

УДК 621.3.095.222.4

К.В. Заїчко

АСПЕКТИ БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ ПРИ КОРИСТУВАННІ НЕЛІНІЙНИМ ЛОКАТОРОМ

Розглянуто умови створення загального фону електромагнітного випромінювання під час роботи з нелінійним локатором, проведено попередню оцінку його впливу на оператора. Підготовлено основні рекомендації для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на здоров'я оператора нелінійного локатора.

Ключові слова: нелінійний локатор, електромагнітне випромінювання, вплив, рекомендації.

Rассмотрены условия возникновения общего фона электромагнитного излучения при работе с нелинейным локатором, проведена предварительная оценка влияния на оператора. Подготовлены основные рекомендации для уменьшения влияния электромагнитного излучения на здоровье оператора нелинейного локатора.

Ключевые слова: нелинейный локатор, электромагнитное излучение, влияние, рекомендации.

The conditions for the emergence of a common background of an electromagnetic radiation when working with a nonlinear radar are considered, a preliminary assessment of the impact on the operator is carried out. Key recommendations to reduce the effects of an electromagnetic radiation on the health of the operator of the nonlinear locator are prepared.

Keywords: nonlinear locator, electromagnetic radiation, effect, recommendation.

Нелінійні локатори набувають широкого застосування в правоохоронній діяльності. Прилади нелінійної локації можуть бути використані для дистанційного виявлення радіокерованих підривних пристроїв під час проведення антитерористичних операцій. Нині у галузі технічного захисту інформації нелінійний локатор є невід'ємним інструментом під час атестації службових та виділених приміщень для робіт з обмеженим грифом доступу. З його допомогою проводиться обстеження приміщень та кімнат проведення переговорів на предмет виявлення пристроїв несанкціонованого витоку інформації.

Можливість виявлення радіоелектронних об'єктів за допомогою нелінійного локатора заснована на фізичній властивості напівпровідникових приладів, яка полягає в тому, що при їх опроміненні сигналом зондування відбувається перетворення частоти сигналу на кратні гармоніки з їх наступним випромінюванням до ефіру. При цьому процес перетворення не залежить від стану радіоелектронного об'єкта, що опромінюється (увімкнений чи вимкнений).

Оператором роботи з нелінійним локатором виступає людина, на організм якої тією чи іншою мірою здійснюється вплив шляхом розповсюдження

електромагнітного коливання. У відкритих джерелах відсутні посилання на дослідження з оцінки кількісного та якісного впливу на здоров'я людини і прогнозування щодо можливих наслідків цього впливу на внутрішні органи оператора нелінійного локатора.

Розглянемо аспекти виникнення електромагнітних коливань. Нелінійний локатор є джерелом електромагнітного випромінювання, яке розповсюджується та перевідбивається у зоні роботи оператора [1]. До основних параметрів нелінійних локаторів слід віднести потужність, частотний діапазон, види модуляції, режими роботи та діаграми направленості антен.

Як відомо, радіолокація (походить від слів *radio* – радіо і *locatio* – розміщення, розташування) – галузь науки і техніки, предметом якої є спостереження радіотехнічними методами (спостереження радіолокації) за різними об'єктами (цільми) – їх виявлення, розпізнавання, вимір їхніх координат (визначення місця розташування) та похідних координат і визначення інших характеристик. Під радіолокацією розуміють також сам процес спостереження (локації) радіолокації об'єктів. Визначення радіолокації необхідно для розуміння фізичного процесу відбиття радіохвиль від об'єктів, предметів тощо.

У нелінійній локації увага зосереджена на параметрах 2 та 3 гармоніки зворотного від об'єкта сигналу та отриманні найкращого співвідношення сигналу/завади. Енергетичні параметри на 2, а тим більше на 3 гармоніці мають доволі низькі значення, оскільки для їх обробки та виявлення створюються складні електронні модулі, у джерелах наводяться значення прийнятої потужності відбитого сигналу на рівні $2 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-5}$ (Вт). На енергетичних параметрах відбитого сигналу увагу не зосереджують, але саме у відбитому сигналі (першої гармоніки) зосереджений більш значний енергетичний вплив на оператора нелінійного локатора.

Розглянемо деякі фізичні параметри, що використовуються у класичній радіолокації. В основу найбільш поширеного вигляду радіолокації покладено радіолокацію із випромінюванням зондування – явище віддзеркалення радіохвиль. Простою характеристикою властивостей об'єкта у спрямованому на приймальну антену РЛС при заданому напрямі поля зондуючого випромінювання, є так звана ефективна площа розсіювання (ЕПР) об'єкта s , яка дозволяє визначити щільність потоку потужності поля у приймальній антені РЛС через щільність потоку потужності випромінювання від об'єкта за формулою

$$P_1 \times s = P_2 \times 4\pi R^2,$$

де R – відстань від об'єкта до РЛС. За характером віддзеркалення або випромінювання радіохвиль об'єкти радіолокації прийнято розділяти перш за все на зосереджені та розподілені. Розподілені об'єкти, у свою чергу, можуть бути поверхневими й об'ємними. Гладенькі поверхні, розміри нерівностей яких складають незначну долю від довжини опромінюючої хвилі (наприклад, бетонні елементи), відображають дзеркально, тобто при віддзеркаленні спостерігаються певні фазові співвідношення між опромінюючою хвилею і відбитою. При нерівностях, співрозмірних з довжиною опромінюючої хвилі або більших за неї, має місце дифузне віддзеркалення хвиль, тобто складання хвиль з випадковими фазами, відбитими від різних елементів поверхні. Можна стверджувати, що реальні поверхні створюють відбиті хвилі, що містять як дзеркальну, так і дифузну компоненту. Зіставляючи

розміри одиночного об'єкта не лише з об'ємом, вирішуваним РЛС, але і з довжиною хвилі, що випромінюється нею, розрізняють три випадки: розміри об'єкта в багато разів більші за довжину хвилі (так зване оптичне розсіювання – поверхневе та крайове); розміри об'єкта і довжина хвилі близькі одне до одного (резонансне розсіювання); довжина хвилі набагато перевищує розміри об'єкта (релеївське розсіювання). Ці випадки розрізняються не лише за інтенсивністю віддзеркалення, але й за характером залежності відбитого сигналу від довжини хвилі і поляризації зонduючого сигналу [2].

Під час використання локаторів інтерес може становити випадок величини відношення розмірів об'єкта до довжини хвилі, оскільки в нелінійній радіолокації використовують хвилі міліметрового діапазону, у якому в більшості об'єктів (чіпи, радіоелектронні компоненти) розміри поверхонь і країв мають перевищувати довжину хвилі. Для такого (оптичного) розсіювання характерні незалежність ЕПР від поляризації сигналу зондування. Як і в оптиці, тут велику роль відіграють “блискучі точки” (явище інтенсивного віддзеркалення хвиль від опуклих частин об'єкта), а також гладкі ділянки поверхні, що дзеркально відбивають. Розрахунок поверхневого розсіювання хвиль заснований на вживанні оптичних методів (переважно на використанні принципу Гюйгенса – Кірхгофа, згідно з яким відбите поле є сумою полів окремих ділянок “освітленої” поверхні).

У нелінійній локації, на відміну від радіолокації, відстані до об'єкта опромінення можуть становити від кількох сантиметрів до декількох метрів. При потраплянні електромагнітного випромінювання від нелінійного локатора на фізичне тіло або об'єкти відбуваються процеси багаторазового перевідбиття (для приміщень), поглинання, перетворення енергії та ін. Діаграми направленості антен нелінійних локаторів, як правило, мають гострий кут основної пелюстки, крім того, може відбуватись явище бокових зворотної пелюстки. Необхідно враховувати якомога більшу кількість праматерів, що позначаються на загальному фоні електромагнітного впливу на оператора нелінійного локатора.

Апроксимація окремих параметрів нелінійної локації щодо класичної радіолокації, звісно, містить похибку, та оскільки детальних досліджень щодо величин параметрів віддзеркаленої потужності сигналу не міститься у відкритих публікаціях, спробуємо зосередити подальший розгляд на допустимих параметрах потужності для життєдіяльності людини й розглянемо окремі можливі наслідки її перевищення. Скористаємося методиками СЕС за допомогою приладу, який спеціально призначений для перевірення рівнів електромагнітних полів на робочих місцях персоналу, що обслуговують радіотехнічні пристрої.

Для осіб, які пов'язані з роботою з радіотехнічними пристроями, при щільності потоку енергії 25 мкВт/см^2 допустимий час перебування у небезпечній зоні становить 8 годин за добу. Для довідки: межа норми потоку електромагнітного випромінювання в зоні можливого перебування оператора згідно з ГОСТ 12.1.006-84 встановлена на рівні, що дорівнює $200 \text{ мкВт год/см}^2$ за зміну.

Питання щодо визначення межі зони випромінювання антени нелінійного локатора, що є шкідливою для оператора, залишається актуальним. Частина виробників проводять сертифікацію своїх виробів та отримують санітарний паспорт. Деякі виробники надають дані вимірювань щодо задньої та бокових пелюсток антенної системи.

Нині у всіх цивілізованих країнах вимоги до безпеки для здоров'я організації робочого місця визначаються національними гігієнічними нормами. Наприклад, такими (відносно допустимих рівнів електромагнітних полів) є “Санітарно-епідеміологічні правила та нормативи”, “Електромагнітні поля у виробничих умовах”.

У технічній літературі можна натрапити на розрахунки для локаторів (діапазону “S” з робочою частотою 2900–3100 МГц та “X”), що належать до одного класу джерел випромінювання (діапазон радіочастот 300,0 МГц – 300,0 ГГц), та відсутнє розділення щодо безпечного визначення умов роботи. Обговорені два важливих параметри, які підлягають контролю: щільність потоку енергії електромагнітного поля (ЩПЕ = [мкВт/см²]) та енергетична експозиція (ЕЕ = [(мкВт/см²)*год]). Зв'язок між ними встановлено формулою:

$$ЕЕ = ЩПЕ * Т, \quad (1)$$

Максимально допустима величина ЩПЕ – 1000 мкВт/см² для деяких країн ближнього зарубіжжя та 200 мкВт/см² для України. При такому значенні параметра заборонені будь-які роботи в зоні опромінення. Якщо ЩПЕ нижче за зазначений параметр, то піддаватися дії такого поля можливо лише впродовж деякого часу, коли величина енергетичної експозиції не перевищуватиме максимально допустимого значення (200 (мкВт/см²)*год за зміну). Наприклад, якщо фахівець перебуває в електромагнітному полі з ЩПЕ 500 мкВт/см², то працювати він може впродовж:

$$Т = ЕЕ/ЩПЕ = 200/500 = 0.4 \text{ (год)} = 24 \text{ (хв)}$$

Виміряти ЩПЕ можливо за допомогою спеціального приладу – вимірювача щільності потоку енергії (див. рис. 1).

Не проводиться оцінка впливу типу випромінювання для нелінійних локаторів, а також типу модуляції. Виробники у рекламних проспектах та описах подають інформацію про мінімізацію шкідливого впливу на людину. Проводиться порівняння випромінювання безперервного режиму роботи (з потужністю до 0,01–3 Вт) з випромінюванням імпульсного режиму роботи нелінійного локатора (потужністю 150–400 Вт). Виробники апроксимують імпульсний режим роботи до середньої потужності, виводячи її на еквівалент 2–4 Вт. Звідси проводять обрахування щільності потоку енергії та роблять висновок, що нелінійний локатор не завдає шкідливого впливу операторові.



Рис. 1. Вимірювач щільності потоку енергії ПЗ-41

Нині існують лише експериментальні достовірні дослідження, які вказують, що при опроміненні головного мозку електромагнітними приладами з питомою поглиненою дозою від 0,4 Вт/кг до 40 мкВт/см² можливе утворення тимчасових реакцій, які можна трактувати як патологічні реакції на подразники з наступною компенсацією.

На колишніх виробництвах часів СРСР робота регулювальника НВЧ апаратури прирівнювалася до шкідливого виробництва, а допустима норма щільності потоку потужності мікрохвильового опромінювання для робочого дня становила $W=0,01$ мВт/см² (тобто 10 мкВт/см²). У випадку перевищення зазначеного рівня здійснювалося скорочення робочого дня. Незважаючи на те, що пільги щодо шкідливості залишилися в минулому, норму допустимого рівня щільності потоку потужності все ж ніхто не скасовував.

В Україні зберігають чинність Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань (ДСН 239-96). Зазначені санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітної потужності (ЕМП), що створюються радіотехнічними об'єктами, визначають гігієнічні вимоги до передавальних радіо-, телестанцій та інших об'єктів, які випромінюють електромагнітну енергію в навколишнє середовище. Правила поширюються на житлову забудову, забудову, що проектується і споруджується, окремі житлові, громадські і виробничі будинки різного відомчого підпорядкування, місця масового відпочинку населення, які розміщуються в районах їх проживання.

Окремо в зазначених нормативах наводяться розрахунки гранично допустимих рівнів ЕМП, що створюються радіолокаційними станціями (імпульсне випромінювання), дані показані у табл. 1.

Таблиця 1

Гранично допустимі рівні ЕМП, що створюються радіолокаційними станціями (імпульсне випромінювання)

Призначення РЛС	№ діапазону	Довжина хвилі, см	Режим роботи				
			Швидкість обертання антени, об/хв	Період огляду, с	Час опромінення з однопорядковою інтенсивністю	ДСН 239-96 Відношення тривалості випромінювання до загального часу роботи за добу	ГДР, мкВт/см ²
Метеорологічні РЛС та їм подібні за режимом роботи*	11	0,8± 0,12	£ 6	³ 10	£ 0,03 періоду огляду	0,5	140
			0	без огляду	ДСН 239-96 Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань не більше 12 годин на добу	1	2,5
	10	3,0± 0,60	£ 6	³ 10	£ 0,4 періоду огляду	0,5	60
			0	без огляду	Не більше 12 годин на добу	ДСН 239-96 1	2,5
	9	10,0± 1,50	0	–	Не більше 12 годин на добу	1	20
			£ 6	10	£ 0,008 періоду огляду	ДСН 239-96 Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань 0,5	40
0			без огляду	Не більше 12 годин на добу	1	24	
		0	–	Не більше 12 годин на добу	1	12	

Призначення РЛС	№ діапазону	Довжина хвилі, см	Режим роботи				ГДР, мкВт/см ²
			Швидкість обертання антени, об/хв	Період огляду, с	Час опромінення з однопорядковою інтенсивністю	ДСН 239-96 Відношення тривалості випромінювання до загального часу роботи за добу	
ДСН 239-96 Оглядові РЛС цивільної авіації та інші їм подібні за режимом роботи	9	10,0±	£ 15	³ 4	£ 0,0063 періоду	1	15
		2,00	£ 15	³ 4	огляду	ДСН 239-96	20
		23,0±	£ 15	³ 4	£ 0,004 періоду	Державні санітарні	25
		3,45			огляду	норми і правила	
35,0±			£ 0,011 періоду	захисту населення	1		
5,25			огляду	від впливу електромагнітних випромінювань			
Берегові і судові оглядові РЛС та інші їм подібні за режимом роботи	9	10,0±	£ 25	ДСН	£ 0,06 періоду огляду	1	2,5
		1,50		239-96 ³	Не більше 12 годин на добу	1	15
				2,4	Не більше 6 годин на добу	1	20

Проаналізувавши дані, наведені в зазначеній таблиці, можна зробити висновок, що допустимий рівень ЕМП для діапазону випромінювань локаторів під час проведення робіт не повинен перевищувати 2,5 мкВт/см².

Систематичні дослідження наслідків впливу радіочастотного випромінювання розпочалися після завершення Другої світової війни. Результати цих досліджень було опубліковано у різних джерелах, серед яких слід звернути особливу увагу на звіт "Програми трьох служб".

Значні дослідження впливу дії мікрохвильового опромінення за останні 25 років доводять, що для частот від 1200 МГц до 24500 МГц вплив щільності потоку потужності у 100 мВт/см² упродовж однієї години або більшого часу викликає розвиток патологічних проявів теплового походження, які характеризуються підвищенням температури, що є функцією терморегуляції та активної адаптації тварин, на яких проводилися дослідження. Кінцевим результатом впливу є зворотні або незворотні зсуви, що залежать від умов опромінення та фізіологічного впливу на тварину. Однак за щільності потоку потужності менше 100 мВт/см² розвиток патологічних змін не виявлено або вони сумнівні. Тим не менш проблема відносної ролі теплового і нетеплового впливу радіочастотного випромінювання викликає чимало запитань.

При роботі з нелінійним локатором слід дотримуватися таких правил техніки безпеки, як і з приладами, що мають відкриті випромінювачі радіочастотної енергії.

У активному режимі антенна система нелінійного локатора випромінює коливання НВЧ діапазону радіохвиль залежно від моделі локатора, що може становити від 600 до 3700 МГц. Робота оператора нелінійного локатора супроводжується певним рівнем ризику щодо стану здоров'я.

У інструкціях із експлуатації нелінійних локаторів наводяться дані щодо допустимих параметрів опромінення. Дані, наведені в рекламних проспектах, засновані на розрахунках, що базуються на усереднених значеннях потужності та не враховують часу безперервного знаходження оператора в електромагнітному полі, що утворюється антенною системою і поверхнями приміщення, яке відбиває радіохвилі. У різних джерелах наводяться дані стосовно параметрів задніх пелюсток

передавальних антен нелінійних локаторів. У розрахунках виробників нелінійних локаторів не проводяться дослідження. Як правило, не враховується рівень поглинання радіохвиль тканиною людини і взагалі не враховується так званий інформаційний вплив на людину, оскільки сигнал модулюється залежно від режиму роботи.

Серед важливих параметрів, що характеризують ступінь впливу на організм людини, є SAR (Specific Adsorption Rate) – питома поглинена потужність, яка визначається на одиницю маси тіла або тканини. Одиниця CI SAR визначається у ватах на 1 кг (Вт/кг).

У США Сертифікат на джерела НВЧ випромінювання, максимальний рівень SAR яких не перевищує 1,6 Вт/кг (причому поглинена потужність випромінювання приводиться до 1 гр тканини органів людини), видається Федеральною комісією зі зв'язку (FCC).

У Європі, згідно з міжнародною директивою Комісії із захисту від іонізуючого випромінювання (ICNIRP), значення SAR не повинно перевищувати 2 Вт/кг (при цьому поглинена потужність випромінювання приводиться до 10 г тканини органів людини).

Слід розуміти, що значення SAR може залежати від частоти, на якій проводяться вимірювання.

Прийняті у США та Європі стандарти визначення величини SAR – це нормування мікрохвильового випромінювання, що базується виключно на термічному ефекті, тобто пов'язане із нагріванням тканини органів людини.

Річ у тім, що випромінювання нелінійного локатора може бути промодульованим певним чином, а частоти цієї модуляції можуть збігатися із частотами власної, природної біоелектричної активності головного мозку людини, які реєструються на електроенцефалограмі (ЕЕГ). Частоти можуть збігатися з так званими гамма-ритмом, альфа-ритмом та дельта-ритмом мозку. Тобто до головного мозку людини переносяться сигнали, які здатні взаємодіяти із власною біоелектричною активністю головного мозку (наприклад, шляхом резонансу) й таким чином порушувати його функції.

Шведські вчені опублікували дані щодо проведених експериментів на лабораторних щурах. Так, вчені із “Lund University” (Малмо, Швеція) довели, що постійний вплив електромагнітних хвиль призводить до зміни структури та функцій відділів головного мозку, відповідальних за процеси запам'ятовування інформації й контролю рухів. Крім того, мікроскопічне дослідження тканини головного мозку виявило у них клітинні зміни, подібні до тих, що спостерігаються при хворобі Альцгеймера та інших нейродегенеративних захворюваннях. При цьому рівень випромінювання, під вплив якого підпадали тварини, був підібраний таким чином, щоб максимально близько імітувати реальний вплив джерел електромагнітного випромінювання на головний мозок людини, а тривалість впливу становила дві години на добу.

Деякі вчені вважають, що “нетермічні” наслідки впливу електромагнітного випромінювання доведені дослідженнями. Під час дії електромагнітних полів за інтенсивності нижчої від межі теплового ефекту спостерігається зміна живої тканини. Отримано експериментальні дані про втрату ембріонів курей від випромінювання та деякі інші негативні наслідки.

Під час роботи з нелінійним локатором при спробі перевірки предметів (різної щільності) з геометричними розмірами понад 0,3–0,5 м оператор може збільшувати потужність приладу іноді до максимальних значень з метою збільшення глибини зондування, відповідно, змінюється загальна картина рівня електромагнітного опромінення у робочій зоні людини.

Проведення практичних досліджень енергетичних параметрів у зоні роботи оператора нелінійного локатора може дати більш чітке уявлення про можливу небезпеку для здоров'я людини. Дотримання правил та послідовності дій у певній мірі може унеможливити або зменшити негативний вплив на оператора.

Необхідно ставитися до працюючого нелінійного локатора як до об'єкта підвищеної небезпеки та дотримуватися таких загальних правил поведінки з НВЧ приладами:

- не направляти антенну систему в напрямку очей;
- обмежувати перебування людей у зоні головної пелюстки діаграми направлення антенної системи;
- небажано направляти нелінійний локатор на пожежні та охоронні датчики або інші електронні засоби, що працюють, оскільки можливе хибне їх спрацьовування та вихід з ладу за відповідної потужності нелінійного локатора в імпульсному режимі;
- пам'ятати, що предмети, які меншою мірою поглинають електромагнітне випромінювання, за рахунок перевідбиття підвищують загальний рівень опромінення оператора.

Грунтуючись на викладеному матеріалі, варто порушити питання стосовно створення методики проведення вимірювання параметрів електромагнітного поля під час роботи з нелінійним локатором та створення детальних рекомендацій або норм із закріпленням допустимого часу роботи з приладом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Доматырко Д.Г.* Нелинейный радиолокатор и особенности его применения при поиске замаскированных устройств. / Д.Г. Доматырко, Н.И. Козачок, В.П. Литвиненко. // Вестник Воронежского государственного технического университета – 2010. – № 1.
2. *Бакулев П.А.* Радиолокационные системы : учебник для вузов. / П.А. Бакулев. – М. : Радиотехника, 2004.