

УДК 623.4.011

М.І. Камчатний, Я.В. Бублик, І.Ю. Сементовський

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО РАДІОЛОКАТОРА ВІД ПРОТИРАДІОЛОКАЦІЙНИХ РАКЕТ ЗА РАХУНОК АДАПТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЗОНДУВАЛЬНОГО СИГНАЛУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ДАЛЬНОСТІ ДО ЦІЛІ, ЩО СУПРОВОДЖУЄТЬСЯ**

*В статті аналізуються сучасні методи забезпечення захисту радіолокаторів (РЛ) від протирадіолокаційних ракет, визначається можливість їх застосування в сучасних багатофункціональних радіолокаторах ЗРК, пропонуються способи автоматичного регулювання потужності зондувального сигналу в залежності від дальності до супроводжуваної цілі для підвищення енергетичної непомітності роботи РЛ та розширення динамічного діапазону його приймального пристрою.*

**Ключові слова:** багатофункціональний радіолокатор, протирадіолокаційна ракета (ПРР), передавальний пристрій, зондувальний сигнал, приймальний пристрій, динамічний діапазон, ЗРК, адаптивне регулювання.

### **Вступ**

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** До складу всіх типів сучасних зенітних ракетних комплексів входять радіолокатори розвідки, виявлення, цілюкування, наведення зенітних керованих ракет (ЗКР), підсвічування цілі, тощо [1]. Як правило, вони мають потужне випромінювання, що демаскує їх, а наявність відкритих антенних систем та приймально-передавальних постів, не закритих спеціальним укриттям, робить їх уразливими до засобів ураження, які самонаводяться на випромінювання, наприклад протирадіолокаційних ракет (ПРР). Тому для захисту радіолокаційних засобів від ПРР застосовуються різні методи, які поділяються на активні і пасивні [2]. Метою застосування активних методів є вогневе поразення або літака – носія ПРР, або безпосередньо ПРР чи окремих її елементів. До таких методів відносяться: вогневе поразення ПРР активними засобами ППО (винищувальна авіація, зенітна артилерія, зенітні раке-

тні комплекси); ураження ПРР за допомогою лазерної та променевої зброї; передчасний підрив бойової частини ПРР спеціальними активними завадами; застосування спеціальних «поражаючих» завад, які виводять з ладу елементи приймального тракту головки самонаведення ПРР. Пасивних методів захисту РЛС від ПРР більше чим активних. Вони поділяються на: способи, які зменшують кількість інформації, що надходить від РЛС на ПРР, до яких відносяться підвищення електромагнітної прихованості основного випромінювання РЛС, зміна параметрів зондувальних сигналів РЛС в часі; зменшення власного теплового, позасмугового та побічного випромінювання РЛС; комплексування (сумісне використання з РЛС) інфрачервоних, телевізійних та лазерних датчиків; способи, які зміщують точку наведення ПРР в бік від РЛС, що досягається за рахунок використання додаткових джерел випромінювання (наприклад, радіолокаторів відволікання снарядів, різного роду перевідбивачі, випромінювання для ГСН ПРР активних завад); способи, які безпосередньо зме-

ншують уразливість РЛС, що подавляється ПРР (вони забезпечуються: закриттям джерел електрозабезпечення та застосуванням РЛС з рознесеними передавачами та приймачами).

В силу особливостей конструктивного виконання та використаних технічних рішень не всі зазначені способи захисту можуть бути застосовані в сучасних зенітних ракетних комплексах (ЗРК). В них основним джерелом випромінювання, на яке може здійснюватися наведення ПРР, є багатофункціональний багатоканальний радіолокатор, який забезпечує супроводження до  $N$  цілей та наведення на них до  $M$  ракет, з використанням різних видів радіолокаційних сигналів. Враховуючи, що сучасні ЗРК мають досить велику дальність стрільби, а також здатність поразити малорозмірні цілі, одним із способів боротьби з ПРР може бути знищення літаків – носіїв ПРР до їх виходу на рубіж пуску, або знищення самих ПРР. Але в останньому випадку при масовому запуску ПРР суттєво зростають витрати ракет, або вогневі можливості комплексу можуть виявитися недостатніми. Недоцільним є також використання в ЗРК пасивних способів захисту від ПРР, таких, наприклад, як «вимикання випромінювання», так як при цьому може бути зірвано процес наведення ракет на цілі, тобто зірвано виконання бойової задачі. В умовах масового застосування ПРР ефективним способом захисту є використання відволікаючих джерел випромінювання, наприклад, радіолокатора відволікання снарядів (РВС) [1]. Але у зв'язку з багатоканальністю радіолокатора дуже складно керувати напрямком відволікаючого випромінювання. А при формуванні широкої діаграми спрямованості РВС (по ширині робочого сектору радіолокатора) рівень відволікаючого випромінювання у напрямку на ПРР може бути недостатнім для перенацілювання ПРР на нього. Тому актуальним є питання розробки інших способів захисту багатоканальних радіолокаторів сучасних ЗРК від ПРР. Одним із таких способів може бути підвищення енергетичної непомітності роботи радіолокатора за рахунок керування рівнем випромінювання в залежності від дальності до цілей, що супроводжуються.

**Мета статті.** Розробка способу автоматичного керування рівнем потужності зондувального сигналу багатофункціонального радіолокатора багатоканального ЗРК в залежності від дальності до супроводжуваних цілей з метою підвищення енергетичної непомітності роботи радіолокатора та розширення динамічного діапазону його приймального пристрою.

## Основний матеріал

Потужність сигналу, відбитого від цілі, залежить в загальному випадку від її ефективної відбиваючої поверхні (ЕПР) та дальності до цілі. По мірі наближення цілі до радіолокатора потужність відбитого сигналу зростає і, починаючи з деякої дальнос-

ті, перевищує потрібне для надійного супроводження цілі значення. Це призводить до нераціонального використання потенціалу РЛС. Таким чином, доцільно було б забезпечувати тільки потрібний рівень відбитого від цілі сигналу, а при перевищенні потрібного знижувати його до потрібного рівня за рахунок зменшення потужності сигналу передавача. Зазначена процедура може бути реалізована шляхом контролю рівня сигналу, відбитого від цілі, або на вході приймача радіолокатора. І при перевищенні рівня відбитого від цілі сигналу порогового значення отримане перевищення може бути використано в якості керуючої напруги для регулювання рівня потужності сигналу передавача. При чому ця операція має виконуватися по кожній цілі, що супроводжується радіолокатором. Потужність сигналу відбитого від цілі в РЛС має забезпечити його надійне виявлення, захоплення на супроводження та супроводження до моменту поразення цілі. Автоматичне захоплення цілі на супроводження в багатоканальному радіолокаторі здійснюється при перевищенні співвідношення сигнал/шум на виході приймача супроводження цілі (ПСЦ) порогу автосупроводження (порогу АС). Перевищення зазначеного порогу забезпечується на відповідних дальностях до цілі в залежності від типу цілі. При наближенні цілі на меншу відстань співвідношення сигнал/шум на виході ПСЦ буде значно перевищувати потрібне значення. Підтримування вказаного співвідношення на потрібному рівні може бути здійснено шляхом зниження потужності зондувального сигналу. Якісна залежність потужності сигналу передавача  $P$  і співвідношення сигнал/шум  $q$  на виході ПСЦ від дальності до цілі при реалізації регулювання потужності випромінювання РЛС приведена на рис. 1.

Із рис. 1 видно, що до відстані  $D_{AC}$  співвідношення сигнал/шум  $q$  на виході приймача супроводження цілі РЛС (лінія 2) ще нижче порога АС  $q_{AC}$ . При подальшому наближенні цілі  $q$  зростає і на менших дальностях значно перевищує поріг АС. Якщо пропорційно зростанню  $q$  синхронно зменшувати потужність зондувального сигналу  $P$  (лінія 1), то при цьому на виході приймача супроводження цілі буде підтримуватися постійне значення співвідношення сигнал/шум, необхідне для надійного супроводження цілі. Закон зміни потужності сигналу передавача при цьому практично буде лінійним, а діапазон зміни обмежується зверху максимальною потужністю передавача РЛС  $P_{max}$ , а знизу – мінімальним рівнем потужності  $P_{min}$ . Для розробки пристрою автоматичного регулювання потужності випромінювання РЛС в залежності від дальності до супроводжуваної цілі необхідно спочатку вибрати місце і спосіб регулювання потужності сигналу передавача, а потім визначитися з сигналом, який може бути використаний для регулювання та способом його отримання в приймачі

РЛС. Після цього може бути визначена структура пристрою зміни рівня потужності зондувального сигналу РПН від дальності до цілі, що супроводжується.

Передавальні пристрої багатофункціональних радіолокаторів сучасних ЗРК побудовані, як прави-

ло, за багатокаскадною схемою. До складу передавача при цьому входять (рис. 2): задавальний генератор (ЗГ), формувач сигналу опорної частоти (ФОЧ), підсилювач сигналу опорної частоти (ПОЧ), змішувач (ЗМ) і підсилювач потужності (ПП).

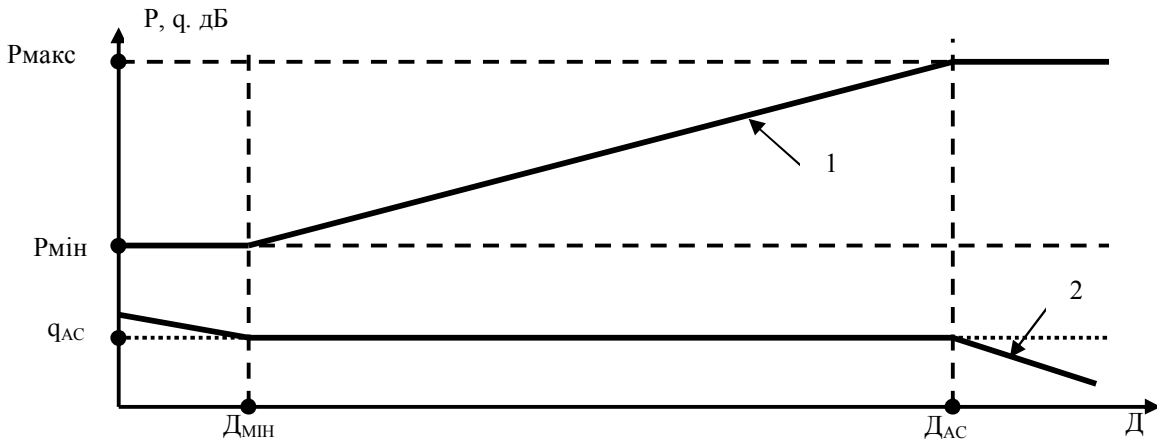


Рис. 1. Залежність співвідношення сигнал/шум  $q$  і потужності сигналу передавача  $P$  від дальності до супроводжуваної цілі

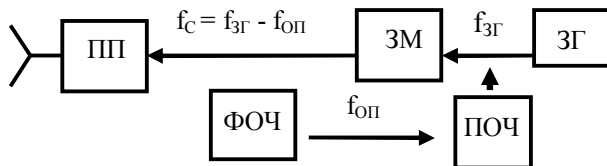


Рис. 2. Структурна схема передавача РЛ

При багатокаскадній схемі побудови передавача РЛС рівень потужності його вихідного сигналу визначається потужністю (амплітудою) сигналу опорної частоти з виходу підсилювача ПОЧ. В існуючих радіолокаторах реалізуються тільки два режими роботи передавача по потужності: режим максимальної потужності  $P_{\max}$  і режим мінімальної потужності  $P_{\min}$ . Перехід з режиму  $P_{\max}$  в режим  $P_{\min}$  здійснюється, як правило, шляхом зменшення стрибком коефіцієнта підсилення підсилювача опо-

рної частоти ПОЧ. Плавне регулювання амплітуди сигналу опорної частоти не передбачено.

Для плавного керування потужністю сигналу передавача РЛС потрібно постійно мати інформацію про співвідношення сигнал/шум  $q$  на вході його приймача. Якщо рахувати, що рівень шуму на вході приймача радіолокатора є постійним, а завади відсутні, то інформація про це співвідношення є у рівні сигналу цілі, що приймається. Тоді перший спосіб регулювання потужності сигналу передавача може бути реалізований по рівню відбитого від цілі сигналу на вході високочастотного приймача радіолокатора (рис. 3).

Контроль рівня прийнятого сигналу цілі здійснюється за допомогою пристрою, до складу якого входять: направлений розгалужувач (НР), детекторна головка (ДГ) та пороговий пристрій (Пор).

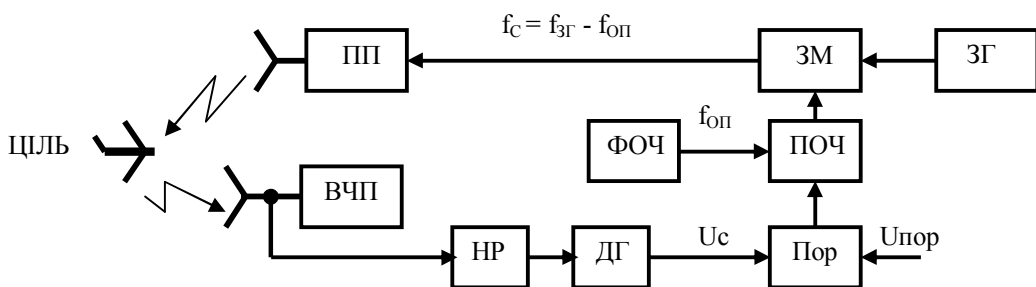


Рис. 3. Схема регулювання потужності сигналу передавача (варіант 1)

Частина відбитого від цілі і прийнятого радіолокатором високочастотного сигналу зі входу високочастотного приймача (ВЧП) через направлений розгалужувач подається на детекторну головку, де детектуються. Напряга пропорційна амплітуді прийнятого сигналу з виходу ДГ подається на поро-

ву схему (Пор), де порівнюється з порогом, який відповідає оптимальному значенню амплітуди сигналу відбитого від цілі, при якому забезпечується стійке автосупроводження цілі. Значення порога може бути попередньо розраховане і уточнене дослідним шляхом. На виході порогової схеми буде

формуватися сигнал перевищення порогу (СПП), який використовується як керуюча напруга для регулювання коефіцієнта підсилення підсилювача опорної частоти (ПОЧ). При цьому регулювання амплітуди сигналу опорної частоти, який подається на змішувач передавача, буде здійснюватися плавно в межах від  $R_{\max}$  до  $R_{\min}$ .

Таким чином, утворюється замкнута слідкувальна система регулювання потужності сигналу передавача в залежності від інтенсивності прийнятого сигналу, відбитого від цілі, що супроводжується РЛС. Так як інтенсивність сигналу відбитого від цілі залежить від дальності до цілі, то тим самим здійснювалося поступове автоматичне регулювання потужності сигналу передавача в залежності від дальності до супроводжуваної цілі. Даний спосіб регулювання потужності сигналу передавача багатофункціонального радіолокатора є найпростішим. Але основним його недоліком є те, що сигнал на вході високочастотного приймача може перевищити заданий поріг не тільки за рахунок зростання рівня сигналу відбитого від цілі, але також за рахунок активної завади. Це обмежує можливість супроводження цілі РЛС в умовах застосування ціллю активних завад. Але відомо [2], що характерними ознаками застосування противником ПРР є: неочікуване припинення постановки активних завад на час (10...30) с. Тому запропонований спосіб регулювання потужності сигналу передавача РЛС в залежності від дальності до супроводжуваної цілі в певній мірі може бути застосований в умовах загрози застосування противником протирадіолокаційних ракет, а також для розширення динамічного діапазону приймача радіолокатора.

Зазначений недолік може бути усунутий, якщо контроль рівня відбитого від цілі сигналу і прийнятого радіолокатором здійснювати на виході його приймального пристрою. Дійсно [4, 5], в процесі обробки

прийнятого сигналу в приймачі РЛС здійснюється, як правило, компенсація активних завад за допомогою автокомпенсатора завад (АКЗ) та подавлення пасивних завад і відбитих від місцевих предметів сигналів за допомогою режекторних фільтрів. Тому на рівень сигналу на виході приймача завади практично не впливають. Разом з тим, у більшості приймальних пристроїв РЛС підтримується практично постійний рівень сигналу на їх виході за допомогою схеми автоматичного регулювання підсилення (АРП), яка і забезпечує потрібний динамічний діапазон [5]. Тому безпосередньо сигнал з виходу приймального пристрою РЛС не несе інформації про рівень сигналу, відбитого від цілі, що супроводжується. Така інформація є у рівні напруги АРП, яка при збільшенні рівня вхідного сигналу пропорційно зростає за модулем (напруга АРП є від'ємною). Ця напруга використовується в РЛ для визначення можливості переведення його в режим автоматичного супроводження цілі (режим АС) шляхом порівняння її з пороговою напругою (порогом АС) [1, 3].

Таким чином, другим способом регулювання потужності зондувального сигналу в залежності від дальності до супроводжуваної радіолокатором цілі може бути спосіб, в якому рівень прийнятого сигналу оцінюється по величині напруги схеми автоматичного регулювання підсилення і при перевищенні напруги АРП порогового значення (порогу АС), потрібного для захвату цілі на АС і надійного автосупроводження, формувати сигнал керування потужністю передавача. При цьому утвориться замкнута слідкувальна система, яка буде автоматично відслідковувати рівень зондувального сигналу, підтримуючи при цьому постійне значення напруги АРП приймача радіолокатора, рівне порогу АС. Структурна схема такої слідкувальної системи приведена на рис. 4.

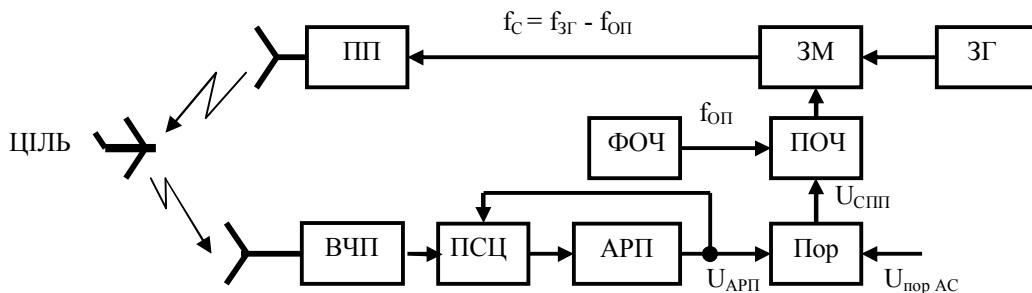


Рис. 4. Схема регулювання потужності сигналу передавача (варіант 2)

В приведеній слідкувальній системі інформація про рівень відбитого від цілі сигналу закладена в рівні напруги схеми автоматичного регулювання підсилення (АРП)  $U_{АРП}$ . При перевищенні  $U_{АРП}$  порогового значення  $U_{пор АС}$  (порогу АС) на виході порогової схеми формується сигнал перевищення порогу ( $U_{СПП}$ ), який і використовується для керування коефі-

цієнтом підсилення підсилювача сигналу опорної частоти (ПОЧ) передавача радіолокатора аналогічно першому варіанту. Даний спосіб регулювання потужності зондувального сигналу передавача радіолокатора є більш простим і він має ряд переваг.

По-перше, контроль рівня сигналу відбитого від цілі здійснюється не по надвисокочастотному (НВЧ)

сигналу, а по сигналу постійного струму (напряга АРП), що значно спрощує реалізацію пристрою керування потужністю передавача.

По-друге, на роботу пристрою керування потужністю передавача, який буде реалізовувати даний спосіб, практично не впливають завади, як активні так і пасивні, а також сигнали відбиті від місцевих предметів.

По-третє, в процесі регулювання потужності сигналу передавача за даним способом напряга АРП практично залишається незмінною, підтримуючи вихідний сигнал приймального пристрою в середині динамічного діапазону.

Це важливо при великому рівні відбитого від цілі сигналу, при якому схема АРП значно знижує коефіцієнт підсилення головного підсилювача приймального пристрою РЛ. За таких умов буде практично неможливо спостерігати на індикаторах РЛ момент запуску самонавідних ракет (наприклад ПРР), ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) яких значно менше ЕПР носія [2].

Запропонований спосіб дозволяє підтримувати досить великий коефіцієнт підсилення приймача РЛ, що, в свою чергу, дозволить у більшості випадків спостерігати момент запуску з борта супроводжуваної цілі ПРР і вжити відповідних заходів захисту, в тому числі і знищення ПРР.

Обидва способи регулювання потужності зондувального сигналу передавача в залежності від дальності до супроводжуваної цілі дозволяють розширити динамічний діапазон приймального пристрою РЛ, а саме верхньої його частини. Так при використанні в якості змішувача передавача прольотних клістронів діапазон зміни потужності передавача може складати (15 – 20) дБ [5]. На таку ж величину розшириться і динамічний діапазон приймального пристрою РЛ.

#### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАДИОЛОКАТОРА ОТ ПРОТИВОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ РАКЕТ ЗА СЧЕТ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАЛЬНОСТИ ДО СОПРОВОЖДАЕМОЙ ЦЕЛИ**

Н.И. Камчатный, Я.В. Бублик, И.Ю. Сементовский

*В статье анализируются современные методы защиты радиолокаторов (РЛ) от противорадиолокационных ракет, определяется возможность их использования в современных многофункциональных радиолокаторах ЗРК, предлагаются способы автоматического регулирования мощности зондирующего сигнала в зависимости от дальности до сопровождаемой цели для повышения энергетической скрытности работы РЛ и расширения динамического диапазона его приемного устройства.*

**Ключевые слова:** многофункциональный радиолокатор, противорадиолокационная ракета (ПРР), передающее устройство, зондирующий сигнал, приемное устройство, динамический диапазон, ЗРК, адаптивное регулирование

#### **INCREASE OF EFFICIENCY OF DEFENCE OF MULTIFUNCTION RADIO-LOCATOR FROM ANTILOCATOR MISSILE DUE TO THE ADAPTIVE ADJUSTING OF POWER OF SOUNDING SIGNAL DEPENDING ON DISTANCE TO THE TARGET THAT IS ACCOMPANIED**

M.I. Kamchatniy, Y.V. Bublik, I.Y. Sementovskiy

*In the article the modern methods of providing of defence of the radiolocation stations are analysed from antilocator missile, possibility of their application is determined in modern multichannel locator, the methods of automatic control of power of sounding signal are offered depending on distance to the accompanied target for the increase of power unnoticeable of work locator and expansion of dynamic range of its receiver.*

**Keywords:** multichannel locator, antilocator missile, transmission device, sounding signal, receiver, dynamic range, adaptive adjusting, anti-aircraft complex.

## **Висновки**

В статті проведено аналіз сучасних способів захисту радіолокаторів від ПРР та показана можливість використання режиму регулювання потужності зондувального сигналу передавача радіолокатора багатоканального ЗРК для підвищення ефективності його захисту від протирадіолокаційних ракет та розширення динамічного діапазону приймального пристрою РЛ. Приведено два варіанти побудови системи автоматичного регулювання потужності сигналу передавача в залежності від дальності до цілі, що супроводжується РЛ, в яких інформація про рівень відбитого від цілі сигналу використовується як зі входу приймального пристрою (перший варіант), так із його виходу (другий варіант). Отримані результати можуть бути використані як при розробці перспективних РЛ, так і в навчальному процесі.

## **Список літератури**

1. Бурцев В.В. *Основи побудови багатоканальних зенітних ракетних систем середньої дальності: навч. посіб.* / В.В. Бурцев, М.Я. Кузь. – Х.: ХВУ, 2002. – 87 с.
2. Єрмошин М.О. *Аеродинамічні цілі зенітних ракетних військ* / М.О. Єрмошин, В.М. Федай. – Х.: ХВУ, 2003. – 284 с.
3. Бурцев В.В. *Системотехнічні основи побудови та бойового використання комплексів і систем зенітного озброєння: навч. пос.* / В.В. Бурцев. – Х.: ХВУ, 2005. – 288 с.
4. Багдасарян С.Т. *Радіолокаційна системотехніка: навч. посі.* / С.Т. Багдасарян, Ю.В. Кулявець, С.І. Шупіцин. – Х.: ХВУ, 2002. – 243 с.
5. *Теория и техника генерирования, излучения и приема радиолокационных сигналов: учебн.* / под ред. Ю.Н. Седьшева. – Х.: ВИРТА ПВО, 1986. – 650 с.

Надійшла до редколегії 12.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. С.П. Ярош, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.