

# BOJ S PRŮZKUMNÝMI A NAVÁDĚCÍMI PROSTŘEDKY V INFRAČERVENÉM PÁSMU

Období po druhé světové válce je charakterizováno hlubšími a významnými změnami ve výzbroji a bojové technice, z nichž za nejdůležitější považujeme vývoj raketových zbraní a radioelektronických systémů a prostředků. Bojová činnost nabyla rychlého manévrového spádu, který se projevuje zvýšeným tempem útoku a rozhodnými údery vojsk do velké hloubky.

Radioelektronické prostředky jsou materiálním základem systémů řízení vojsk a zbraní. Elektronika je základem průzkumných systémů, systémů velení vojskům, protiraketové a protivzdušné obrany, systémů navádění raket, řízení dělostřelecké palby, palby tanků, navádění letounů, vrtulníků a jiných prostředků. Pod pojmem radioelektronické prostředky rozumíme prostředky, které pracují nejen v oblasti rádiových vln (kde zdrojem jsou kmitající molekuly), ale i v oblasti záření (kde zdrojem je záření hmoty). Vojenské využití elektromagnetického spektra — viz **obr. 1**. Vzhledem k jejich významu se stává boj s těmito prostředky jedním z významných úkolů při vedení operací a bojové činnosti vojsk. Veškerá opatření v této oblasti zahrnujeme do **radioelektronického boje (REB)**, který musí zabezpečit splnění dvou základních úkolů:

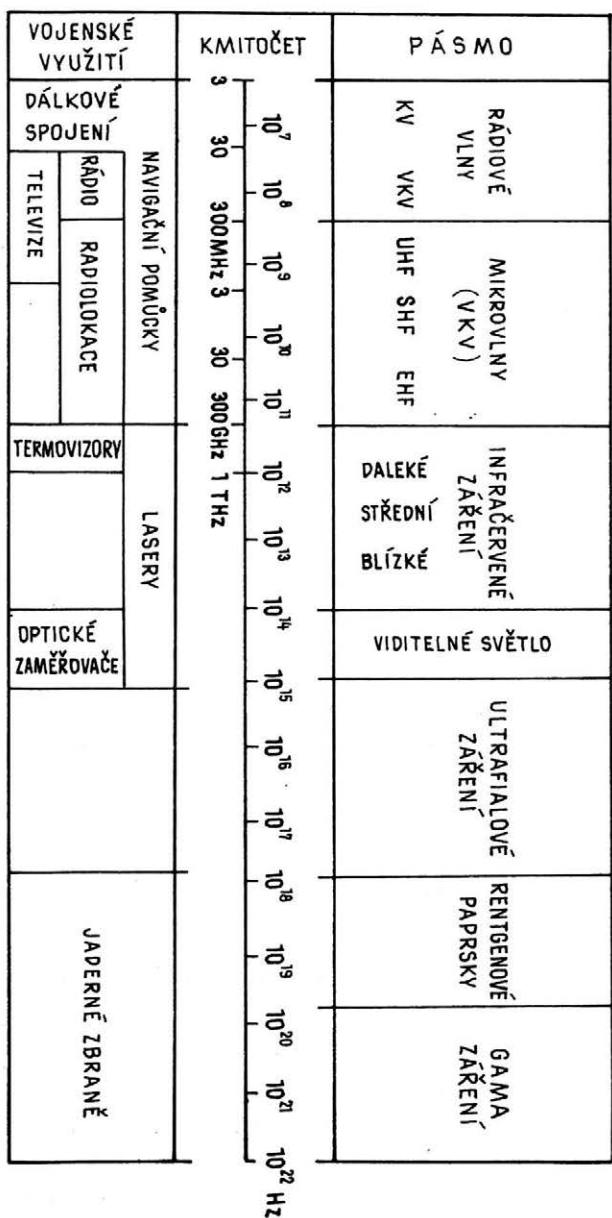
1. Dezorganizaci velení a řízení vojsk a zbraní nepříteli.
2. Zabezpečení spolehlivého velení a řízení vlastních vojsk a zbraní.

V současné době nastala v rozvoji REB v podstatě nová etapa. Změnil se rozsah a charakter jeho úkolů, obsah jeho částí, forma způsobů jeho vedení. Je velmi složité vymezit hranici, kdy REB je druhem zabezpečení bojové činnosti a kdy je bojovou činností.

REB je nezastupitelný ve všech oblastech vojenského umění ve vojenské strategii, operačním umění a taktice. Stále více se uplatňuje v operacích a boji, ve sféře vševojskového a vzdušného boje, kde právě v podmínkách složitých manévrových bojových akcí může nejlépe prokázat podstatný vliv.

REB už dávno přestal být úzkou záležitostí specialistů. Za jeho organizaci zodpovídají velitelé všech stupňů, druhů vojsk, speciálních vojsk a služeb.

V důsledku kvalitativních změn hlavních druhů výzbroje a bojové techniky se podstatně změnil i přístup ke stanovení norem převahy sil na nepříteli v útočné operaci. Jestliže v letech Velké vlastenecké války se při přípravě nejdůležitějších útočných operací vytvářela minimálně jedenapůlnásobná převaha nad nepřítel, pak v současnosti vystupují nové kvalitativní ukazatele. Víme, že je to právě elektronika, která zvyšuje operativnost a spolehlivost velení a řízení zbraní. Účinný boj právě s těmito prostředky vytváří předpoklady k úspěšnému vedení prvních i dalších operací při celkové nevelké převaze nad nepřítel, nebo dokonce i při rovnováze poměru sil obou stran.



Obr. 1

Nejen u nás, ale i u armád NATO, především v armádě USA, věnují zvýšenou pozornost organizaci REB. V polním řádu armády USA je kladen mimořádný význam právě úkolům REB. Uvedený předpis stanoví, že „každý velitel musí považovat elektromagnetické prostředí za rozšíření bojové činnosti o prostor, ve kterém se vede nový druh neviditelného, vysoce účinného boje — radioelektronický boj“ (viz překlad Polního řádu USA FM 100-5). V souladu s tímto řádem je REB chápán jako součást vedení bojové činnosti. Podle nejnovějších názorů vojenských představitelů NATO lze tuto iniciativu chápat jako **boj o nadvládu v éteru** (viz článek generálporučíka doc. Ing. A. I. Pálieje, CSc. — Vojennaja mysl 2/1981, str. 40).

Jestliže ještě v polovině sedmdesátých let byla hlavní pozornost věnována rádiovému, radiotechnickému a radiolokačnímu průzkumu a organizačním, technickým a provozním opatřením před těmito druhy průzkumu, dnes vystupuje požadavek věnovat zvýšenou pozornost tepelnému průzkumu a ochraně před ním. Dále ochraně před samonaváděcími zbraněmi v tomto pásmu.

Využívání elektromagnetického spektra ve vojenství se již dávno posunulo za hranici rádiových vln (milimetrových vln) až do oblastí záření. Jsme svědky, jak rychle se vyvíjejí laserové prostředky.

Koncem 70. let byly ve státech NATO vyvinuty nové průzkumné prostředky schopné detekovat tepelnou energii, vyzařovanou jednotlivými objekty (osobami, bojovou technikou apod.). Předností těchto tzv. tepelných prostředků je jejich nezávislost na osvětlení bojiště jak přirozeným, tak pomocným zdrojem světla. V současné době se již tepelné průzkumné prostředky zavádějí v západoněmecké, holandské, italské a dalších armádách států NATO. Mezi nejnovější prostředky tohoto druhu průzkumu patří termovizory Iril a CT 43 vyvinuté italskou firmou Galileo pro potřeby italských ozbrojených sil. Dále termovizor Mira 2 pro navádění PTRS Milan vyvinutý ve spolupráci společností NSR, Francie a Velké Británie.

**Termovizor Iril** můžeme charakterizovat jako průzkumné zařízení, které v sobě spojuje tepelnou kameru s optoelektronickým dalekohledem a umožňuje tak využití obou prostředků. Tato termokamera pracuje ve vlnovém pásmu 3–5  $\mu\text{m}$  se zorným úhlem 12,5°. Její dosah na tanky je až 5000 m. Umožňuje vyhledávání i maskovaných objektů za snížené viditelnosti a v noci.

Oba systémy termovizorů optoelektronický i tepelný mohou pracovat buď samostatně, nebo se obě zobrazení mohou prolínat. Celá souprava je napájena z baterie, kterou obsluha nese na popruhu. Hmotnost termovizoru bez zdroje je 5 kg.

**Termovizor CT 43** je přenosné zařízení určené k průzkumu bojiště za snížené viditelnosti i v noci. Pracuje ve vlnovém pásmu 5–14  $\mu\text{m}$  s proměnným zorným polem (1,1° × 2,2° a 3,4° × 6,8°). Dosah na tanky je 5000 m. Kamera v přenosném provedení se upevňuje na otočný podstavec. Po úpravě ji lze umístit i na bojovém vozidle. Výsledný obraz lze sledovat jak v okuláru kamery, tak i na obrazovce monitoru ve vzdálenosti až 50 m od kamery.

#### **Termovizor Mira 2 pro navádění PTRS Milan**

Soudobé tanky kapitalistických armád jsou vybaveny moderními průzkumnými optoelektronickými prostředky, které umožňují vést palbu proti pozemním cílům i za snížené viditelnosti a v noci. To si vynutilo vybavení protitankových zbraní obdobnými prostředky, schopnými zabezpečit účinné ničení tanků a bojových vozidel i za ztížených podmínek.

Termovizor Mira 2 pracuje ve vzdáleném infračerveném pásmu 8–14  $\mu\text{m}$ ,

kteřé zabezpečuje spolehlivou činnost i v mlze a dýmu, je odolnější proti rušení a detektory pracují s větší citlivostí a rozlišovací schopností.

Zorné pole termovizoru Míra 2 ( $6^\circ \times 3^\circ$ ) umožňuje zjišťovat objekty do vzdálenosti až 3200 m, identifikovat je do vzdálenosti 2000 m a vést účinnou palbu do vzdálenosti až 1500 m.

Konstrukce termovizoru umožňuje jeho snadné nasazení na standardní optiku PTRS Milan. Zdroj pro napájení obvodů termovizoru i chladicí láhev zabezpečují nepřetržitý provoz po dobu 2 hodin. Lze je však snadno a rychle vyměnit. Celková hmotnost nepřesahuje 7 kg. Zavedení termovizoru Míra 2 se očekává v první polovině 80. let. Jednotky pozemního vojska států NATO získají účinný prostředek pro boj s tanky, který bude schopen zabezpečit zásah cíle první ránou i za ztížené viditelnosti a v noci.

U letounů 4. STLV nechybí v soupravě prostředků REB optoelektronické prostředky k vedení průzkumu, rušení i protiradiolokační rakety se samonaváděcími hlavicemi v infračerveném spektru. Jsou vybaveny např. systémem zaměřování, identifikace a navedení v infračerveném spektru (AAS-8, AVQ-26, AAD-5, AAQ-9, AAR-38, ALR-23, AAS-35, ALR-63 a další). Prostředky pro optoelektronické rušení (ALQ-104, ALQ-123, ALQ-132, AAQ-4, AAQ-104). Podobně je tomu u vojenského letectva i letounů a vrtulníků REB.

Všestranných výsledků lze dosáhnout s tepelnou kamerou AGA 782. Je určena pro bezdotykové měření teplot se širokým spektrem využití.

Přístroj AGA 782 je měřicí systém pracující v infračervené oblasti a reálném čase, koncipovaný speciálně pro pohodlné nasazení na pracovišti. Přístroj sjednocuje přizpůsobivost pro daný problém s jednoduchostí obsluhy. Je kompatibilní se systémem 780, což umožňuje další analogovou a číslicovou analýzu a dále jedinečnou možnost komplexní analýzy termoprogramu. Při vývoji tohoto výrobku byla uvažována nutnost kvantování a reprodukce termických dat — rozložení termoprogramu na izotermy. Izoterma zobrazuje místa stejné teploty objektu, a to intenzivnější bílou barvou.

Může být využit i barevný monitor, který rozkládá termoprogram do deseti volitelných barev — kvantování. Každá barva odpovídá určitému rozsahu teploty. Tato technika zvyšuje možnost využití, zvláště pro dynamické měření, kdy se měří pohybující se objekt, nebo kde se teplota objektu rychle mění. Pro různé aplikace lze využít velkých rozměrů obrazovky, na které je možné pohodově vykonat potřebnou analýzu.

Infračervená kamera se používá ve dvou standardních verzích. Krátkovlnná pracuje na rozsahu 3,0–5,6  $\mu\text{m}$ , dlouhovlnná pracuje v rozsahu 8–12  $\mu\text{m}$ . Pro měření nízkých teplot z velké vzdálenosti je výhodné používat dlouhovlnnou kameru (např. při měření ze vzduchu nebo pro geotermické snímky z letadla apod.).

Přístroj AGA 782 umožňuje vytvářet hybridní obraz. V případech, kde kromě termogramu se vyžaduje komplexní pozadí, ať už pro doplnění termogramu nebo pro snadnou orientaci, je výhodný hybridní obraz. Ten je složen z viditelného obrazu objektu s okolím, který je částečně překryt termogramem. Typickou instalací je spojení systému s přístrojem Superviewer ve vrtulníku, či letounu. Pro rychlý záznam během letu lze použít videokameru s magnetofonovým záznamem. Pro pozdější vyhodnocení lze ze záznamu vyvolat obraz za obrazem.

Uvedený systém má velký význam pro průzkum ve vojenství. Termovizní průzkum lze vést z vrtulníku, či letounu. Použitím hybridní techniky se zjed-

noduší vyhledávání a sledování zamaskované techniky, soustředění vojsk, velitelských stanovišť, radioelektronických objektů při vyšší letové rychlosti. Zdroje infračerveného záření uvedených objektů se na hybridním obraze objeví jako bílé značky.

V rozvoji REB bylo již v ČSLA nemálo vykonáno. Jsou propracovány a prověřují se aktivní opatření vyčleněnými silami a prostředky ničení (umlčování), radioelektronického rušení, radioelektronické ochrany i opatření boje s nepřátelským průzkumem.

V současné době je třeba věnovat pozornost na všech stupních velení opatřením ochrany před optoelektronickými prostředky nepřítele. Kromě zdrojů vyzařování elektromagnetické energie jsou také významnými demaskujícími příznaky zdroje vyzařování v oblasti viditelného a infračerveného spektra (výfukové plyny a výfukové potrubí motorů, automobilní a tanková technika, elektrocentrály apod.). Na zdroje vyzařování lze navádět rakety.

Infračervené záření vzniká jako důsledek vnitřních fyzikálních procesů, které probíhají ve hmotě — zdroji záření. Jsou to především vibrační a rotační kmity atomů a molekul, kmity uzlů mřížky, přechody elektronů z vyšších energetických hladin na nižší apod. Základním zdrojem infračerveného záření je buzení záření zvýšenou teplotou zářiče.

Vysílané záření se potom nazývá teplotní. Chceme-li vyvodit některé závěry pro radioelektronickou ochranu v této oblasti, potom je třeba vycházet z uplatnění fyzikálních zákonů. Platí Kirchhoffův zákon o absolutně černém tělese. Intenzita vyzařování absolutně černého tělesa závisí jen na jeho teplotě. Pohltivost absolutně černého tělesa musí být pro všechny vlnové délky  $A = 1$ .

Charakteristické vlastnosti absolutně černého tělesa:

- reflexe (odrazivost) ( $R$ ) = 0,
- absorpce (pohltivost) ( $A$ ) = 1,
- propustnost ( $T$ ) = 0,
- emisivita (schopnost vyzařovat energii) ( $\varepsilon$ ) = 1.

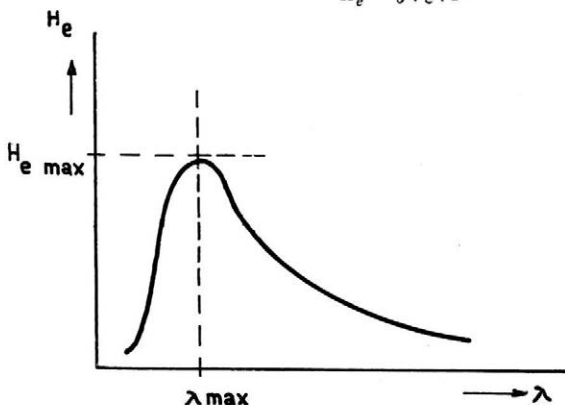
Pro absolutně černé těleso platí:

$$A = \varepsilon.$$

Pro intenzitu vyzařování platí Stefan Boltzmanův zákon:

$$H_e = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4$$

(viz obr. 2).



Obr. 2

kde  $H_e$  ... intenzita vyzařování,  
 $\sigma$  ... konstanta  $5,67 \cdot 10^{-8} \mu\text{m} \cdot \text{K}^{-4}$ ,  
 $\varepsilon$  ... koeficient emisivity,  
 $T$  ... teplota ve stupních Kelvina.

Význam tohoto zákona je velký. Lze určit teplotu zářícího tělesa, vypočítat tepelné ztráty, vzniklé sáláním apod. K tomu potřebujeme znát ještě Wienův zákon posuvu:

$$\lambda \cdot T = b ,$$

kde  $\lambda$  ... vlnová délka [tělesa, které vyzařuje],  
 $T$  ... teplota ve stupních Kelvina,  
 $b$  ... konstanta [ $2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ ].

Kromě absolutně černého tělesa, všechna ostatní tělesa považujeme za šedá tělesa. Pro šedá tělesa na rozdíl od absolutně černého tělesa platí:

- reflexe  $R \in [0,1]$ ,
- absorpce  $A < 1$ ,
- propustnost  $T = 0$ ,
- emisivita  $\varepsilon < 1$ .

Na základě uvedených fyzikálních zákonů lze v rámci takticko-operačních výpočtů vyhodnotit, zda je nutné chráněný objekt maskovat před tepelným průzkumem anebo nikoliv.

Například uvažujeme soustředění tanků v lese. Přitom zvolíme extrémní případ, kdy tanky jsou vychladlé. Je nutné je maskovat před tepelným průzkumem? Jak známo, před radiolokačním průzkumem jsou tanky v lese zpravidla bezpečně maskovány. Uvažujeme střední teplotu tanků asi  $27^\circ\text{C}$ , předpokládáme, že i les bude mít stejnou střední teplotu  $27^\circ\text{C}$ .

Z tabulek zjistíme, že koeficient emisivity je  
 pro tank:

$$\varepsilon_T = 0,75 ,$$

pro les:

$$\varepsilon_L = 0,4 .$$

Uvedené hodnoty dosadíme do Stefan Boltzmanova zákona:

pro intenzitu vyzařování tanku platí

$$H_{eT} = \sigma \cdot T_T^4 \cdot \varepsilon_T ,$$

pro intenzitu vyzařování lesa platí

$$H_{eL} = \sigma \cdot T_L^4 \cdot \varepsilon_L .$$

Závěry pro rozbor rovnice:

$\sigma$  ... konstanta,

$$T_T = T_L ,$$

$$\varepsilon_T \neq \varepsilon_L .$$

Potom:

$$H_{eT} \neq H_{eL}.$$

Soustředěné tanky v lese musí být maskovány před tepelným průzkumem a to nejen zahřáté, ale i vychladlé. Vychází otázka, jak a čím maskovat před tepelným průzkumem? Podle zkušeností z války ve Vietnamu k ochraně automobilní techniky a elektrocentrál před tepelným průzkumem byly používány přehozené plachty nebo rohože, které byly polévány vodou. Je toto opatření účinné, když ano, tak proč?

Leonid Zinověvič Krigsunov ve Zpravočnicku po osnovam infrakrasnoj techniky [Izdatelstvo Sovetskogo radio 1978, str. 41, tabulka 2.2] uvádí, že vrstva vody větší jak 0,1 mm má koeficient absorpce  $A \approx 1$  a koeficient emisivity  $\varepsilon \approx 1$  (voda v rozmezí teplot 0–100 °C má koeficient emisivity  $\varepsilon = 0,95–0,96$ ). Chová se téměř jako absolutně černé těleso. Proto sloupec vody větší jak 0,1 mm je dokonalou maskou před tepelným průzkumem. Víme ze zpravodajských informací, že k ochraně tanků a letounů před infrasonaváděcími raketami jsou vystřelovány infraklamné cíle. Jaký je fyzikální význam uvedených opatření?

Zdrojem infračerveného záření u bojových vozidel a letounů jsou výfukové plyny a výfuková potrubí. Na základě znalostí Wienova zákona posuvu lze odvodit pro tank:

teplota tanků asi 429 °C, ve stupních Kelvina  $429^\circ + 273^\circ = 702^\circ \text{K}$ ,

potom

$$\lambda_{\max T} = \frac{2898}{702} \approx 4,1 \mu\text{m}$$

$$H_{eT} = \sigma \cdot \varepsilon_T \cdot T_T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,75 \cdot 702^4 = 1,032 \cdot 10^4.$$

Pro letoun:

teplota letounu  $T \in (400–800^\circ \text{C})$ , ve stupních Kelvina  $(673–1073^\circ \text{K})$ ,

potom

$$\lambda_{\min \text{ let}} = \frac{2898}{673} = 4,3 \mu\text{m},$$

$$\lambda_{\min \text{ let}} = \frac{2898}{1073} = 2,7 \mu\text{m},$$

$$H_{e \min \text{ let}} = \sigma \cdot \varepsilon_{\text{let}} \cdot T_{\min \text{ let}}^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4 \cdot 673^4 = 4,65 \cdot 10^3.$$

$$H_{e \max \text{ let}} = \sigma \cdot \varepsilon_{\text{let}} \cdot T_{\max \text{ let}}^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4 \cdot 1073^4 = 3,006 \cdot 10^4.$$

Infraklamný cíl (Lovuška). Hořící elektron a speciální látky mají

$$T_{\max} \geq 2000^\circ \text{C}.$$

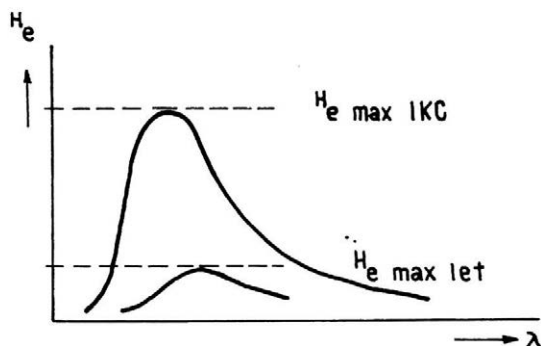
Potom intenzita vyzařování infraklamného cíle je:

$$H_{e \text{ IKC}} = \sigma \cdot \varepsilon_{\text{IKC}} \cdot T_{\text{IKC}}^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,15 \cdot 2273^4 = 2,27 \cdot 10^5.$$

Graficky znázorněno — viz obr. 3.

Z obr. 3 vyplývá, že intenzita vyzařování infraklamného cíle ( $H_{e \max \text{ IKC}}$ ) má podstatně vyšší úroveň než intenzita vyzařování letounu (tanku). Proto intenzita vyzařování tanku (letounu) vůči hodnotě intenzity vyzařování infraklamného cíle se jeví jako šum.

Jaký to má vše vliv pro praxi? Chceme-li zkontrolovat, zda jsme správně a účinně maskovali techniku před tepelným průzkumem, je třeba vykonat tzv. kontrolní oblety letouny (vrtulníky), které mají vestavěnou tepelnou kameru. Tak vyhodnocovat odolnost bojové sestavy vojsk před tepelným průzkumem.



Obr. 3

Je zřejmé, že vysoká úroveň speciální a technické připravenosti bojových směn radioelektronických prostředků, osádek automobilní techniky a obsluh elektrocentrál je spolu s organizačními a technickými opatřeními významným předpokladem zabezpečení radioelektronické ochrany před tepelným průzkumem. V boji nebo operaci lze dosáhnout převahy v palebných prostředcích, jestliže se podaří jedné z bojujících stran narušit systém průzkumu, řízení a navedení protivníka, v tom případě uplatní svou palebnou převahu a vytvoří předpoklady ke svému vítězství. Spolehlivou činnost radioelektronických systémů a prostředků vlastních vojsk lze zabezpečit těsnou koordinací opatření s cílem znemožnit nebo snížit bojové možnosti sil a prostředků REB nepřítel. To vyžaduje komplexní opatření k ničení a radioelektronickému rušení radioelektronických nepřátelských systémů a zabezpečení radioelektronické ochrany a bojem s nepřátelským technickým průzkumem.

Efektivnost opatření radioelektronické ochrany a boje s nepřátelským technickým průzkumem do značné míry závisí na tom, do jakého stupně nepřítel zjistil naše radioelektronické systémy a prostředky, jejich charakteristiky a způsob použití.

Předpokladem k úspěchu v REB je včasný průzkum, analýza a předávání informací štábům, vojskům a prostředkům REB o sestavě, příslušnosti, o funkci systému průzkumu, velení a REB nepřítel. Radioelektronický boj je neoddelitelnou součástí a obsahem libovolné bojové činnosti, její organizace a vedení — je jednou z nových oblastí vojenského umění.