

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің **Ғылым жаршысы (пәнаралық) = Вестник науки** Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина (**междисциплинарный**). - 2019. - №1 (100). - Б.239-248

## **ДОБЕШИ ВЕЙВЛЕТІ АРҚЫЛЫ СИГНАЛДАРДЫ ЦИФРЛЫҚ ӨНДЕУ**

*Байдалина А.Р.,  
Боранбаев С.А.*

<sup>1</sup>*С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,*  
<sup>2</sup>*Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,*

### **Андатпа**

Ғылыми жұмыста электромагниттік сигналды Добеши вейвлетінің базасы арқылы жіктеп, сигналдағы шудың деңгейін анықтап, вейвлеттің анықтаушы коэффициенттерін сүзгілеу арқылы жоғарғы жиіліктегі деректердің үлесін төмендету жолымен, бастапқы сигналды шудан тазарту қарастырылған.

Вейвлет технология арқылы цифрлық сигналдағы шуды азайту немесе жою әдістерінің бірі сигналды Добеши вейвлеті арқылы жоғарғы және төменгі жиіліктерге жіктеп, Штейн шартын қолданып, программалық басқарылатын деңгейлік өңдеу (трешолдинг). Сигналды шудан тазарту алгоритмдерінің сұлбасы мен формулалары толық жазылған. Деңгейлік өңдеудің әртүрлі әдістері көрсетілген.

Добеши вейвлеті арқылы жер қабатын зерттеуде қолданылатын георадиолокациялық сигналдарды шудан тазарту жұмысы, бастапқы шулы сигнал мен вейвлет арқылы тазартылған сигналдардың графиктері мен спектрлерінің суреттері арқылы көрсетілген.

**Кілттік сөздер:** Добеши вейвлеті, цифрлық сигнал, сигнал спектрі, сигналды шудан тазарту, жылдам Фурье түрлендіруі, пирамидалық алгоритм, трешолдинг, Штейн шарты, георадиолокация.

### **Кіріспе**

Қазіргі уақытта ғылыми зерттеулерде вейвлет түрлендіру деректерді алдын ала өңдеу мен сүзуде, медициналық және экономикалық есептерде, суреттер ықшамдау мен тазартуда және т.б. тәжірибелік зерттеулерде қолданылады. Вейвлет түрлендірудің негізгі қолданылу саласы уақыт бойынша стационар

емес, кеңістік бойынша біртекті емес сигналдар мен функцияларды талдау және өңдеу. Георадиолокациялық деректерді өңдеудің мағынасы сигналды шулар мен бөгеттерден тазарту. Қажетті сигналды ажыратып алу үшін оның қасиеттерінің бөгет пен шудың қасиеттерінен айырмашылығы ескеріледі [1, 2].

## Зерттеу материалдары мен әдістемесі

Бір өлшемді цифрлық сигналды вейвлет түрлендіру оны Фурье қатарына немесе интегралына келесі

$$\Psi_{ab}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

базистік функциялар жүйесінде өрнектеу болып табылады. Бұл функциялар аналық (құрушы)  $\psi(t)$  вейвлетін  $b$  уақытына жылжыту амалы және  $a$  уақыт масштабын өзгерту арқылы құрастырылған.

Дискретті вейлет зерттеулерде сигнал  $A_j(t)$  жуықтау (аппроксимациялық) және дәлденген (нақтылау) бөліктерінің жуық тізбектерінің жиыны түрінде өрнектеледі [4]:

$$f(t) = A_j(t) + \sum_{i=1}^j D_i(t)$$

Бұл формула есептеу итерациялық әдіспен дәлденеді. Итерацияның әр сатысы, яғни талдаудың (жіктеудің) және синтездің (құрастырудың)  $j$  деңгейі белгілі бір масштабқа сәйкес келеді. Күрделі масштабты талдауда  $f(t)$  сигналын екі бөлікке жіктеледі:

$$f(t) = \sum_k a_k \varphi_k(t) + \sum_k d_k \psi_k(t)$$

$\varphi(t)$  және  $\psi(t)$  базистік функциялары  $h_l$  және  $g_l$  коэффициенттерімен анықталады:

$$\varphi(t) = 2 \sum_l h_l \varphi(2t-l)$$

$$\psi(t) = 2 \sum_l g_l \psi(2t-l)$$

$j$  масштабынан келесі  $j+1$  ауысу кезінде вейвлет-коэффициенттердің саны екі есе азайады.

Вейвлет-коэффициенттер келесі рекуренттік қатынастар арқылы анықталады [5, 6]:

$$a_{j+1,k} = \sum_l h_{l-2k} a_{j,k}$$

$$d_{j+1,k} = \sum_l g_{l-2k} a_{j,k}$$

$$\text{мұндағы } g_l = (-1)^l h_{2n-l-1}$$

Сигналды қалпына келтіру үлкен масштабтан кішісіне қарай жүргізіледі және әрбір сатыда келесі өрнек арқылы сипатталады:

$$a_{j-1,k} = \sum_l (h_{k-2l} a_{j,l} + g_{k-2l} a_{j,l})$$

Сигналды шудан тазарту үшін Добеши вейвлетін қолданамыз. Добеши вейвлеттерінің математикалық өрнегі болмайды, тек сүзгі коэффициенттері арқылы анықталады. Практикалық қолдану кезінде вейвлеттің формуласынсыз аппроксимациялық  $h_k$  және нақтылау  $g_k$  вейвлет коэффициенттері арқылы қолданылады. Екінші дәрежелі db4 Добеши вейвлеті үшін бұл коэффициенттер келесі түрде анықталады [7]:

$$\begin{aligned} h_0 &= 0.4829629131445341 & g_0 &= h_3 \\ h_1 &= 0.8365163037378079 & g_1 &= -h_2 \\ h_2 &= 0.2241438680420134 & g_2 &= h_1 \\ h_3 &= -0.1294095225512604 & g_3 &= -h_0 \end{aligned}$$

Сигналды Добеши вейвлеті арқылы жіктеу келесі ормулалар арқылы жүзеге асырылады:

$$\begin{aligned} a_i &= h_0 s_{2i-1} + h_1 s_{2i} + h_2 s_{2i+1} + h_3 s_{2i+2} \\ d_i &= g_0 s_{2i-1} + g_1 s_{2i} + g_2 s_{2i+1} + g_3 s_{2i+2} \quad i=1, 2, \dots, n/2-1 \\ a_{n/2} &= h_0 s_{n-2} + h_1 s_{n-1} + h_2 s_0 + h_3 s_1 \\ d_{n/2} &= g_0 s_{n-2} + g_1 s_{n-1} + g_2 s_0 + g_3 s_1 \end{aligned}$$

Бұл формулалар вейвлет коэффициенттерін есептеудің пирамидалық алгоритмі (Малл) болып табылады [8]. Осы формулалар арқылы  $h_n$  цифрлық сүзгі сигналдан төменгі жиілікті бөліп алады, ал  $g_n$  сүзгісі жоғарғы жиілікті бөліп алады. Төтенгі жиіліктегі сүзгіні қолдану арқылы  $a_i$  аппроксимациялық коэффициенттері, ал жоғарғы жиіліктегі сүзгіні қолдану арқылы  $d_i$  нақтылау коэффициенттері есептеледі.

Вейвлет технология арқылы сигналдағы шуды азайту немесе жою әдістерінің бірі программа арқылы реттелетін нақтылау вейвлет коэффициенттерін деңгейлік өңдеу болады. Осындай әдіс трешолдинг деп аталады. Терешолдингтың негізгі артықшылығы деңгейлік өңдеудің әртүрлі жолдары мен әдістерін және олардың

параметрлерін кең ауқымда қолдану ерекшелігі.

Вейвлет түрлендіру тағы бір ерекшелегі қажетті ақпаратты бүлдірмей, өңдеу сатыларында вейвлет коэффициенттерді толықтай немесе бөлігін өзгертуге болады.

Вейвлет түрлендіруде шуға қатысты деректер жоғарғы жиілікте және сигнал жіктелгенде нақтылау коэффициенттерінде болады.

Трешолдинг алгоритмдерінде әрбір нақтылау коэффициентіне шектеу шамасын өзгертуге және бекітуге болады. Шуды басу есептерінде шудың спектрлік құрамын, шектік өңдеу (трешолдинг) түрін және шекті есептеу шартын анықтау керек.

Вейвлет коэффициенттерді шектік қысқартудың кең қолданылатын екі ережесі бар:

1) «катаң» (hard thresholding):  $d_i = \begin{cases} 0, & |d_i| \leq 1, \\ d_i, & |d_i| > 1. \end{cases}$

2) «жұмсақ» (soft thresholding):  $d_i = \begin{cases} 0, & |d_i| \leq 1, \\ \text{sign}(d_i)(|d_i| - 1), & |d_i| > 1. \end{cases}$

мұндағы 1 - шектік қысқарту шамасы (threshold value).

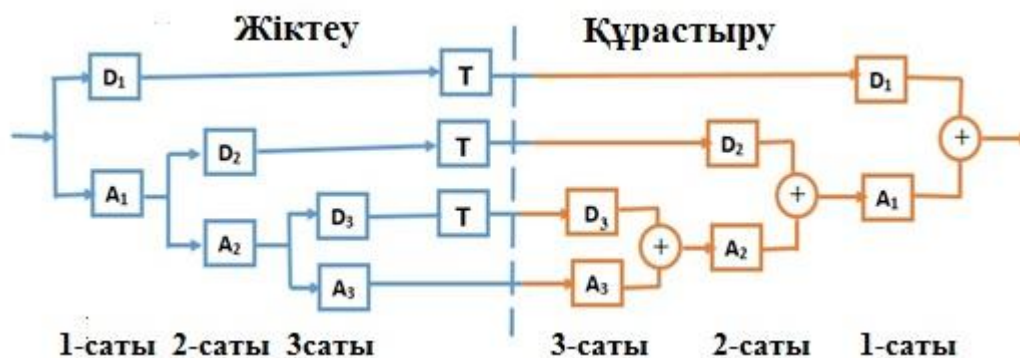
Сигнал/шуды қатынасы арқылы анықталатын шуды басу сапасы шектік қысқарту шамасын таңдауға байланысты. Шектік қысқарту шамасын кіші мәндері сигнал/шуды қатынасын сәл ғана ұлғайтады, ал үлкен мәндері, қажетті ақпараты бар коэффициенттерді жоюы мүмкін. Аз ғана өзгеріспен түзетілген сигналда, шуды неғұрлым көбірек

басу мақсаты - шектік қысқарту шамасының тиімді мәнін іздеу болады. Жылжымайтын тәуекелділікті бағалаудың Штейн шарты (Stein's unbiased risk estimation) сигналды жіктеу сатыларында шектік қысқарту шамасының тиімді мәнін анықтауға мүмкіндік береді [9].

$$\lambda = \sigma \sqrt{2 \ln n} = \text{median}(|d_i|) / 0,6475$$

$n$  – сигналдың кезекті итерациядағы өлшемі.

Георадиолокациялық сигналды вейвлет түрлендіруді бірнеше рет қолдануа болады. Вейвлет түрлендіруді қайталаған сайын бастапқы сигналды нақтылау жоғарылай береді (1-сурет).



1-сурет. Сигналды вейвлет түрлендіру сатылары. А - аппроксимациялық және D - нақтылау коэффициенттері, Т – трешолдинг.

Әрбір вейлет түрлендіру сатысында шектік қысқарту шамасы анықталып, нақтылау коэффициенттері өңделеді де, соңғы аппроксимациялық коэффициенттермен біріктіріліп түзетілген сигнал құрастырылады (1-сурет).

Жіктелген сигналды қалпына келтіру жоғарғы масштабтан төменге қарай жүргізіледі. Әрбір қалпына келтіру сатысында келесі формулалар қолданылады[10]:

$$a_1 = h_2 \frac{s_n}{2} + h_1 s_n + h_0 s_1 + h_3 \frac{s_{n-1}}{2}$$

$$a_2 = g_0 \frac{s_n}{2} + g_1 \frac{s_{n-1}}{2} + g_2 s_1 + g_3 s_n$$

$$a_i = h_2 \frac{s_{i-1}}{2} + h_1 \frac{s_{i-1} + s_{i-1+n}}{2} + h_0 \frac{s_{i-1}}{2} + h_3 \frac{s_{i-1} + s_{i-1+n}}{2} \quad i=3, 5, \dots, n/2 - 1 \text{ (тақ)}$$

$$a_i = g_0 \frac{s_{i-1}}{2} + g_1 \frac{s_{i-1} + s_{i-1}}{2} + g_2 \frac{s_{i-1} + s_{i-1}}{2} + g_3 \frac{s_{i-1} + s_{i-1}}{2} \quad i=4, 6, \dots, n/2 \quad (\text{жүп})$$

Бұл формулар нақтылау коэффициенттері алдыңғы сатыдағы аппроксимациялық коэффициенттердің орнына жазылған жағдайда ғана қолданылады.

### ҒЗЖ зерттеулері негізгі нәтижелері

Цифрлық сигнал құрамындағы шудың дәрежесін анықтау үшін спектрлік талдау қолданылады. Сигналды спектрлік талдау кең қолданылатын әдісі дискретті Фурье түрлендіру [5].

Фурье түрлендіруі функционалдық талдаудың маңызды бөлігі. Ол функцияларды өзгеше сипаттау немесе қарапайым тригонометриялық функциялар қосындысымен жіктеу арқылы

$$X(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{-2\pi i k j / N}$$

$$x(k) = \sum_{j=0}^{N-1} X(j) e^{-2\pi i k j / N}$$

Фурье түрлендіруі қандай да бір үрдісті әртүрлі жиіліктегі қарапайым гармоникалық тербелістерге жіктейді. Фурье түрлендіруінің практикалық қолданылуын жеңілдететін бірнеше қасиеттері бар. Бұл түрлендіру ортогоналды оператор болыптабылады, яғни кері түрлендіру операторы кешенді – ұштасатын оператор өрнегімен сәйкес келеді. Фурье түрлендіруінің анықталу облысы  $L_2$  квадраты мен интегралданатын функциялар кеңістігі болып табылады. Табиғатта кездесетін көптеген нақты физикалық үрдістерді осы класқа жататын уақыт функциялары деп есептеуге болады. Қазіргі уақытта

зерттейді. Бұл түрлендіру түрі сигналды амплитуда-уақыттық түрден амплитуда-жиіліктік және кері түрлерге аудараалады. Сандық әдістермен аталған операцияны тура Фурье түрлендіруі негізінде орындауға болады, периодты үзіліссіз  $x(t)$  функциясының  $x(k)$  мәндерінің тура және кері дискретті Фурье түрлендіруі келесі түрлерде жазылады [6]:

дискретті Фурье түрлендіруін есептейтін жылдам Фурье түрлендіру алгоритмдері жаппай қолданылады. Бұл алгоритм қолданбалы програмалардың барлық пакеттеріне енгізіліп, аппаратты түрде сигналдардың өңдеудің көптеген процессорларында жүзеге асырылған.

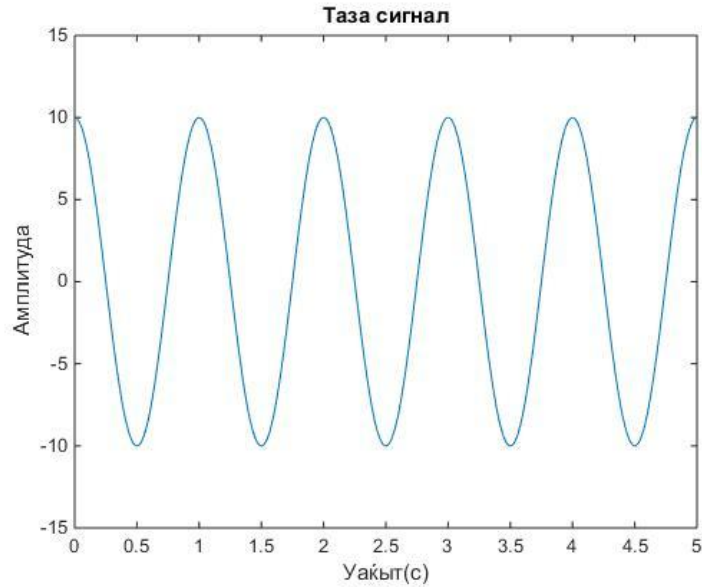
Вейвлет түрлендіру арқылы сигналды шудан тазарту алгоритмін берілген таза сигналға жоғарғы жиіліктегі шу қосу арқылы тексеруді қарастырайық.

Келесі формуламен анықталған  $f_1(t) = 10 \cos(2\pi t)$  сигналға жоғарғы жиіліктегі шуды  $f_2(t) = 2 \cos(20\pi t + \pi/4)$  қосу арқылы  $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$  анықталғ

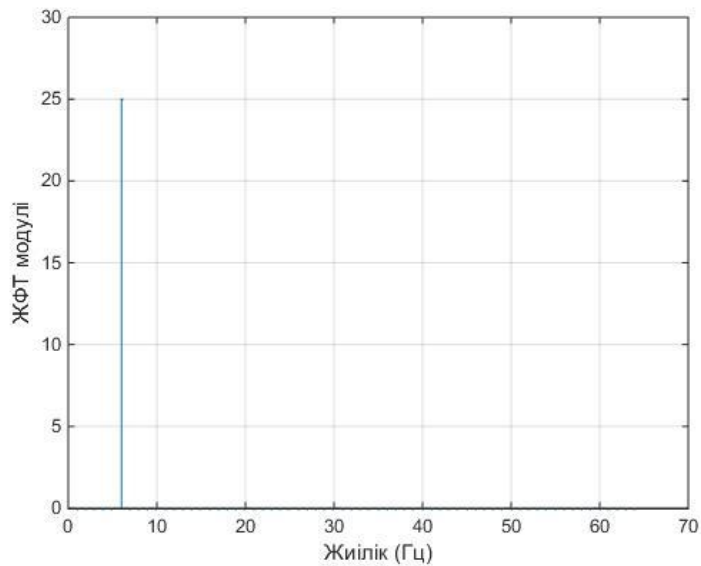
ан сигналды дискретті түрге келтіріп, вейвлет түрлендіруді қолданамыз. Тәуелсіз туақытының

[0, 5] аралығындағы 128 нүктесінде сигналдың дискретті мәндерін қолданамыз.

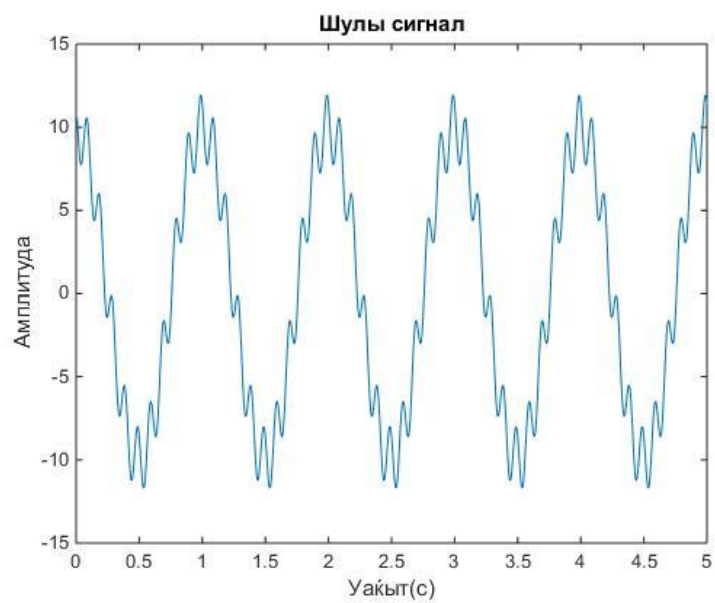
Осы сигналдардың, яғни таза, шу қосылған және вейвлет түрлендіру арқылы тазартылған сигналдардың графиктері мен спектрлік құрамыны 2-7 суреттерде көрсетілген.



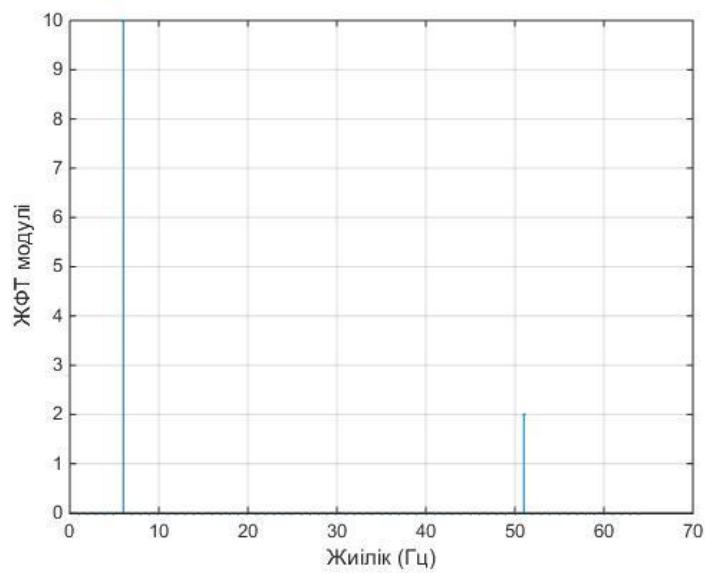
2-сурет. Таза сигналдың графигі



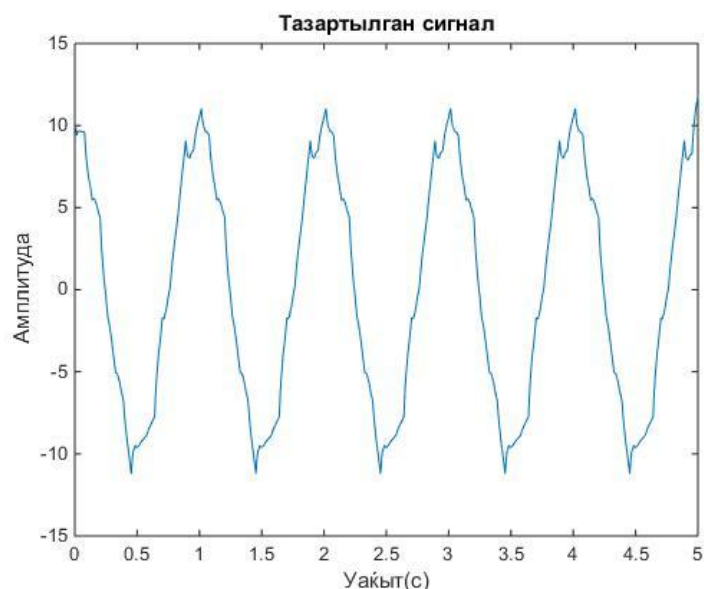
3-сурет. Таза сигналдың спектрлік құрамы



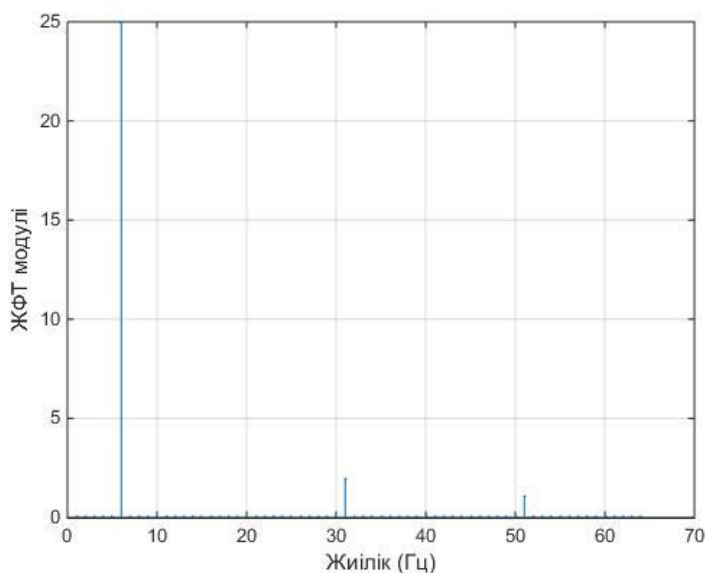
4-сурет. Шулы сигналдың графигі



5-сурет. Шулы сигналдың спектрлік құрамы



6-сурет. Тазартылған сигналдың графигі

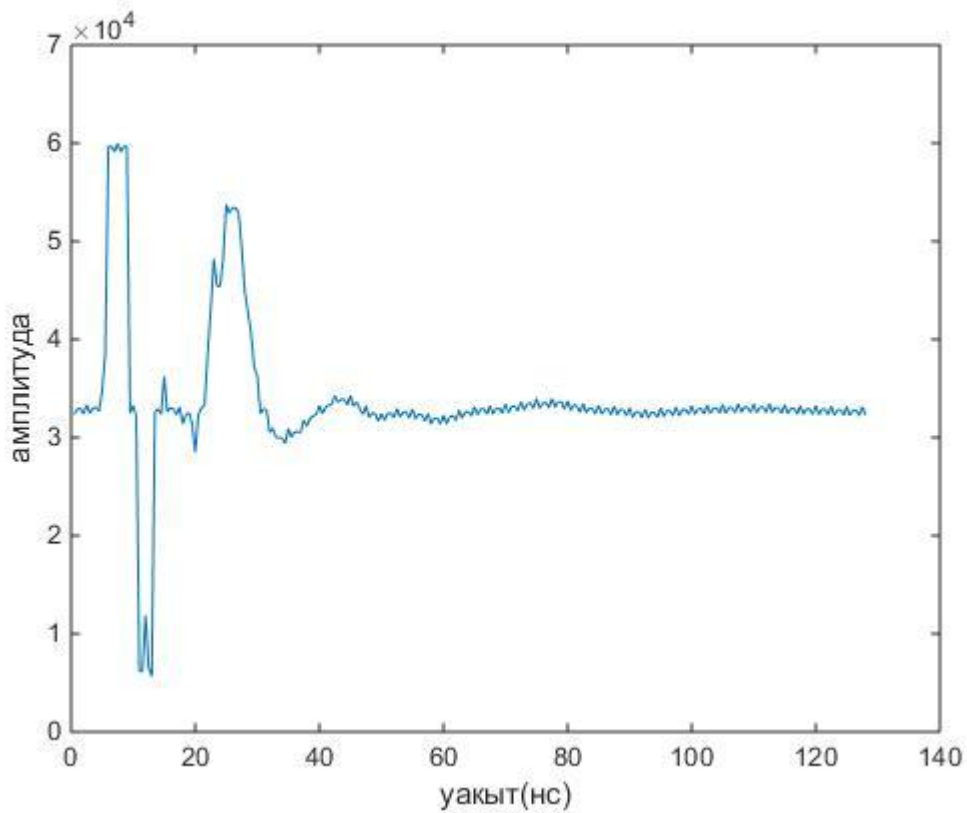


7-сурет. Тазартылған сигналдың спектрлік құрамы

Жер қабатын георадар құрылғысымен зерттеудің нәтижесі георадар антеннасының әрбір жағдайындағы жекелеген трассалардан тұратын радарограмма болады. Трасса жер қабатынан шығатын электромагниттік сигналдан ғана емес, сонымен қатар сырттан келетін басқа радиосигналдардан тұруы мүмкін. Трассаны бөгде сигналдардан тазарту георадиолокациялық зерттеудің алдыңғы сатысы болады.

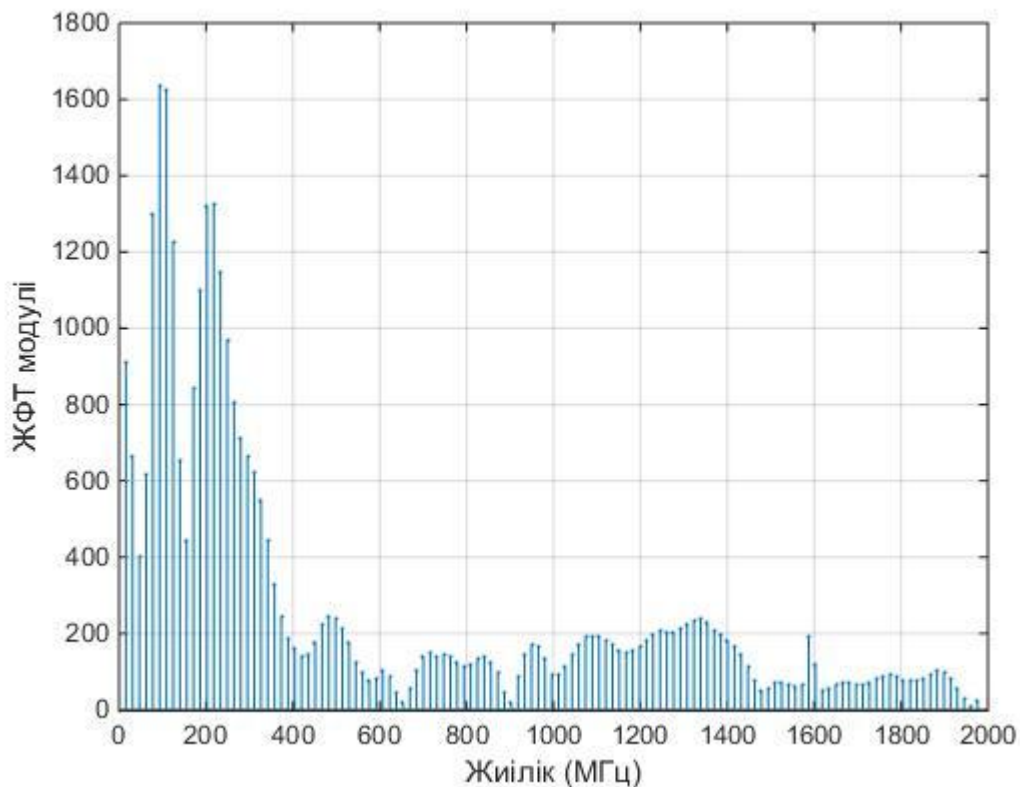
Радарограмма трассаның графигі 8 суретте көрсетілген.





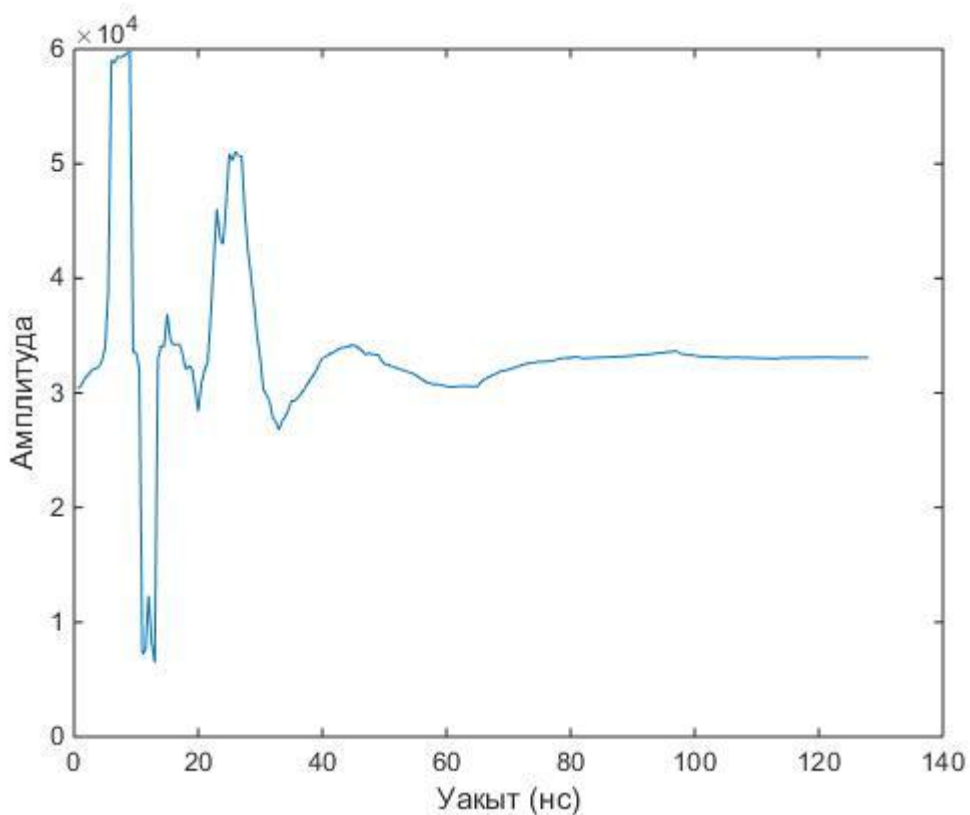
8-сурет. Радарограмма трассасының графигі

Осы трасса сигналы MatLab сандық-математикалық модельдеу жүйесінің Wavelet Toolbox пакеті арқылы өңделді [3].Өңделетін трассаның спектрлік құрамы 9 суретте көсетілген.

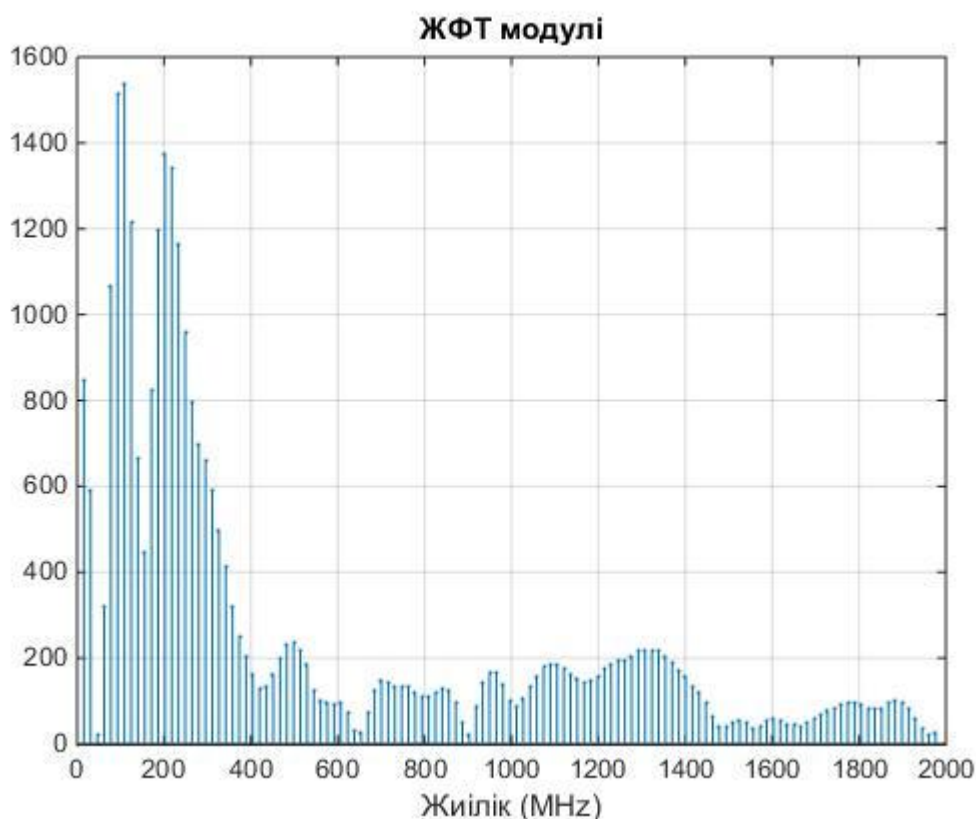


## 9-сурет. Радарограмма трассасының бастапқы спектрлік құрамы

Радарограмма трассасын Добеши вейвлеттері арқылы түрлендіру нәтижесі 10 суретте және оның спектрлік құрамы 11 суретте көрсетілген.



10-сурет. Вейвлет түрлендіруден кейінгі трасса графигі



11-сурет. Тазартылған сигналдың спектрлік құрамы

### Алынған мәліметтерді талқылау және қорытынды

#### Георадиолокациялық

зерттеулер сигналдан қажетсіз деректерді азайтып, ал қажетті деректердің бөліп алуға бағытталған. Георадарлық әдістің дәлдігін жоғарылату үшін эксперименттік өлшеулерді алдын ала өңдеуден өткізіледі. Алдын ала өңдеудің мақсаты алынған сигналдан бөгде қосымшалардан тазарту болады. Жұмыста радарограмма трассасынан қажетсіз деректерді азайтып, қажетті ақпаратты бөліп алуға арналған вейвлет түрлендіру әдісі

қарастырылды. Практикалық есептеулерде тым көп нақтылау сигналдың көрнекілігін нашарлатады. Георадиолокациялық сигналдардың көбісіне вейвлет түрлендіруді 5 рет қолдану жеткілікті. Бұл жағдайда сигналдың импульстық сұлбасын жоғалтпай, көрнекілік мүмкіндігін арттыруға болады. Вейвлет түрлендіру радарограмма трассасынан жоғарғы жиіліктегі бөгеттерді алып тастай алмайды, бірақ олардың деңгейі мен әсерін азайта алады.

#### Әдебиеттер тізімі

- 1 Андриянов А.В. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. А.Ю. Гринёва. – М.: Радиотехника, 2005 – 416 с.
- 2 Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
- 3 Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 448 с.

4 Штарк Г.Г. Применение вейвлетов для ЦОС. – М.: Техносфера, 2007 – 192 с.

5 Айфичер Э. Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. – М.: Вильямс, 2016. – 992 с.

6 Кривошеев В.И., Медведев С.Ю. Цифровая обработка сигналов. Н. Новгород: «Издательство ННГУ», 2006. – 207 с.

7 Daubechies Ingrid, (2006): Ten Lectures on Wavelets, 9e, SIAM, ISBN: 780-89871-274-2.

8 Mallat Stephane, (2008): A Wavelet Tour of Signal Processing, 3e2008, Academic Press, ISBN 978-01-237-4370-1.

9 Donoho DL. De-noising by soft-thresholding, IEEE Trans. Inform.Theory 1995;41(3):612-627.

10 Iskakov K.T., Boranbaev S.A., Uzakkyzy N. Wavelet processing and filtering of the radargram trace. - Eurasian journal of mathematical and computer applications , v5, Issue 4 (2017 ) 43 – 54p.

### **References**

1 Andrianov A.V. Voprosi podpoverhnochnoi radiolokasi. Kollektivnaia monografia / Pod red. A.Y. Grinev. – М.: Radiotechnica, 2005 – 416 p.

2 Vladov M.L., Starovoitov A.V. Vedenie v georadiolokasiy. Ushebnoe posobie. – М.: Izdatelstvo MGU, 2004. – 153 p.

3 Smolensev N.K. Osnovi teoriveivletov. Veivleti v в Matlab. – М.: DMKPress, 2008. – 448 p.

4 ShtarkG.G. Primenenie veivletovdliaSOS. . – М.: Tehnosfera, 2007 – 192 p.

5 AifihierE. DjervisB. Sifrovaia obrabotkasignalov. Praktosheski podhod. – М.: Viliams, 2016. – 992 p.

6 KrivosheevV.I., MedvedevS.Y. Sifrovaia obrabotka signalov.N. Novgorod: «izdatelstvoNNGU», 2006. – 207 p.

7 Daubechies Ingrid, (2006): Ten Lectures on Wavelets, 9e, SIAM, ISBN: 780-89871-274-2.

8 Mallat Stephane, (2008): A Wavelet Tour of Signal Processing, 3e2008, Academic Press, ISBN 978-01-237-4370-1.

9 Donoho DL. De-noising by soft-thresholding, IEEE Trans. Inform.Theory 1995;41(3):612-627.

10 Iskakov K.T., Boranbaev S.A., Uzakkyzy N. Wavelet processing and filtering of the radargram trace. - Eurasian journal of mathematical and computer applications , v5, Issue 4 (2017 ) 43 – 54p.

## **ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ВЕЙВЛЕТАМИ ДОБЕШИ**

*Байдалина А.Р.<sup>1</sup>,  
Боранбаев<sup>2</sup> С.А.*

<sup>1</sup>*Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, проспект*  
<sup>2</sup>*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, улица*

## **Резюме**

В научной работе рассматривается очистка электромагнитного сигнала от шума, разложив сигнал по базису вейлетов Добеши, определив уровень шума в сигнале и фильтрацией детализирующих коэффициентов способом уменьшение высокочастотных данных.

Одним из способов очистки или уменьшения шума в цифровом сигнале по вейвлет технологий является пороговая обработка по программно управляемому критерию Штейна, разложив сигнал вейвлетами Добеши на высокие и низкие частоты. Приведены различные способы пороговой обработки.

Процесс очистки георадиолокационного сигнала от шума, используемых при подповерхностном исследований показаны в виде графиков и рисунков спектров исходного зашумленного и очищенного с помощью вейлетов сигнала.

**Ключевые слова:** вейлеты Добеши, цифровой сигнал, спектр сигнала, очистка сигнала от шума, быстрое преобразование Фурье, пирамидальный алгоритм, трешолдинг, критерий Штейна, георадиолокация.

## **DIGITAL SIGNAL PROCESSING WAVELETS DAUBECHIES**

*Baidalina<sup>1</sup> A.R.,  
Boranbayev<sup>2</sup> S.A.*

*<sup>1</sup>S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Zhenis avenue, 62,  
<sup>2</sup>L.N.Gumilyov Eurasian National University, Pushkin str, 11,*

### ***Summary***

In the scientific work deals with the purification of the electromagnetic signal from the noise spreading signal with respect to the basis wavelets Daubechies, identifying the level of noise in the signal and filtering the detail coefficients, method of reduction of high-frequency data. One way of clearing or decrease noise in the digital signal for the wavelet technologies is a threshold processing according to the program-controlled criterion Stein, spreading the signal with wavelet Daubechies high and low frequencies. Various methods of threshold processing are given. The process of cleaning the GPR signal from noise used in subsurface studies are shown in the form of graphs and drawings of the spectra of the original noisy and cleared by wavelets signal.

**Key words:** Daubechie wavelets, digital signal, signal spectrum, signal cleaning from noise, fast Fourier transform, pyramidal algorithm, tresholding, Stein criterion, GPR.