

AERODROMINIO RADIOLOKATORIAUS ELEKTROMAGNETINĖS SITUACIJOS VERTINIMAS

Mindaugas Peckus

*VG TU AGAI Aviacijos prietaisų katedra
El. p. mpeckus@gmail.com*

Santrauka. Šiame straipsnyje nagrinėjama aerodromo radiolokatoriaus elektromagnetinė situacija, apžvelgti iki šiol atlikti moksliniai darbai bei publikuoti straipsniai šia tematika. Teorinėje dalyje yra paaiškinta radionavigacijos samprata. Išsamiau aptariamas elektromagnetinės spinduliuotės poveikis žmogaus organizmui. Pristatoma radiolokatoriaus elektromagnetinio srauto tankio skaičiavimo metodika.

Reikšminiai žodžiai: radiolokatoriaus elektromagnetinė situacija, elektromagnetinė spinduliuotė, radionavigacija.

1. Įvadas

Lietuvoje veikia keturi tarptautiniai oro uostai, Vilniaus, Kauno, Šiaulių ir Palangos. Norėdami užtikrinti skrydžių saugumą, oro navigacijos paslaugų kokybę bei skrydžių reguliarumą, oro uostuose yra įrengtos radionavigacinės sistemos, kurios privalo užtikrinti skrydžių saugą visuose etapuose, net ir blogomis meteorologinėmis sąlygomis. Šias sistemas dažniausiai sudaro antžeminė bei orlaivio borto aparatūra. Antžeminė aparatūra dažniausiai yra stacionari, jos eksploatavimo sąlygos yra lengvesnės, negu borto aparatūros, mažesni reikalavimai jos matmenims ir svoriui. Borto aparatūra turi dirbti sunkesnėmis eksploatavimo sąlygomis, kai yra didelės mechaninės perkrovos (smūgiai), staigūs meteorologinių sąlygų pokyčiai, esant dideliems temperatūros ir slėgio kitimo intervalams (Jakučionis 2007).

Įrengiant radiolokatorius turi būti gautas teritorinės visuomenės sveikatos priežiūros įstaigos leidimas. Tai būtina sąlyga nuo 2011 m. gegužės 1 d. pagal 2011 m. kovo 2 d. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro įsakymą Nr. V-200 „Dėl radiotechninio objekto radiotechninės dalies projekto ir elektromagnetinės spinduliuotės stebėsenos plano derinimo tvarkos aprašo patvirtinimo”.

Tyrimo tikslas yra išsiaiškinti elektromagnetinę situaciją aplink aerodromą, kurią sukuria radiolokatoriai, apskaičiuoti elektromagnetinę spinduliuotę ir parodyti tai grafiškai.

Pagrindinis elektromagnetinį lauką darbo vietoje ir gyvenamoje aplinkoje reglamentuojantis norminis dokumentas Lietuvoje yra Lietuvos higienos norma HN 80: 2011 „Elektromagnetinis laukas darbo vietose ir gyvenamoje aplinkoje. Parametrų normuojamos vertės ir matavimo reikalavimai 10 kHz–300 GHz radijo dažnių juostoje“. Šis dokumentas nustato radiotechniniams objektams taikomus visuomenės sveikatos saugos reikalavimus, elektromagnetinio lauko intensyvumo parametrų leidžiamas vertes bei matavimo reikalavimus gyvenamoje aplinkoje ir darbo vietose (Lietuvos ...2012).

2. Radionavigacijos samprata

Radionavigacija yra orlaivių navigacijos sritis, nagrinėjanti radiotechninių priemonių teoriją ir jų praktinį panaudojimą valdant orlaivio trajektoriją nurodytu laiku. Paprastesnės radionavigacinės priemonės, kuriomis galima nustatyti tik vieną navigacijos elementą, vadinamos navigaciniais įrenginiais. Radionavigacinė sistema vadinama radionavigacijos priemonių ir kitų prietaisų visuma, kuri naudojama orlaiviui valdyti. Radionavigacijos sistemos matuojami navigacijos elementai ir pagal juos nustatomos orlaivio koordinatės arba jo vieta antžeminių sistemų atžvilgiu. Tai daroma matuojant kampus ir nuotolius iki jų ar nuotolių skirtumus tarp kelių antžeminių sistemų ir orlaivio. Radionavigacijos priemonių yra įvairių. Naudojamos tos, kurios patikimesnės, pigesnės, lengvesnės ir mažesnės. Pagrindiniai radionavigacijos priemonių duomenys yra tokie:

1. Matavimų tikslumas, atspindintis išmatuoto dydžio nuokrypą nuo tikrosios reikšmės. Svarbiausias tikslumo rodiklis yra orlaivio vietos ir greičio nustatymo paklaida.

2. Veikimo sritis yra erdvė, kurioje orlaivio vietos nustatymo paklaida neviršija nurodyto dydžio.

3. Veikimo nuotolis yra didžiausias nuotolis veikimo srityje.

4. Pralaidumas nurodo didžiausią skaičių orlaivių, su kuriais vienu metu gali veikti radionavigacinė priemonė.

5. Veikimo sparta apibūdinama laiku, kuris sugaishamas gauti navigacijos informaciją.

6. Patikimumas apibūdinama radionavigacinės priemonės gebėjimą veikti nurodytomis eksploatacijos sąlygomis, išlaikant taktines ir technines galimybes.

7. Atsparumas trukdžiams apibūdinama radionavigacinės priemonės gebėjimą veikti esant radijo trukdžiams.

8. Automatizavimo lygis rodo laiką, kurį lakūnai sugaishta atlikdami navigacijos skaičiavimus ir valdydami orlaivį.

9. Gamybos ir techninės priežiūros kaina, masė, matmenys ir energijos sąnaudos yra ekonominiai rodikliai (Savickas 2005).

3. Tyrimo objektas ir problemos aptarimas

Tyrimo objektas – radiolokatoriaus ASR-22/AL elektromagnetinės situacijos tyrimas nelygioje vietovėje gyvenamųjų ir darbinių zonų teritorijose. Tyrimo metu reikia įvertinti šiuos parametrus:

- Radiolokatoriaus antenos sukimosi periodą [T];
- Impulsų pasikartojimo dažnį [F_i];
- Impulsų trukmę [τ_i];
- Antenos kryptingumo diagramą;
- Antenos aukštį virš žemės [h_i];
- Siųstuvo/-ų galią [P_{imp}];
- Reljefo pokytį atskaitos taško atžvilgiu [dh].

Pirminio radiolokatoriaus veikimo principas ir stebėjimo būdas pagrįstas atspindžio nuo objekto radiolokaciniais signalais, išspinduliuotais RLS. Elektromagnetinių bangų atspindėjimo savybes turi bet koks objektas, kurio elektromagnetiniai parametrai – elektrinė ir magnetinė skvarba – skiriasi nuo analogiškų erdvės parametrų. Dalis atspindėtos elektromagnetinių bangų energijos sklinda link RLS, priimama ir naudojama objektui aptikti bei jo koordinatėms matuoti. Pagrindinis šio stebėjimo būdo privalumas, kad jis leidžia gauti informaciją apie bet kurį objektą ir todėl radiolokacijoje yra labiausiai paplitęs (Pileckas 2006).

Siųstuvas sugeneruoja impulsą, kurio trukmė τ_i, signalo dažnis f_z, galia P_i. Šis siųstuvo radijo impulsas per anteninį perjungiklį, o toliau per anteną pasiunčiamas siauru erdvinio kampu, kurį rodo antenos kryptinė diagrama. Šis kampas yra mažas azimuto kryptimi Δθ_α = 1,5° ir didelis – vietos kampo kryptimi Δθ_β = 50°. Sukant anteną 360°, vykdoma radiolokacinė orlaivių eismo apžvalga aplink RLS. RLS imtuvas sustiprina silpną atspindžio signalą, jį detektuoja, radijo impulsą paverčia videoimpulsu. Šis impulsas siunčiamas į indikatorių ir tuo momentu indikatorius ekrane atsiranda šviečianti žymė. Indikatorius rodo dvi orlaivio koordinatas – azimutą ir nuotolį. Indikatoriaus skleistinė sudaryta taip, kad indikatoriaus spindulys sukasi kartu su antena ir yra skleidžiamas nuo indikatoriaus centro į jo pakraštį. Spindulio nutolimas nuo centro yra proporcingas laikui ir elektromagnetinių bangų nueitam keliui, kurį radijo impulsas ėjo iš RLS antenos iki orlaivio ir atgal. Tada randamas atstumas iki orlaivio D:

$$D = \frac{t_{vel}c}{2}, \quad (1)$$

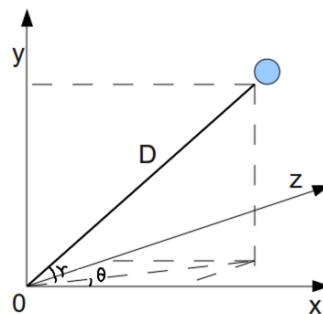
čia t_{vel} yra laikas, per kurį radijo impulsas keliavo nuo RLS iki orlaivio ir atgal; c – elektromagnetinis bangų sklaidimo greitis 3·10⁸ m/s.

Orlaivio žymės azimutas indikatoriaus ekrane matomas tiksliai, nes indikatoriaus spindulys sukasi ekrane sinchroniškai su antena, kuri turi siaurą kryptinę diagramą, o ir impulso trukmė yra nedidelė apie – τ_i = 3,0 μs (Pileckas 2006).

Radiolokatoriai, naudojami civilinėje aviacijoje, geba nusakyti dvidimensę orlaivio padėtį – atstumą iki jo ir kampinę padėtį šiaurinio rumbo atžvilgiu – azimutą polinėje koordinatų sistemoje (ρ,θ). Kol orlaiviai toli nuo antenos, D>>h (D – atstumas iki orlaivio, h – orlaivio aukštis) radiolokatoriaus ekrane matomas atstumas D yra apytiksliai lygus šio atstumo projekcijai į žemę D≈DP.

Orlaiviui priartėjus ši paklaida didėja priklausomai nuo orlaivio aukščio virš žemės: kuo žemiau yra orlaivis, tuo paklaida mažesnė. Civilinei aviacijai skirtus radiolokatorius riboja ir jų antenos.

Karinėje pramonėje naudojamų radiolokatorių antenos pasižymi kiek kitokia sandara ir veikimo principu. 3D dimensija – aptikto taikinio kampinis aukštis gaunamas naudojant pieštukines diagramas, formuojant jas vertikalia kryptimi. Šios antenos kryptinė diagrama gaunama naudojant plyšinę anteną. Turint atstumą iki taikinio D, azimutą ir vietos kampą, galima apskaičiuoti tiksliai taikinio koordinatas erdvėje.



1 pav. Erdvinės taikinio padėties nustatymas
Fig. 1. Dimensional target position measurement

Iš paveikslų:

$$D_x = D \cos \theta \cos \phi, \quad (2)$$

$$D_y = D \sin \theta, \quad (3)$$

$$D_z = D \cos \theta \sin \phi. \quad (4)$$

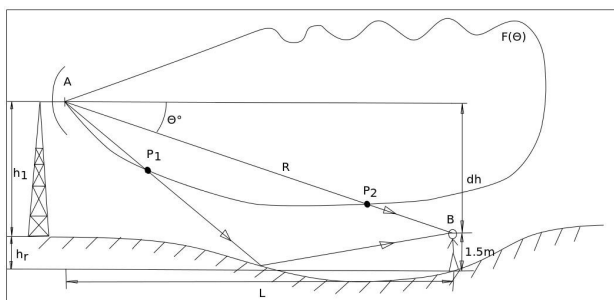
Kadangi tokią anteną sudaro daug spindulių su individualiais siųstuvais, keičiant individualaus signalo fazę galima keisti suminės diagramos kryptį. O tokių koherentinių bangų sudėtis lemia labai siaurą kryptinę diagramą su galios piku siaurame erdviniam kame bei minimalius šoninius lapelius. Tokia sistema yra labai sudėtinga ir brangi.

4. Radiolokatoriaus elektromagnetinio srauto tankio skaičiavimo metodika

Aerodromo radiolokatoriaus sistemos elektromagnetinio srauto tankio skaičiavimai atliekami laikantis higienos normų reikalavimų. Žemiau pateikiamas grafinis radiolokatoriaus antenos spinduliuojamo srauto radimas taške B, įvertinant vietovės reljefą.

Radaro išspinduliuotos bangos pasiekia tašką B žmogaus galvos lygyje dviem keliais: sklisdamos tiesiai ir atspindėdamos nuo žemės paviršiaus. Impulso energija gali pasiekti labai aukštą energijos tankio vertę, santykinai mažuose galios tankio lygiuose per vidutinį laiką. Taip nutinka todėl, kad radaro spinduliuotės impulso trukmė yra daug kartų trumpesnė nei impulsų pasikartojimas T_p. Dėl radaro antenos sukimosi tašką B periodiškai labai trumpą laiką veikia impulso moduluotos mikrobangų radiacijos pagal antenos horizontalios plokštumos pagrindinės skilties plotį. Nesudėtinga suprasti,

kad vidutinė galios vertė Pav. per impulsų pasikartojimo ir per antenos sukimosi laikotarpį yra maža.



2 pav. Radiolokatoriaus antenos spinduliuojamo srauto radimas taške B, įvertinant vietovės reljefą

Fig. 2. Radiolocation antenna emission flow finding at point B, evaluating landscape

5. Elektromagnetinių laukų poveikis žmogaus organizmui

Natūralūs elektromagnetiniai laukai nuolat veikia žmones, be to juos gali paveikti dirbtinės elektromagnetinės spinduliuotės šaltiniai. Natūralių elektromagnetinių laukų poveikis nėra didelis. Jis sustiprėja tik vykstant magnetinėms audroms, kai ženkliai padidėja žemės magnetinio lauko stipris (Mickūnas 1997).

Elektromagnetinio lauko poveikis (EML) priklauso nuo individualių organizmo savybių ir apšvitintų organų, kurie į elektromagnetinę spinduliuotę reaguoja nevienodai. Įvairių organų jautrumas elektromagnetinės spinduliuotės poveikiui priklauso nuo kraujagyslių tinkle mitozinio dauginimosi dažnumo ir ląstelių diferenciacijos lygio. Ypač jautrūs elektromagnetinės spinduliuotės šiluminiam poveikiui yra permatomi akies audiniai, sėklidės ir centrinė nervų sistema. Labiausiai elektromagnetinio lauko pažeidiamų organų sistemų patogeninis mechanizmas matyti 1 lentelėje:

1 lentelė. Labiausiai elektromagnetinio lauko pažeidžiamų organų sistemų patogeninis mechanizmas

Table 1. Electromagnetic field affected parts system pathogenesis mechanism

Organas, sistema	Efektas	Patogenezė
Lęšiukas	Katarakta	Kraujagyslių tinklo nebuvimas ir nedidelė lęšiuko geba išsklaidyti energiją lemia jo temperatūros pakilimą, dėl to sustoja mitozinis procesas ir lęšiukas drumsciasi.
Reprodukcinė sistema	Funkciniai sutrikimai	Sėklidėse ląstelių diferenciacija vyksta labai greitai, intersticinės ląstelės gamina mažiau androgenų, dėl to vystosi hipofizio ir lytinės sistemos hipofunkcija.
CNS	Funkciniai sutrikimai	EML bangų difrakcija ir atspindys vyksta dėl kaukolės sferinės formos, tam tikrose CNS dalyse susikaupia didesnė spinduliuotės energijos koncentracija; spinduliuotei ypač jautrūs smegenų kamieno tinklinis darinys ir pagumburis, todėl dėl šių dalių hipertermijos galimi CNS veiklos sutrikimai.

Elektromagnetinis laukas gali pažeisti akis, sukelti liaukemiją, smegenų auglius bei reprodukcines sistemas pakitimus. Nuolat elektromagnetinio lauko veikiami asmenys gali turėti dažnesnių širdies kraujagyslių ir imuninės sistemos bei kvėpavimo organų funkcinių pakitimų (Čyras ir kt. 2003).

Dėl elektromagnetinio lauko sutrinka nervų ir kraujo apytakos sistemų veikla, sumažėja kraujospūdis ir pulsas. Pastovaus elektromagnetinio lauko poveikio rezultatas yra nuovargis, irzlumas, galvos skausmas, miego sutrikimai, kūno temperatūros pokyčiai, kraujotakos sutrikimai, imuninės sistemos nusilpimas bei katarakta. Mokslo ir technikos srityje naudojamas įvairus elektromagnetinių bangų spinduliuotės dažnio spektras, kuris matyti 2 lentelėje.

2 lentelė. Elektromagnetinės spinduliuotės spektras

Table 2. Electromagnetic emission spectra

Bangos pagal ilgį	Dažnių diapazonas	Dažnis
Gigametrinės	0,3-3 kHz	Ultražemas
Megametrinės	3-30 kHz	Labai žemas
Kilometrinės	30-300 kHz	Žemas
Hektometrinės	0,3-3 Mz	Vidutinis
Dekametrinės	3-30 MHz	Aukštas
Metrinės	30-300 MHz	Labai aukštas
Decimetrinės	0,3-3 GHz	Ultraaukštas
Centimetrinės	3-30 GHz	Superaukštas
Milimetrinės	30-300GHz	Ekstremaliai aukštas

Elektromagnetinių laukų poveikis žmogaus organizmui normuojamas pagal elektrinio ir magnetinio lauko stiprį ir energijos srauto tankį. Jis priklauso nuo poveikio laiko (Urbonas, Mačiūnas 2005).

6. Rezultatai ir jų analizė

Radiolokatoriaus spinduliavimas buvo nagrinėtas 1,5m aukštyje virš žemės paviršiaus. Iš antenos kryptingumo diagramos vertikalioje plokštumoje imtos neigiamos kampo α° reikšmės kas $0,5^\circ$ nuo $-0,5^\circ$ iki -10° , nes tyrimo metu domino aukštai iškeltos antenos spinduliavimas žemyn į žemės paviršių. Iš antenos kryptingumo diagramos buvo atskaityta 20 stiprinimo koeficiento $G(\theta^\circ)$ reikšmių, atitinkančių pasirinktoms θ° reikšmėms. Naudojant Matlab interpoliavimo funkciją gauti tarpiniai rezultatai, užpildantys $G(\theta^\circ)$, dB bei $G(\theta^\circ)$ reikšmės intervale $0-10^\circ$. Tokiu būdu gauta ištisa vientisa duomenų seka, kas palengvino programos darbą. Siekiant supaprastinti mokymosi rašyti Matlab ruošinius procesą, duomenų nuskaitymo bei interpoliacijos, kampo θ° radimo pagal atstumą, formulės buvo rašomos atskirai. Norint ištirti kitokio tipo antenas galima keisti reljefo parametrus, adresuojant koordinatas kaip atstumo bei reljefo aukščio funkciją, atskaitos tašku imant antenos pagrindą. Reljefo koordinatės pasirinktais intervalais surašomos duomenų faile „reljefas.txt“, Kryptinės diagramos imtys pateikiamos „Gtheta.txt“ faile. Plėtinys „txt“ įgalina lengvai manipuluoti duomenimis bet kioje sistemoje, svarbu pateikti juos nustatyta forma. Didesnis imčių skaičius lems didesnę tikslumą, tačiau esant tolygiam duomenų kitimui, didelis jų skaičius nėra būtinas.

Darbe naudojami trys reljefai:

- a) lygus reljefas su 8,5 m aukščio, 20 m pločio namu tyrimo kryptimi 900 m atstumu,
- b) cos formos reljefas, kintantis 7 m amplitudė,
- c) kintantis reljefas pagal funkciją $y = 7 \cdot \cos(2 \cdot r) \cdot r / 600$, čia r yra atstumas.

7. Išvados

1. Matematinis radiolokatoriaus spinduliavimo modelis leidžia suprasti ir preliminariai įvertinti galimą mikrobangų įtaką darbuotojams, jei spinduliavimas vyksta darbo zonoje ar gyventojams, jei tiriamas spinduliavimas gyvenamųjų namų rajone. Matematinio modeliavimo, skaičiavimo ir duomenų analizės programos, tokios kaip Matlab, palengvina ir supaprastina šį procesą.
2. Naudotos metodikos esmė – skaičiavimas naudojant vidutinę radiolokatoriaus galią, randant ją iš impulsinės galios ir impulsų trukmės bei pasikartojimo periodo, įvertinus antenos kryptinės diagramos plotį. Šis metodas supaprastina skaičiavimus ir leidžia rasti ne momentinį, bet efektyvų spinduliavimo poveikį.
3. Galimas radiolokatoriaus spinduliuojamo energijos srauto mažinimo būdas yra išspinduliuojamo impulso τ_i trukmės keitimas. Kompiuterinei sistemai kontroliuojant išsiunčiamo signalo trukmę, priklausomai nuo atstumo iki aptikto orlaivio, galima apriboti nuolatinį galingų impulsų spinduliavimą laike naudojant galingus impulsus kaip periferinio vaizdo stebėjimo sistemą, veikiančią 60 s arba 30 s periodu. Taip bandoma aptikti naujus orlaivius, įskridusius į radiolokatoriaus darbo zoną.

Literatūra

- Čyras, P.; Girnius, V.; Kaminskas, K. A., ir kt. 2003. *Profesinė sauga ir sveikata. Ergonomikos principai*: Vadovėlis. Vilnius: Technika, 3–4.
- Jakučionis, A. 2007. *Radiolokacinės sistemos ir įranga*: Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 52–60.
- Lietuvos higienos norma HN 80: 2011, *Valstybės žinios* 2012 (5).
- Mickūnas, S. 1997. *Apsauga nuo elektromagnetinės spinduliuotės*. Kaunas: Technologija. 78 p.
- Savickas, A. 2005. *Orlaivių valdymas ir navigacija*: Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 133–136 p.
- E. Pileckas. 2006. *Skrydžių valdymo radiolokacinės sistemos*: Mokomoji knyga. Pirmoji dalis. Vilnius: Technika. 137 p.
- Urbonas, M.; Mačiūnas E. 2005. *Elektromagnetinio lauko poveikis sveikatai*. Vilnius: Technika.

EVALUATION OF AERODROME RADAR ELECTROMAGNETIC SITUATION

Mindaugas Peckus

Summary

The paper analyses evaluation of aerodrome radar electromagnetic situation published scientific works and papers

in this field. It also discusses conception of radionavigation, properly explains action of EM field on human body.

The method of evaluation is a very simple and has been used many times. It is necessary to use an average value of radiated power in calculations of antenna electromagnetic field exposure. Lithuania has accredited normative for permitted levels of electromagnetic radiation, so results of calculations can be compared with these levels and practical conclusions can be made for radar establishing.

Keywords: electromagnetic situation of radar, electromagnetic radiation, radionavigation.