасивної локації віддаль дії системи визначається формулою [1]:

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta T_0 \cdot S_0 \cdot G_a}{(4 \cdot p) \cdot q_m \cdot \Delta T_{np \min}}} \cdot 10^{-0,05 \cdot a \cdot R_{\max}} \quad (5)$$

де ΔT_0 – величина радіотеплового контрасту об'єкта, яка залежить від матеріалу об'єкта, його площі, підстильної поверхні та погодних умов; S_0 – площа об'єкта; G_a – коефіцієнт підсилення антени; q_m – коефіцієнт розрізнення, який враховує перевищення сигналу від об'єкта на вході приймача над чутливістю пасивної локаційної системи; $\Delta T_{np \min}$ – порогова чутливість приймача; a – коефіцієнт загасання в атмосфері (в одному напрямі) у заданій смузі частот [дБ/км].

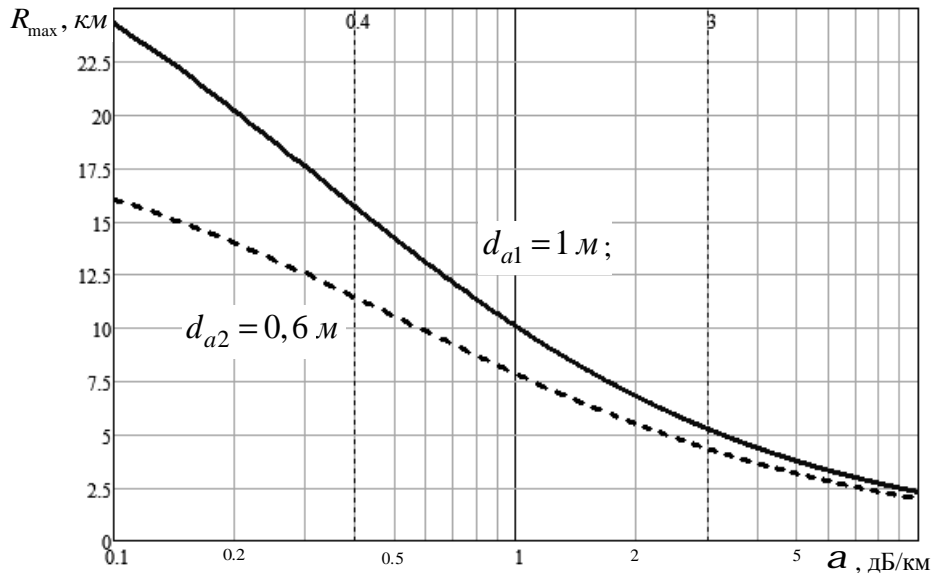


Рис. 1. Залежність максимальної віддалі дії активної радіолокації від коефіцієнта загасань в атмосфері

Для надійного виявлення об'єкта необхідно, щоби потужність сигналу на вході антени значно перевищувала величину порогової чутливості приймача. Коефіцієнт розрізнення вибирається із умови заданої ймовірності виявлення і визначається як $q_m = \sqrt{q_{c/ш}}$, де $q_{c/ш}$ – відношення сигнал/шум.

Як видно, максимальна віддаль дії пасивного локаційного каналу залежить від чутливості приймача, коефіцієнта підсилення приймальної антени, властивостей об'єкта (його площі та радіотеплового контрасту). Також на максимальну віддаль дії як в активному, так і в пасивному каналах локації має вплив загасання радіохвиль в атмосфері, особливо у разі великих інтенсивностей дощу.

Згідно з (5) виконано розрахунки з такими значеннями параметрів пасивної локації: робоча довжина хвилі $\lambda = 3$ мм; флуктуаційна чутливість приймача $\Delta T_{np \min} = 0,1$ °К; коефіцієнт розрізнення вибрано $q_m = 5$; об'єкт – вантажний автомобіль з розмірами $S = 2,5 \times 6$ м² з радіотепловим контрастом $\Delta T_0 = 50$ °К. Як і у випадку активної локації, розрахунки максимальної віддалі дії залежно від коефіцієнта загасання в атмосфері (рис. 2) виконано для дзеркальної параболоїдної антени з діаметром апертури $d_{a1} = 1$ м – суцільна крива і $d_{a2} = 0,6$ м – переривчаста крива.

Як видно з рис. 1 і 2, на величину максимальної віддалі дії локації істотно впливає загасання в атмосфері.

У пасивних системах локації максимальна віддаль дії обмежена параметрами приймача, антени та об'єкта. У активних системах локації велику роль, крім того, відіграє потужність передавача, вид та параметри зондувального сигналу. Саме останні будуть істотно визначати віддаль дії, точність вимірювання координат і швидкості об'єктів, роздільну здатність системи [4].

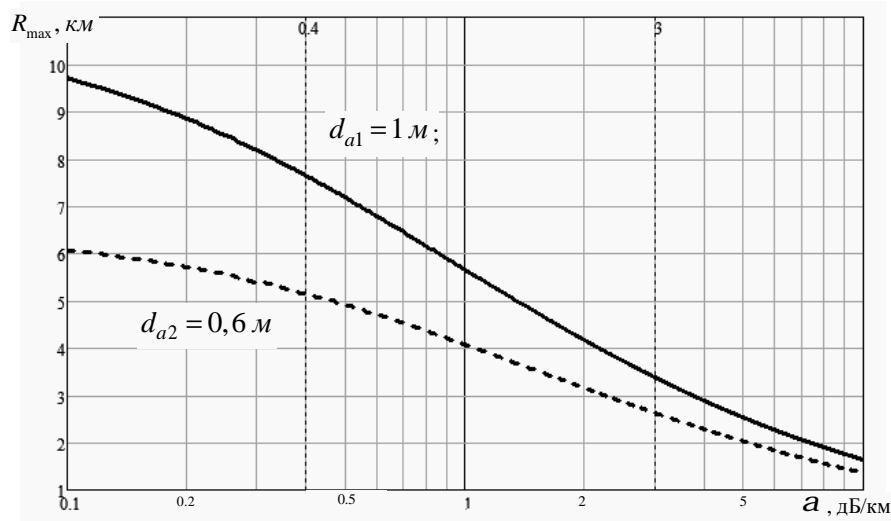


Рис. 2. Залежність максимальної віддалі дії пасивної локації від коефіцієнта загасань в атмосфері

Оцінка часу огляду. Часом огляду $t_{озл}$ (пошуку) системи називається час, необхідний для одноразового огляду заданої зони дії. Цей час пов'язаний з динамічною взаємодією РЛС і цілі (об'єктів), обсягом простору огляду, рівнем сигналу й перешкод, а також тактичними і технічними характеристиками системи.

Розрізняють одночасний, послідовний і змішаний огляди [3]. При одночасному огляді необхідна сукупність променів РЛС, які перекривають зону огляду, що зумовлює велику складність апаратури. Послідовний огляд відбувається за допомогою одного променя, що спрощує конструкцію РЛС. При змішаному огляді РЛС має декілька променів, причому зазвичай огляд по одній кутовій координаті відбувається одночасно, а по іншій – послідовно.

Для активної локації, враховуючи $t_{np} = \frac{n}{f_{новт}}$ і (4), час огляду сцени у тілесному куті $\Omega_{сцени}$ виражається [2]:

$$t_{сцени} = \Omega_{сцени} \cdot \frac{R^4 \cdot (4 \cdot p)^2 \cdot k \cdot T_0 \cdot \Delta f \cdot F_n \cdot q_{c/ш}}{P_n \cdot G_a \cdot s_{эф} \cdot I^2 \cdot E(n) \cdot f_{новт} \cdot k_{втр}^2} \cdot 10^{0,2 \cdot \alpha \cdot R_{max}}. \quad (6)$$

На підставі формули (6) побудовані залежності часу огляду в секторі $\Omega_{сцени} = 30^\circ \times 30^\circ$ від відстані до об'єкта і подані на рис.3. Всі вихідні значення параметрів для розрахунку збігаються з даними для максимальної віддалі.

Час огляду пасивних систем залежить від часу інтегрування приймача. При цьому повинна виконуватися умова $t_{озл} \geq t_{np}$, де t_{np} – час інтегрування, який визначається з виразу [1]:

$$q_{c/ш} = \frac{P_c}{P_{ш}} = \frac{\Delta T \sqrt{\tau_{np} \cdot \Delta f}}{\Delta T_{ш,np} + \Delta T_{\phi}} \quad (7)$$

Враховуючи, що площа об'єкта S_0 у картинній площині займає частину площі перерізу ДН антени $S_{сич_ДН} = \Omega_a \cdot R^2 = \frac{R^2 \cdot 4\pi}{G_a} = \frac{R^2 \cdot \lambda^2}{S_a \cdot \beta}$ на віддалі R до об'єкта, ΔT набуває вигляду:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_0 \cdot S_0}{S_{сич_ДН}} = \frac{\Delta T_0 \cdot S_0 \cdot S_a \cdot \beta}{R^2 \cdot \lambda^2}. \quad (8)$$

Отже, з (7) і (8), враховуючи загасання в атмосфері $\alpha \cdot R$, впливає, що час інтегрування визначається:

$$\tau_{np} = \left(\frac{q_{c/ш} \cdot (T_{ш,np} + T_{\phi}) \cdot R^2 \cdot \lambda^2}{\Delta T_0 \cdot S_0 \cdot S_a \cdot \beta} \right)^2 \cdot \frac{1}{\Delta f} \cdot 10^{0,2 \cdot \alpha \cdot R}, \quad (9)$$

де $T_{ш.пр}$ – еквівалентна температура шуму приймача; T_{ϕ} – температура фону; S_0 – площа об'єкта, який розташований на віддалі R від антени пасивної локації; β – коефіцієнт використання поверхні антени.

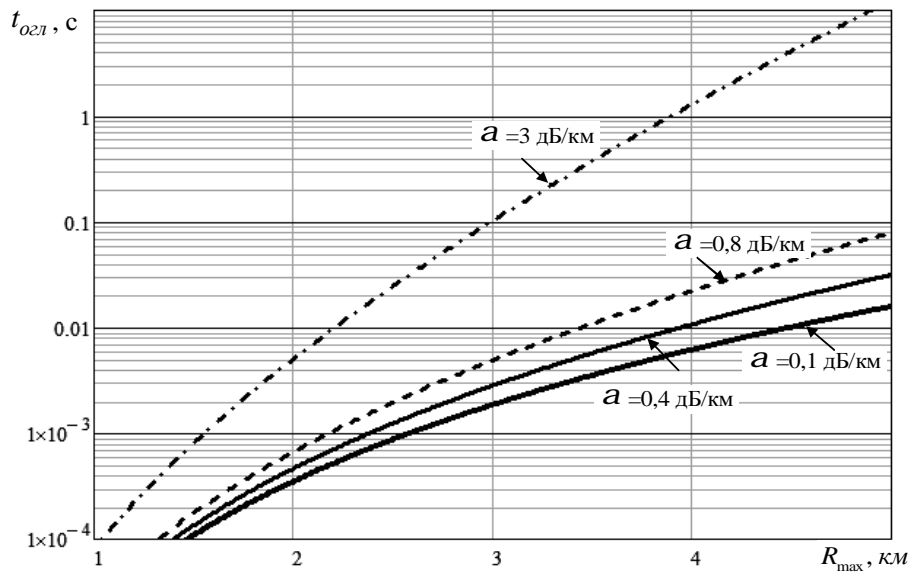


Рис. 3. Залежність часу огляду активної локації у секторі $30^\circ \times 30^\circ$ від відстані до об'єкта, для різних значень коефіцієнта загасань в атмосфері

Оцінка часу інтегрування виконана для вихідних даних, найближчих до реальних. Об'єкт з розмірами $S_0 = 2,5 \times 6 \text{ м}^2$ з тепловим радіоконтрастом $\Delta T_0 = 50 \text{ К}$ розташований на віддалі R від приймальної антени, значення температур $T_{ш.пр} = 200 \text{ К}$, $T_{\phi} = 280 \text{ К}$ (літні умови), $T_{\phi} = 270 \text{ К}$ (зимові умови). Смуга пропускання по високій частоті $\Delta f = 1 \text{ ГГц}$, діаметр антени $d_a = 1 \text{ м}$. На рис. 4 наведено залежності часу інтегрування від відстані до об'єкта для різних погодних умов.

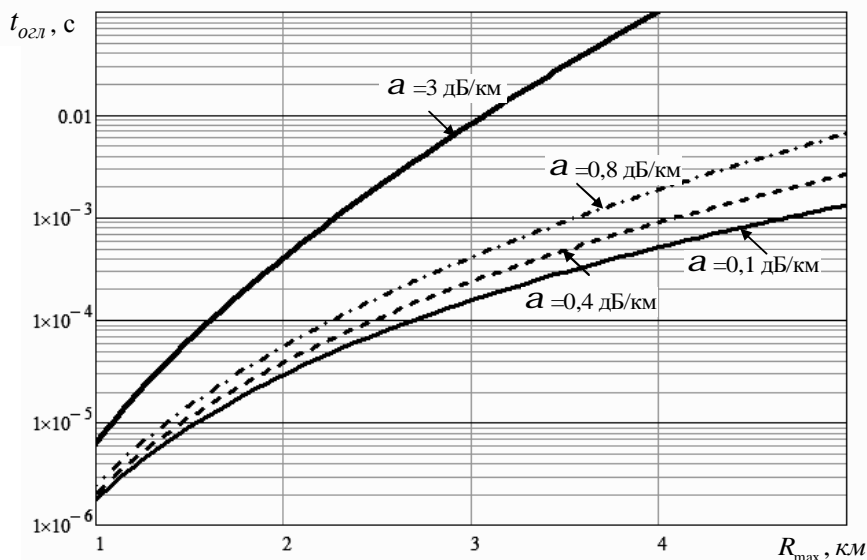


Рис. 4. Залежність часу інтегрування від відстані до об'єкта, для різних значень коефіцієнта загасань в атмосфері

Якщо огляд ведеться у тілесному куті $\Omega_{сцени}$ променем з тілесним кутом $\Delta\Omega$, то загальний

$$\text{час огляду сцени становить } t_{сцени} = t_{пр} \cdot \frac{\Omega_{сцени}}{\Delta\Omega} = t_{пр} \cdot N.$$

$$t_{\text{сцени}} = \Omega_{\text{сцени}} \cdot \left(\frac{q_{\text{с/ш}} \cdot (\Delta T_{\text{ш.нр}} + \Delta T_{\phi}) \cdot R^2}{\Delta T_0 \cdot S_0} \right)^2 \cdot \frac{\lambda^2}{S_a \cdot \beta \cdot \Delta f} \cdot 10^{0,2 \cdot \alpha \cdot R} \quad (10)$$

Під час огляду в пасивному режимі сектору $30^\circ \times 30^\circ$ з попередніми умовами локації, час формування однієї сцени залежно від віддалі до об'єкта для різних значень коефіцієнта загасання подано на рис. 5.

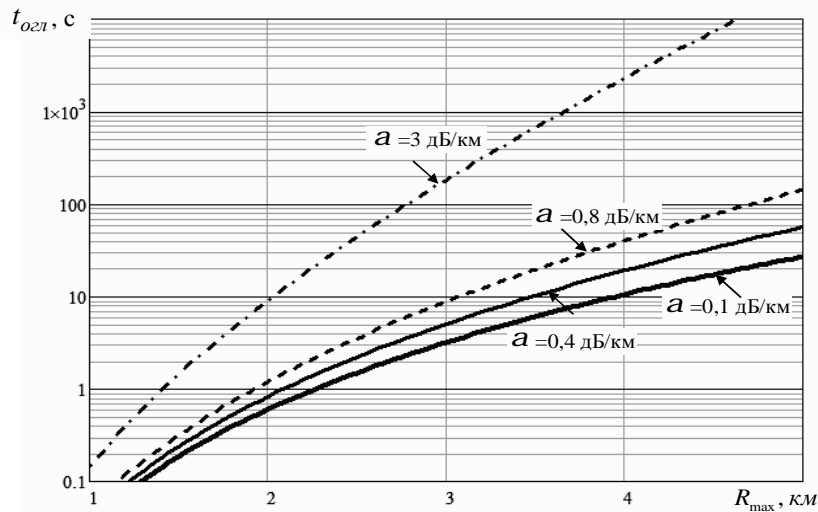


Рис. 5. Залежність часу огляду в секторі $30^\circ \times 30^\circ$ від відстані до об'єкта, для різних значень коефіцієнта загасання в атмосфері для пасивної локації

Отже, однопроменеві радіометричні системи можуть контролювати тільки малі тілесні кути огляду $\Omega_{\text{сцени}}$.

Необхідно зазначити, що час огляду пасивної локаційної системи сильно залежить від відстані до об'єкта і стану атмосфери.

Висновки. З порівняльного аналізу бачимо, що активна локаційна система забезпечує більшу максимальну віддаль дії $R_{\text{max}} = 11.377$ км, ніж пасивна система локації $R_{\text{max}} = 6,16$ км, за однакових умов поширення радіохвиль ($a = 0,8$ дБ/км – погода з туманом). Це зумовлено тим, що у активній системі є можливість збільшити максимальну віддаль дії, підвищивши потужність передавача і використовуючи складні сигнали у поєднанні з оптимальною обробкою.

Час огляду в пасивних системах достатньо великий. У разі погоди з туманом ($a = 0,8$ дБ/км) і віддалі до об'єкта $R = 3$ км розрахунковий час огляду сцени пасивною локаційною системою ($t_{\text{сцени}} = 8,7$ с) значно більший, ніж у активних системах локації ($t_{\text{сцени}} = 0,005$ с). Зрозуміло, що мінімальний час сканування сектору огляду активною локаційною системою буде обмежуватися також часом необхідним, для механічного або електронного сканування антенною системою. Збільшити швидкість огляду сцени пасивним каналом локації можна, використовуючи багатоканальну систему при змішаному типі огляду, наприклад, при багатоканальному одночасному огляді по куту місця з послідовним оглядом по азимуту.

1. Быстров Р.П., Загорин Г.К., Соколов А.В., Федорова Л.В. Пассивная радиолокация: методы обнаружения объектов: Монография / Под ред. Р.П. Быстрова и А.В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2008. – 320 с. 2. Merrill I. Skolnik, Radar Handbook, Third Edition, 2008. – 1352 p. 3. Ширман Я.Д., Голиков В.Н., Бусыгин И.Н. и др. Теоретические основы радиолокации / Под ред. Ширмана Я.Д. Учебное пособие для вузов. – М.: Советское радио, 1970. – 560 с. 4. Казаринов Ю.М. и др. Радиотехнические системы : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. Ю.М. Казаринова. – М. : Издательский центр “Академия”, 2008. — 592 с. 5. Сумик М. М. Основи теорії радіотехнічних систем: Навч. посібник. – Львів, 2003. – 241 с. 6. Anatoliy Zubkov, Ivan Prudyus, Andriy Diakov, Dmytro Mymrikov, Information Aspects of Multispectral Active-Passive Radio Monitoring System “TCSET – 2010”.