

2.4 Підхід до побудови спеціалізованого шару цифрової карти геоінформаційної системи в інтересах планування застосування радіоелектронних засобів

На теперішньому етапі розвитку збройної боротьби, у зв'язку із суттєвим збільшенням значення інформації та збільшенням напрямків її застосування у сучасних війнах та локальних конфліктах сучасності, провідні у військовому та економічному відношенні держави світу все зростаючу увагу приділяють підвищенню інформаційного забезпечення та підвищенню технологічного рівня своїх збройних сил (ЗС). Перевага у збройному протистоянні досягається не тільки саме шляхом застосування зброї, але й шляхом створення спеціальних військових інформаційних систем різного призначення, серед яких окреме місце займають засоби обробки цифрової інформації про місцевість та даних про противника та свої війська. Основною метою на цьому шляху є створення єдиної автоматизованої системи управління своїми військами. У сучасних умовах успішне виконання завдань військами неможливе без залучення геоінформаційних систем (ГІС) на базі цифрових та електронних карт, які за своїм функціональним призначенням можуть надавати інформацію про місцевість і зміни на ній в режимі реального часу, підвищувати ефективність функціонування систем управління військами та озброєнням, достовірно і повно оцінювати стан противника та своїх військ, вирішувати картографічні завдання, проводити аналіз даних і виконувати військово-географічні прогнози та розрахунки. Досвід провідних держав свідчить, що застосовування геоінформаційних систем дозволяє більш точно й оперативно вирішувати більшість завдань як повсякденної діяльності військ, так і планування та ведення бойових дій та їх візуалізації [164].

На сучасному етапі в світі активно вивчається досвід надання геоінформаційної (геопросторової) підтримки через аналіз нормативно-правових документів (наприклад [166-167]), щодо застосування збройних сил провідних світових держав та об'єднаних збройних сил НАТО.

Геоінформаційна (геопросторова) підтримка (Г(Г)П) базується на використанні геоінформаційних систем (ГІС), які забезпечують збір, зберігання, обробку, доступ, відображення і розповсюдження просторово координованих даних (просторових даних), містить дані про просторові об'єкти в формі їх цифрових уявлень (векторних, растрових та інших). Ця технологія об'єднує традиційні операції роботи з базами даних, такими як запит і статистичний аналіз, з перевагами повноцінної візуалізації і географічного (просторового) аналізу, які надає карта. Ці можливості відрізняють ГІС від інших інформаційних систем і забезпечують унікальні можливості для її застосування в широкому спектрі завдань, пов'язаних з аналізом і прогнозом явищ і подій навколишнього світу, з осмисленням і виділенням головних факторів і причин, а також їх можливих наслідків, з плануванням стратегічних рішень і поточних наслідків.

Цифрова картографічна інформація становить основу всієї інформації, яка використовується під час надання геоінформаційної (геопросторової) підтримки та застосовується для координатної прив'язки різноманітних видів інформації, необхідної для планування операцій і застосування різних видів зброї. Така інформація використовується у геоінформаційних системах (ГІС), важливою частиною якої є її цифрові шари. В геоінформаційних системах реалізовано принцип пошарової організації даних, який полягає в тому, що використовується деякий розподіл об'єктів на тематичні шари, і об'єкти, віднесені до одного шару, утворюють деяку логічно (а часто і фізично) окрему одиницю даних, що підвищує можливості з геопросторового аналізу та геопросторової розвідки [165].

У порівнянні зі збройними силами провідних країн світу теперішній стан забезпечення інформацією про місцевість і об'єкти на ній характеризується недостатнім використанням величезних можливостей інформаційних технологій в процесах створення і обробки геопросторової інформації. Тому прискорення процесу впровадження ГІС як складових військових інформаційних систем нового покоління, так і для вирішення завдань геоінформаційного забезпечення військ є невідкладним та актуальним завданням.

Отже, важливим завданням під час впровадження геоінформаційної (геопросторової) підтримки є перехід до створення топогеодезичної інформації в цифровому вигляді, створенні необхідної номенклатури шарів цифрової карти та забезпечення такою інформацією військ (сил) із подальшим освоєнням та впровадженням новітніх геоінформаційних технологій у діяльність органів управління, військових частин та підрозділів. Вирішення цього завдання дозволить задовольнити вимоги користувача до точності, надійності, а головне – до оперативності і достовірності цієї інформації, без чого неможливі вивчення та оцінювання місцевості під час прийняття обґрунтованих рішень, планування, підготовки та проведення дій різного характеру, організації управління та взаємодії, а також ефективного застосування спеціальної техніки.

В умовах сучасних бойових дій за великої кількості радіоелектронних об'єктів і радіоелектронних засобів (РЕЗ) наземного та повітряно-космічного базування [168-171], оцінювання можливостей з радіоелектронного подавлення (РЕП) може здійснюватись лише заздалегідь та для фіксованих варіантів розташування РЕЗ та засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ). Це пояснюється особливостями планування дій з застосуванням РЕЗ (зв'язку, радіолокаційних, розвідки, радіоелектронного подавлення тощо) в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ). Планування застосування РЕЗ в умовах РЕБ у більшості випадків потребує прогнозування відношення сигнал/перешкода на входах приймачів, які подавляються, за розрахунками, що проводяться в умовах невизначеності за їх невідомого положення. Ця потреба, а також обов'язковість врахування умов поширення електромагнітних хвиль, обумовлюють необхідність оцінювання відношення перешкода/сигнал для кожної точки значної просторової області (включаючи побудову профілю рельєфу до кожної точки та визначення множника ослаблення при інтерференції та рефракції), а отже великих обчислювальних витрат. Використання елементів геоінформаційних систем при плануванні застосування радіоелектронних засобів (РЕЗ) супроводжується проблемою вирішення протиріччя між

детальністю шару висот ГІС, обсягом обчислювальних витрат та точністю моделей впливу рельєфу на поширення електромагнітних хвиль.

Оперативне реагування на зміну радіоелектронної обстановки вбачається досить складним. Для зменшення об'єму обчислювальних витрат необхідно виділити складову, яка описує умови розповсюдження електромагнітних хвиль та оцінити можливість та доцільність створення відповідного інформаційного шару ГІС.

Планування дій з застосуванням радіоелектронних засобів (зв'язку, радіолокаційних, розвідки, радіоелектронного подавлення тощо) в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ) у більшості випадків потребує прогнозування відношення сигнал/перешкода на входах приймачів, які подавляються, за розрахунками, що проводяться в умовах невизначеності за їх невідомого положення. Ця потреба, а також обов'язковість врахування умов поширення електромагнітних хвиль, обумовлюють необхідність оцінювання відношення перешкода/сигнал для кожної точки значної просторової області (включаючи побудову профілю рельєфу до кожної точки та визначення множника ослаблення при інтерференції та рефракції), а отже великих обчислювальних витрат. Використання елементів геоінформаційних систем (ГІС) при плануванні застосування радіоелектронних засобів (РЕЗ) стало вже традиційним. При цьому виникає проблема вирішення протиріччя між детальністю шару висот ГІС, обсягом обчислювальних витрат та точністю моделей впливу рельєфу на поширення електромагнітних хвиль.

Слід відмітити, що реалізація різноманітних спеціалізованих шарів даних у складі ГІС спеціального призначення на протязі тривалого часу вже використовується у збройних силах країн-членів НАТО та тривалий час є стандартом, що має вигляд геопросторової підтримки операцій (бойових дій) та під час проведення повітряно-космічних операцій НАТО.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показує, що на основі розробленої у [172] методики побудови зони подавлення системи радіозв'язку з урахуванням рельєфу місцевості, сферичності Землі та тропосферної рефракції запропоновано

детальний математичний апарат, який дозволяє побудувати просторові зони подавлення для різних варіантів комбінацій “передавач”, “приймач”, “засіб перешкод”, в тому числі і за умов невизначеності. Водночас запропонований математичний апарат вимагає побудови траси розповсюдження та проведення великого об’єму розрахунків для кожної точки простору. В роботах [172-173] наведені методики, які дозволяють вирішувати окремі часткові задачі, в тому числі з використанням елементів ГІС, з урахуванням основних факторів впливу. Зокрема, розглянуто питання оптимізації розміщення радіоелектронних засобів на місцевості, а в [174-177] питання проектування радіоліній та частотно-територіальне планування. Водночас існує ряд завдань, які вимагають проведення розрахунків, пов’язаних з співвідношенням енергетики сигналів та перешкод у режимі близькому до реального часу. За умов значної кількості радіоелектронних засобів вирішення такої задача може бути вирішена збільшенням часу, розпаралелюванням задач, спрощенням розрахунків або формуванням спеціалізованого шару ГІС, який враховуватиме вплив умов розповсюдження для кожної пари точок [178-180].

Отже, не вирішеним раніше завданням є розроблення математичного апарату для формування спеціалізованого шару ГІС параметрів впливу умов поширення електромагнітних хвиль (рельєфу місцевості) на ефективність радіоелектронного подавлення та визначення його раціонального об’єму.

Представимо підхід до обґрунтування математичного апарату для побудови спеціалізованого шару параметрів рельєфу місцевості у геоінформаційній системі для планування дій радіоелектронних засобів в умовах радіоелектронної боротьби завдяки урахуванню параметрів впливу умов поширення електромагнітних хвиль (рельєфу місцевості) з подальшою метою збільшення ефективності радіоелектронного подавлення.

Відомо [181], що умовою подавлення є забезпечення потужності перешкоди $P_{п\text{вх}}$ на вході приймача в k_n раз більшої за потужність сигналу $P_{с\text{вх}}$:

$$k_n = \frac{P_{n\text{ex}}}{P_{c\text{ex}}}, \quad (1)$$

Отже оцінка можливості подавлення радіоелектронного засобу полягає у розрахунку відношення перешкода/сигнал і порівнянні його з значенням коефіцієнта подавлення.

Для систем зв'язку відношення потужності перешкоди до потужності сигналу в будь-якій точці простору має вигляд:

$$\frac{P_{n\text{ex}}}{P_{c\text{ex}}} = \frac{P_n G_n}{P_c G_c} \cdot \frac{D_L^2}{D_{npL}^2} \cdot \frac{g_{nd}^2(\phi_{nn})}{g_{nm}^2(\phi_{nd})} \cdot \frac{g_n^2(\phi_n)}{g_c^2(\phi_{nm})} \cdot \frac{\Delta f_{np} \gamma_n K_{oc}}{\Delta f_n}, \quad (2)$$

де P_n – потужність передавача перешкод;

G_n – коефіцієнт направленої дії антени передавача перешкод;

Δf_n – ширина спектра перешкоди;

P_c – потужність сигналу передавача системи зв'язку;

G_c – коефіцієнт направленої дії передавальної антени;

$g_{nd}(\phi, \theta)$ – діаграма спрямованості передавальної антени по полю;

$g_{nm}(\phi, \theta)$ – діаграма спрямованості приймальної антени по полю;

Δf_{np} – смуга пропускання лінійної частини приймача радіолінії;

D_L – довжина лінії (відстань між передавачем і приймачем);

$g_n(\phi, \theta)$ – діаграма спрямованості антени станції перешкод (по полю);

D_{npL} – відстань між джерелом перешкоди і приймачем радіолінії;

K_{oc} – коефіцієнт ослаблення перешкоди;

γ_n – поляризаційний коефіцієнт.

Ослаблення електромагнітних хвиль залежить від багатьох факторів, зокрема явищ інтерференції, рефракції, загасання в дощі, тумані, пилу тощо. Коефіцієнт ослаблення може бути поданий у вигляді:

$$K_{oc} = 10^{0,1V_i} 10^{0,1V_p} e^{-\alpha L}, \quad (3)$$

де V_i – значення множника ослаблення внаслідок інтерференції хвиль;

V_p – значення множника ослаблення внаслідок рефракції хвиль;

α – коефіцієнт загасання хвиль на одиницю відстані;

L – протяжність траси розповсюдження електромагнітних хвиль.

Вплив явищ інтерференції та рефракції розглядається в статті кожен окремо.

Ілюстрація геометричних параметрів, за яких розраховують такий вплив, схематично наведена на рисунку 1.

Значення модуля множника ослаблення при інтерференції для першого інтерференційного мінімуму визначається з виразу [177]:

$$|V_i| = 11,26 \frac{\Delta y \sqrt{k^3(1-k)^3} D_n^3}{r_g^2 \sqrt{\lambda}} = \frac{V_i^*}{\sqrt{\lambda}}, \quad (4)$$

де Δy – висота перешкоди відносно лінії, що поєднує точки проєкцій антен на земну поверхню;

$k = \frac{R_1}{D_n}$ – відносна координата фізичної перешкоди (R_1 – відстань від передавача до фізичної перешкоди);

r_g^2 – довжина хорди, що утворюється в результаті перетину лінії, яка з'єднує точки проєкцій антен на земну поверхню, з колом, яке апроксимує фізичну перешкоду;

$$V_i^* = 11,26 \frac{\Delta y \sqrt{k^3(1-k)^3} D_n^3}{r_g^2}.$$

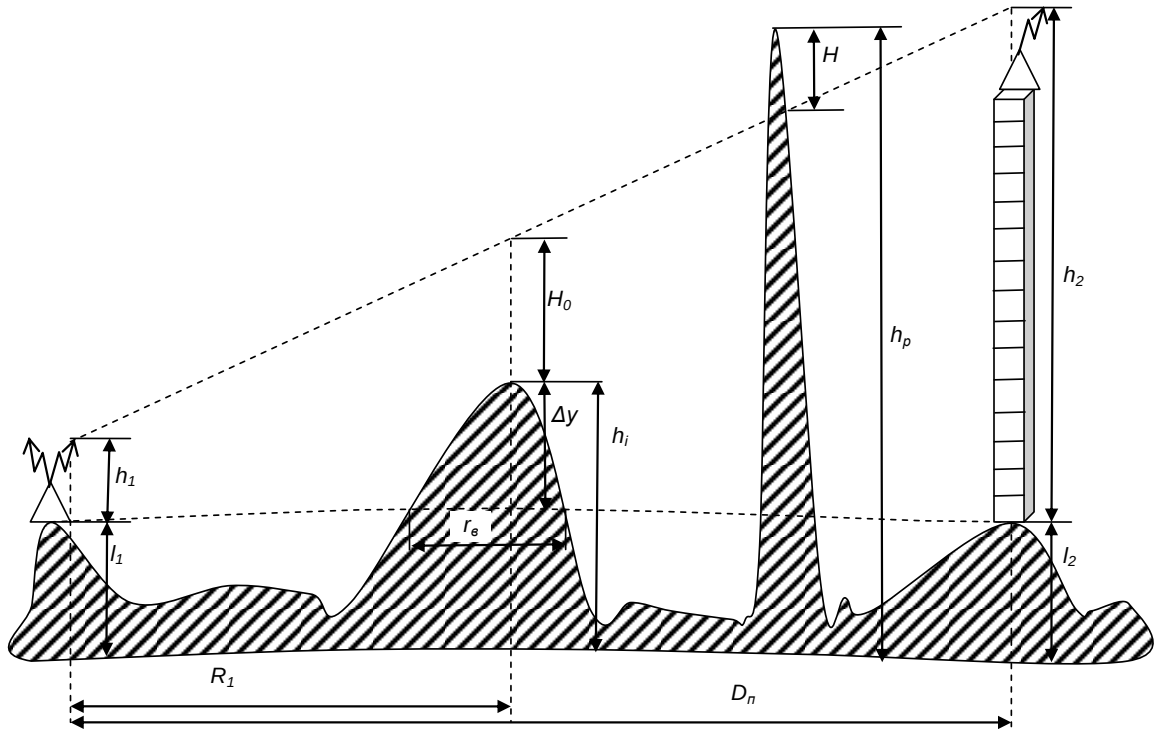


Рис. 1. Схематичне положення приймача, станції перешкод та фізичної перешкоди

Висоту перешкоди відносно лінії, що поєднує точки проєкцій антен на земну поверхню (рис. 1), приблизно можна розрахувати з виразу:

$$\Delta y = h_i - l_1(1-k) - l_2k, \quad (5)$$

де h_i – висота точки знаходження антени станції перешкод відносно рівня моря;

l_1 – висота відносно рівня моря антени передавача.

l_2 – висота відносно рівня моря антени приймача.

Значення модуля множника ослаблення при рефракції визначається з виразу [182]:

$$|V_p| = \frac{0,16\sqrt{D_n\lambda k(1-k)}}{H} = V_p^* \sqrt{\lambda}, \quad (6)$$

де λ – довжина хвилі;

H – перевищення фізичною перешкодою лінії, що з'єднує антени передавача та приймача;

$$V_p^* = \frac{0,16\sqrt{D_n k(1-k)}}{H}.$$

Значення H розраховується з виразу:

$$H = h_p - (l_1 + h_1)(1-k) - (l_2 + h_2)k, \quad (7)$$

де h_p – висота фізичної перешкоди відносно рівня моря;

h_1 – висота антени;

h_2 – висота польоту літака над поверхнею Землі.

Граничне значення висоти перешкоди над рівнем моря h_{i0} , за якої є істотним вплив на розповсюдження електромагнітних хвиль явища інтерференції може бути оцінене з виразів:

$$\begin{cases} (R_3 + h_{i0})^2 + R_1^2 = (R_3 + l_1 + h_1)^2 \\ (R_3 + h_{i0})^2 + (D_n - R_1)^2 = (R_3 + l_2 + h_2)^2 \end{cases}, \quad (8)$$

де R_3 – радіус Землі;

$D_n - R_1$ – відстань від фізичної перешкоди до приймача РЕЗ.

Тоді умовою істотного впливу інтерференції є:

$$h_{i0} < \frac{h_1 + l_1 + h_2 + l_2}{2} - \frac{D_n^2(1-k)}{4R_3}, \quad (9)$$

Виходячи з рис. 1 та враховуючи вираз (5), значення просвіту H_0 можна подати у вигляді:

$$H_0 = (\Delta h_2 - \Delta h_1)k + \Delta h_1, \quad (10)$$

де $\Delta h_2 = h_2 + l_2 - h_i$ перевищення антени приймача над висотою фізичної перешкоди над рівнем моря;

$\Delta h_1 = h_1 + l_1 - h_i$. перевищення антени передавача перешкод над висотою фізичної перешкоди над рівнем моря.

Отже, судячи з (10), значення просвіту визначається перевищенням антен передавача та приймача над висотою фізичної перешкоди над рівнем моря. Водночас найбільші інтерференційні мінімуми мають місце за таких умов:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} D_n \lambda (1-k) k}, \quad (11)$$

Вираз (11) свідчить про те, що створення масиву значень множника ослаблення у залежності від висоти антени передавача (приймача) обмежується досягненням значення просвіту, за якого можливі найбільші інтерференційні мінімуми.

Граничне значення висоти перешкоди над рівнем моря h_{p0} , за якої є істотним вплив на розповсюдження електромагнітних хвиль явища рефракції можна отримати, якщо прирівняти вираз (6) до одиниці та розв'язати систему рівнянь (6), (7).

Тоді умовою істотного впливу рефракції є:

$$h_{p0} > (l_1 + h_1)(1-k) + (l_2 + h_2)k + 0,16\sqrt{D_n \lambda k(1-k)}, \quad (12)$$

Оцінювання можливості подавлення засобом радіоелектронної боротьби приймачів БРЛС або системи зв'язку в більшості випадків відбувається за їх невідомого положення. Це потребує оцінювання відношення перешкода/сигнал для кожної точки значної просторової області (включаючи побудову профілю рельєфу до кожної точки та визначення множника ослаблення при інтерференції та рефракції), а отже великих обчислювальних витрат.

В умовах сучасних бойових дій за великої кількості РЕЗ, оцінювання можливостей з подавлення може здійснюватись лише заздалегідь та для фіксованих варіантів розташування РЕЗ та засобів РЕБ. Оперативне реагування на зміну радіоелектронної обстановки вбачається досить складним. Для зменшення об'єму обчислювальних витрат слід в виразах (1) та (2) виділити складову, яка описує умови розповсюдження електромагнітних хвиль та оцінити можливість та доцільність створення відповідного інформаційного шару геоінформаційної системи.

Множник

$$K_{ГТС}(r, \phi, h_1, h_2) = \frac{10^{0,1V_i^*(r, \phi, h_1, h_2)} 10^{0,1V_p^*(r, \phi, h_1, h_2)} e^{-\alpha r}}{r^2} \quad (13)$$

описує вплив умов розповсюдження електромагнітної хвилі від точки знаходження постановника перешкод до точки з полярними координатами r, ϕ .

При цьому значення коефіцієнта ослаблення в (2) визначають з виразу:

$$K_{oc} = \begin{cases} K_{ГТС}(r, \phi, h_1, h_2)^{\sqrt{\lambda}}; \\ K_{ГТС}(r, \phi, h_1, h_2)^{\frac{1}{\sqrt{\lambda}}}. \end{cases}$$

для істотного впливу явища рефракції та для істотного впливу явища інтерференції відповідно.

Слід зауважити, що реалізація виразу (13) у вигляді шару ГІС передбачає зберігання великого об'єму даних і потребує застосування клієнт-серверної технології.

Для раціоналізації об'єму даних доцільно ввести обмеження та припущення, за яких використовуватиметься наведений математичний апарат при створенні спеціалізованої ГІС.

За умови $k=0,5$ з виразу (9) отримаємо розмір області простору, для якої слід враховувати вплив явища інтерференції:

$$\left\{ \begin{array}{l} D = 2R_1 = 2\sqrt{2R_3 \left(\frac{h_1 + l_1 + h_2 + l_2}{2} - h_i \right)}, \\ \text{якщо } \frac{h_1 + l_1 + h_2 + l_2}{2} - h_i > 0; \\ D = 0, \text{ якщо } \frac{h_1 + l_1 + h_2 + l_2}{2} - h_i \leq 0. \end{array} \right.$$

та з виразу (12) – явища рефракції:

$$\left\{ \begin{array}{l} D = 2R_1 = 2\lambda \left(\frac{h_{p0} - 0,5(l_1 + h_1 + l_2 + h_2)}{0,8} \right)^2, \\ \text{якщо } h_{p0} - 0,5(l_1 + h_1 + l_2 + h_2) > 0; \\ D = 0, \text{ якщо } h_{p0} - 0,5(l_1 + h_1 + l_2 + h_2) \leq 0. \end{array} \right.$$

Проведемо практичні розрахунки для отримання орієнтовних значень на пропонуємому шарі ГІС, з метою оцінки можливості застосування запропонованого математичного апарату та можливого обчислювального навантаження на комп'ютерні засоби ГІС.

За висоти антени 20 м для нерівномірності рельєфу 10% область простору, на якій слід враховувати явище інтерференції обмежується радіусом 1,5 км. Для дискретності значень висот антен 1 м, координат дальності 100 м, координат азимуту 1° об'єм даних являтиме масив розмірністю $20 \times 20 \times 15 \times 360$ та міститиме 2160000 значень. Така кількість значень отримана для площі $S = \pi r^2 = 3,14 \times 1,5^2 = 7,065 \text{ км}^2$. Тоді кількість значень на кожний км^2 буде складати 305732. Якщо кожне значення множника ослаблення має розмір 1 байт, то для зберігання інформації масиву коефіцієнтів ослаблення для кожної точки простору потребує 300кб ($305732 : 1024$) інформації.

Таким чином, запропоновано підхід для побудови спеціалізованого шару параметрів рельєфу місцевості у геоінформаційній системі для планування дій радіоелектронних засобів в умовах радіоелектронної боротьби завдяки урахуванню параметрів впливу умов поширення електромагнітних хвиль (рельєфу місцевості) з подальшою метою збільшення ефективності радіоелектронного подавлення через визначення співвідношень енергетики сигналів та перешкод у будь-якій точці простору за значеннями характеристик передавача та приймача сигналів, а також засобу перешкод.

При цьому, врахування умов розповсюдження електромагнітних хвиль здійснюється на основі попередньо розрахованої для кожної пари точок матриці коефіцієнтів згасання та реалізованої у вигляді спеціалізованого шару геоінформаційної системи.

Запропоновано математичний апарат для розрахунків та визначено умови істотного впливу явищ інтерференції та рефракції, при цьому, ділянка простору, в межах якої розраховують коефіцієнти згасання, обмежується дальністю прямої видимості (з урахуванням можливих висот підйому антен та явища рефракції).

Проведені практичні розрахунки для отримання орієнтовних значень, з метою оцінки можливості застосування запропонованого математичного апарату, показали несуперечність та теоретичну можливість його застосування у вигляді спеціалізованого шару ГІС.

Вказаний математичний апарат та підхід до його отримання може бути корисний як при вдосконаленні існуючих ГІС, так і при розробці нових спеціалізованих ГІС.

Реалізація пропонуємого шару у ГІС дозволить оперативно реагувати на зміни в радіоелектронній обстановці та розраховувати можливе радіоподавлення в реальному масштабі часу під час займання незапланових позицій РЕЗ.

Отже, ми бачимо, що впровадження геоінформаційних систем у повсякденну діяльність органів військового управління та військ є одним з важливих напрямів підвищення ефективності систем управління військами та озброєнням, в тому числі автоматизованих систем, достовірності та повноти оцінки стану противника, підготовки та ефективного застосування своїх частин і підрозділів. Буде сприяти зменшенню часу на кожному етапі циклу управління.

Створення спеціалізованих геоінформаційних систем військового призначення або застосування вже існуючих геоінформаційних систем країн НАТО, які вже себе добре зарекомендували під час їх практичного застосування за призначенням (наприклад поширена в країнах НАТО геоінформаційна система Arcgis) та мають високий та дієвий рівень взаємодії між збройними силами різних держав, потребує розв'язання величезної низки питань, в тому числі, підготовки та підвищення кваліфікації фахівців, відповідальних за надання геоінформаційної (геопросторової) підтримки, забезпечення ліцензованими програмними засобами, комп'ютерною технікою, актуальними бібліотеками, від спеціалізованих цифрових шарів місцевості аж до переліку зображень топографічних та тактичних умовних знаків.