

УДК 621.391.827:621.396.6(035)

В.О.Чумакевич¹, І.І. Опанасюк¹, І.В. Пулеко², О.В. Герасимюк³

¹ *Академія сухопутних військ, Львів*

² *Житомирський військовий інститут Національного авіаційного університету, Житомир*

³ *Національна академія Державної прикордонної служби України, Хмельницький*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЗАСОБІВ ЗОВНІШНЬО-ТРАЄКТОРНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПРИ ВИКОНАННІ СПЕЦІАЛЬНИХ РОБІТ НА НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ ПОЛІГОНАХ

У статті розглянуті питання частотно-територіального розносу засобів зовнішньотраєкторного вимірювання для забезпечення електромагнітної сумісності при проведенні спеціальних робіт.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, радіоелектронні засоби, радіоелектронна обстановка, частотно-просторовий рознос.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Полігон “Схід” Державного авіаційного науково-випробувального центру Збройних Сил України (ДАНВЦ) був створений для забезпечення проведення випробувань авіаційної техніки. Через вигідне географічне розташування (море, суша, повітряний простір) та достатньо високу кількість сонячних днів протягом року (приблизно 290...300) постала задача [1] не тільки забезпечити на полігоні навчання частин та підрозділів ВПС, а і створити загальний полігон, який дозволить проводити різноманітні навчання та випробування майже всього спектру озброєння і військової техніки, які є на озброєнні ЗС України. Однією з вимог проведення навчань є забезпечення об'єктивного контролю за бойовими стрільбами та виконанням вимог заходів безпеки. Для вирішення цих задач на полігоні “Схід” необхідно забезпечити працездатність засобів зовнішньотраєкторних вимірів, що ускладнюється через складну радіоелектронну обстановку під час проведення навчань.

На сьогодні на озброєнні видів Збройних Сил і родів військ знаходяться сотні різних типів радіоелектронних засобів (РЕЗ). Значне збільшення кількості РЕЗ у військах і народному господарстві, висока щільність розміщення їх в окремих районах і пунктах привели до збільшення імовірності одночасної роботи РЕЗ і є однією з причин виникнення взаємних радіоперешкод між ними. Для запобігання таких випадків необхідно проводити аналіз радіоелектронної обстановки.

Під радіоелектронною обстановкою (РЭО) [2] розуміють сукупність радіоелектронних систем і засобів, розгорнутих (переміщуваних) у даному районі

і діючих у відповідності з їх призначенням. Для оцінки радіоелектронної обстановки необхідно знати склад угруповання РЕЗ, характеристики їх випромінювання і прийому та режими роботи.

Розглянемо завадову ситуацію, яка є частиною РЭО стосовно конкретного радіоелектронного засобу (РЕЗ), підданого взаємним перешкодам [2]. Завадова ситуація характеризується переліком і кількістю РЕЗ - потенційних джерел взаємних перешкод, взаємними віддаленнями, розстроюванням робочих частот і орієнтаціями діаграм спрямованості антен між РЕЗ – об'єктами впливу і РЕЗ – потенційними джерелами взаємних радіоперешкод, тимчасовими режимами роботи РЕЗ.

Для виключення взаємних перешкод між РЕЗ [2, 3, 4, 5] вводять норми частотно-територіального розносу РЕЗ - необхідний рознос по частоті, відстані (чи по частоті і відстані одночасно) між потенційно несумісними РЕЗ, що забезпечує їх функціонування при заданих (припустимих) показниках якості в умовах взаємних перешкод.

Саме вимоги до частотно-територіального розносу РЕЗ в межах полігону “Схід” є темою цього дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

Отримані за результатами експлуатації [2] дані про умови забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) РЕЗ, функціонуючих в загальних смугах частот та в одних районах, допомагаючи рішенням проблем ЕМС не можуть дати відповідь на всі питання організації забезпечення ЕМС великої кількості РЕЗ при підготовці організаційно-технічних заходів з оглядом на необхідність врахування як інтересів

кожного з користувачів, які не завжди збігаються, так і зміни умов функціонування від однієї ситуації до іншої. Не можуть вони бути і достатньою основою для показу визначеної технічної політики у сфері вдосконалювання характеристик прийомних та передаючих пристроїв РЕЗ на етапі проектування при наявності невизначеності початкових даних щодо умов експлуатації розроблюваних РЕЗ у заданих районах країни.

У зв'язку з цим актуальним стало питання систематизації загальних закономірностей, які відображують найбільш стійкі та найбільш часті об'єктивні внутрішні зв'язки між РЕЗ як елементами великої штучно створеної фізичної системи у вигляді сукупності РЕЗ, функціонуючих в одному районі та загальних смугах частот. Необхідна форма узагальнення та систематизації знань про особливості організації забезпечення функціонування великого числа РЕЗ при наявності між ними небажаних електромагнітних зв'язків. Теорія ЕМС [2, 3, 4, 5] узагальнює досвід практики, формулює основні принципи та методи, які дозволяють:

пізнавати існуючі процеси взаємодії між РЕЗ, функціонуючих в єдиному електромагнітному полі;

оцінювати вплив неавтономних перешкод, діючих в широкій смузі, на якість функціонування радіосистем, РЕЗ та окремих їх елементів (приймачів, передавачів та таке інше);

прогнозувати вплив умов експлуатації на численні значення технічних характеристик РЕЗ, визначаючих їх ЕМС, на організаційно-технічні заходи, які проводяться на різних етапах "життєвого" циклу РЕЗ (проектування, виробництва та експлуатації);

дати пропозицію на типові алгоритми прийняття рішення в конфліктних ситуаціях між користувачами, які характеризуються наявністю багатьох цілей і різними інтересами сторін, які в них беруть участь.

В останні роки йшло встановлення та розвиток теорії ЕМС як прикладної системної технічної дисципліни. Основними причинами такого формування теорії ЕМС є наступні [2, 3, 4, 5]:

1. Подальша диференціація наук та утворення нових напрямів радіоелектроніки привели, з одного боку, до розвитку та масового використання РЕЗ, збільшення потужності їх випромінювання, чутливості прийому та висоти підйому антенних пристроїв аж до космічного простору, а з іншої сторони, до залежності результатів використання РЕЗ від умов їх сумісного функціонування.

2. Значне збільшення числа РЕЗ на об'єктах різного призначення призвело до великого зростання рівня неавтономних перешкод. Однак подальші технічні рішення, спрямовані на вдосконалення методів прийому корисних сигналів в умовах перешкод, перестали забезпечувати якість обробки сигналів у відсутності обмеження небажаних випромінювань пристроїв з врахуванням особливостей сумісного використання системи передавач-приймач.

3. Одним із шляхів забезпечення ЕМС РЕЗ є включення в проект технічного завдання на розроблюваний РЕЗ спеціального розділу, визначаючого як особливі вимоги до РЕЗ та його складовим частинам для забезпечення ЕМС, так і шляхи виконання цих вимог. Розв'язання цієї системотехнічної задачі вимагає спеціальних знань, які виходять за рамки традиційних наукових напрямів: необхідно уміти прогнозувати можливі комбінації "джерело перешкод – об'єкт дії", смуги частот, в яких очікуються неавтономні перешкоди, можливі шляхи поширення міжсистемних чи внутрішньосистемних електромагнітних перешкод, можливі методи захисту від них.

4. Виникнення проблеми ЕМС не тільки розширило область радіовимірів, але і призвело до необхідності вдосконалювати наукові основи радіовимірів. Виникла потреба в розвитку теоретичних основ вимірів електромагнітних перешкод в ближньому полі, антенних вимірів у широкому діапазоні частот. Складність та велика трудомісткість радіовимірювань при розв'язку задач ЕМС призвели до необхідності створення нових типів контрольно-вимірювальної апаратури – автоматизованих вимірювальних комплексів. Обґрунтування вимог до контрольно-вимірювальної апаратури методами їх розрахунку та використання неможливе без розвитку і встановлення відповідного спеціального методичного забезпечення.

5. Необхідність прийняття рішень у конфліктних ситуаціях між користувачами, які викликані взаємним впливом неавтономних перешкод РЕЗ, обумовила розробку та використання математичного апарату, призначеного для вироблення організаційно-технічних заходів в інтересах забезпечення ЕМС РЕЗ, функціонуючих в загальних смугах частот.

Цей далеко не повний перелік причин дозволяє зробити висновок про те, що зміна умов експлуатації та масштабів використання РЕЗ вимагає рішучих заходів щодо забезпечення ЕМС засобів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття

Так як електромагнітні поля взаємопроникні, то в точці спостереження утворюється їх сукупність, яка разом з перевідбитими хвилями та випромінюваннями природного походження визначає реальну ЕМО. При вирішенні питань, пов'язаних з формуванням ЕМО, утворюються задачі як організаційного, так і технічного характеру, які в кінцевому підсумку зводяться до оцінки за вибраним критерієм якості функціонування досліджуваної системи в реальній ЕМО. Якщо зміни ЕМО не впливають на інформаційні характеристики вихідного сигналу досліджуваної системи, то така ЕМО є сприятливою. Якщо зміни ЕМО супроводжуються зміною інформаційних

параметрів сигналу чи їх маскуванням, то така ЕМО є несприятливою для досліджуваної системи. Як сприятлива, так й несприятлива ЕМО може бути стабільною чи нестабільною в часі.

Нестабільна ЕМО спостерігається особливо часто [2, 3, 4, 5], якщо приймальна та передаюча апаратури встановлені на рухомих об'єктах. При переміщенні точки спостереження, наприклад, разом з рухомих об'єктом, ЕМО змінюється в ній як в кількісному, так і в якісному відношеннях. Кількісні зміни ЕМО залежать від відстані до сукупності джерел електромагнітних випромінювань та діаграм спрямованості їх антен. Якісні зміни пояснюються тим, що в загальному випадку точка спостереження може знаходитися постійно в зоні дії одних випромінюючих антен і в той же час виходити чи попадати в зону дії постійних РЕЗ чи інших джерел неавтоматичних електромагнітних випромінювань, наприклад, лінії електропередач, транспортні артерії з інтенсивним автомобільним рухом та інше.

Під час проведення навчань військ одним з елементів, які перевіряють, є розгортання бойових

порядків частин і підрозділів у встановлений термін, тому необхідно завчасно визначати можливі райони розгортання РЕЗ. На рис. 1 надано можливе розташування РЕЗ на полігоні.

В статті була використана вже відома методика [2] частотно-територіального розносу РЕЗ для висування вимог до розташування та частотного розносу випромінюючих засобів.

Радіохвилі, випромінювані антенами РЕЗ, характеризуються наступними параметрами: діапазон робочих частот (МГц); частота настройки (МГц); потужність випромінювання $P_{\text{ВИПР}}$ (Вт); ширина смуги основного випромінювання $\Delta F_{\text{ВИПР}}$ (МГц); ширина смуги пропускання основного каналу прийому $\Delta F_{\text{ПР}}$ (МГц); максимальний коефіцієнт підсилення антени $G_{\text{Г}}$ (дБ); рівень бокових та задніх пелюсток ДСА відносно головного $G_{\text{Б}}$ (дБ); ширина головної пелюстки ДСА на рівні $0,5 G_{\text{Г}}$ в горизонтальній та вертикальній площинах; допустимий рівень завад від даного передавача на вході приймача $R_{\text{ПДОП}}$ (Вт); висота підйому антени h (м); поляризація γ ; нормовані характеристики $g(f)$, $k(f)$.

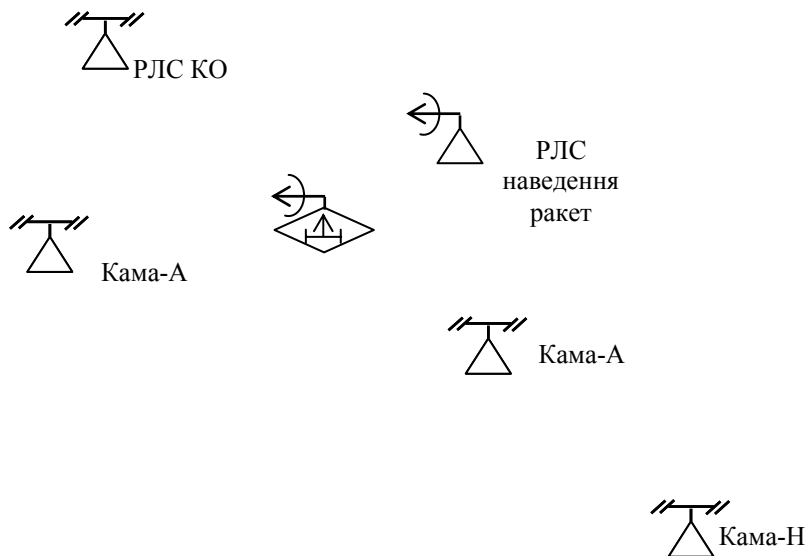


Рис. 1. Можливий варіант розташування РЕЗ при проведенні спецробіт

Формулювання мети статті (постановка завдання)

При сумісній роботі РЕЗ, а також різної високо-частотної апаратури, електричних пристроїв та установок можуть створюватися випадкові радіоперешкоди штучного походження (взаємні, індустріальні та контактні), порушуючи нормальне функціонування РЕЗ чи, інакше кажучи, ЕМС РЕЗ. Тому виникнення проблеми ЕМС РЕЗ обумовлено тими причинами, які призводять до появи вказаних випадкових перешкод та недопустимому за своїми результатами їх впливу на РЕЗ. Зупинимося на цих причинах для кожного виду випадкових перешкод окремо.

Взаємні радіоперешкоди виникають при одно-часній роботі РЕЗ як наслідок:

великої завантаженості діапазону радіочастот РЕЗ різних призначень; тому нерідко вони працюють на збіжних чи близьких частотах випромінювання та прийому;

високої просторової щільності розміщення РЕЗ; в результаті рівні створюваних ними перешкод можуть перевищувати допустимі;

технічної недосконалості РЕЗ, яка проявляється в тому, що вони випромінюють радіосигнали та піддаються їх перешкоджаючій дії не тільки в основній смузі частот, але і за її межами.

Обмеженість освоєної частини діапазону радіочастот, її велика завантаженість, яка супроводжується значимою нерівномірністю, призводить до багаторазового використання тих самих смуг частот як однотипними, так і різнотипними РЕЗ. Все це

перевищує вірогідність їх роботи на збіжних і близьких частотах випромінювання та прийому і в умовах високої щільності розміщення РЕЗ є однією з основних причин виникнення взаємних перешкод та порушення ЕМС РЕЗ.

Вплив двох РЕЗ можливий через перетинання основних, основних та бокових та бокових пелюсток діаграми спрямованості антен. На рис.2 показаний варіант впливу двох РЕЗ.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Методика розрахунку частотно-територіального розносу радіоелектронних засобів. використовується для визначення мінімально допустимого віддалення між РЕЗ.

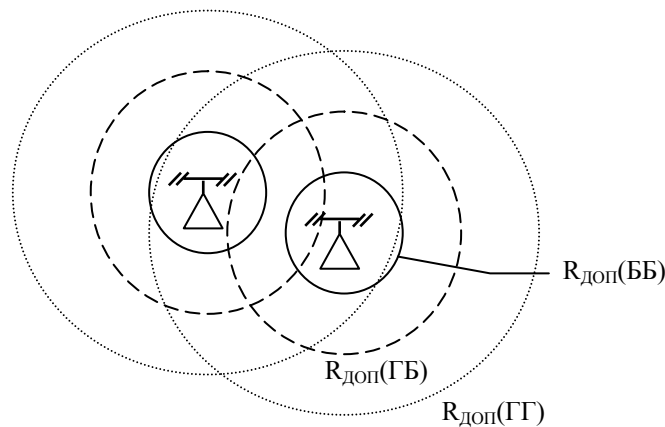


Рис. 2. Можливий варіант взаємного впливу двох РЛС

Наведемо приклад розрахунку частотно-територіального рознесення двох РЛС “Кама – А”.

Необхідно визначити мінімально допустиме взаємне віддалення між двома РЕЗ при дії випромінень передавача одного з них на приймач другого для різних варіантів взаємного орієнтування діаграм спрямованості антен (ДСА). При розрахунках прийняті такі

Сутність методики полягає в тому, що підбирається така відстань між передавачем та приймачем, при якій потужність взаємних завад на вході приймача (для заданих частотної розстройки та положення діаграми спрямованості антен) відповідає допустимому рівню. Розрахунки були проведені за методикою [2], блок-схема якої зображена на рис. 3. Розглянемо її більш докладно.

По експериментальних чи розрахункових амплітудно-частотних характеристиках приймача одного РЕЗ та характеристиках спектральної щільності розподілу потужності випромінювання передавача другого визначається можливість збігу основного каналу приймача з основним або неосновними каналами випромінювання передавача, або каналів побічного прийому з основним чи не основними каналами випромінювання передавача.

скорочення: ГГ – збіг головних пелюсток ДСА; ГБ – збіг головного та бокового пелюсток ДСА; БГ – збіг бокового та головного пелюсток ДСА; ББ – збіг бокових пелюсток ДСА; ПРД – передавач сигналу; ПРМ – приймач сигналу.

Вихідні дані наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні дані

№ з/п	Перелік характеристик	ПРД	ПРМ
1	Діапазон робочих частот, МГц	2600...3000	2700...2900
2	Частота настройки, МГц	2800	2800 та 2850
3	Потужність випромінювання $P_{\text{випр}}$, Вт	8×10^5	-
4	Ширина смуги основного випромінювання $\Delta F_{\text{випр}}$, МГц	3,5	
5	Ширина смуги пропускання основного каналу прийому $\Delta F_{\text{пр}}$, МГц	-	3
6	Максимальний коефіцієнт підсилення антени $G_{\text{Г}}$, дБ	4000	2000
7	Рівень бокових та задніх пелюсток ДСА відносно головного $G_{\text{Б}}$, дБ	-40	-40
8	Ширина головної пелюстки ДСА на рівні 0,5 $G_{\text{Г}}$: у горизонтальній площині у вертикальній площині	2,8 2,8	2,8 2,8
9	Допустимий рівень завад від даного передавача на вході приймача $R_{\text{доп}}$, Вт		10^{-13}
10	Висота підйому антени h , м	5	5
11	Поляризація γ	права кругова	права кругова

Розрахунки для заданих типів передавача та приймача при збігу їх робочих частот (без врахування впливу місцевості та місцевих предметів) наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Мінімально допустимі відстані для забезпечення ЕМС між двома РЛС “Кама-А” без розстройки частот

Взаємна орієнтація антен	ГГ	БГ	ГБ	ББ
Імовірність збігу пелюстків ДСА	$1,4 \times 10^{-8}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-4}$	0,9998
Відстань $R_{\text{доп}}$, км	100	73	73	42

Через те, що імовірність збігу пелюстків ДСА для випадків ГГ, БГ та ГБ менша за 10^{-3} , то мінімально допустиму відстань між передавачем та приймачем необхідно обирати 42 км.

Проведемо розрахунок $R_{\text{доп}}$ при розстройці робочих частот між передавачем та приймачем $\Delta F_p = 50$ МГц.

При розстройці робочих частот між заданим передавачем та приймачем, який дорівнює 50 МГц, мінімально допустима відстань між ними (без врахування впливу місцевості та місцевих предметів) наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

Мінімально допустимі відстані для забезпечення ЕМС між двома РЛС “Кама-А” з розстройкою частот на 50 ГГц

Взаємна орієнтація антен	ГГ	БГ	ГБ	ББ
Імовірність збігу пелюстків ДСА	$1,4 \times 10^{-8}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-4}$	0,9998
Відстань $R_{\text{доп}}$, км	58	33	33	4

З врахуванням ймовірностей збігу пелюстків ДСА мінімально допустима відстань між передавачем та приймачем при розстройці їх робочих частот, яка дорівнює 50 МГц, складає приблизно 4 км.

Розрахунки для визначення частотно-територіального розносу РЛС “Кама – А” та “Кама – Н”, а також “Кама – А” та станції цілевказівки надані відповідно в таблицях 4, 5.

Таблиця 4

Результати розрахунків для визначення частотно-територіального розносу РЛС “Кама – А” та “Кама-Н”

Взаємна орієнтація антен	ГГ	БГ	ГБ	ББ
Імовірність збігу пелюстків ДСА	$19,3 \times 10^{-8}$	$4,4 \times 10^{-4}$	$4,4 \times 10^{-4}$	0,9992
Відстань $R_{\text{доп}}$, км (без розстрочки частот)	57	52	52	43
Відстань $R_{\text{доп}}$, км (без розстрочки частот)	12	7	7	3

Таблиця 5

Розрахунки для визначення частотно-територіального розносу РЛС “Кама – А” та станції цілевказівки

Взаємна орієнтація антен	ГГ	БГ	ГБ	ББ
Імовірність збігу пелюстків ДСА	3×10^{-8}	$3,8 \times 10^{-4}$	$0,8 \times 10^{-4}$	0,9995
Відстань $R_{\text{доп}}$, км (без розстрочки частот)	40	13	13	0,5
Відстань $R_{\text{доп}}$, км (без розстрочки частот)	0	0	0	0

З метою скорочення витрат при визначенні мінімально допустимої відстані між РЕЗ з врахуванням ймовірностей збігу пелюстків ДСА розрахунки необхідно проводити для тих випадків, для яких імовірність збігу пелюстків ДСА більша 10^{-3} .

Проведені розрахунки дають можливість зробити наступні **висновки**:

щільність розміщення РЕЗ є високою, та необхідно враховувати взаємний вплив радіотехнічних і радіолокаційних засобів зовнішньотраєкторних

вимірів та інших засобів при проведенні спеціальних робіт;

доцільно застосовувати розстроювання частот засобів зовнішньотраєкторних вимірів та інших радіоелектронних засобів при проведенні бойових робіт;

отримані розрахунки показують, що для існуючих засобів зовнішньотраєкторних вимірів можуть бути виконані умови ЕМС в межах полігона;

доцільно провести додаткові технічні та інженерні заходи для поліпшення ЕМС засобів на полігоні.

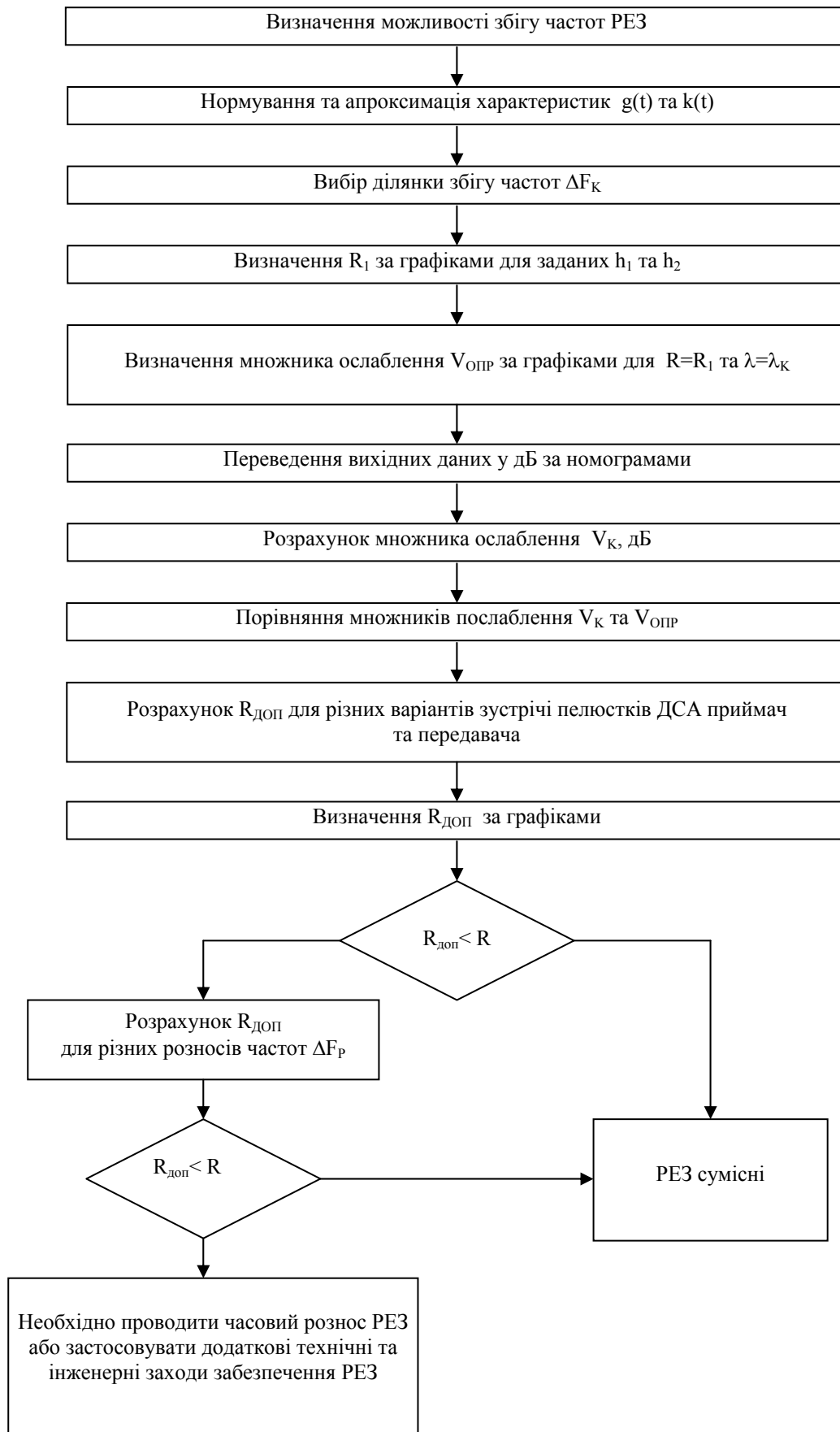


Рис. 3. Блок-схема розрахунку частотно-просторового розносу РЕЗ

Список літератури

1. Хижняк В.В. Структура, завдання та напрямки розвитку полігонних вимірювально-обчислювальних комплексів // Наука і оборона. – 1999. – № 1. – С. 59 – 63.
2. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба / А.И. Палий. – М.: Воениздат, 1989. – 350 с.
3. Седельников Ю.Э. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: Учеб. пособие / Ю.Э. Седельников. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2006. – 304 с.
4. Марков Н.А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Н.А. Марков, А.П. Пудовкин. – Тамбов: Издательство ТГТУ, 2007. – 88 с.

5. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи / [Составитель Д.Р.Ж. Уайт Джермантаун]. – Мерленд, 1971–1973. – Вып. 1. Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи // Сокращ. Пер. с англ. [Под ред. А.И. Сагира]. Последействие и комментарии А.Д. Князева. – М.: «Сов. радио», 1977. – 352 с.

Рецензент: д.т.н., с.н.с. А.М. Зубков, Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів.

Обеспечение электромагнитной совместимости средств внешнего траекторного измерения при выполнении специальных работ на научно-исследовательских полигонах

В.А. Чумакевич, И.И. Опанасюк, И.В. Пулеко, А.В. Герасимюк

В статье рассмотрены вопросы обеспечения электромагнитной совместимости средств внешнетраекторных измерений путем частотно-территориального разнеса при проведении специальных работ.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, радиоэлектронные средства, радиоэлектронная обстановка, частотно-пространственный разнос.

Support of electromagnetic compatibility of external trajectory measuring devices during special works at research test sites

V. Chumakevych, I. Opanasyuk, I. Puleko, O. Gerasymyuk

The article examines issues pertaining to supporting of electromagnetic compatibility of external trajectory measuring devices using frequency spatial diversion during special works.

Keywords: electromagnetic compatibility, radioelectronic devices, radioelectronic situation, frequency spatial diversion.

УДК 623.465.35

Ю.В. Шабатура¹, Б.О. Середюк¹, С.В. Королько¹, В.Л. Фоменко²

¹Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

²Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів

ПЕРСПЕКТИВИ ВІЙСЬКОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ СЕНСОРІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВІ МАГНІТОРЕЗИСТИВНОГО ЕФЕКТУ В Ni_xInSe

У статті виконаний аналіз перспектив застосування магніторезистивних структур на основі напівпровідникових кристалів типу Ni_xInSe для надточного вимірювання магнітного поля. Розглянуто можливість застосування сенсорів магнітного поля на основі структури Ni_xInSe для виявлення військової бронетехніки. Проаналізовано поведінку постійної ґратки, питомої намагніченості та магнітної сприйнятливості Ni_xInSe для різних значень x . Знайдено концентрацію Ni , яка призводить до різкого зростання магнітної сприйнятливості та, як наслідок, надвисокої чутливості сенсорної структури до змін магнітного поля. Проведена математична обробка експериментальних даних залежностей значення постійної ґратки C (перпендикулярно до шарів) Ni_xInSe від концентрації інтеркальованого нікелю та магнітної сприйнятливості монокристалів Ni_xInSe у магнітному полі від вмісту нікелю та отримані аналітичні вирази апроксимуючих функцій.

Ключові слова: магніторезистивний ефект, магнітний сенсор, магнітне поле, детонація боєголовки.