

IONOSFERA QATLAMLARIDA RADIOTO'LQINLAR TRAYEKTORIYASI HOSIL BO'LISHINING NAZARIY JIHATLARI

Axunov Ashraf Abduxafiz o'g'li

O'R MV Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari aloqa harbiy instituti

Annotatsiya: *Ushbu maqolada uzoq masofalarga radioaloqani ta'minlashda keng qo'llaniladigan qisqa to'lqin diapazoni radioto'lqinlarining ionosfera orqali tarqalishida trayektoriyasining hosil bo'lish shartlari va xususiyatlari tahlili keltirilgan. Ushbu shartlar bevosita ionosfera qatlamlarining xususiy ko'rsatkichlari asosida yuzaga kelib, har bir qatlam orqali radioto'lqin o'tganda akslanib sinishi yoki qatlamdan o'tib ketish jarayonini kuzatish mumkin. Ionosfera orqali tarqalgan radioto'lqinlar uzoq masofaga tarqalishida aynan ushbu ko'rsatkichlar katta ahamiyatga ega.*

Kalit so'zlar: *qisqa to'lqin diapazoni, radioaloqa, ionosfera, ionosfera qatlamlari, muhit, antenna, chastota, to'lqin uzunligi, dielektrik singdiruvchanlik, radioto'lqinning sakrashi, ishchi chastota, radioqabul sifati.*

Аннотация: *В данной статье представлен анализ условий формирования и особенностей траектории коротковолновых радиоволн, широко используемых в дальней радиосвязи, при распространении через ионосферу. Эти условия возникают непосредственно на основе конкретных показателей слоев ионосферы и можно наблюдать процесс отражения и преломления радиоволны, проходящей через каждый слой или процесс прохождения через слой. Эти показатели имеют большое значение при распространении на большие расстояния радиоволн, распространяющихся через ионосферу.*

Ключевые слова: *коротковолновой диапазон, радиосвязь, ионосфера, ионосферные слои, пространство, антенна, частота, длина волны, диэлектрическая проницаемость, скачкообразные изменения радиоволн, рабочая частота, качество радиоприема.*

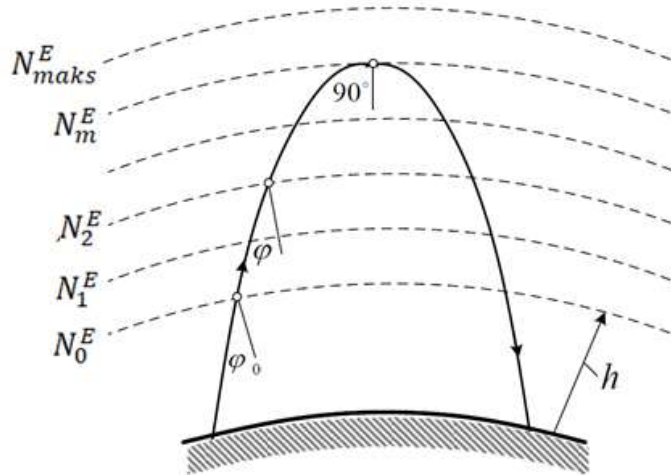
Abstract: *This article presents an analysis of the formation conditions and characteristics of the trajectory of shortwave radio waves, widely used in long-distance radio communications, when propagating through the ionosphere. These conditions arise directly on the basis of specific indicators of the layers of the ionosphere and one can observe the process of reflection and refraction of radio waves passing through each layer or the process of passing through the layer. These indicators are of great importance for the propagation over long distances of radio waves propagating through the ionosphere.*

Keywords: *shortwave range, radio communications, ionosphere, ionospheric layers, space, antenna, frequency, wavelength, dielectric constant, abrupt changes in radio waves, operating frequency, quality of radio reception.*

Qisqa to'liqin diapazonida radioaloqani tashkil etishda ionosfera qatlamlari alohida ahamiyatga ega.

Radiolaqo o'rnatiladigan muhit, masofa, ob-havo sharoiti va hudud reliefi radioaloqani tashkil etishda asosiy talablar hisoblanadi. Yuqoridagilardan kelib chiqib radioaloqa o'rnatishda foydalaniladigan diapazon, qurilmalar tanlanadi. Uzoq masofaga aloqa o'rnatishda asosan qisqa to'liqin diapazonida foydalaniladi. Qisqa to'liqin diapazoni atmosferaning qatlami orqali tarqalib kam quvvat va sarf-xarajat evaziga uzoq masofaga (3000 km gacha) radioaloqani ta'minlaydi. Ushbu jarayon radioto'liqlar atmosferaning ionosfera qatlamiga borib urilib, Yerga qaytishi hisobiga amalga oshadi. Shu jihatdan aloqa sifatini va masofasini belgilashda ionosfera qatlami muhim omil hisoblanadi.

Yerda joylashgan antenna orqali tarqalgan radioto'liqlarga nisbatan ionosfera elektron zichligi bir tekis o'zgaruvchi muhit sifatida namoyon bo'ladi.



1-rasm. Ionosferada radioto'liqlar trayektoriyasining hosil bo'lishi

Ionosferaning solishtirma dielektrik singdiruvchanligi ε^I atmosfera qatlamlari chegarasida o'zgaradi [1]. Ayrim chastotalarda uchun solishtirma dielektrik singdiruvchanlik ε^I dastlab kamayishi, so'ngra balandlik ortishi bilan solishtirma dielektrik singdiruvchanlik ε^I ning ortishi muhim ahamiyatga ega.

Har qanday muhitning sindirish koeffitsienti n va solishtirma dielektrik singdiruvchanligi ε ning $n = \sqrt{\varepsilon}$ tarzda bog'liqligini hisobga olsak [2], ionosfera uchun quyidagi tenglikni keltirish o'rinli:

$$n^I(N^E) = \sqrt{\varepsilon^I(N^E)} = \sqrt{1 - 80.8(N^E/f^2)} \quad (1)$$

(1) ifodadan ko'rinib turibdiki, ayrim belgilangan chastotalar uchun sindirish koeffitsienti elektron zichlik orqali aniqlanadi.

1-rasmda tasvirlangan radioto'liqin trayektoriyasini geometrik optika sifatida tushuntirish mumkin – nur ionosfera qatlamiga kirib, ayrim balandlikda akslandi [2]. Real holatda esa ushbu jarayon ancha murakkabdir. Birinchidan, ionosferadagi refraksiya hisobiga nur to'g'ri chiziqli trayektoriyasida og'adi. Ikkinchidan, sindirish

ko'rsatkichi bir tekis o'zgaradigan nobirjinsli muhitda to'liq ichki akslanish ta'siri mavjud [6]. Bunday muhitga tushgan nur egri chiziqli trayektoriya bo'ylab harakatlanadi va har bir nuqtada quyidagi shartni bajaradi:

$$\sin\varphi \cdot n = \text{const} \quad (2)$$

bu yerda:

φ – ushbu nuqtaga kelib tushgan nurning yo'nalishini tavsiflovchi tushish burchagi;

n – ushbu nuqtada sindirish koeffitsienti.

To'lqin ionosferaga kiruvchi nuqtada tushish burchagi $\varphi = \varphi_0$, elektron zichligi $N_0^E = 0$, sindirish koeffitsienti $n_0^I = 1$ deb hisoblasak [6], (2) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\sin\varphi \cdot n = \sin\varphi_0 \cdot 1 \quad (3)$$

Nur yo'nalishi buriladigan trayektoriyaning eng yuqori nuqtasida esa: $\varphi = 90^\circ$, $N_0^E = N_m^E$, $n_m^I = \sqrt{1 - 80.8(N_m^E/f^2)}$ bo'lsa [2]:

$$\sin\varphi \cdot n = \sin 90^\circ \cdot \sqrt{1 - 80.8(N_m^E/f^2)} \quad (4)$$

Yuqoridagi ifodalarni umumlashtirgan holda quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$\sin\varphi_0 \cdot 1 = \sqrt{1 - 80.8(N_m^E/f^2)} \quad (5)$$

(5) formula maksimal darajadagi elektron zichlikda nurning burilish shartini ifodalaydi. Shuni hisobga olish kerakki nurning burilish va akslanish jarayoni ionosferaning eng quyi yoki eng yuqori chegarasida sodir bo'lmaydi, ushbu hodisa qatlamning ma'lum balandligida amalga oshadi. Nurning burilish (akslanish) ini ta'minlovchi elektron zichlik $N_0^E < N_m^E < N_{\text{maks}}^E$ shart bajarilishini ta'minlaydi. Agar radioto'lqin burilish sharti (5) maksimal elektron zichlik balandligigacha bajarilmasa, Yer tomonga akslanmaydi, kosmik fazoga ketadi [4].

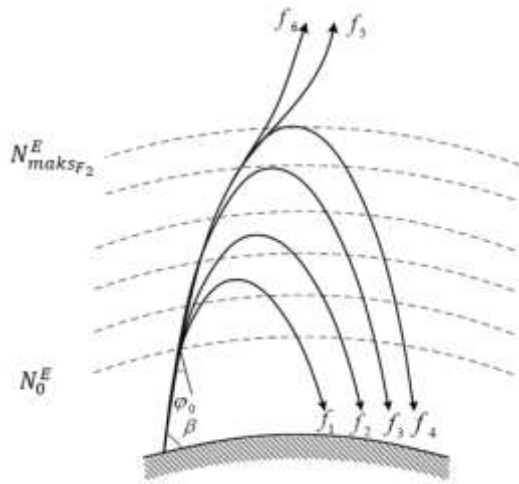
Agar (5) tenglamani f chastotaga nisbatan yechsak, quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$f = \sqrt{(80.8 \cdot N_m^E)/(\cos\varphi_0)^2} \quad (6)$$

Bu formuladan kelib chiqadiki, m -darajali elektron zichlik qanchalik baland bo'lsa, ushbu darajadagi traektoriyasi buriladigan (umumiy ichki akslanadigan) radioto'lqinning chastotasi shunchalik yuqori bo'ladi. F_2 qatlamning maksimal elektron zichligini $N_{\text{maks}_{F_2}}^E$ oraqli belgilab, φ_0 burchakda ushbu qatlamga tushib akslanadigan radioto'lqinlarning chegaraviy chastotasini aniqlash mumkin:

$$f_{\text{cheg}} = \sqrt{(80.8 \cdot N_{\text{maks}_{F_2}}^E)/(\cos\varphi_0)^2} \approx (9 \sqrt{N_{\text{maks}_{F_2}}^E})/\cos\varphi_0 \quad (6)$$

Belgilangan φ_0 burchakda f_{cheg} dan yuqori chastotada radioto'lqinlar akslanmaydi – 2-rasmdagi f_5 va f_6 chastotalar kabi ionosfera qatlamlaridan o'tib ketadi.



2-rasm. Chastotaga bog'liq holda radioto'lqinlar trayektoriyasining ionosferada shakllanishi

Radioto'lqinning chastotasi qanchalik past bo'lsa (rasmda $f_1 < f_2 < f_3 < f_4 < f_5 < f_6$), bu radioto'lqinni aks ettiradigan elektron zichlik darajasi shunchalik past bo'ladi. f_4 - o'z trayektoriyasini o'zgartirib, Yer sirtiga qaytuvchi radioto'lqinlarning chegaraviy chastotasi. f_5 va f_6 chastotali radioto'lqinlar ionosferadan o'tib ketadi va undan akslanmaydi.

Tushuvchi radioto'lqinlarning vertikal yo'nalishi uchun chegaraviy chastota f_{cheg} kritik chastota deb ataladi va quyidagi ifoda orqali topiladi [6]:

$$f_{\text{kr}} = f_{\text{cheg}, \varphi_0=0} \approx (9 \sqrt{N_{\text{maksF}_2}^E}) \quad (7)$$

(6) va (7) ifodalarni o'rniga qo'yish orqali kritik va chegaraviy chastotalarning o'zaro bog'liqligini ifodalovchi sekant qonuni kelib chiqadi:

$$f_{\text{cheg}} = \frac{f_{\text{kr}}}{\cos \varphi_0} = f_{\text{kr}} \cdot \sec \varphi_0 \quad (8)$$

YuCh (3-30 MHz) diapazonidagi radioaloqa liniyalarini hisoblashda, tushish burchagi φ_0 bilan emas, balki ko'tarilish burchagi (joydan ko'tarilish burchagi) β va uzatuvchi va qabul qiluvchi antennalar orasidagi masofa bilan ishlash qulayroqdir. Qisqacha qilib bu masofa radioto'lqinining sakrashi deb ataladi, ma'lum bir sakrash va ionosfera qatlamining ma'lum balandligi uchun aniqlangan chegaraviy chastota f_{cheg} maksimal foydalanish chastotasi (MFCh) hisoblanadi [2]. Shunday qilib, F_2 qatlam uchun eng katta sakrash 4000 km ni tashkil qiladi va unga mos keladigan maksimal qo'llaniladigan chastota $f_{\text{MFCh-4000}}$ kritik chastota $f_{\text{MFCh-0}}$ ga teng bo'ladi.

Juda muhim holatga e'tibor berish kerak - ionosferada akslangan radioto'lqinlar Yer yuzasiga yetib boradi va undan akslanadi, ionosfera va Yerdan ko'p marta akslanishi tufayli tarqaladi [2].

Umumiy holda, maksimal foydalanish chastotasi radiotrassa uzunligiga, ionosferadan akslanish balandligiga, qatlamning elektron zichligini balandlikda taqsimlash qonuniga va qatlamning kritik chastotasiga bog'liq. Ionosferaning ma'lum bir qatlamidan akslanish shartlariga ko'ra, YuCh diapazonidagi (3-30 MHz) ish chastota f_{ish} maksimal foydalanish chastotasidan oshmasligi kerak, ya'ni $f_{ish} \leq MFCh$ shart bajarilishi kerak.

Ishchi chastotalarning quyi chegarasi chastotaning pasayishi bilan ionosferaning o'ziga xos o'tkazuvchanligi oshishi va radioto'lqin energiyasining yutilishi ortishini hisobga olgan holda aniqlanadi. Natijada maydon kuchlanganligi kamayadi va qabul sifati yomonlashadi. Qabul qilish sifati minimal darajada yomonlashadigan chastota foydalanish mumkin bo'lgan eng past chastota (EPCh) deb ataladi [6].

Yuqoridagilarni hisobga olgan holda, ishchi chastota quyidagi shartlarni hisobga olgan holda tanlanadi:

$$EPCh \leq f_{ish} \leq MFCh \quad (9)$$

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, amaliy holatlarda radioaloqa uchun optimal ish chastotasi (OICH) qo'llaniladi, bu MFCh dan 15% kamroq bo'ladi. Ionosfera qatlamlari holatining kunlik va mavsumiy o'zgarishlari ish chastotalarini o'zgartirishni talab qiladi, natijada EPCh, MFCh lar ham o'zgaradi. YuCh diapazonidagi radioaloqalarning uzluksiz rejimda sifatli tashkil etish uchun ishchi chastotalarni (to'lqin uzunliklarini) chastotalar (to'lqinlar) jadvaliga muvofiq davriy o'zgartirish kerak.

Ionosfera to'lqinlaridan foydalaniladigan radioaloqa liniyalari qabul qilish punktida maydon kuchlanganligini amaliy hisoblash uchun ionosferada energiya yutilish hududi chizmasi yoki ushbu hududda kritik chastotalarning o'zgarishi va akslanish balandligini hisobga olish kerak.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] B.N. Raximov, O.A. Mirjalolov, A.T. Abdujamilov., R.I. Muhamedjanov "Harbiy radiokommunikatsiya asoslari" fanidan O'quv qo'llanma.-T.: «AKT va AHI», 2021-yil, 71 b.

[2] Radioelektron razvedka va kurash vositalari fanidan (1-qism Radioto'lqinlar va ularning tarqalish xususiyatlari) O'quv qo'llanma.-T.: «AKT VA AHI», 2022-yil, 64 b.

[3] A.Sh. Shahobiddinov, Likonsev D.N. "Radioto'lqinlarning tarqalishi va antenna-fider qurilmalari" O'quv qo'llanma. – T.: «Davir», 2012-yil, 368 b.

[4] A.A. Xalikov, F.F. Umarov, A.U. Tursunboyev "Radiotexnika asoslari" o'quv qo'llanma.-T.: «IQTISOD-MOLIYA», 2013-yil, 192 b.

[5] M.Z. Zuparov tarjimasi "Radioaloqa va radioeshittirish" o'quv qo'llanma, Г.П. Катунин, Б.И. Крук, Мамчев Г.В. "Телекоммуникационные сети и системы" учебное пособие, Горячая линия-Телеком, 2004 г.

[6] Д.В. Гололобов, В.Б. Кирильчук “Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства” Методическое пособие, Часть 1 Распространение радиоволн.- Мн.: БГУИР, 2003. – 124 с.

[7] Кубанов В.П., Ружников В.А. Сподобаев М.Ю., Сподобаев Ю.М. “Основы теории антенн и распространения радиоволн” Учебное пособие: – С.: ИНУЛ-ПГУТИ, 2016. – 258 с.