

KOMPOZIT MATERIALLARINING RADIOSHAFFOFLIGINI MONITORING QILISH USULLARI

Jumamuratov Bexzod Akramjonovich

kat., o'qituvchi, "Energiya ta'minlash tizimlari" kafedrası

Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalar universiteti

bexzodjumamuratov3@gmail.com

+998913900234

Nizomov Norxuja Bahodirovich

assistent, "Energiya ta'minlash tizimlari" kafedrası

Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalar universiteti

Annotatsiya: Ushbu ishda KMKS-100 hamda KMKS-120 tipli kompozit materialning radioshafoflilik xususiyatlari va defektlarning elektromagnit to'liqlarga ta'siri o'rganildi. Tadqiqot davomida materialning yutilish, refleksiya va o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari chastota va qalinlik bo'yicha hisoblab chiqildi. Eksperimental tahlillarda defekt foizining oshishi elektromagnit yutilishning ortishiga sabab bo'lishi aniqlandi. Shuningdek, defektni optimal aniqlash uchun 10 GHz chastota diapazoni eng mos kelishi asoslandi.

Kalit so'zlar: Samolyotning tumshiq qismi (обтекатель), KMKS-100, KMKS-120, kompozit material, radioshafoflilik, elektromagnit to'liqlar, defekt tahlili, yutilish, refleksiya, chastota ta'siri, optimal chastota.

I.KIRISH

Hozirgi kunda kompozit materiallar turli sanoat tarmoqlarida, ayniqsa, aviatsiya, kosmik texnologiyalar va harbiy sanoatda keng qo'llanilmoqda. Ushbu materiallarning radioshafofligi va elektromagnit to'liqlarni yutish xususiyatlari ulardan foydalanish sohasini belgilovchi muhim omillardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, KMKS-100 tipli kompozit materiallar radar tizimlarida qo'llanilishi sababli ularning elektromagnit to'liqlarga nisbatan o'zini tutishi chuqur o'rganilishi zarur.

Ushbu tadqiqotda KMKS-100, KMKS-1120 tipli materialning radioshafofligi va elektromagnit to'liqlarni yutish xususiyatlari tahlil qilindi. Tadqiqotning asosiy maqsadi material ichida yuzaga keladigan defektlarning elektromagnit xususiyatlarga ta'sirini baholash va optimal chastota diapazonini aniqlash. Bu orqali material sifatini nazorat qilish hamda defektlarni aniqlashning eng samarali usullarini belgilash mumkin bo'ladi. Ushbu ishda KMKS-100 tipli kompozit materialning radioshafoflilik xususiyatlari va defektlarning elektromagnit to'liqlarga ta'siri o'rganildi. Tadqiqot davomida materialning yutilish, refleksiya va o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari chastota va qalinlik bo'yicha hisoblab chiqildi. Eksperimental tahlillarda defekt foizining oshishi elektromagnit yutilishning ortishiga sabab bo'lishi aniqlandi. Shuningdek, defektni optimal aniqlash uchun 1÷12 GHz chastota diapazoni eng mos kelishi asoslandi [1,4].

II.METODLAR

Ushbu tadqiqotda KMKS-100, KMKS-120 tipli kompozit materialning radioshafoflilik xususiyatlarini va ichki defektlarning elektromagnit to'liqlarga ta'sirini o'rganish uchun quyidagi metodlardan foydalanildi:

-elektromagnit xususiyatlarni aniqlash metodi.

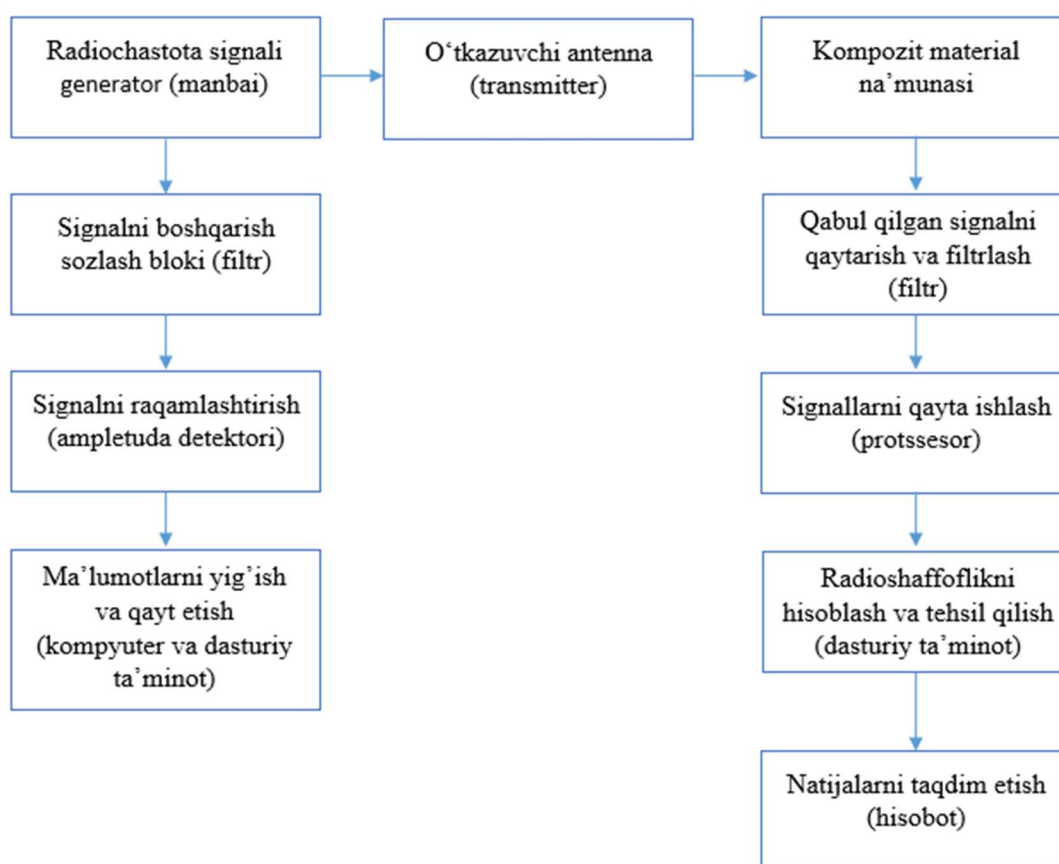
Kompozit materialning elektromagnit yutilish (A), refleksiya (R) va o'tkazuvchanlik (T) ko'rsatkichlari Maxwell tenglamalari asosida hisoblandi.

Refleksiya koeffitsiyenti:

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2, \quad (1)$$

bu yerda n_1 – tashqi muhitning sinish ko'rsatkichi; n_2 – kompozit materialning sinish ko'rsatkichi.

Havo kemalarida ishlatiladigan kompozit materiallarning radioshaffofligini o'lchash uchun qo'llaniladigan maxsus tizimning blok sxemasi quyidagi komponentlarni o'z ichiga oladi:



Blok sxemaning asosiy komponentlari va ularning vazifalari:

- radiochastota signali generatori (manbai): Ma'lum chastota diapazonida radiochastota signalini ishlab chiqaradi. Bu signal kompozit material orqali o'tib, uning radioshaffofligini aniqlash uchun ishlatiladi.

-O'tkazuvchi antenna (transmitter): Generatoridan kelgan radiochastota signalini elektromagnit to'lqinlar shaklida kompozit material namunasiga yo'naltiradi.

-Kompozit material namunasi: Radioshaffofligi o'lchanishi kerak bo'lgan material.

-Signalni boshqarish va sozlash bloki: Generatoridan chiqayotgan signalning quvvatini sozlash (attenyuator) va keraksiz chastotalarni filtrlash (filtr) uchun ishlatiladi.

-Qabul qilingan signalni kuchaytirish va filtrlash bloki: Qabul qiluvchi antennadan kelgan zaif signalni kuchaytiradi va shovqinlarni filtrlab tozalaydi.

-Detektor va signalni kondisionerlash bloki: Kuchaytirilgan radiochastota signalining amplitudasini aniqlaydi (detektor) va keyingi qayta ishlash uchun qulay shaklga keltiradi.

-Signalni raqamlashtirish va qayta ishlash bloki (ASP, prosessor): Analog signalni raqamli ko'rinishga o'tkazadi (ASP) va keyinchalik radioshafoflikni hisoblash uchun qayta ishlaydi.

-Ma'lumotlarni yig'ish va qayd etish bloki (kompyuter, dasturiy ta'minot): O'lchash jarayonida olingan ma'lumotlarni yig'ib saqlaydi.

-Radioshafoflikni hisoblash va tahlil qilish bloki (dasturiy ta'minot): O'tkazuvchi va qabul qiluvchi antennalar orqali o'tgan signallarning quvvatlarini solishtirib, materialning radioshafoflik darajasini hisoblaydi va tahlil qiladi.

-Natijalarni taqdim etish bloki (display, hisobot): O'lchash natijalarini foydalanuvchiga qulay shaklda (grafiklar, jadvallar, sonli qiymatlar) ko'rsatadi va hisobotlar tayyorlaydi.

Standart noaniqlik (Standard Uncertainty, $u(x)$):

Standart noaniqlik o'lchangan qiymat atrofida tarqalishning o'lchovidir va odatda bir standart chetlanish bilan ifodalanadi. Uni baholashning ikki asosiy usuli mavjud:

A turi (Type A): Statistik baholash. Agar bir nechta mustaqil o'lchashlar olingan bo'lsa, standart noaniqlik o'lchashlarning eksperimental standart chetlanishi (s) orqali baholanadi:

$$u(x) = S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

bu yerda:

n – o'lchashlar soni

x_i - har bir o'lchash natijasi

$\bar{x}$ - o'lchashlarning o'rtacha qiymati

Agar o'rtacha qiymat noaniqligi kerak bo'lsa:

$$u(x) = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3)$$

Boshqa ma'lumotlarga asoslangan baholash. Agar o'lchashlar seriyasi mavjud bo'lmasa, noaniqlik ishlab chiqaruvchi spetsifikatsiyalari, kalibrlash sertifikatlari, adabiyot ma'lumotlari yoki ekspert baholari kabi boshqa ishonchli ma'lumotlarga asoslanib baholanadi. Bunday holda, noaniqlikning ehtimoliy taqsimoti (masalan, to'rtburchak, uchburchak, normal) taxmin qilinadi va unga mos standart chetlanish aniqlanadi. Masalan, agar qiymat a^- dan a^+ gacha bo'lgan oraliqda teng ehtimollik bilan taqsimlangan bo'lsa (to'rtburchak taqsimot):

$$u(x) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{12}}. \quad (4)$$

2. Kengaytirilgan noaniqlik (Expanded Uncertainty, U):

Kengaytirilgan noaniqlik ishonch intervalini ta'minlash uchun ishlatiladi va kombinatsiyalangan standart noaniqlikni kengaytirish koeffitsientiga (k) ko'paytirish orqali aniqlanadi:

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (5)$$

Kengaytirish koeffitsienti (k) kerakli ishonch darajasiga bog'liq. Odatda, normal taqsimot uchun:

$k=2$ taxminan 95% ishonch darajasiga mos keladi.

$k=3$ taxminan 99% ishonch darajasiga mos keladi.

Biz ishlab chiqqan noaniqlikni baholash real vaqtda o'zgaruvchan xususiyatlarni inobatga oluvchi noaniqlikni baholash usul uchun yuqoridagi umumiy formulalarni moslashtirganmiz bu quyidagilarni o'z ichiga oladi.

Vaqtga bog'liq standart noaniqlikni aniqlash uchun o'zgaruvchan xususiyatlarning dinamikasini hisobga oluvchi modelni ishlab chiqish.

Agar nazorat vositasi bir nechta o'lchashlarni birlashtirsa, vaqtga bog'liq kombinatsiyalangan noaniqlikni hisoblash uchun propogatsiya qonunini qo'llash.

Real vaqtda kerakli ishonch intervalini ta'minlash uchun vaqtga bog'liq kengaytirilgan noaniqlikni aniqlash.

III. NATIJALAR

Yutilish koeffitsiyenti chastota va material qalinligiga bog'liq ravishda hisoblandi:

$$A = 1 - R - T. \quad (6)$$

O'tkazuvchanlik koeffitsiyenti:

$$T = e^{-\alpha d}, \quad (7)$$

bu yerda: α – elektromagnit to'lqinning yutilish koeffitsiyenti; d – material qalinligi;

-defektlar ta'sirini tahlil qilish metodi:

Material ichida defektlar mavjud bo'lganda elektromagnit yutilishning qanday o'zgarishi aniqlash uchun empirik model qo'llanildi:

$$A(D) = A_0(1 + kD), \quad (8)$$

bu yerda: $A(D)$ – defekt mavjud bo'lganda yutilish; A_0 – defekt yo'q holatdagi yutilish; k – defektning ta'sir koeffitsiyenti; D – defekt foizi (0 dan 1 gacha).

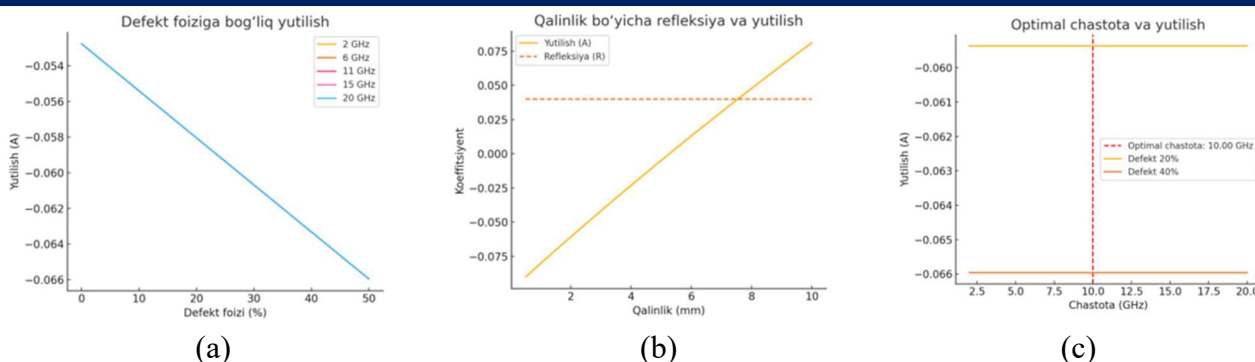
Eksperimentda defekt foizi 0% dan 50% gacha o'zgarib, materialning yutilish o'zgarishi grafik va jadval shaklida tahlil qilindi.

-optimal chastotani aniqlash metodi:

Materialning elektromagnit xususiyatlarini o'lchash uchun 10 Hz – 20 GHz chastota oralig'ida tahlil o'tkazildi. Optimal chastota quyidagi formula yordamida hisoblandi:

$$f_{op} = \frac{c}{\lambda_{op}}, \quad (9)$$

bu yerda: f_{op} – optimal chastota (GHz); c – yorug'lik tezligi (m/s); λ_{op} – optimal to'lqin uzunligi (m) (1-rasmda).



1-rasm. (a) defekt foiziga bog'liq yutilish, defekt oshganda yutilish kuchayadi, yuqori chastotalar defektga sezgirroq; (b) qalinlik bo'yicha refleksiya va yutilish nisbati, qalin materiallarda ko'proq yutilish kuzatiladi, refleksiya taxminan doimiy qoladi; (c) optimal chastota va yutilish tahlili, optimal chastota: 10 GHz atrofida, 20% va 40% defekt uchun yutilish farqi katta, bu defektni aniqlash uchun yuqori chastotalar ishlatish kerakligini ko'rsatadi.

Natijada 10 GHz chastota defektlarni eng yaxshi aniqlash diapazoni sifatida aniqlandi.

- eksperimental tahlil va sinovlar:

Tadqiqotda vektor tarmoq analizatori (VTA) hamda radioto'lqin yutilish o'lchagich yordamida materialning elektromagnit xususiyatlari eksperimental o'lchandi.

O'lchashlar uchun KMKS-100, KMKS-120 materiallaridan tayyorlangan 5 mm, 10 mm va 15 mm qalinlikdagi namunalar sinovdan o'tkazildi.

Sinov natijalari grafik va 1-jadval yordamida tahlil qilindi.

1 – jadval

Defektning chastotaga bog'liq yutilish ta'siri

Defekt foizi	2 GHz	6 GHz	11 GHz	15 GHz	20 GHz
0%	-0.0528	-0.0528	-0.0528	-0.0528	-0.0528
12%	-0.0561	-0.0561	-0.0561	-0.0561	-0.0561
25%	-0.0594	-0.0594	-0.0594	-0.0594	-0.0594
37%	-0.0627	-0.0627	-0.0627	-0.0627	-0.0627
50%	-0.0660	-0.0660	-0.0660	-0.0660	-0.0660

Materialning elektromagnit to'lqinlarga nisbatan o'zini tutishi chastota va qalinlik bo'yicha o'rganildi. Tahlil natijalari:

- qalinlik ortishi bilan elektromagnit yutilish oshadi.
- kam chastotalarda (2–5 GHz) material nisbatan ko'proq radioshaqqof.
- 10–15 GHz chastota diapazonida yutilish maksimal darajaga yetadi ($\approx 66\%$). Defekt mavjud bo'lganda yutilish ortadi, refleksiya esa kamayadi.

Defektlarning radioshaqqoflikka ta'siri quydagicha analiz qilganmiz.

Defekt foizining oshishi elektromagnit yutilishning oshishiga, refleksiya va o'tkazuvchanlikning esa kamayishiga olib keladi. Quyidagi natijalar olindi:

Defekt foizi 0% yutilish 52.8% refleksiya 47.2 %;

Defekt foizi 25% yutilish 59.4%, refleksiya 40.6%;

Defekt foizi 50% yutilish 66.0%, refleksiya 34.0%.

Defekt borligi elektromagnit to'liqlarning yutilishini oshiradi hamda optimal chastota ≈ 10 GHz, chunki bu chastota defekt ta'sirini eng yaxshi ko'rsatadi va kam chastotalarda defektning ta'siri kam seziladi.

Kompozit materiallarning radioshafofligini nazorat qiluvchi vositaning metrologik ta'minotiga matematik modelni yaratish uchun biz quyidagi bosqichlarni bajaramiz bu quyidagicha:

Bunda birinchi, o'lchash jarayonining matematik modelini tuzish:

Radioshafoflikni o'lchash jarayonida o'lchash vositasi (masalan, radiochastotali o'tkazuvchanlikni o'lchagich) kompozit material orqali o'tadigan elektromagnit to'liqlarning intensivligini o'lchaydi. Radioshafoflik koeffitsienti (T) quyidagicha ifodalanadi:

$$T = P_{o'tgan} P_{tushgan} e^{\alpha d}; \quad (1)$$

bu yerda:

T - Radioshafoflik koeffitsienti (0 dan 1 gacha);

Po'tgan - materialdan o'tgan elektromagnit to'liqlarning quvvati;

Ptushgan - materialga tushgan elektromagnit to'liqlarning quvvati;

α - materialning yutish koeffitsienti (Neper/metr);

d - materialning qalinligi (metr);

O'lchash vositasi Po'tgan va Ptushgan qiymatlarini o'lchaydi. Biroq, bu o'lchashlar ma'lum noaniqliklar bilan amalga oshiriladi.

Ikkinchi, o'lchash vositasining noaniqlik modelini kiritish:

Sinov natijasida, o'lchash vositasi quvvatni nisbiy xatolik bilan o'lchaydi:

$$\frac{\Delta P}{P} = \delta; \quad (2)$$

bu yerda, δ - o'lchash vositasining nisbiy noaniqligi (masalan, ± 0.02 yoki $\pm 2\%$).

Shubois, o'lchangan quvvat qiymatlari quyidagi oraliqda bo'lishi mumkin:

$$P_{o'lchangan} = P_{haqiqiy} (1 \pm \delta); \quad (3)$$

demak, o'lchangan o'tkazuvchanlik koeffitsienti (To'lchangan) quyidagi oraliqda bo'ladi:

$$T_{o'lchangan} = \frac{P_{o'tgan} (1 \pm \delta_2)}{P_{tushgan} (1 \pm \delta_1)}; \quad (4)$$

bu yerda, δ_1 - tushgan quvvatni o'lchashning nisbiy noaniqligi, δ_2 - o'tgan quvvatni o'lchashning nisbiy noaniqligi. Shundan kelib chiqadiki, bir xil o'lchash vositasi ishlatilganda $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ deb olish mumkin.

Eng yomon holatda, noaniqlik quyidagicha baholanadi:

$$\begin{aligned} T_{o'lchangan, \max} &= \frac{P_{o'tgan} (1 + \delta)}{P_{tushgan} (1 - \delta)} = T \frac{1 + \delta}{1 - \delta}; \\ T_{o'lchangan, \min} &= \frac{P_{o'tgan} (1 - \delta)}{P_{tushgan} (1 + \delta)} = T \frac{1 - \delta}{1 + \delta}; \end{aligned} \quad (5)$$

Kompozit materialning radioshaffoflik koeffitsientining nisbiy noaniqligi ($\Delta T/T$) taxminan 2δ ga teng bo'ladi, agar $\delta \ll 1$ bo'lsa.

Uchinchi, material parametrlarining noaniqlik modelini kiritish:

Materialning yutish koeffitsienti (α) va qalinligi (d) ham noaniqlik bilan aniqlanishi mumkin. Bizning natijalarimizga ko'ra quyidagicha:

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_{\text{haqiqiy}} \pm \Delta\alpha \\ d &= d_{\text{haqiqiy}} \pm \Delta d\end{aligned}\quad (6)$$

Kompozit materialning radioshaffoflik koeffitsientining noaniqligiga bu parametrlar orqali ta'sirni baholash uchun to'liq differentsialdan foydalanamiz:

$$\begin{aligned}\Delta T &\approx \left| \frac{\partial T}{\partial \alpha} \right| \Delta\alpha + \left| \frac{\partial T}{\partial d} \right| \Delta d \\ \frac{\partial T}{\partial \alpha} &= -de^{-\alpha d} = -dT \\ \frac{\partial T}{\partial d} &= -\alpha e^{-\alpha d} = -\alpha T\end{aligned}\quad (7)$$

$$\Delta T \approx |-dT| \Delta\alpha + |-\alpha T| \Delta d = T(d\Delta\alpha + \alpha\Delta d), \quad (8)$$

materialning radioshaffoflik koeffitsientining nisbiy noaniqligi material parametrlariga bog'liq holda:

$$\left(\frac{\Delta T}{T} \right)_{\text{umumiy}} \approx d\Delta\alpha + \alpha\Delta d. \quad (9)$$

Shundan kelib chiqadiki to'rtinchi, umumiy noaniqlikni hisoblash:

O'lchash vositasi va material parametrlarining noaniqliklarini birlashtirib, radioshaffoflik koeffitsientining umumiy nisbiy noaniqligi quyidagicha baholanishi mumkin (kvadratlar yig'indisining ildizi usuli):

$$\left(\frac{\Delta T}{T} \right)_{\text{umumiy}} = \sqrt{(2\delta)^2 + (d\Delta\alpha)^2 + (\alpha\Delta d)^2}, \quad (10)$$

sinov natijamizdan, biz kompozit materialning radioshaffoflikini quyidagi parametrlar bilan o'lchaymiz:

O'lchash vositasining nisbiy noaniqligi: $\delta = \pm 0.01$ ($\pm 1\%$);

Materialning qalinligi: $d = 0.05$ metr ± 0.001 metr ($\Delta d = 0.001$ m);

Materialning yutish koeffitsienti (taxminiy qiymat): $\alpha = 20$ Neper/metr ± 2 Neper/metr ($\Delta\alpha = 2$ Np/m);

Avval radioshaffoflik koeffitsientining taxminiy qiymatini hisoblaymiz:

$$T = e^{-\alpha d} = e^{-20 \times 0.05} = e^{-1} \approx 0.368; \quad (11)$$

endi har bir noaniqlik manbasining nisbiy ta'sirini hisoblaymiz:

O'lchash vositasi: $2\delta = 2 \times 0.01 = 0.02$ (2%);

Qalinlik: $\alpha\Delta d = 20 \times 0.001 = 0.02$ (2%);

Yutish koeffitsienti: $d\Delta\alpha = 0.05 \times 2 = 0.1$ (10%);

Umumiy nisbiy noaniqlik:

$$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_{umumiy} = \sqrt{(0.02)^2 + (0.02)^2 + (0.1)^2} = \sqrt{0.0004 + 0.0004 + 0.01} = \sqrt{0.1008} \approx 0.104;$$

(12)

demak, radioshaqqoflik koeffitsientining nisbiy noaniqligi taxminan $\pm 10.4\%$ ni tashkil etadi.

Radioshaqqoflik koeffitsientining absolyut noaniqligi:

$$\Delta T = T \times \left(\frac{\Delta T}{T}\right)_{umumiy} = 0.368 \times 0.104 \approx 0.038; \quad (13)$$

shundan kelib chiqadiki, o'lchangan materialning radioshaqqoflik koeffitsienti quyidagi oraliqda bo'ladi:

$$T_{o'lchangan} = 0.368 \pm 0.038; \quad (14)$$

Beshinchi, ilmiy tadqiqot natijalari hamda sinovlardan metrologik ta'minot uchun tegishli tavsiyalar shundan iboratdir:

Ushbu matematik model shuni ko'rsatadiki, kompozit materialning radioshaqqoflikni o'lchashning umumiy noaniqligi nafaqat o'lchash vositasining aniqligiga, balki materialning qalinligi va yutish koeffitsientining aniqligiga ham bog'liqdir.

Metrologik ta'minotni yaxshilash uchun quyidagilarga e'tibor qaratish lozim:

- aniqligi yuqori bo'lgan o'lchash vositalaridan foydalanish;
- material qalinligini aniq o'lchash usullarini qo'llash;
- materialning yutish koeffitsientini aniqroq aniqlash usullarini ishlab chiqish (agar bu parametr oldindan ma'lum bo'lmasa, balki o'lchash jarayonida aniqlansa);
- o'lchash jarayonidagi atrof-muhit omillarining (harorat, namlik va boshqalar) ta'sirini hisobga olish va minimallashtirish;
- o'lchash vositalarini muntazam ravishda kalibrlash va tekshirib turish.

IV. XULOSA

Kompozit materialning radioshaqqofligi uning qalinligi, chastotasi va ichki defektlariga bog'liq hamda defekt miqdori oshishi bilan elektromagnit yutilish koeffitsiyenti ortadi shu bois optimal chastota 10 GHz atrofida bo'lib, bu defektlarning elektromagnit ta'sirini eng yaxshi aks ettiradi. Natijada qalin materiallar elektromagnit to'lqinlarni ko'proq yutadi, shuning uchun defektni aniqlash uchun mos chastotani tanlash muhim deb hisoblaymiz.

Eksperimental tahlillar natijalari defektlarni aniq aniqlash uchun yuqori chastotalardan foydalanish lozimligini ko'rsatdi.

Kalibrlash, tekshirish va noaniqlikni baholashni o'z ichiga olgan metrologik ta'minot o'lchash jarayonining asosiy komponentidir. Bu o'lchangan ma'lumotlarning aniq va takrorlanishini ta'minlashga yordam beradi, bu esa o'z navbatida havo kemasining uskunalarining ishonchli ishlashini ta'minlaydi.

V.FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Jumamuratov B.A., Abduqayumov A.A., Eshmuradov D.E. Kompozit materiallarning radioshoftligini nazorat qiluvchi vositalarning metrologik ta'minoti // "Milliy standart" ilmiy-texnik jurnali, 2024, 3-son. b. 1-5.
2. Jumamuratov B.A., Amangeldiyev N.S., Perdebayev S.R. Havo kemalarining radiopriborlarini sertifikatlashtirishda diagnostika masalalari // Science and innovation international scientific journal volume 1 issue 8 uif-2022: 8.2 ISSN: 2181-3337 C.86-89.
3. Jumamuratov B.A., Aytbayev.T.A., Rakhimova N.M. Metrological Supply of the Repair and Testing of the Nose of the Aircraft (Radom) // International scientific and practical "Smart cities and sustainable development of regions" LLC Conference Proceedings, Institute of Digital Economics and Law [OOO «Institut sifrovoy ekonomiki prava»], 2024. – 1005 p. 978-5-6050374. pp.522-526. (<https://iderus.ru/last#smartgreens2024>)
4. Jumamuratov B.A. Metrological support of the repair and testing of the nose of the aircraft parameters of an aircraft // Science and Education in Karakalpakstan, 2024, №2/1 ISSN 2181-9203., C.123-130. (OAK Ro'yxatining 2017 yil 24 maydagi 24.05.2017 №5/2-son qarori)
5. Jumamuratov B.A., Eshmuradov D.E., Azizov O.X. The future of aeronautical processing opportunities and challenges of automation // Science and innovation international scientific journal volume 2 issue 4 april 2023 uif-2022: 8.2 | issn: 2181-3337 | scientists.uz-C.231-236.
6. Жумамуратов Б.А., Эшмуратов Д.Э., Тураева Н.М. Разработка модели системы восстановления навигационного оборудования летательных аппаратов за счет повышения их эксплуатационной готовности // Журнал «Авиакосмическое приборостроение». DOI:10.25791/aviakosmos.6.2023.1343. №6. Санкт-Петербург -2023. - С.18-27. (05.00.00 №2)
7. Jumamuratov B.A., Matyakubova P.M., Aytbayev T.A. Qualimetric analysis of characteristics of satellite navigation systems // Electronic journal of actual problems of modern science, education and training. June, "Modern problems of technical sciences" 2022 - 6. ISSN 2181-9750 UDC: 629.783 <http://khorezmscience.uz>-C.54-61. (05.00.00 №2)
8. Jumamuratov B.A., Eshmuradov D.E., Nabikhanova A.D. Kompozit materiallarning radioshoftligini monitoring qilishning zamonaviy tizimlari va vositalari: holati va rivojlanish istiqbollari // International scientific journal science and innovation special issue "Modern problems and prospects of development of energy supply of digital technology facilities", MARCH, 2024 <https://doi.org/10.5281/zenodo.10724550>- C.438-441.
9. Jumamuratov B.A., Sharipov G'.N., O'rolov J.A. Samolyotning tumshuq qismi (obtekatel) ta'mirlash va sinovdan o'tkazishning metrologik ta'minoti // International scientific journal science and innovation special issue "Modern problems and prospects of development of energy supply of digital technology facilities", MARCH, 2024 <https://doi.org/10.5281/zenodo.10719692> C.49-53.

10. Grattan, K. T. V., & Sun, T. Рассматриваются различные виды волоконно-оптических датчиков, которые могут быть интегрированы в композитные материалы для мониторинга их состояния. *Fiber Optic Sensor Technology: An Introduction*. Springer, 2000.

11. Luyckx, G., Voet, E., Lammens, N., & Degrieck, J. Исследование о применении волоконных датчиков для мониторинга состояния композитных материалов в реальном времени "Strain measurement in composite materials using embedded fibre Bragg gratings." *Composite Science and Technology*, 68(3), 2008, pp. 506-515.

12. Boyes, R. *Non-Destructive Testing of Composite Materials*. Книга охватывает основные методы неразрушающего контроля композитных материалов, включая ультразвуковую инспекцию, термографию и радиоволновую томографию. Woodhead Publishing, 2018.

13. Низомов Н. Б Музафарова С. А., Ташланова Д. М. Исследования погрешности измерения ёмкости полупроводниковых структур // *Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference Berlin, "Current challenges of science and education"* Germany 2024/12, с. 142-149.