

**Լ.Ն. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ**

**ՀԻՆԳԵՐՈՐԴ ՍԵՐՆԴԻ ԲԶՋԱՅԻՆ ԿԱՊԻ ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ՌԱԴԻՈԿԱՊՈՒՂՈՒ  
ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ  
ՀԱՃԱԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Վերլուծվել են միլիմետրային ալիքների տարածման առանձնահատկությունները և տարածման վրա ազդող գործոնները: Ներկայացվել են մթնոլորտում ռադիոալիքների կլանման կախվածությունները ալիքի երկարությունից և տեղումների ինտենսիվությունից: Հաշվի առնելով ռադիոհաճախային սպեկտրի զբաղվածության աստիճանը և կլանման պարամետրերը, առաջարկվել են կիրառման համար առավել նպատակահարմար հաճախաշերտերը:

**Առանցքային բառեր.** միլիմետրային ալիքների տիրույթ, 5G, ռադիոալիքների տարածում, մարումներ, սովերացում:

**Ներածություն:** Հինգերորդ սերնդի ցանցերի (ՀՍՑ) մշակման և մոդուլացման առավել նպատակահարմար եղանակի ընտրության համար կարևոր է ունենալ ռադիոկապուղու պարամետրերը և բնութագրերը: Առավել հաճախ հենց կապուղու պարամետրերով են սահմանափակվում անլար ռադիոկապի համակարգի հնարավորությունները: Կապուղիները կարող են լինել շատ տարբեր՝ պարզ ուղղակի տեսանելիության կապուղուց մինչև այնպիսիները, որոնց վրա ազդում են կառույցները, սարերը և այլ խոչընդոտներ: Ի տարբերություն մալուխային կապուղիների, որոնք ստացիոնար են և կանխատեսելի, ռադիոկապուղիները փոփոխական են, շատ դժվար են ենթարկվում վերլուծության և մոդելավորման:

**Միլիմետրային ռադիոկապուղու վերլուծություն:** Էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածման վրա ազդող գործոնները տարբեր են, բայց, ընդհանուր առմամբ, դրանք կարելի է դասակարգել ըստ անդրադարձման, դիֆրակցման և ցրման [1]:

Անդրադարձում տեղի է ունենում այն ժամանակ, երբ տարածվող էլեկտրամագնիսական ալիքը հանդիպում է իր ալիքի երկարությունից շատ անգամ ավելի մեծ չափսեր ունեցող խոչընդոտի: Անդրադարձում կարող է լինել երկրի մակերևույթից, շինություններից, պատերից և այլն:

Դիֆրակցում տեղի է ունենում այն ժամանակ, երբ ռադիոկապուղում, հաղորդիչի և ընդունիչի միջև առկա են խոչընդոտների հատվածներ (եզրեր): Խոչընդոտի եզրերում առաջացող երկրորդային ալիքները տարածվում են տարածության բոլոր ուղղություններով, այդ թվում՝ նաև խոչընդոտի հետևում՝ ստվերման հատվածում ստեղծելով էլեկտրամագնիսական ալիքներ:

Ցրում տեղի է ունենում այն դեպքում, երբ ռադիոալիքների տարածման միջավայրում առկա են տարածվող ալիքի երկարությունից ավելի փոքր չափսերով խոչընդոտներ, և միավոր ծավալում խոչընդոտների քանակը բավականին մեծ է: Քաղաքային պայմաններում բջջային կապում օգտագործվող ազդանշանի համար ցրում կարող է առաջանալ ճանապարհային նշաններից, սյուներից, ավտոմեքենաներից:

Վերը նշված դեպքերում խոչընդոտ համարվում է միջավայրերի բաժանման սահմանը, որտեղ միջավայրի էլեկտրական պարամետրերը փոխվում են:

Թվարկված երևույթներով պայմանավորված՝ ազդանշանի մարումը կարելի է բաժանել լայնամասշտաբ մարման և փոքրամասշտաբ մարման: Լայնամասշտաբ մարման դեպքում տեսական և փորձնական մոդելները ցույց են տալիս, որ ընդունվող ազդանշանի մակարդակը, ընդունիչի և հաղորդիչի միջև եղած հեռավորությունից կախված, նվազում է լոգարիթմական կախվածությամբ, անկախ նրանից, թե կապուղին տեղակայված է շինության մեջ, թե շինությունից դուրս: Լայնամասշտաբ մարման դեպքում կապուղում կորուստների միջին արժեքը ( $\alpha$ ), կամայական հաղորդիչ-ընդունիչ հեռավորության դեպքում, կարելի է բնութագրել (1) հայտնի արտահայտությամբ.

$$\alpha \sim \left(\frac{d}{d_0}\right)^n : \quad (1)$$

Կամ արտահայտված դեցիբելներով՝

$$\alpha(\eta F) = \alpha(d_0) + 10n \log \left(\frac{d}{d_0}\right), \quad (2)$$

որտեղ  $n$ -ը կապուղու հատկություններից կախված պարամետր է,  $d_0$ -ն՝ հաղորդիչի և հաղորդիչին շատ մոտ գտնվող որևէ կետի միջև հեռավորությունը,  $d$ -ն՝ հաղորդիչի և ընդունիչի միջև հեռավորությունը: (1) և (2) արտահայտություններով որոշվում է կապուղում կորուստների միջին մակարդակը տարածության կամայական կետի դեպքում:

(2) արտահայտության մեջ հաշվի առնված չէ, որ շրջակա միջավայրի առարկաների դասավորվածությունից կախված՝ միևնույն հաղորդիչ-ընդունիչ

հեռավորության դեպքում ընդունված ազդանշանի մակարդակը կարող է խիստ տարբերվել բանաձևով որոշվող միջին արժեքից: Այս երևույթը կոչվում է ստվերացում: Չափումները ցույց են տվել, որ կապուղում կորուստները  $d$ -ի որոշակի արժեքի դեպքում պատահական են և լոգարիթմական հաշվարկման համակարգում ունեն 0 միջին արժեքով նորմալ բաշխվածություն [2,3]: Դա հաշվի առնելով՝ (2)-ը կարելի է գրել հետևյալ կերպ.

$$\alpha(\eta F) = \alpha(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma: \quad (3)$$

Քանի որ ստվերացումն ունի պատահական բնույթ, հավանականությունը, որ ընդունման կետում ընդունող ազդանշանի հզորությունը կգերազանցի որոշակի  $\beta$  արժեքը, կարելի է որոշել (4) արտահայտությամբ.

$$Pb(P(d) > \beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^\infty e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad (4)$$

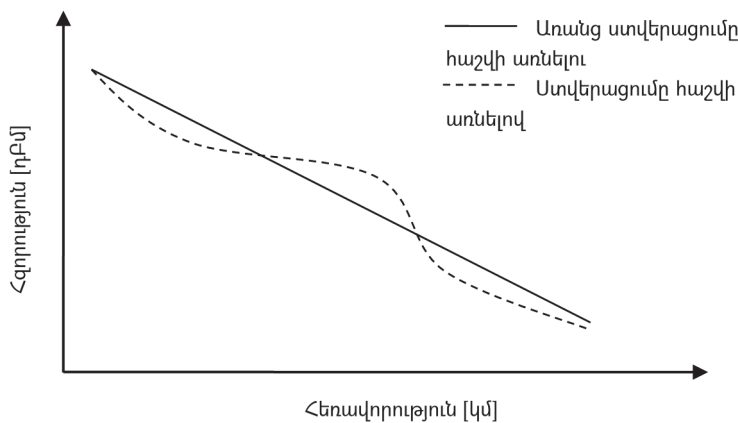
որտեղ

$$z = \frac{\beta - P(d)_{\text{միջ}}}{\sigma},$$

$\sigma$ -ն մարման արժեքի միջին քառակուսային շեղումն է և կախված է միջավայրի պայմաններից:

Նկ. 1-ում բերված են ընդունված ազդանշանի հզորության հեռավորությունից կախվածության գրաֆիկները: Ազդանշանի մարումը (ըստ լարման) ազատ տարածությունում կարելի է նկարագրել (5) արտահայտությամբ՝

$$\alpha(\eta F) = 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (5)$$

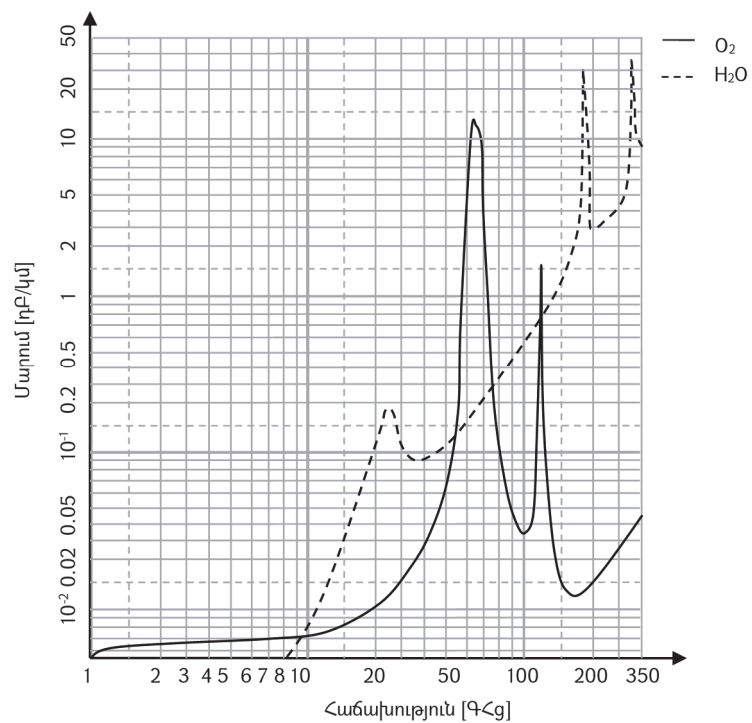


Նկ. 1. Ընդունված ազդանշանի հզորության կախումը հեռավորությունից

Փոքրամասշտաբ մարումը նկատվում է այն դեպքում, երբ ընդունվող ազդանշանի հզորությունը կրում է արագ փոփոխություններ շատ փոքր ժամանակահատվածում կամ շատ փոքր տեղափոխությունների դեպքում ( $d \sim \lambda$ ): Փոքրամասշտաբ մարումը պայմանավորված է հաղորդված ազդանշանի երկու տարբերակների միջև ինտերֆերենցով և շարժամբ պայմանավորված դուպլերյան շեղումով:

Հաշվի առնելով սպեկտրի ազատությունը՝ առաջարկվում է ՀՄՑ-ի համար օգտագործել միլիմետրային տիրույթի ալիքներ [4]: Ի տարբերություն միկրոալիքային տիրույթի, որտեղ կորուստները հիմնականում պայմանավորված են ազատ տարածությունում ռադիոալիքների մարմամբ, միլիմետրային ալիքների տիրույթում առաջանում են լրացուցիչ կորուստներ՝ պայմանավորված մթնոլորտային գազերի կլանմամբ և ջրային կաթիլների ցրմամբ:

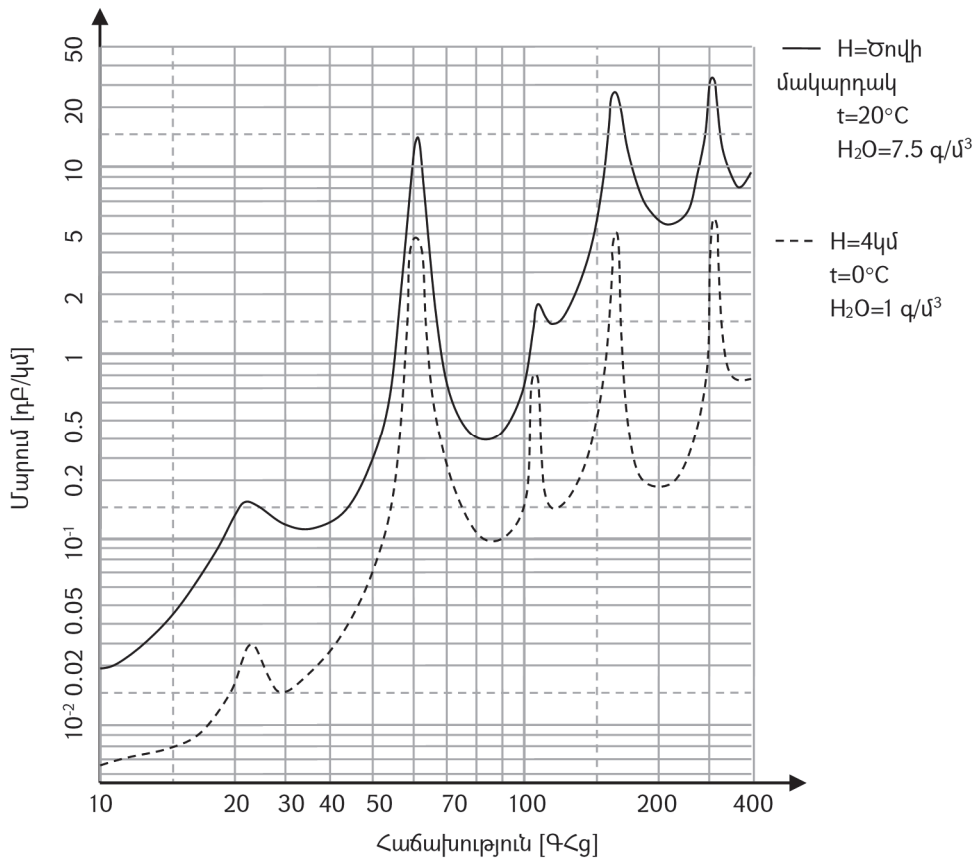
Որոշ հաճախությունների վրա գազերով պայմանավորված կորուստները բավականին մեծ են: Այս հաճախությունները սովորաբար համընկնում են գազի մոլեկուլների ռեզոնանսային հաճախությունների հետ: Թթվածնի և ջրի մոլեկուլներով պայմանավորված կլանումները բերված են նկ. 2-ում [5]:



Նկ. 2. Թթվածնի և ջրի մոլեկուլներով պայմանավորված մարումները

Ջրի մոլեկուլներն ունեն մեծ կլանում 24 ԳՀg, 180 ԳՀg և 330 ԳՀg, իսկ թթվածնի մոլեկուլները 60 ԳՀg և 120 ԳՀg հաճախությունների վրա: Այս հաճախությունները հնարավորություն են տալիս առավելագույնս վերաօգտագործել հաճախությունները փոքր հեռավորությունների վրա, սակայն ՀՍՑ-ում անհրաժեշտ է ապահովվել որքան հնարավոր է մեծ ծածկույթ, և այս հաճախությունները կիրառելի չեն:

Մթնոլորտում կորուստների գումարային կորը բերված է նկ. 3-ում:



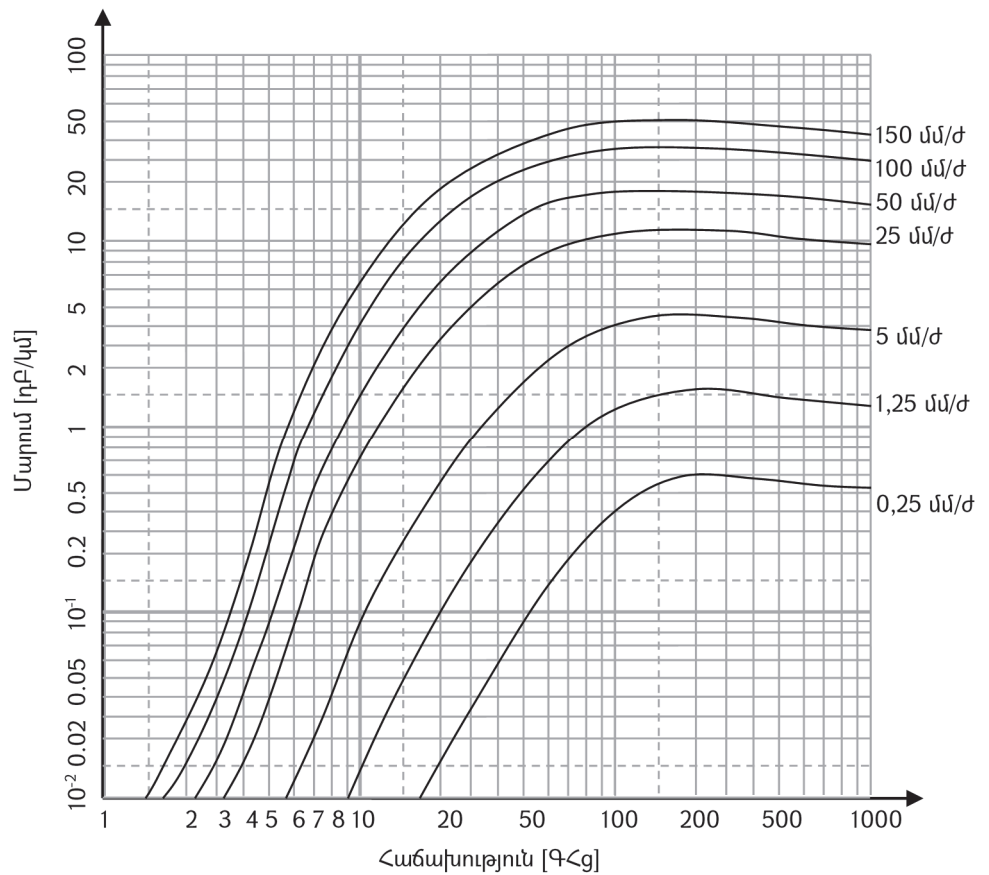
Նկ. 3. Մթնոլորտում ռադիոազդանշանի մարման կորերը

Կորից ակնհայտ է դառնում, որ մթնոլորտում համեմատաբար փոքր մարում ունեն 10-20 ԳՀg, 25-40 ԳՀg և 70-100 ԳՀg միջակայքերը: Հաշվի առնելով փոքր մարումները, այս հաճախությունները հնարավոր է կիրառել ՀՍՑ-ում:

Միլիմետրային ալիքների տարածումը ենթակա է նաև անձրևի ազդեցությանը: Անձրևի կաթիլները մոտավորապես ալիքի երկարության կարգի են և դրա

հետևանքով հարուցում են տարածվող ռադիոակտիվ գրում: Նկ. 4-ում ցուցադրված է ռադիոակտիվների մարման կախվածությունը անձրևի ինտենսիվությունից [6,7]:

Գրաֆիկներից հետևում է, որ անձրևի ինտենսիվության մեծացումը հանգեցնում է մարումների մեծացմանը: Հաճախության աճի հետ մարումները նույնպես աճում են մինչև որոշակի արժեք, որից հետո աստիճանաբար սկսում են նվազել: Այսպիսով, կարելի է պնդել, որ տեղումների առկայության դեպքում ցածր հաճախություններն ավելի ցանկալի են օգտագործման համար, քան բարձր հաճախությունները:



Նկ. 4. Ռադիոակտիվների մարման կախվածությունը անձրևի ինտենսիվությունից

Հաշվի առնելով մթնոլորտի գազերով և անձրևով պայմանավորված մարումները՝ ՀՄՑ-ում ավելի նախընտրելի են համարվում համեմատաբար ցածր

հաճախությունները (10-20 ԳՀg): Սակայն վերջնական ընտրության համար անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև ռադիոհաճախությունների սպեկտրի զբաղվածության աստիճանը:

2015թ.-ին կայացած համաշխարհային ռադիոգիտաժողովի շրջանակներում (WRC-2015) ՀՄՑ-ում հնարավոր կիրառման համար նշվել են հետևյալ քիչ զբաղված հաճախաշերտերը [4]՝ 24.25-27.5 ԳՀg, 37-40.5 ԳՀg, 42.5-43.5 ԳՀg, 45.5-47 ԳՀg, 47.2-50.2 ԳՀg, 50.4-52.6 ԳՀg, 66-76 ԳՀg, 81-86 ԳՀg:

**Եզրակացություն:** Հաշվի առնելով պահանջվող տվյալների փոխանցման 10 Գբիթ/վ արագությունը [4], որը ենթադրում է բավականին լայն հաճախաշերտի օգտագործում, և նկ. 3-ում բերված մթնոլորտում ռադիոազդանշանների մարման կորը, կարելի է առանձնացնել հետևյալ նախապատվություն ունեցող հաճախաշերտերը՝ 24.25-27.5 ԳՀg, 37-40.5 ԳՀg, 42.5-43.5 ԳՀg, 66-76 ԳՀg, 81-86 ԳՀg: Ընդ որում, առաջին երեքը նախընտրելի են փոքր մարումների, իսկ վերջին երկուսը՝ նաև լայն հաճախաշերտի պատճառով:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Pan Jun.** Research of Radio Channel Characteristics in Mobile Communication Technology // Intelligent Computation Technology and Automation: IEEE conference, 2014. - P. 216-219.
2. **Cox D.C., Murray R.R. and Norris A.W.** 800 MHz attenuation measured in and around sub-urban houses // AT&T Bell Laboratory Technical Journal. - Nov. 1983. - Vol. 62, No. 9. - P. 2695-2717.
3. **Bernhardt R.C.** Macroscopic diversity in frequency reuse systems // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. - June 1987. - Vol.-SAC 5. - P. 862-878.
4. **Ericsson.** 5G Radio Access. - Ericsson white paper, April, 2016. - P. 110-119 p.
5. CCIR Doc. Rep. 719-3, "Attenuation by Atmospheric Gases," ITU, 1990.
6. **Flock W.L.** Propagation Effects on Satellite Systems at Frequencies Below 10 GHz / NASA Doc.1108 (02). - Dec. 1987. - ch. 3, 4 and 9.
7. **Ippolito L.J.** Propagation Effects Handbook for Satellite Systems Design / NASA Doc. 1082(4). - Feb. 1989. - ch. 3 and 6.

**Լ.Ն. ԳՐԻԳՐՅԱՆ**

**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЭФИРНОЙ РАДИОЛИНИИ И ВЫБОР РАБОЧЕГО ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ СЕТЕЙ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Проанализированы особенности распространения миллиметровых радиоволн и факторы, влияющие на их распространение. Приведены зависимости значений коэффициента затухания радиоволн в атмосфере от длины волны и интенсивности осадков. Учитывая занятость радиочастотного спектра и параметры затухания, предложены частотные полосы, подходящие для применения.

**Ключевые слова:** миллиметровый диапазон волн, 5G, распространение радиоволн, затухания, затенение.

**L.N. GRIGORYAN**

**ANALYSYS OF THE AIR CHANNEL PROPAGATION PARAMETERS AND FREQUENCY RANGE SELECTION FOR THE FIFTH GENERATION NETWORKS**

The propagation features of mmwaves, and the factors influencing their propagation are analyzed. The dependencies of the radio wave attenuation in the atmosphere on the wavelength and the intensity of precipitation are given. Taking into account the occupation of the frequency spectrum and the attenuation parameters, frequency bands suitable for application are proposed.

**Keywords:** millimeter wave, 5G, wave propagation, transmission loss, shadowing.

ՀՏԴ 621.391

**Ա.Գ. ԳՈՄՅԱՆ**

**ՈԱԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ ՖՈՒՐՅԵ ՇԱՐՔԵՐՈՎ ԵՎ ՎԵՅՎԼԵՏ-ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐՈՎ**

Դիտարկվել են Ֆուրյե և վեյվլետ-ձևափոխության հիմունքները, նշվել են վեյվլետ-ֆունկցիաների և Ֆուրյե շարքերի հիմնական առավելությունները և թերությունները: MATLAB R2013a ծրագրի կիրառմամբ կատարվել է միաչափ ազդանշանների վերլուծություն ծրագրային ռեժիմում: Բերվել են Ֆուրյե և վեյվլետ- սպեկտրագրերի հետազոտության արդյունքները:

**Առանցքային բառեր.** արագ ձևափոխություն, բազիսային ֆունկցիա, տեղային առանձնահատկություններ, վեյվլետ-գործակիցներ, դեկոմպոզիցիա:

**Ներածություն:** Դարեր շարունակ մաթեմատիկներին, իսկ հետո նաև տեխնիկական ոլորտի ներկայացուցիչներին հուզում էր բարդ ֆունկցիաների և