

004.383.3

5 330501 -

2016

—

· — , , , ,

· , ,

,

·

,

,

·

,

,

(),

—

·

—

·

,

·

,

—

·

ABSTRACT

State and prospects of development of information technologies in the XXI century is characterized by the wide practical use technology of digital signal processing - one of the most dynamic and fastest growing technologies in the world of telecommunications and information society. Digital signal processing - is, in fact, real-time computing, designed to solve the problem of receiving, processing, reduce redundancy and transfer of information at a specified rate.

Relevant objectives are the development of methods, algorithmic, hardware and software to quickly find and identify local features of the signal.

Analysis and signal restoration is the basis of the process of solution processing of geophysical and seismic signal processing of the results of bench tests, imaging and others.

The requirements of high performance computing systems used in these areas can be met both by the development of new methods and algorithms of digital signal processing (DSP) or using a multiprocessor parallel means - conveyor calculations.

To solve the problems of analysis and reconstruction of signals commonly used generalized spectral methods and the methods of spline functions.

The combination of methods for hardware implementation of algorithms with the basic fundamentals of the theory of splines allows you to create high-performance computing processing structures and restore signals, is also characterized by high accuracy.

From this perspective, the aim of the thesis is the study of methods, development of algorithms and software package of digital signal processing on the basis of spline functions.



		5
I		-
	,	11
1.1		11
1.2		16
1.3		18
1.4		31
	Ос о е р е а о о а е I	34
II		-
		-
2.1	,	36
	-	36
2.2		53
		-
2.3		61
	Ос о е р е а о о а е II	64
III		
		66
3.1	po pa occ a o e o o ep x o o ep x c a o c c o o a e co o- a c x .	66
3.2		69
3.3		76
3.4		85
	Ос о е р е а о о а е III	92
		94
		95

e e e

O o e o o pe e o o a a po e e a x e o a
e x po a a o a a a o o e pe e o
ex , o a o o o e a o pa a ae x a x.
a e ee a e e p o pe a o e e o a op ,
o e e a e oe pe e oe e oe peo pa o a e
op a .

O o o a o a a o ep a o o pa o .

o pe e e e o o pa o a o o pa e o o e e
a o pa a op e x p p x pe , a a e
e e o o apx e p o o o a e x pe .

o ee o o, e a po a e e a
pe e o ee o e pe o a a e o o o
o po a pea o a a e pe e (P), o o a e
p o pa apa e a o e ep a e , pa pe
o o a o o pa a ae x o a a ae x a o .

po e a pa pa o po e o-op e po a x
e a po a x e o e o e pa o x A. .
a e a[21,31], . . o o a[25, 67, 77], . . p o a[23, 26], . .
ae a[22, 28], . . a[20, 24] p.

O e e o a . a , o a e o a o pa x
po e a x o o o epe e epa p x,
pa a o x, e po a x, pa a o x, e o x p x
e x o e , o op e a o o o ep o .

pe o a o o po o e o e x e ,
p e e x x o a x, o o e ope a a e
pa pa o o x e o o a op o po o o pa o a o
(O), a o o o o po e op x pe apa e o -
o e ep x e .

pe e e o a . o e a e o o o e e o o a apa o
pea a a op o o o a eop a x a o
e e o a . e ep a o o pa o e
e o a e e o o , pa pa o a a op o po pa o o o e a
po o o pa o a o a o o e a - .

a a e o a :

• e o a e e x e o o o pa o a o a o o e
o o ep x o o ep x a o

• Pa pa o a e x pe o a o e a o
p e e e O

• Pa pa o a po pa o o o e a o pa o o o ep x
o o ep x a o e o a a -

• Pe e e a a pa e o o p e e pa pa o a x a op o
o pe x o a x.

a a o a. Pa pa o a e o o a op a po o
o pa o o x a o a o o e a - , op e po a o o
pea a po x a x po e opax.

o e a e o a . pe a ae e ep a o o
e o a a op e o pa o a o a o o e
e o o a - , a a apa o pa o o a o e a o ,
p o o e opo o pa o a o a e o
o pa e e x a pa .

A a , o op epa p o e e e o a .

A a epa p o e e e o a o a a , o po e
e o a o a - x o o o e ex e x
p o e o a e oe pa e pa o ax . . ap a[27,
33], . . a o a[28, 29], .A. a e o[30, 32], . . a[51], . .
e a[37, 40], . . o a[49, 54], . . po e o[44, 47], A. .

pe e o a[42, 48], . . . a o a[34, 36, 38], . . . a po a[39, 41, 43], . . .
 po o a[52, 57] p., a e e p epa o o e :
 po e pa pa o e o o a apa o pea a a op o
 O a a e oe e o pa o ax . . . o o a[45],
 . . . a o a[46], . . . e pa o a[50], . . . ae a[35, 55], . . .
 a[53], p. o e e e x o o o e o e
 . . . ae a[56, 58], . . . [62, 63], X. . a o a[1, 2, 3,7, 8,9,
 10, 11, 12, 13, 14], . . . [15, 16, 17, 18, 19, 59, 60, 61], pa o
 a eo pe e o pa e o o o o a o pa o , a e e
 p epa o o e e e:
 p e epa p e o a eo pe o-
 e o o o e o a o- pa e o o o o a o
 ep a o o pa o .
 oe e e eop a x a o e pa x e o o o a
 o o pa pa o o x a apa o-op e po a x a op o
 o e o o p e , a a e pa pa o
 o o po o e x e x p p o o-
 o o a o o pa o a o .
Хара ep e o , p e e x e o a .
 pe e a a a a o a o e a o po o
 p e e o a - o o e e e pa e e o .
 a a a a , o op e ee pa x o
 o o e o o po a o e e. o a e p o a e
 o o- o o e e o opo o p po (o a e e
 o o e o o o o e e e) a a a -
 po o a a . po e op e p ep a a – o a a
 [1,2, 20, 24].
 a - - o pa a a o a eop p e
 e o o a a a.

ep e e a a a x a x p o o a o ,
a a e a o , a a . e ep 1946 . O a o
a e a eop a po a o oe pe e e a a ax
a apa a p e , o op o o p po a a e pa e
p o o ep e o o a .

**pa e a eoqe e a a o pe a o
e o a .**

- pe o e e a op e o e o o a o e
a o a o o e a - p o o e o o
pe a o a e o o pa e e x a pa ;

- pe o e a e a p pa a o o e e o o
a o o a a o o e o o o e a a pa a o
pa e e e a ;

- pa pa o a po pa o e o e po a po e o
o pa o a o e o a a - p e e e po x
po e opo a o o o e o pa a a pa e a a o ,
o e e pa x epax a ;

pe e a a e pa e o o o xo a eop a o
po o a o e o a o pa e o pe o
e o a e a . p oe pa e eop a - o o
epe e o a a apa a e o o a a a o o o e o , a
o pa o , p a :

•xopo e xo o a o a po pe o e a ;

• po o o pea a a op o o poe a o a
o epe.

p ep o po a o x epe e x a o ,
o e o o o e o , e o ae o o x p o e po e o
e o a e e o pe e .

o a e , pa e e x a p o o , e e pa
o o ep x a o o o x pa o pe a e op o o
po e e o o ep x a o , o o e e ae oxpa e e o
xo o .

o pa po pa e e 60-x o ax, a o pa o a pe o
ep o o x p x, a a e e a a
e o o pe e pa oo pa x a a e o a e a
p a o eo e p [26, 37, 40, 43, 48].

a a a o x e e ep a o
a op o o pa o o e o , хоро x epe a x
pe a x o , o o xo o o e o p e , po o
e op apa e po , a o o o o o p e
axo e o ee po oe p e e e p o a a apa x
po pa x pe a a a o a o e o o ep x o o ep x
a o , pa p pa pa o x o xo o [23,24].

o o a e o e x eo pe e x pe a o , e pe e
o a x po pa x a apa x pe , pe e e x o o a a
a a a, o pa o o a o e a o , a po a
o o e o ep e o a e e pa pa a a o ee
ep e e e e p p , o a x ex e e
xapa ep , a e e o pe a o pa o
o a o e a o .

Хара ер p p pa o . ep a o a pa o a o o
e e , pex a , a e , a o o a o epa p
p o e .

o e e pa o o o o a a a a o e ep a o o
pa o , op po a a e o pe e e o o e a a e o a ,
o e e a a a o a pa e a pa o , a a e
o e o o e o o e , o e a o po a a .

ep o a e ep a o o pa o a o o e epa p x
o o p e e o op a a e o o o pa o o o ep x
o o ep x a o ep e a x a x a o o e a -
poa a po a a po e opo po o o pa o
a o pea a e o o a - o a o e .
opo a e ep a o o pa o pe a ae a apa o-
po pa e pe a o e po a po e o o pa o a o
a - e o a a a o pa o , o o a a p e e e pa x
o a x a o .
pe a a ep a o o pa o o e a pa pa o e
po pa o o o e a o e po a po e o o pa o
o o ep x o o ep x a o ep e a x a x
e o a - .

**I. O O EP E O O EP E O O A E,
C E E C P P A XOC O E**

**1.1. e o o e po a o a x a c oc e
a oc o e ec x c a o**

ec e c a e e a $d = 1$ po o pac poc pa e
 p o e x. apa e p ep o o o o ec o o c a a
 axo c pe e pex a o a x c c e e x a e pa ec x
 pa e . pa o ep o o a a $h_i = h = const$ c ae e ep o ec o o
 c a a pa e p a [17,21]:

$$\frac{1}{2}S''_{i-1} + 2S''_i + \frac{1}{2}S''_{i+1} = 3 \frac{f_{i-1} + 2f_i + f_{i+1}}{h^2} \quad (1.1.1)$$

($i = 1, 2, \dots, n-1$),

a e pa oc o x o :

$$a_i S''_{i-1} + 2S''_i + c_i S''_{i+1} = 6 \frac{(f_{i+1} - f_i)/h_{i+1} - (f_i - f_{i-1})/h_i}{h_i + h_{i+1}}, \quad (1.1.2)$$

e $c_i = h_i / (h_i + h_{i+1})$; $a_i = 1 - c_i$,

f_i - op a ax,

$h_i = (x_{i+1} - x_i)$ - a ep o a ep a ec e co i.

C a e a ec o o pe ec c a e c
 e c e o e , o a a e c o c o a o p
 cpe cex , ep o p x a a e o e x op

по о , е р р е с а па о [17,18, 21], о е с а х
е па о о а а

$$\mathbb{E} = \int_a^b (S''(x))^2 dx \quad (1.1.3)$$

о с с е а а ае “е с е е ” е с с а
е с с а о а о с е х , е р о р х а а е о .
р о 3- с е е е с а е е с е е , р о р о е
е с о о е р е а.

О о е е о о а х с а о с па о а е
с а [3,4,17,21,24,26], о о р е р е а а , а р е р, р р е
с о па е а , р е о а с а , р о с а , а
е р е а о о о с а о с о е о . о
х а а е с о е о с а е а а р а а р е а с о е е
с о .

Р а па о а " с р е " р е р р е е а о р с е
о е о е р о о х с а а х о о а х
с а о [17,18], е р е е р е е с с е а е па е с х па е .
О с о о а е о о е е с о а а
о а о а

$$\mathbb{E} = \int_{x_i}^{x_{i+1}} ((d^r / dx_r) S_m(x))^2 dx, \quad r = 1, 2, \dots,$$

а а е о е о о р е о с а а па а с е р е
о с е р а с с о е а . А о р с
а с о о с о с а о е е а $d = 2$, о р $d = 1$

с а а е р е р е с а е о р а е о а с
 с о о с , а е р о о е с а е с о .
 е с е - с а а а с р а е :

$$B_3(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 2, \\ (2-x)^3/6, & 1 \leq x < 2, \\ 1/6(1+3(1-x)+3(1-x)^2-3(1-x)^3), & 0 \leq x < 1, \\ B_3(-x), & x < 0. \end{cases} \quad (1.1.4)$$

а р с. 1.3 р е е о а с с а , а а р с. 1.4
 с е е с а е с х а с х - с а о с х а о с о
 а $h=1$.

с а о 3- с е е о а е о р е с е :

- 3- о е а о р а:

$$b_i = (1/6)(-f_{i-1} + 8f_i - f_{i+1}); \quad (1.1.5)$$

- 5- о е а о р а:

$$b_i = (1/36)(f_{i-2} - 10f_{i-1} + 54f_i - 10f_{i+1} + f_{i+2}); \quad (1.1.6)$$

7- о е а о р а:

$$b_i = (1/216)(-f_{i-3} + 12f_{i-2} - 75f_{i-1} + 344f_i - 75f_{i+1} + 12f_{i+2} - f_{i+3}) \quad (1.1.7)$$

с а о 5- с е е :

3- о е а о р а:

$$b_i = (1/4)(-f_{i-1} + 6f_i - f_{i+1}); \quad (1.1.8)$$

5- о е а о р а:

$$b_i = (1/240)(13f_{i-2} - 122f_{i-1} + 438f_i - 122f_{i+1} + 13f_{i+2}) \quad (1.1.9)$$

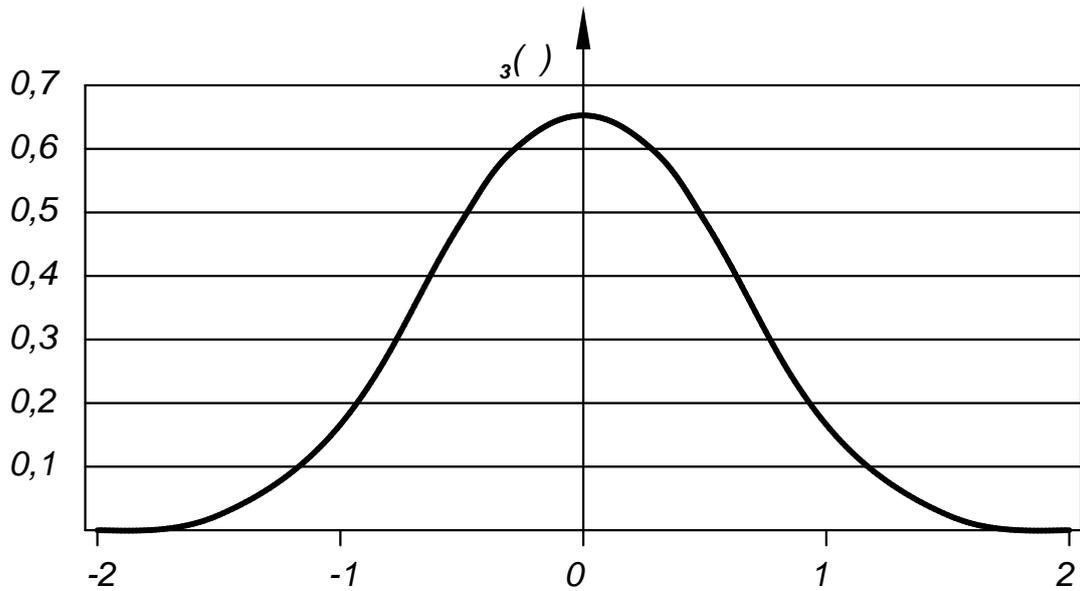


Рис. 1.3. Кривая Гаусса.

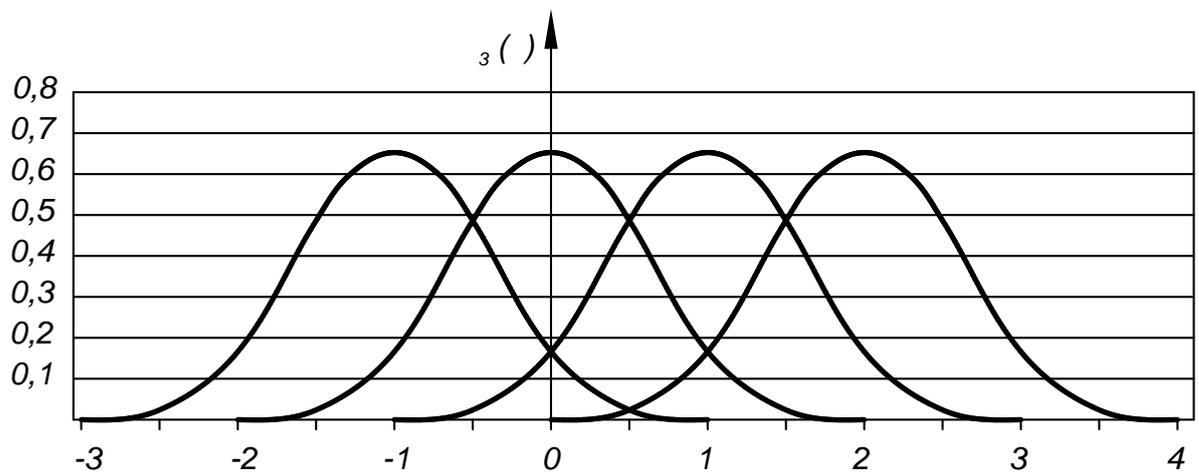


Рис. 1.4. Четыре кривые Гаусса.

Функция $S_m(x)$ называется m -й степенной, если она аппроксимирует функцию $f(x)$ с помощью полинома степени m [34]:

$$f(x) \cong S_m(x) = \sum_{i=0}^{m+1} b_i \cdot B_i(x), \quad a \leq x \leq b, \quad (1.1.10)$$

где b_i - коэффициенты полинома степени m .

п а по о п а с п о с п а е а о п а п е с а е
 а по с а - с а а е е [18,24,26]:

$$S(x) = \sum_{s=1}^{m+1} a_s x^{s-1} + \sum_{i=1}^{n-1} b_i (x - x_i)_+^m (x - x_i)_+ = \max(0, x - x_i) \quad (1.1.11)$$

е о е с а о п е о с е п о $f(x)$ е с
 а с с а а о п е е е с е п а е с о :

$$v \leq \frac{5}{384} h^4 \max |f^{IV}(x)|$$

а о п а о , а а е о о п е е с
 а с с а а о а а , о:

1. п е е е е с х а с х с а о п е а а , а п е п , п
 п е с о п а е а , п е о а с а ,
 п о с а , а е п е а о о о с . о о п е
 о е а а п а е а п а п е а а с е х с п п
 о с п а е с а п а о е с а с с а а .
2. п а по с а с о о о п (1.1.10) по е с
 о а о е с о с о - с а о , а а е е с о о о с
 о п е е е а е п о о о о е е п а а е п е
 а е о о $m+1$ с а а е х , о п а х е о п , .e.
 с а п х п о е е е о е о а а е
 а с х е е о . п е с а е е (1.1.10) е с е о п а
 о п а о , с о а е о с о п е а а п о а п а е х
 о е е п х с е , с о о а с е а п о а х
 с е х с п п а а а х п е .
3. С е а по а е с е е с п п а о о о с
 а по с по а с с е е а с с а о с е о х о о
 о о с е о о с е с е о с о е о с е с о п е е о е е о
 а , о а с е п е с а е е е х а с о п о с с о с о о .

1.2. o o e p e o o a e c a a a a x o e p o a o a x a c o c e

p p o e e a x c c e o a c a , p
 a o a p o a o o p a o e p e a o e p e c e x
 c c e a x o e c a x c e c e p o c e e o o a a e c o o
 o c a o a x a c o c e o o p a e p o c
 e c e c e o p a o o a e o x o , c o p a e e o a c e
 a c e e c o o e o c a e o e e c a o . p o e e
 p e a x a c o c e c o c , e c o p a e o a , c o
 c a e a o e x a , o c o o c p e a x a p a e p . .
 c o o- o o a e c o o- p a o a e e o a o e e
 p o c , c p o e o p e a c a a p a c e
 c p e c a [16, 19, 30, 52, 54, 57]. o a c c e c e c o o e p a e
 o o a x o e e $P_m(x)$, a a c a o p a o p e p a
 o o e p o o c a [35]:

$$P_m(x) = ((\dots(a_m x + a_{m-1})x + a_{m-2})x + \dots + a_1)x + a_0, \tag{1.2.1}$$

o o p o c o o c x p a c a p a e a c e .
 e p o o e o o a e c a e e o
 o o e e p o o o o a o e c x o o c
 p e a c o c o a a h a p e a - p a c c o e
 a . a , a p a o o c a a c p a e o e p a e c o :

$$\epsilon \leq (\sqrt[3]{3/216}) \max |f^{(3)}(x)| h^3, \tag{1.2.2}$$

e f - e p o p e a , ϵ - o p e o c e p o .

ес о о с а а е р а е с о р а е :

$$\varepsilon \leq (a/384)\max |f^{(4)}(x)| h^4, \quad (1.2.3)$$

е о с а а, а р а е а е о 1 о 5, р е р а а
с о о е с е е р о о с а а р а.

р р е а о е р е а а е р о с а а с е
р о е р а с а р а е а , х а р а е р е о о о , о с а с с е.
о е а о е о с а о а а е о о е , а а
а о е р а а р е а е с о с е а с а р е е
m+1 о е , о р е , а о о - с р е е (m + 1)/m.

а о е е р х с р р, с х о о а е
с а с о х а о р с а о р о , о е е
о о о р о а о е о , р а с е с е е е с е е
с а а, о о е р е с а е а е р а о е
р е а а.

р о е р а с а р а е а с е е с о х
е р е е х а е о с о с с р о с е е а р о с р х
о о о о а о а р е . е с а е о р а е р а е с а
о е [51, 52, 53, 54], о а о е р с е е х о о о а р е а
р а а с е о о о о р о а р е

$$f(x,y)=\sum a_i(x)y^i, \quad (1.2.4)$$

$$a_i(x)=\sum c_k x^k,$$

р о о , о с о а о а о р а с е с е о р а с е о
с р а е с о о е р о о е .

р е с е о о е р е о а е а с о с ,
о е е р е а е с е р е а х с с е о а ,
о р е о с е р е , с о о о р о о е х а е о е р е

o pa a a c , pe c a e co o ep x oc
 x c e e e .
 a o pa o , c a a acc co x c e c e
 epca oc a op o o pa o o c e o , xopo x
 epe a x c pe a x c o c , co o cxo oc o e o
 p e , poc o c e op apa e po , c a o o
 o o o p e axo ce o ee po oe p e e e p co a
 a apa x po pa x cpe c a a a occ a o e o o ep x
 o o ep x c a o , pac p pa pa o x o xo o .

1.3. C oco c e o e o o e po a o a x a c oc e a c c a a

a a a oc poe c a a o c ep e a a (a o
 a o a a , a o a a ec a a) a ae c
 axo e o e o b_i , o e c ae, o pe e e ce
 c a a Δ .

C ec pa e c oco o pe e e o e o :
 ep o o e o a e op , c a a e c a ,
 o a oe c a e, ep o o e o a e x
 a pa o [4,15,17,18,19].

p oc poe ep o o o oc a a ce o ae c ce
 Δ c o a e e ec o x o o e x o $x_{-1}, x_{-2}, x_{i+1}, x_{i+2}$.
 o pe e e o e o b_i o ae c ce e x pa e

$$\begin{aligned}
 b_{-1} B'_{-1}(x_0) + b_0 B'_{-0}(x_0) + b_1 B'_1(x_0) &= f'(x_0) \cdot h \\
 b_{i-1} B'_{i-1}(x_i) + b_i B'_i(x_i) + b_{i+1} B'_{i+1}(x_i) &= f'(x_i) \\
 b_{N-1} B'_{N-1}(x_i) + b_N B'_N(x_i) + b_{N+1} B'_{N+1}(x_i) &= f'(x_i) \cdot h
 \end{aligned}
 \tag{1.3.1}$$

е $h=x_{i+1}-x_i$ - а ер о ;

$f'(x_0) \dots f'(x_N)$ - по о а о ах се .

а р а о с с е - рех а о а а , а ер ое о с е е е
 па е е р о с е . е е р е е с е с е е е о
 по о [17, 18], а оп о о по о р о с па е е 5. Рacc о р е а
 с х е а а е о о с [17,19]:

$$v = \frac{\sqrt{3}}{216} \max |f'''| h^3 \quad (1.3.2)$$

а е о по а с с е е по е р о па е
 о а о с а - а по с а , о оп х а е р а е
 с а - а а о о р е е а с о о о а е
 а по с р е о е о оп о р е с о с о о р е а. р о
 о с о е о с а х е о о е с о, о о е р е р е
 с с е а е па е с х па е р а х о е а па е по с а а.
 е о х о о е с е о па о е а с о с а о с е
 Δ , а о р е е е с с е е с а а. о о о а е о е е,
 е р о с р о е е р о о х с а о , а о а е с
 р а е оп а о с а о о о с .

па о ах [4,15, 17,18] о а а о, о о е о о о
 е р а с е а о оп а а $b_i = b(f(x))$. е е с о о па о р е с
 оп о о о е, о о е о е с е х о р а
 о о о с оп а а по е с с о р а с а па е а
 о е е р а . е р е е е оп а о е - о е .
 с а о оп о с е е :

1) рех о е а

$$b_i = \frac{1}{8}(-f_{i-1} + 10f_i - f_{i+1}) \quad (1.3.3)$$

2) о е а оп а:

$$b_i = \frac{1}{64}(f_{i-2} - 12f_{i-1} + 86f_i - 12f_{i+1} + f_{i+2}) \quad (1.3.4)$$

а е 1.1 п е е п е а а по с а
 $= \ln(x+1)$ а а с е [2, 4] с о о о а х о р . о с е х
 с о а х а $\Delta 1\%$ $\Delta 2\%$ с о о е с е о о о с е е о п е о с
 е о а а по с а о “ п е х о е о ” о “ о е о ” о р а .

а е 1.2 а е п е е п е а а по с а п е а х
 с е р е а х а х е о е с х а е е о о о а о
 а по с а о “ о е ” о р а .

п о е 1 п е е п е а с е х с е р е о
 а по с а с е р е а х а с о с е е о о о а о
 а по с а а о е р е .

о а е о р с о х р а с о с а а о с п е , а
 а е а р а е п о е а с о о е о о а х , о с а о о а е х
 о е е о с е с о *i*. О с с е р , о р а о а
 о о п е х о е о а с [a,].

п а о о х о е о а с о о с с о п е е е е
 о е о а п а х а с а х . х о п е е е [17,19]
 п е о е с е е с о с о :

1. с е е о е о а п а х а с а х о о р а ,
 о о п о с е о о с а по с а а п а х
 а с а х .
2. с о о а е р а о е с е р е а х а х а п е е а
 о п е е е с а а (е с о о о о).
3. п е а п а х а с а х е с а , а о о о а
 о р о с е е .

Ес с е р е а е а е е с с о р е о с , о с р о
 е р о о с а е е е с с а . а х с а х о а е
 е о х о о с р е е с а а х с а о с е е е
 о р е о с е .

а а 1.1

Р е а а р о с а $y = \ln(x+1)$
 с с о о а е о а х о р .

X	f(x)	S(x)		Δ 1%	Δ 2%
		3- о е .	5- о е .		
2.5	1.252	1.245	1.250	0.430	0.124
2.75	1.321	1.311	1.318	0.621	0.187
3	1.386	1.375	1.382	0.683	0.248
3.25	1.447	1.436	1.443	0.683	0.248
3.5	1.500	1.495	1.500	0.31	0.000
3.76	1.560	1.556	1.561	0.248	0.062
4	1.610	1.601	1.605	0.559	0.310

С а а с а - о с а , р о х о
 с е р е а х а е , о о е е “ а ” е е р о о
 [68].

е р о а о а :

$$J(f) = \int_a^b |S''(x)|^2 dx + \sum_{i=0}^N 1/R_i (f - S_i)^2, \quad (1.3.5)$$

e $R_i > 0$ a a e e . e e e o e
 R_i e e poxo c a - a a a e f_i .
 a o a a (1.3.5) eo xo o pe c c e
 e x pa e c a o a o a p e . A op pe e
 a x c c e e o o po o p e e a e 3.
 o oc poe o c a epec a eco e o e o
 o R_i c po o c a . epa o po ecc o e
 po o a c o ex op, o a a e c a a e o a c a a o
 “ op ope”.

e oc a o a o o e o a e c o c c e c a
 c ep e a x a x.
 o o pe e o o pe e a a c a occ a o e c a o
 xopo e pe a ae e o a e x a pa o .
 c ae c o o a p e e o a a e x
 a pa o pac o o e opa o a e o c a a.
 p o eo xo o po a o a

$$I(f) = \sum_{i=1}^N (f_i - S_i)^2, \quad (1.3.6)$$

e S_i — c a ,
 f_i — a a a o a a a c oc .
 a o a a (1.3.6) eo xo o pe
 c c e e x pa e [65]:

$$\sum_{i=1}^N \langle B_i, B_j \rangle b_i = \langle B_i, f \rangle \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (1.3.7)$$

C c e a pa e (1.3.7) ee e o a p a o ap
 oc - c a o . c ae p e e - c a o opo c e e

а р а с с е а о а а . А о р р е е с с е -
а о а о о р а е е о о р о о р е е а е 3.
а е 1.3 р е е р е а с а а р е а х
с е р е а х а х е о е с х а е е о о
а е х а р а о $N=16$, а р о е 1 $N=128$.

а а 1.2.

Р е а а р о с а р е а х с е р е а х а х
е о е с х а е е о о о а о а р о с а о
“ о е ” о р а .

$F(x)$	$S(x)$		$\Delta 1\%$	$\Delta 2\%$
	3- о е .	5- о е .		
0,88	0,995	0,824	7,091	3,601
0,99	1,000	0,940	0,709	3,540
1,02	1,021	0,980	0,071	2,831
0,92	0,968	0,960	3,468	2,830
0,61	0,690	0,692	5,670	5,801
0,05	0,111	0,114	4,251	4,530
-0,65	-0,605	0,651	0,049	0,002
-1,21	-1,230	-1,241	1,410	2,121
-1,31	-1,240	-1,243	4,252	4,531
-0,81	-0,681	-0,789	8,510	0,780
0,04	0,037	0,038	0,210	0,150
0,83	0,858	0,861	1,981	2,121
1,3	1,152	1,156	8,101	8,301
1,41	1,407	1,411	0,212	0,071
1,28	1,325	1,391	2,832	7,810
0,81	0,816	0,850	0,425	2,821

Pe a c a a pea x c ep e a x a x
eo ec x a e e o o a e x a pa o .

x	$f(x)$	$S(x)$	Δ
1	0,88	0,879	0,071
2	0,99	0,991	0,000
3	1,02	1,018	0,141
4	0,92	0,915	0,351
5	0,61	0,629	1,340
6	0,05	0,048	0,141
7	-0,65	-0,702	3,682
8	-1,21	-1,165	3,191
9	-1,31	-1,282	1,411
10	-0,81	-0,853	3,540
11	0,04	0,062	1,421
12	0,83	0,834	0,282
13	1,3	1,281	1,401
14	1,41	1,425	1,061
15	1,28	1,275	0,354
16	0,81	0,810	0,000

a a, o a a a e e e a e cpe e a pa ec o
o o e a c a p pa x a e x o ec a
o c a a

	<i>I</i>	<i>N</i>	cp. . o	c
1		6	3.02	21.5
2		10	0.235	12.9
3		14	0.207	9.21
4		18	0.16	7.17
5		22	0.198	5.86
6	128	26	0.05	4.96
7		30	0.05	4.30
8		34	0.054	3.79
9		38	0.031	3.39
10		42*	0.25	3.07
11		46	0.27	2.8

c ae pa o ep o ce c a a o poc c ae o eo xo o
o ec e o . eo pe e o o p e ec
a, pe o e o Xa eco [19,24, 26]:

$$\sum_{X_{i-1}, X_i \in [a,b]} r_{i-1} \cdot r_i < \sum r_i^2 / \sqrt{e}, \tag{1.3.8}$$

$$e \quad r_i = f_i - S_i, \quad i = 1, 2, \dots, e$$

а о па о , а с о с о п е о а о па о о о
 о с а а с а о о с а п а а о о е, с а ,
 а о е е о о п а с с е р е а а .
 а а 1.4 а е о о о с с е а а о о п п а х а е х
 о е а с а , е о .

с а о п е е с е е :

3- о е а о п а:

$$b_i = \frac{1}{6}(-f_{i-1} + 8f_i - f_{i+1}) \quad (1.3.9)$$

5- о е а о п а:

$$b_i = \frac{1}{36}(f_{i-2} - 10f_{i-1} + 54f_i - 10f_{i+1} + f_{i+2}) \quad (1.3.10)$$

7- о е а о п а:

$$b_i = \frac{1}{216}(-f_{i-3} + 12f_{i-2} - 75f_{i-1} + 344f_i - 75f_{i+1} + 12f_{i+2} - f_{i+3}) \quad (1.3.11)$$

с а о о с е е :

3- о е а о п а:

$$b_i = \frac{1}{4}(-f_{i-1} + 6f_i - f_{i+1}) \quad (1.3.12)$$

5- о е а о п а:

$$b_i = \frac{1}{240}(13f_{i-2} - 122f_{i-1} + 438f_i - 122f_{i+1} + 13f_{i+2}) \quad (1.3.13)$$

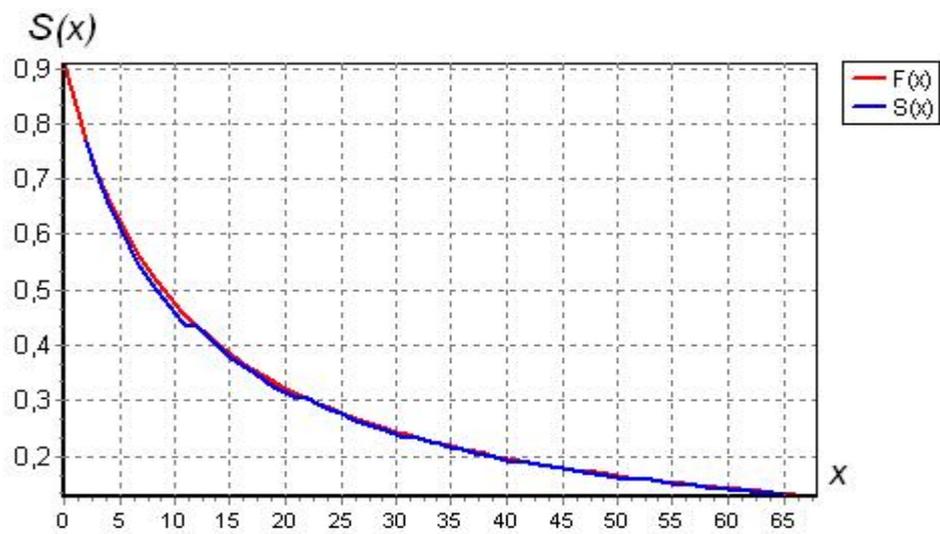
о п с о с а а о с п е , а а е
 о е о е а с о о с е о о а х, о с а о о а е х о
 е е о . о п с с е р , о п е о о
 п е а о а с . е е о е о па
 о о п е е с , а о е с а а о, о с п е с о о е о
 е р о а а е о е о п е а, а а е, о о о, е р е е е
 о о е х о .

е о а о с с а о е , о о р е с о о а е о р ,
 п а с с о р е е о о р е п е р с а а е с
 с е р е а а .

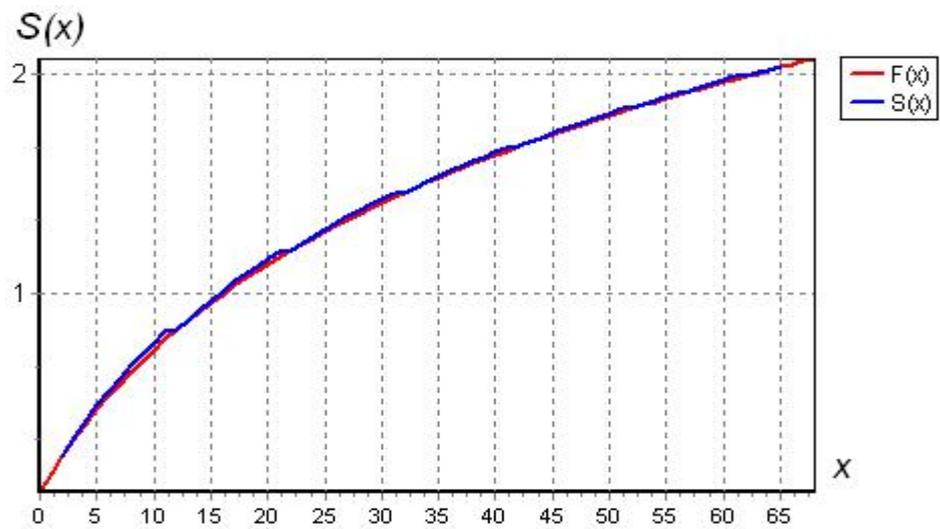
а р с а х 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 п е с а е п е а о р а о
 о а х а с о с е с о о е р е с с а о .

а р с а х 1.9, 1.10 п е с а е п е а о р а о
 с е р е а х а х с о о е р е с с а о .

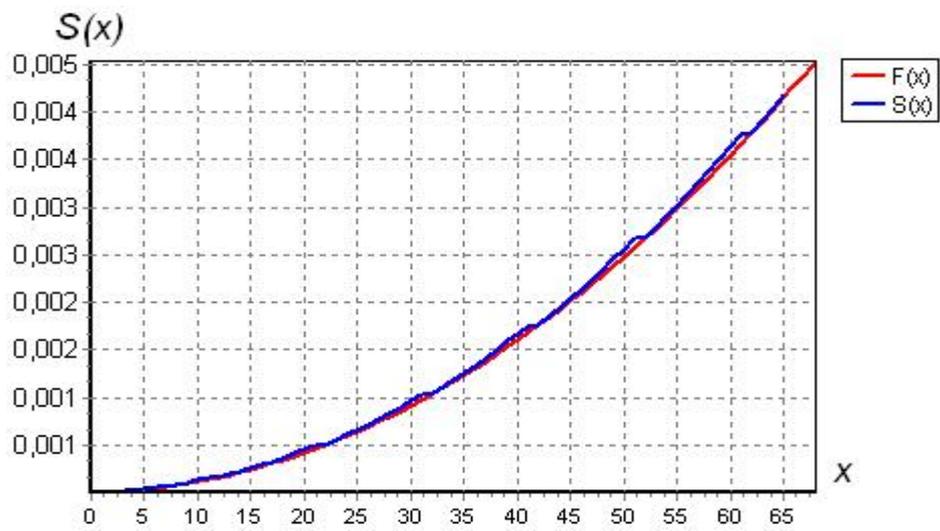
е р е е х п е р а х а е с е о е а р а о е
 о с с а о е с а о е с с а а с о о а о р е х
 о е е о р .



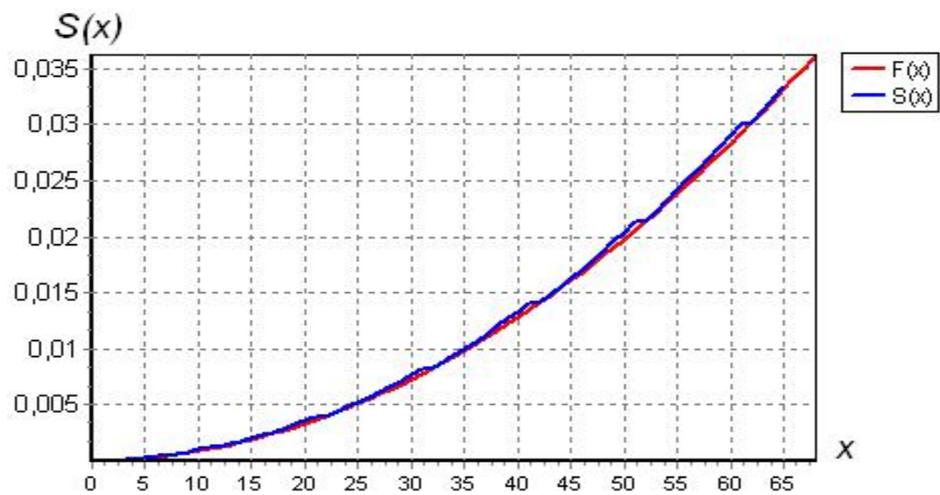
Р с 1.5. п а а п о с а $y = 1/(x+1)$



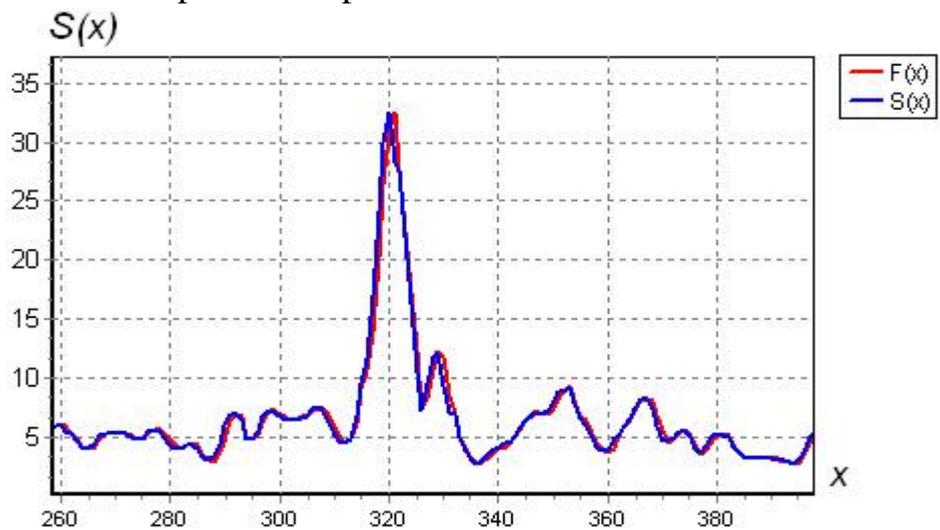
Р с 1.6. п а а п о с а $y = Ln(x+1)$



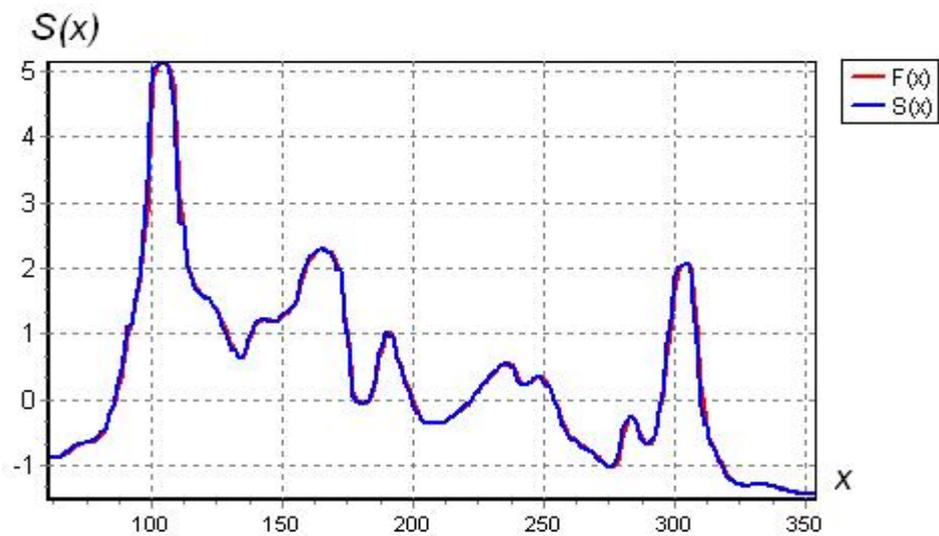
P c. 1.7. pa a po c a $y = \sin x^2$



P c. 1.8. pa a po c a $y = x^2 \sqrt{4 - x^2}$



P c. 1.9. pa a po c a eo ec o o c a a



P c. 1.10. pa a po c a e po a o o c a a

a a 1.5.

Cpa e e cpe e a pa ec o o occ a o e o o ep x
c ep e a x a x

	o a e a c oc	64 a e	128 a e	512 a e	1024 a e
1	$y = 1/(x+1)$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$4,10 \cdot 10^{-3}$	$2,10 \cdot 10^{-3}$	$1,50 \cdot 10^{-3}$
2	$y = \text{Ln}(x+1)$	$14,9 \cdot 10^{-3}$	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$5,80 \cdot 10^{-3}$	$4,10 \cdot 10^{-3}$
3	$y = \sin x^2$	$0,04 \cdot 10^{-3}$	$0,08 \cdot 10^{-3}$	$0,30 \cdot 10^{-3}$	$0,48 \cdot 10^{-3}$
4	$y = x^2 \sqrt{4-x^2}$	$0,31 \cdot 10^{-3}$	$0,61 \cdot 10^{-3}$	$2,04 \cdot 10^{-3}$	$5,70 \cdot 10^{-3}$
5	eo ec c a	0,2685	0,5824	1,2867	-
6	e po a c a	0,0055	0,1107	0,0813	-

pe a e o pa o a e pa x a a ec x

c ep e a x a x, c e a o a a a co o o oc e o
o p occ a o e c a o .

a p c e 1.11 p e e pa a c oc a co o o

occ a o e $y = \ln(x+1)$ o o e x op .

a p c e 1.12 p e e pa a c oc o oc e o

o occ a o e $y = \ln(x+1)$ o o e x op .

сравнение по абсолютной ошибке с помощью формул (1.3.9), (1.3.10), (1.3.11) представлено на рис. 1.11.

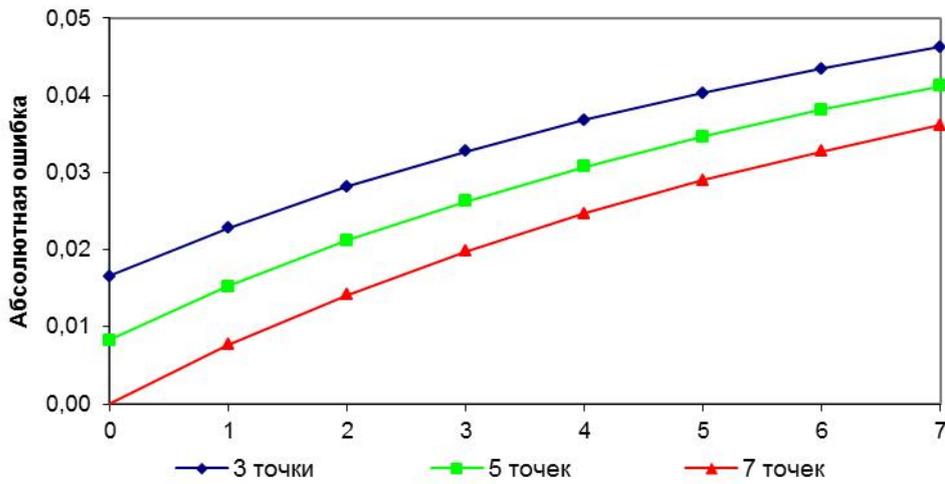


Рис. 1.11. Зависимость абсолютной ошибки от количества точек для функции $y = \ln(x+1)$ при $x \in [0, 7]$.

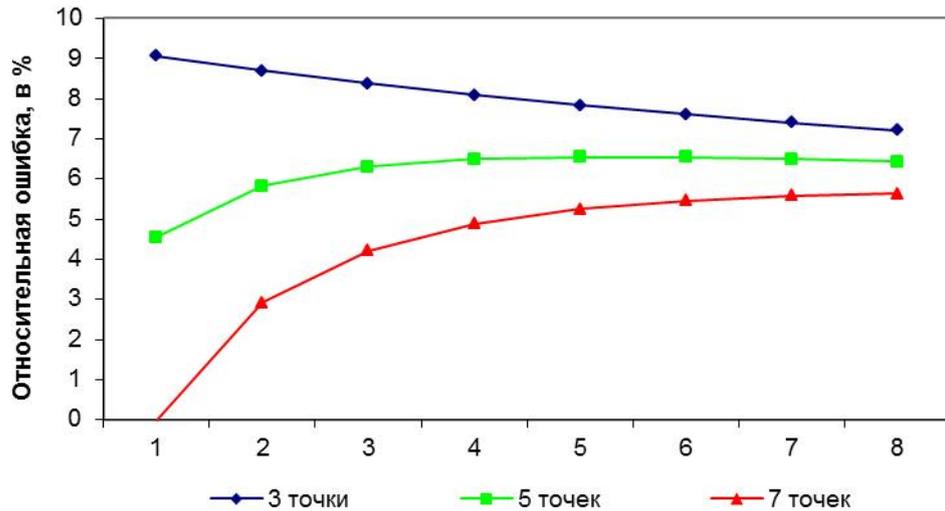


Рис. 1.12. Зависимость относительной ошибки от количества точек для функции $y = \ln(x+1)$ при $x \in [1, 8]$.

Выводы: при увеличении количества точек абсолютная ошибка увеличивается, а относительная — уменьшается. Это связано с тем, что абсолютная ошибка зависит от масштаба функции, а относительная — от ее значения. В данном случае функция $y = \ln(x+1)$ имеет возрастающую абсолютную ошибку и убывающую относительную ошибку при увеличении количества точек.

с е b- о е о . с с е о р х р е а о
 а с а е р е р е о е с о c o c e с е о е о о
 « о е » о р а , а - с а о е е р р о а с а а а
 , р е е с е а а с а , о о
 о о а х, р о о е р е с х, с о е а х р х р о .
 р е с а е е а с с а а е с о о
 а а р а о р е а а о а о-а о р е с о е о р е а а
 с е х с р р .

1.4. С о c o c e о е о о е р о а о о е р с а а

о с е е е р е а е о е р а е о а е о р
 р е о о е р с а а о х р е р е х
 [18, 20, 31, 32, 36]. Е с е о о о а с е р о о х
 о о а х с а о , о с е о р е е о о е р х с а о
 е с е с е о р а о р а с р с а с а е с о х а р е о . а ,
 $S_m(x, y)$ а а е с с а о х р е р е х с е е m
 о о с е о с е $\{x_i, y_i\}$, е с о а с о а а е с о о о с е е m о х
 о у а а о р о о е D.
 о о у D о е о р а о а о о е р с а
 $S_m(P(y), x)$, е р о р а с е е е о р а е $P(y)$. $S_m(P(y), x)$
 а а е с а с с а о . С е о о о о с р о е е е р о о
 с а а с о с с о о о с о о е р х с а о :

$$S_m(x, y) = \sum_{j=0}^n P_{ij}(x) S_j(y), \quad (1.4.1)$$

е $P_{ij}(x)$ - о о с е е m о x , а $S_j(y)$ - о о с е е m о y p $x, y \in D$.

о о ер е о о а е -с а па x с е е е m о а о а р е о р е е с е е о р x p x p о е е о о ер x -с а о [20,31]:

$$B_m(x, y, \dots, u) = B_m(x) \supset B_m(y) \supset \dots \supset B_m(u). \quad (1.4.2)$$

а с о с , ер о о с а а $S_m(x, y)$ с е е m е е е с о о р а:

$$S_m(x, y) = \sum \sum b_{ij} B_{m,i}(x) B_{m,j}(y), \quad (1.4.3)$$

.е. е о x с па x p о е е , е с о о е с о е о о ер е -с а . е с о а с о р е е е е x а е ер о о а с о о с а а

$$B(x, y) = B(x) \supset B(y)$$

р е с а е с о о р о о $[x_i, x_{i+1}; y_j, y_{j+1}]$, о а е с е о о о о р а е с е е о а:

$$\cup x: x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_{n_1-1} < x_{n_1};$$

$$\cup y: y_0 < y_1 < y_2 < \dots < y_{n_2-1} < y_{n_2}.$$

о с е о а е о-а р а е а о р с е а е о о ер x с а о о е р е а о а , е с е с о о а е о е о , а с x о о о о а р е о . а с о с , с а x е а с x а р е о е е :

$$c_i(y) = \sum_j b_{ij} B_j(y), \quad (1.4.4)$$

р а е е с а а а е с е:

$$S_m(x, y) = \sum_i c_i(y) B_i(x), \quad (1.4.5)$$

e. o e c e o epe ap e po e e a a a.
o a a o pex ep c a pe c a e c e

$$S_m(x, y, z) = \sum_i \sum_j \sum_k b_{ijk} B_i(x) b_j(y) B_k(z) \quad (1.4.6)$$

e o a e o o e pe a e c e
oc e o a e oc e ap x po e e .
o a e op c e o e o o
pac poc pa e a c a o o ep o a po c a . a p ep, 3-
o e e op ec o o c a a a pa o ep x ce ax Ux
Uy o o e a oc o e op o o ep xc a o [36]:

$$\begin{aligned} a_{1j} &= 6f_{kj} - 4a_{kj} - a_{k-1j}, & k = n_1 - 1, n; & & j = 0, 1, \dots, n_2; \\ b_{ij} &= (-a_{i,j-1} + 8a_{ij} - a_{i,j+1})/6 & j = 1, 2, \dots, n_2 - 1; \\ b_{i,k-1} &= 6a_{ik} - 4b_{ik} - b_{i,k+1}, & k = 1, 0; \end{aligned} \quad (1.4.7)$$

$$a_{ij} = (f_{i-1j} + 8f_{ij} - f_{i+1j})/6, \quad i = 1, 2, \dots, n_1 - 1;$$

$$a_{k-1j} = 6f_{kj} - 4a_{kj} - a_{k+1j}, \quad k = 1, 0;$$

$$a_{k+1j} = 6f_{kj} - 4a_{kj} - a_{k-1j}, \quad k = n_2 - 1 \quad i = -1, 0, \dots, n_1 + 1.$$

a o pa o , o a oe c o c o o o ep xc a o o oc
pac poc pa e c o o ep xc a o . p o a o o a e
a po c a ep c a o e pe c a e e x
o o ep xc a o .

Ос о е пе а о о а е I

1. pe a e a a a c a - e o o p e e o, o
o a ee o c o pa ec c o e x e e ap x

о с е о а по с по а а с с а а .
а е а е с а апа а по с а а с с а а
о о е п е с а о а е а с о с е с а р х
по е е о с о х о е о а а е а с х
. о а е о с о с е с е о о п а с апа е а
с е а а а е с , а а о- а а х о а х
а с о с е . о а о е с о с о а с х с а о о п е е е
о па е о е с о (N+1, е N-с е е с а а) с а а е х
а по с п х с а х а о е а а е
а с х .

2. с с е о а с о с о с е о е о п па о е
о а х а с о с е о а с с а а . а а
по о о па о о с с а о е с а о е о е с о
о п а п е а о с е о х с а о о па е
е о п е с а а . с о о а е о п е о о е о а
а с о о с а о а а . с с е о п х п е а о
а с а е п е е п е о е с о с о с е о е о о
« о е » о п а , о о п о о е е а п е е с с е
па е .

3. о а а о, о а с а а о п е о с о п е п
а по с а с а о о по с е е п е о е п е па е
е е, е с о о е с а о п е о с п а по с а
а с с е с о о о о по с е е . е о е с а о п е о с
а с с е с о о а п е а е о е е е п
па а, о п е о с а по с а е с а с с а а .

4. п е о е а апа е о- о е е р а с е а с п па
о с с а о е а е п х е п е е х, о а а х
о па е с о по е с с о о а е с с о
с по е с е .

5. о е ос о е хара ер с пеа а а о-
 а оп ес х с е х с р р о па о с а о
 со о- о о а х а сах. о а а , о а о-
 а оп ес е с е ес р р а ос о е а с х с а о
 о р с пее (с ае апа о ес х а с х с а о
 1,76 па а с ае ес х а с х с а о 2,53 па а), е
 acc ес е о о ex е с е е е . о а а а е, о
 а апа р е а па пеа а с е о с р р а
 ос о е ес х с а о о е р о а о х пе е х а па ах.

II. PO

PEA A C A - E O O O PA O C A O

2.1. A apa e cpe c a, c o e e pea a e o o c a - occ a o e

po o o pa o o c a o c e o ex e p o
a a ap e ec o pa o oc e o a e oc e pa oo c o x
o pe e o c e o . A op po o o pa o p e c a e
c e a acc a o pe e e oppe a x,
ep o pa [7,10,12,18,22,28,29].

po a o pa o a, o e o a a o o o , pa o o
c o e o o o x pa o ex ec x c po c ax, e c o ee
e e c oco o oc e pe a a, o ec e ae o ee co
o oc , a p oc ex o o oc c po c a, oc
epe ac poe , e epa p c a oc .

e c o o, o pa o a po o o c a a o e o e a c
o o o x c e x cpe c . a p ep, a co pe e o
epco a o o epe c po eccopo a Pentium IV, co ep a e 2
c e x pa o c a o o oc o e ep o pa o ,
c e e pe c a p oc e . O a o ec x o pa e x
c c e pea o o pe e , o op x ep o a a o pa pa a a c
c c e po o o pa o , e o c e a oc e o a e oc
pe oc a e o o e e o o oc oc e co o
e oc .

e o c a - o e , o o o o po o
p e p pac apa e a , o e e po ecca o a c
o pa o o . occ a o e e c a o e o a c a -

ос о ае с а о е е о ера апа е о о о е с
а о е е .

а е апа е х о е е с а о е е , а о а е о
с по с а с по о ос о , а а е с р е а х с р е с
по па по а по х по е с с о а о о о е р е
х а а а х о па о с а о е о а с а – .

Со р е е о е р е е е е о о по о о па о е
о а с е х е х о о , о е с о па о а
о па е , а е е х с а е , о по . о а с по о с
по е о а о е с о е о е р е а
о а а а с .

а о е е е с е р е о а а апа о а с по о о па о
р е па о о а о е с с е . Ос о с о е р а е по о
о па о е с е с па х о х с а о а е , а с о
с а о о 10 о 10 , па е р р е о па о а о ос а о
2¹⁴ о е с х о е , р е о а о с по е с ос а 10⁹
о е с е . р о па о е по х с а о па о о а о па
с о с а о р по о па с е па о о а а а,
а о р о р р е о о о а а а , о па о с е р , с е а е
а о р е о о р е с а а .

с с е а х о па о а по е по е с с о па о с а а
р е а а а а а , р а с о а а с е а р е , с а р е
с с е а х е е о а . р о па о е о по а х о х
с а о с о с а о р по о па с е па о о
а а а , а о р о р р е о о о а а а , о па о с е р ,
с е а е а о р е о о р е с а а . о с е с а е
о е о р е е р е а о е с е а е о р а а х с
с по а о а о , а с о а 16 , а с о с а о о 4 о 20

(о 40 с ае о па о), пе е а по о е ос - о
10x10⁶ о епа се - 10 MIPS о о ер о ер о о .
с се о па о о па е о а а а е с
е е о па е , с а е оп а ере а хра е ,
рас о а а е о па о . Хапа ер с се о па о о па е
е с о с а о е е е е о па е с о о ер с о
с ер , о па о а а с с о о с е о с о о а оп о с по о
пео па о а п е. п о с а о е п ех ер о с п п о е о ,
о ае х е о а по а е о е е е о с о
е с о рас о , п е с е о пос па с е о- а с о о
па . п о а с а оп о - пео па о а е о рас о с ,
е е е о по , с а с е с а о па о а о па е . с а
оп а а о е е е с оп о о а е
пео па о а п е, А а апа о а. пе е а по о е ос
о е ае с е а 100 - 1000 MIPS, а с а х - 10⁵ - 10⁶
о с е о .

С а - о -о па е е е с о о апа е па, а о о
а , а п ер, е епа па, а е е, а п е е, п о с . еор
по о о па о о с а о о па е ае с а с о с а п е
о п е е .

схо е с с а е с е п ер о е
п е е . а е с а , о п е е е е о с е о е п е е , а а
а а о о . о с е о а е о с с е п е с а а с а п
по о о па о е, е с с п е п о е о е о о с
с о о е с о а а а о о о с а . с а, с о с а е
о с е о а е о с , с а е с а а о е е (с п е е)
о е п е е а а с о с е а с а а. а па о, о с е
е р с е п е па е по е п е е , а ае е ер о о

с п е а . е а, о п а а е р о с п е а , а а е с
с о о с п е а .

п о е с с п е о п а о а а а о о о о с а а о с е о а е о с
о с е о а а е с с п е а е , а п е а а о о п е о п а о а –
с п е с а о .

а е 2.1. п е е , а а е е, х а р а е р с а с а о .

а а 2.1.

О а с п е е , а а е е, х а р а е р с а с а о

а а е	а а е е	Х а р а е р с а с а о
Pa o- по о а	о а р е е е п е е о о р а , по по а е, о с п о е е п а о о п а е	о о с а с а а 100 – 1 а а с а а 10 ² – 10 ⁴
Pa oc	о е с е е е а е о с с с е а е о о с е с о с а с е о а а о р о е е , о по а с а е е о е х о а е о с , о а е е о е х,	о о с а с а а о 100
Pa o ac по о	с е п , п а о е р е р о е п с о с е р х о а а п а п е е п а о с о о	о о с а с а а 1-10
O pa o a о п а е	е е а е с а с о , п е о с о п а с о с , о а е е о е х, с а е о с с а о е е о с е с а , о с с а о е е о п а е о по а х о о п а	п а е р о п а е 10 ³ x 10 ³
O pa o a п е е х о х с а о	а а с е п е , е е а е с а о а с , а с о е е с с е .	о о с а с а а о 50

eo a	a a ec ec e x ce c oc a o o po pe c a a e e p ce , o pa o pe a o ce c opa e o ca eo o ec o c p p o o ep x oc	> 300 e oc 10 c, = 10–50 e oc 100 – 400 c
e a, o o	a a ap o pa e a o pa , o o pa ec e cc e o a , a a o o x	o oca c a a o 400
A a pa	o po a ec a a e e exa ec x c c e	o oca c a a 100 - 1

po eccop po o o pa o c a o (OC) axo po oe
p e e e ca x pa x o ac x, a , a o c oco
o ec e a pa o pea o ac a e pe e a c ec x, a
p a o o x c po c .

po eccop po o o pa o c a o (Digital Signal Processor) – o
po po eccop, oco e oc pa o o opo o e c o o xapa ep
o pa o o x o e o a x pea o ac a e pe e , a
pa o, c e c o e o a x c e c po c a [41].

Pea ac a pe e (Real Time Scale) - o a o pe pa o
c po c a, p o opo pe c pa ap e ec a o pa o a (a p
eo xo oc a a , a a , coxpa e e, c c e a a , c e
epe a a o a a a c) a x po o c e o ep op a ,
oc a e o ee c o a [9, 41, 43, 48, 49].

a oc o e OC co a c c po c a, o op x pe e c pea
ac a pe e o e pa ec x ap e ec x a a .
o e pe , o o e p o x, a o ee pac poc pa e x
a a , pe ae x c p e e e OC [41, 44, 48, 49]:

– pa c a o ;

– c ep a x c a o (c e e ec a o);

– c e e a e a o pocc oppe o o x

c a o ;

- с е е, оп а а пео па о а е с а о ;
- п ое о па ое п е- пео па о а е;
- п.

О е о ер о а а по о о па о с а о е с
 о о хара ер о па о о х о е о а х пеа о
 ас а е пе е , пе о ех ес х сре с со о
 по о е ос о о ос е с о о о е а с е
 с по с а . о ос ае с ас о ее пе а о ар с е ес о
 арх е пе ОС, а ае о а о о арх е по ОС.

а о а арх е па ОС – о со о ос хара ер х
 осо е ос е по ессопа, а па е а а о е е е о
 по о е ос о а а ОС о рохе п х о о а
 о с о е а [41]:

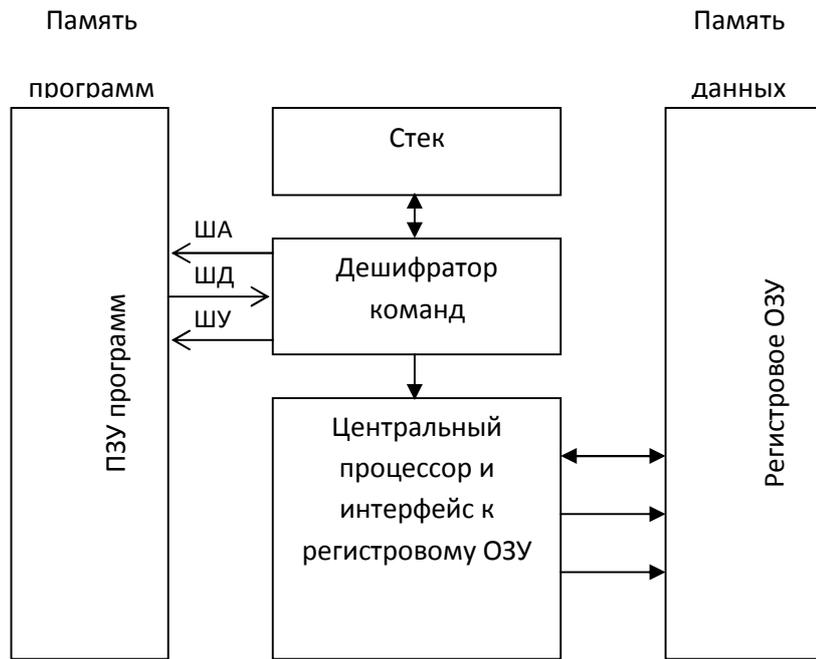
- п е е е о по а о ар ар с о арх е п ;
- по о с о о а е о е ер о о пе а па о ;
- а е с е а по а о о с по с а о е ;
- а е с е а х о а по о о па о с а о ;
- пеа а е опо о о о а о о а.

Ос о о осо е ос ар ар с о арх е п е с
 с о о а е па е х а рес х рос па с хра е о а
 а х (п с. 2.1.) .

А а пеа х по па па е о а а , о ео хо
 о е а а х ОС, с о е хра е по е о х
 пе а о , а па о, а оп о е е пе е о о о е а а
 по па . х с о х с о о а е е о о а рес о о рос па с а
 п о о е е оп а а о а а с е е е с а па п о
 а реса о ера о . п е е е о е о е о о о о е
 а а х с осо с о а о со па е о а с опе
 о с а оп а а а х.

ро е о о, ар ар с а арх е ра о е с е ае о е а о о е е
со с о р о с о е ро ра о с р а с е
о о о с р е а а а р а е х о е р а . о р а с е е
о а о е ро с х о о о р е е о с о е е р е е ,
е е о х о о с о с а а а ро е с с о р а р е о р о а .
о е о р е а а о е р а о о е о е с е а о е е
р а х о а а о а о о е с о а о , о а е о о о с о е е
р о с о о р е е р е о е о р х а с о
р о р а .

о с о р о о е е с о р е е х О С с о
ар ар с арх е р . О а о ар ар с а арх е р а е с
е о с а о о о р е а а е о о р х р о р а х р о е р .
о о с р а е е О С, о е х о р а арх е р а , с е е
р о о р е е о о р е о а а .



Р с. 2.1. С р ра О С с ар ар с о арх е ро .

А а с о е о с р а о а ае , о о р е о
о р о о с О С а а р е о а - р о о е

OC, a e a Texas Instruments Inc., Analog Devices, Motorola p
p x, o op e c oco co a a e o o OC o ce ec o oc ,
o e e o o ec po a o e pa pa o o -xa , co a a
p a o o e o e a op .

c e a o ee pac poc pa e x OC o o a a po
c e x o a - Texas Instruments Inc (TMS320), Motorola
(DSP56F800) Analog Devices (ADSP-BF5xx). op po eccopo o
o o a pea a o pe o o poe a - o o p ep a a
a a a, c op po a o ee e ee e e o opa
pa ec e o o o. c c , pacc o p OC ec o x
o a .

OC TMS320C2x. p cep – TMS320C2000, TMS320C5000
TMS320C6000, o e c ep o o a , a e e
o o p ec a a o o o x p e e OC, pe oc a
o pe e op OC o p ep " po o e oc / c o oc /
o pe e a o oc " [41].

Cep OC TMS320C2000 pe a a e a pe e a a
c poe x p e e pa e [87]; po eccop o a c pa o
ep ep e e co o c o oc . a cep pe c a
epca e OC o cep TMS320C20x o cep TMS320C24x
po o o pa e e po a e .

Cep OC TMS320C5000 op e po a a a p o
a o o pe e x op a x c po c o o c . OC
o cep TMS320C54xx o po a o c po e c (o 200 MIPS)
a o ep o o pe e (o 32 mA/MIPS) . p o acco oe
c o o a e ex o o 0,18 o o oc c o oc o e x
OC a o o cep o 5 \$ p po o e oc 100 MIPS.

Cep OC TMS320C6000 xapa ep e c a c a o
po o e oc p e e , pe x pe e x c opoc e

ce a c c po a o , a c a a e o o . o e
o ac p e e OC cep TMS320C6000 o o a a e o e ,
a o e c a , c po c a o pa o o pa e p.

OC cex pex cep o o e o a c co pe e
cpe c a pa pa o o a po pa , o e e x e
o o a e c ep e co a a e po pa x cpe c Code Explorer
Code Composer Studio.

OC ce e c a DSP56F800 p MOTOROLA. Ce e c o
DSP56600, op e po a oe a o ec po o c , pea o a o
e o e e x ep: 32-pa p o o RISC- pa MCORE pa DSP
a o o p c a e. c o o a e a o apx e p pe o a o o
pa pa o a a ca o e x po pa a o o pa x
oc e e co ec o o a , o oc oc a o o p oe
po ecco .

ac o ee pe o a Motorola o a a ac o a e e
o ep apx e p DSP56600 cocpe o o a c o c a pa
ce e c a DSP56F800, po eccop o opo o c a c o p o
ex o o 0,25 a e e e o e po o e oc
DSP o a oc po o po epa o o pocxe e.

DSP56F800 co ep e a po eccop x pa, pa e e x o o
op ce pe x o pa pa o a a ca x pa x po pa ,
o pe c a e co o o o o oe po, o a a ee ep a a DSP, a
po o po epa, c oco oe o a a pa e , c p e
DSP-a op o o pa o e a x. eo xo oc p o pa o a
o o c o o po pa o a e o po ae po ecc pa pa o
p o e .

a ec e a DSP56F800 o pa o 16-pa p oe DSP- po,
eec pa e apx e p DSP56100 o a Motorola.
c c e o a e e c p pa o c e c a ,

op e po a e a a a pa e , a a e e e o po eccop.
Pa oo pa e pe o a peca DSP56F800 a o ae c opee
po o po ep, e DSP. o ep e o o
po pa po a a e co o o po apx e p o a e
xapa ep po o po epo pe c p - a a e c e a, o op
o o e op a o a po pa c e e eo pa e
o e oc o po pa .

po o e oc o a oc , a e Flash- a ,
poc o a o c o po pa po a , a a e e co a c o oc
o ec e ce o DSP56F800 po p o o x p o e .

OC ce e c a Blackfin p ANALOG DEVICES. po eccop
ADSP-BF531, ADSP-BF532 ADSP-BF533 c pe c a e
ce e c a po eccopo Blackfin c pac pe o o oc , o op e
o a a a e o o e po o e oc e e
o pe e o o oc o cpa e c pe po eccopa
ce e c a Blackfin p coxpa e poc o c o o a co ec oc
o a. p o x po eccopa o oc co ec o o a
pa a c o o po o e oc pa epo pe e a ,
o o o e e a o x p oc e , o a x p pa pa o e
o x po o .

Apx e pa pa po eccopa Blackfin e c apx e po c e
a opo o a , a e po o pa o c a o co c oe
o o o e - a o e , e e op o o a a op o a ,
xapa ep RISC- po po eccopo , o a a e oc o a
a SIMD e o o oc .

Oco e oc po o ce e c a Blackfin e c a ec oe
pa e e a e . o o oc e e , a a p e a , a
pa o e ac o o o e o po a o pe e e o oc
coo e c c o pe o a a e .

ce ep ep e c po c a, a c e e op a o a/ o a
o e o a a e , aco pea o o pe e a epo , o ep a c
o c p po p o o oc a a (). a e po eccope
e c a o e x a a a a “ a - a ”, pe a a e e
oc ec e epe a e poc pa c a a po eccopa,
a e SDRAM ac xpo a . a op pe x
o ec e ae po c c oco oc , oc a o o ep a
pa o pa po eccopa, a e ec a e c o a ce pe e e e
ep ep e c po c a (p o e e 2, p c. 1).

po po eccopa co ep a 16-pa p x o e , a 40-
pa p x a opa, a 40-pa p x ap e o- o ec x
c po c a (A), e pe 8-pa p x eo A 40-pa p oe
c po c o c a [103]. c e e c po c a o pa a a 8-, 16-
32-pa p e a e, oc a e pe c po o o a a.

c e pe c po a co ep oce 32-pa p x
pe c po . p o e c e x o epa a 16-pa p
o epa a pe c po a o p e a 16 e a c x 16-
pa p x pe c po . ce o epa c e x o epa oc a
o o op o o o pe c po o o a a a a c o c a a o x
o a .

a o e - a o e (MAC) a o a o e
o e e x 16-pa p x ce a o e e, op p 40-pa p
pe a . o ep a c a o e a o op a ce ,
o p e e ac e e.

A o e pa o a op ap e ec x o ec x
o epa a 16- 32-pa p a . e o e o e
c e a e o a , c op e o e e pa x a a o pa o
c a o . o oc c o e o epa , a e a e e e o ,
o c c a e , o e e o o 2^{32} , p e e ,

ac e e o p e e, o pe e e e a a/ op a. a op eo- o a
ae o epa pa a a o a o, c o e e 16-
pa p x ce c 8-pa p c ce e e pe a a, o epa 8-
pa p o o cpe e o epa 8-pa p o o a ,
a co o o a e , a o e (SAA, subtract, absolute value, accumulate).
a e o ep a c o a cpa e / opa e op o o o c a.
p c o o a e o op x o a o o o o o pe e oe o e e
x 16-pa p x o epa A a apa pe c po (a e c ap e
16-pa p o o a c e o o pe c pa). p c o o a
opo o A o o o o o pe e oe o e e e p x 16-pa p x
o epa .

40-pa p oe c po c o c a o e oc ec ece e a x
o o epa c a, ec o o c a, op a a
e e o o o o .

po pa a o a pa e po ecco o e o a ,
a o e e o epa pa a e o po a o a . p
pa e o e e po pa po pa a o a o ep ae
o oc e e (o oc e o c a o a) oc e e c o e
epexo (co c a ec pe c a a e epexo o) o o po pa .

po eccope pea o a a a apa a o ep a o c e
e po o e a pa a . Apx e pa po pa o o a o a a
o oc a a, o apa p e o c c e x e o pa o
o e epa p o e o a c a oc a a .

A pec oe ap e ec oe c po c o op p e a a peca
o e o o pe e x o x opo a . O o co ep
o o op o pe c po a , coc o e p x a opo 32-
pa p x pe c po e ca, o a , a o o o a peca (
op a a ec x epo) oc o o e x 32-pa p x

pe c po a a e e (e c po a o a c e o c e a C).

po eccop Blackfin o ep a o po a ap ap c apx e p c epapx ec o c p po a . a po l (L1) o o pa o ae c o o c opoc po eccopa c e o o a ep o e a ep . a o a a po e L1 co ep o o o a . e a a x co ep a a e, a e e a c epxo epa a a xpa op a c e a o a e epe e e.

po eccop ee ec o o o o a L1, o op e o c o p po a a c e a a op SRAM a. c po c o pa e a (MMU, Memory Management Unit) o ec e ae a a p o e po a x a a o e oc ec a c c e x pe c po o e pe a epe o o oc a.

Apx e pa po eccopa o ec e ae p pe a pa o : o o a e c pe , pe C ep opa pe . o o a e c o pe e oc o a op pec pco c c e o pa e , o o ec e ae op a a a o po pa o cpe . pe ax C ep opa oc pec pca pa c c e eo pa e .

a op o a po eccopa ADSP-BF53x Blackfin o po a a o pa o , o a o ee ac o c o e e o a pe c a e 16- pa p o a . o e c e o a po o o pa o c a o (OC) o p c 32- pa p o a a o o o a e o a . po ax ce e c a Blackfin pea o a a o pa e a o ep a o o a a oc , o opa a ae c o o oc apa e o o o a 32- pa p o o a x 16- pa p x o a . o o o e pa pa o c o o a o e pec pc pa o o o a o e.

е ассе ера по ессора ADSP-BF53x Blackfin с о е с а е ра ес с а с с. Арх е ра о по а а с о о а со ес о с о опо а С.

а а 2.2

Сра е е а по ессоро се е с а Blackfin

а / OC	ADSP-BF531	ADSP-BF532	ADSP-BF533
SRAM/ о а	16 а	16 а	16 а
SRAM о а	16 Кбайт	32 а	64 а
о а	32 а	32 а	-
SRAM/ а х	16 а	32 а	32 а
SRAM а х	-	-	32 а
С ерх о ера а а	4 а	4 а	4 а
О о а	84 а	116 а	148 а

а а 2.3

Сра е е хара ер с по ессоро се е с а BLACKFIN

а е о а е / OC	а с. а о а / ас о а,	а с. по о - е ос , (MMACS)	п с а ое / О ,
ADSPBF531	400	800	52
ADSPBF532	400	800	84
ADSPBF533	756	1512	148
ADSPBF534	500	1000	132
ADSPBF535	350	700	308
ADSPBF536	400	800	100
ADSPBF537	600	1200	132

арх е пе по ессора Blackfin а с п п по а о е ое по а ое 4- а а ое а рес ое пос па с о, с о ее 32- па п е а пса. се рес пс , а пе а , е а пе с п па е о а/ о а, а а о е е се

o e a pec o poc pa c e. O ac a a pec o o poc pa c a
op o e epapx ec c p p , o opa o ec e ae a a c
c o oc po o e oc p c o o a o e c po ,
o a a e a o a ep o pe e a , a o a SRAM,
o a a o ee o c o oc po o e oc e
c c e a a o x o o . a ax 2.2 2.3 p e e
cpa e e po eccopo ADSP-BF531, ADSP-BF532 ADSP-BF533.

Blackfin pea e o oe o o e e 16/32-pa p o o e pe o o
po eccopa c co po o e oc e oc o oc
p o e cxo e o o oc – o o- op a a o, eo,
o oc o pa o a o pa e ; o ope a o oca o p x
ac o o pa o a a e a; a a pea o ac a e pe e
pa e o pa o - c p ec o . e o a o a
o a po pa o oc epca oc o a *Blackfin*
po o pac poc pa e oe p e cxo xc p o e x a
po o o o a e o pa e e ; ce x cpe c ax c ;
a o a ec a e p po a a cpe c a o pa o epe a
op a ; po oe pa o o oe e e e e. Oc o e
c o c a po eccopa :

- Apx e pa a opo o a o o o o a coc opoc o pa o ,
c pe ae c o e ae o pe a a o DSP po o -
o ec e ae c opoc , c o oc , e oc a ;
- 16/32-pa p a apx e pa o o e ce e o o e
e pe e p o e e c c e ;
- pa e , c a a e a o pa o a e c e o
pe;
- po o e oc , ac pa ae oe o pa o c a o
o pe e o o oc epe pa e e a ec o o oc ;

– op e o a - co ec o pa po o . o \$5 o 1,500
 MIPS - e a ce pa pa o o e x po o ;
 – e ae po o e oc pa pa o a;
 – pe e c a a o a a o ap - a o o cpe
 po pa po a ,c a oec po o e oc pa.
 po Blackfin – 32- RISC- po eccop c ac o o o 400 o 750
 – e c cep e a op o Analog Devices. O o o oe,
 o o oe, xopo o o po a o o o pa o eo. O e
 c – e e o a a p e c o o o o o o ec a
 c ec x pe e , o c a cpa e o ec o a pea a
 pa x po pa x o o e o .
 po Blackfin o a ae e ox o o oc : o a opa
 e oc 600-800 A pe e a e c oco po p a eo
 QVGA-pa pe e o 5 o 8 aco o 16 aco .
 po e c a e po eccop ce e c a BLACKFIN ADSPBF534,
 ADSPBF536 ADSPBF537 pa pa o a co o e e a x
 c po c , o op e ee ce e e ep e c c o ec e e e co o
 ce e o e o ac oc . po eccop po o p e e c o
 ce o o x e a IP p c a ax, po e x o po epax c
 o ep o ce e x po o o o , e e a x op o x
 a o o x c c e ax o ec e p x p o e , e pe e c
 ce e o ep e c, a oe o pe e e e co a c o oc .
 po eccop ce e c a BLACKFIN o e o o oc
 po o o c a o o po eccopa o e o o pa o e a o
 eo op a c oc poc o o c o o a 16/32pa p x
 po o po epo , o pac p e p e e e x po eccopo o
 o ac e , e pa o o c o o a c po o po ep o e o
 a a e . o a c poe x ce e x ep e co
 co o po o e o o po eccop o o pa o o e epa

pa pa o a o e p op c e e c o oc , o e e pa e c
o o o oc o cpa e c c po c a pe e o
o o e .

ce po eccop BLACKFIN o oc o ep a c cpe c a
pa pa o Analog Devices CROSSCORE, o op e a ce
e p po a cpe pa pa o VisualDSP++, o a o e o e
EZKIT, a pac pe o a o o e a EZExtender
op . poc a c o o a e p po a a cpe a pa pa o
VisualDSP++ c pa ec ep e co o o e co pa pe
pa pa o o a po pa o o o ec e e . VisualDSP++ 4.0
o ep ae po o o TCP/IP USB, co ep ac ep o pa
a a po eccopa.

a o pa o , cpe cc e o a x OC o pa o
pa o o acca c a o ca o xo c po eccop
ce e c a Blackfin. C o oc x po eccopo c cpa e o
, c po e c o e pe e o a x po eccopax
o e op pe o a e o pa o e c a o , a o ac o pa o
pe a o c e o x c a , a eo ec x c a o .

2.2. c p e a e cpe c a o e po a po ecco o pa o c a o a oc o e po x e o a c a -

ac o ee pe a ae c e pep poc epeca
c e a c o -pa pa o o c o o a pa x c po c ax
o pa o c a o po x c a x po eccopo (DSP) po o c a
o a Analog Devices. o o c o e o a o c a p e e ,
oc oc po o o oc ca x po eccopo [7,41, 43, 44].

po e po eccop c a o ce e c a Blackfin o ep ae c
o a opo cpe c pa pa o po pa o o a apa o o
o ec e e CrossCore, a op po o c a Analog
Devices cpe pa pa o VisualDSP++. e e a apa e op ,
o op e o ep a p e po Analog Devices, o oc
p po eccop ce e c a ADSP-BF53x.

Cpe a pa pa o poe o VisualDSP++ o o e pa pa o a
pa pa a a o o a p o e . a cpe a ae
c o o a acce ep, oc o a a a e pa ec o c a c ce,
apx a op (cpe c o co a o e), o o o , a p ,
o a o c op po o a , o op C/C++ o e
c o e x C/C++, a a e a ec e
OC.

e o oco e oc cpe c pa pa o po pa o o
o ec e e e c e oc o a, a ca o o a ax C/C++.
o op pa pa o a a o pa o , o e o pa c po a
C/C++ o acce ep po eccopa Blackfin. po eccop Blackfin ee
apx e p e oco e oc , a e e oc o po a o o
C/C++ o a.

- p o a e a C/C++ po pa , a po pa a e acce epa
o a e cpe VisualDSP++ pa pa o o e :
- poc a p a c e a o a C/C++ e acce epa (c
epe e e e cxo o o e o op a);
- c a a a o oc a o a;
- c a a a c o e o oc a o a o co ep o pe c po ,
a c e o ;
- po o pacc po o e o a ;
- o e oe c a c ec oe po po a e o e
po pa ;

- a o , p a pa ec o o pa a co ep oe a ;
- o o a a po e cxo o po pa ;
- co a a co c e eo a o a a.

e p po a a cpe a pa pa o (IDE, Integrated Development Environment) VisualDSP++ o o e po pa c o pe e po ecc pa pa o po pa o o o ec e e pa . a o o e o a c pa c o c cpe o o pa pa o o p po a pa ce o o oc cpe c pa pa o , a e e e e o c a c ec x o c p pe a ope VisualDSP++.

o o oc o o pa pa o :

- pa po ecco o pa o xo o op a op po a xo o op a cpe c a pa pa o ;
- o ep a o o a oe coo e c e c o c , a a ae x a o o xo ax c pa ax c o c , c a o a o c po .

po cpe pa pa o VisualDSP++ (VDK, VisualDSP++ Kernel) ae o o oc a po a pa e pec pca , c e e a peca a pe e x o pa e p po pa po a C. c o c a o o e epa o e e o pa pa a a o , c pa eo xo oc a a pa pa o o o o p o e c . C o c a VDK a o ep o o o , p ec x e a a po a xo ac e , ce a o po , co a o c po c . VDK a e o ep ae oc o a oe a p op e ax, pe a ee, oo epa oe a po a e a po a e po ecco c a o a e pe e . po e o o, VDK pa pa a a oc a ac a p e a o epa o a c c e a. Ec p o e e e c o e o pe e oe c o c o, o o , pea o c o c o, c ae c pa pa a ae o c c e .

a a VDK e c o e o , pe e e o e o p e e oc a e c a c o pe e pa pa o a. VDK e p po a o cpe

pa pa o VisualDSP++, o a o o o a e o e c o o a c co ec o
co c a ap cpe c a o a o c po . Cpe a pa pa o VDK
o o ae pa e pec pca c c e , a o a p e epa
pa x o e o , oc o a x a VDK, a p coc o e
c c e e e e po ecco a p o e .

op po o c a Analog Devices c o op oc a
ec po a JTAG IEEE 1149.1 po eccopa a e pa e
po eccopo a o a ae o a e p . op o ec e ae
o oc opoc , o o o c e a e coc o
o a a , pe c po c e o po eccopa.

p cxe a e e a e c a pa o po eccopa
o ec e ae c c o o a e ep e ca JTAG – op e e a
a p pe e exapa ep c ec p e o c c e .

po ecco a poe a oc e a ca o a po pa c e o
o ae p oc o x a a: o e po a e (Simulation),
o e a (Evaluation) (Emulation). a a e o e po a pa o ae
o e p a po pa a (c op) a ae a VisualDSP++, o opa
p e pa o po eccopa.

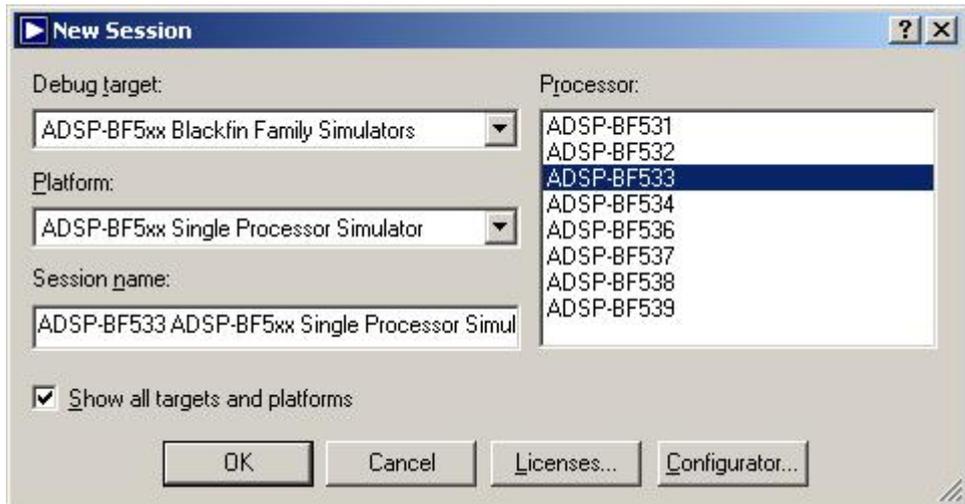
C op c o e c po ep o a po pa o o o a o
o o, a e o o e a a a c po eccopo . a opo a e
c o e c o e o a a a EZ-KIT o o, o o pe e , a o
po eccop a o pa o o xo pe e a e a a . a a
o ae c o ep c o o a e epe apa e ,
oc e o a e USB- op . ac o e pe e o e o e a
c ec cex o po eccopo , a a c ADSP-2181 a a a
o e po eccopo BlackFin.

a pe e a e, o a c po c o e o o e o, o o o
ec po a e a c o o c e a o o a apa o- po pa o o
o – opa. o o pa e po c a

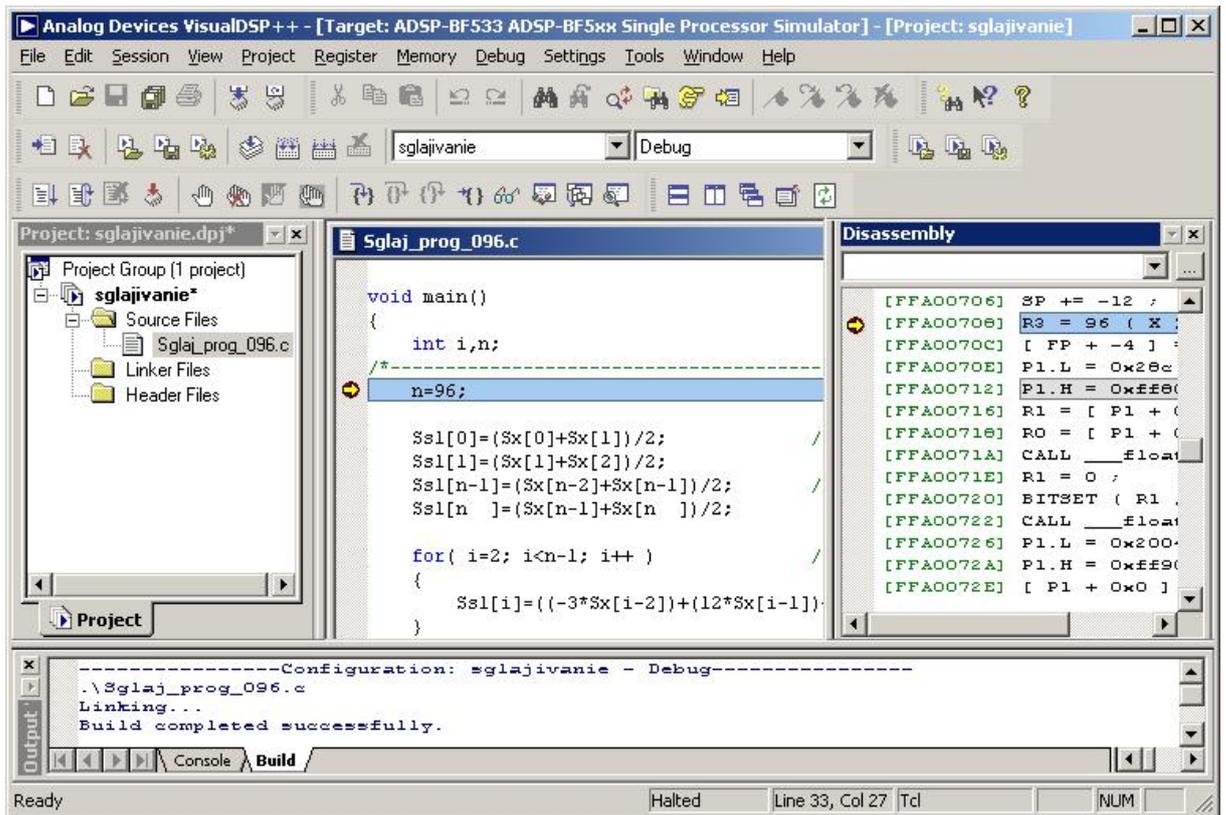
po eccopo epe JTAG- ep e c o o e o po o o c e
o e e po pa o o o a.
E e o o a o oco e oc , a o op c e e o pa
a e, e c o, o ep e c a e a VisualDSP++ e cex
cep c a x po eccopo , a 16-, 32- e, a a e
TigerSHARC BlackFin.

pa pa o o a po pa a c ope a c ae
p po pa VisualDSP++ po x c a x
po eccopo o a Analog Devices. p ep o a c e c a a ae c
cea c, o opo eo xo o a a ce e c o po eccopo , a op
po eccopa, c o op e o c pa o a (p c. 2.1).

o e Debug target c a a ae ADSP-BF5xx Blackfin Family
Simulators, a o e Platform - pe Simulation, po eccopa ADSP-
BF533. oc e p e cea ca o e c oc o a op a pa o
c opa VisualDSP++ (p c. 2.2).



P c. 2.1. O o pa e cea ca



P c. 2.2. ep e c c opa VisualDSP++

Co ac o c a o a c o e a e ep p e c
 po eccopa ADSP BF533, o a o e c o o a c o c e a
 po ecca o e po pa .

ep e c c opa VisualDSP++ ae ce : o o poe a,
 o po pa e a c co ep a ec poe e a , o o
 acce po a o o o a; o o pe a po a o a, o o xo o
 op a , co ep a ee c a ap e e c o e coo e o a- o a
 coo e o o ax, o o pa ec o o o o pa e pe a o , o o
 a a a a pa pec pco po eccopa, o o poc o pa pe e o ac
 a a x p.

po ecc pa o c a e o c opa a ae c c o p
 c ec e o co a o o o poe a. o e poe a o e c
 ce e c c pa e e poe a (co a e, o a e e, a e e,
 e e e).


```

Sglaj_prog_096.c *
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
float Ssl[96];

void main()
{
    int i,n;
    n=96;
    Ssl[0]=(Sx[0]+Sx[1])/2;
    Ssl[1]=(Sx[1]+Sx[2])/2;
    Ssl[n-1]=(Sx[n-2]+Sx[n-1])/2;
    Ssl[n ]=(Sx[n-1]+Sx[n ])/2;

    for( i=2; i<n-1; i++ )
    {
        Ssl[i]=((-3*Sx[i-2])+(12*Sx[i-1])+(17*Sx[i])+(12*Sx[i+1])+(-3*Sx[i+2]

```

P c. 2.3. O o pe a po a o a po pa a C++

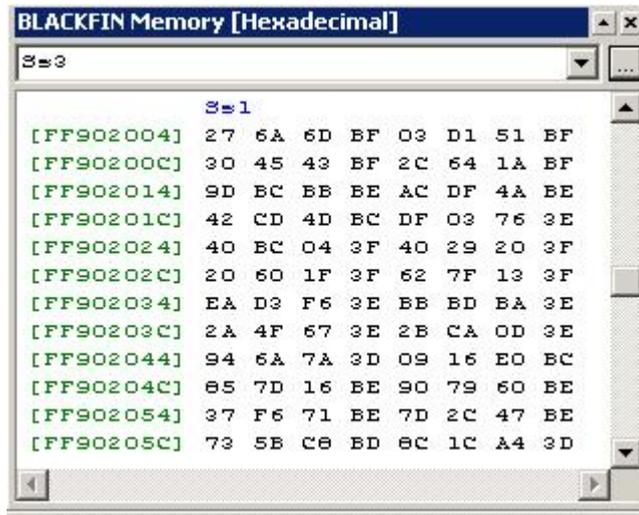
```

Disassembly
main
[FFA00700] LINK 0x8 ;
[FFA00704] [ -- SP ] = ( R7:5 ) ;
[FFA00706] SP += -12 ;
[FFA00708] R3 = 96 ( X ) ;
[FFA0070C] [ FP + -4 ] = R3 ;
[FFA0070E] P1.L = 0x28c ;
[FFA00712] P1.H = 0xff80 ;
[FFA00716] R1 = [ P1 + 0x4 ] ;
[FFA00718] R0 = [ P1 + 0x0 ] ;
[FFA0071A] CALL ___float32_add ;
[FFA0071E] R1 = 0 ;
[FFA00720] BITSET ( R1 , 0x1e ) ;
[FFA00722] CALL ___float32_div ;
[FFA00726] P1.L = 0x2004 ;
[FFA0072A] P1.H = 0xff90 ;
[FFA0072E] [ P1 + 0x0 ] = R0 ;
[FFA00730] P2.L = 0x28c ;
[FFA00734] P2.H = 0xff80 ;

```

P c. 2.4. O o acce po a o o o a

o o o oc o pe pac pe e e e cxo x acc o a x
a co ep oe pe c po po ecce o e po pa ,
eo xo o, pa o a «BlackFin Memory» a o o
o o pa e co ep o o o ac a a x (p c.2.5). a e o o
po e p eo xo o o o o pa e a po pa , p
o eo xo o pa a a a pec o o pa ae o o ce e a a .



P c. 2.5. O o poc o pa pe e o ac a a x

ADSP-BF533 Blackfin Memory Instruction Samples 1

Histogram	%	Execution Unit	%	Line No.
[Bar]	48.14%	___float32_add		
[Bar]	19.79%	___float32_div		
[Bar]	19.38%	___float32_mul		
[Bar]	11.92%	main()		
	0.61%	___float32_sub		
	0.07%	start		
	0.04%	_init_devdrvtab		
	0.03%	_init_devtab		
	0.01%	_mi_initialize		
	0.01%	__getargv		
	0.01%	_exit		

Total Samples: 357841 Elapsed Time: 00:00:33 Enabled

P c. 2.6. O o a a a a pa pec pco po eccopa

5) p o c o e o o o a po pa o e xo o
 op a , co ep a e c a ap e e c o e coo e o a- o a
 coo e o o ax o o pa ae c pe a o . oc e
 c e o o c op co ae c o e po pa c
 pac pe e *.dxe, o op a o a ec a p ae c o a -
 c op. oc e c e o a p po pa , o e a a a a pa
 pec pco po eccopa o o e c o pa a pa e x pec pco
 po eccopa po e ax o c o e o (p c.2.6).

б) Перепе а е о е о па о с ер е а х а х с о е VisualDSP++ о о о х ах: а е а сс па е е а е.

о о е е с р е с а па па о по па о о а апа о о о е е е , пе а а е р о Analog Devices, е е с по с е р с р е с , о ер а х с е е с о по е сс о Blackfin, пе о с а е х пе с о по а . А апа е с р е с а а а о о е о е о е а ADSP-BF533 EZ-KIT Lite. по па о е о е е е е , пе а а е о е пе с о по а , а е о е О С , о е па о е с с е пеа о о пе е с р е с а па па о о -с х е .

2.3. А о р по па о па о а х а по х

е о по р е сс о а с о ер х с с е с е х а е а е с х е о о о па о с а о е е о р по а о х о х о о е е а а а по е сс о сс а о е е р е р о о р а [53, 58].

по е сс е о а е о о с а - , па па о а о р а о е по па о е о е с е е с с о о а е с р е а х с р е с VisualDSP++, пе а а е о е пе е с е х а а :

- о е по а е по е сс о сс а о е о о ер х с а о а о с о е е с х а с х с а о ;

- сс е о а е а о р о с е о е о а с х с а о с а а е о сс а а а е х с а о е о а а с с а - а по с а ;

о е с по па сс е о а па па о а х а о р о а по х по е сс о х с а о с е е с а ADSP BlackFin, а с а а е

С++ с помощью VisualDSP++ создаются программы для процессора ADSP BF533.

Сейчас рассмотрим программу для процессора ADSPBF533. Программа осуществляет обработку сигнала в соответствии с алгоритмом, описанным на рис. 2.7, рис. 2.8.

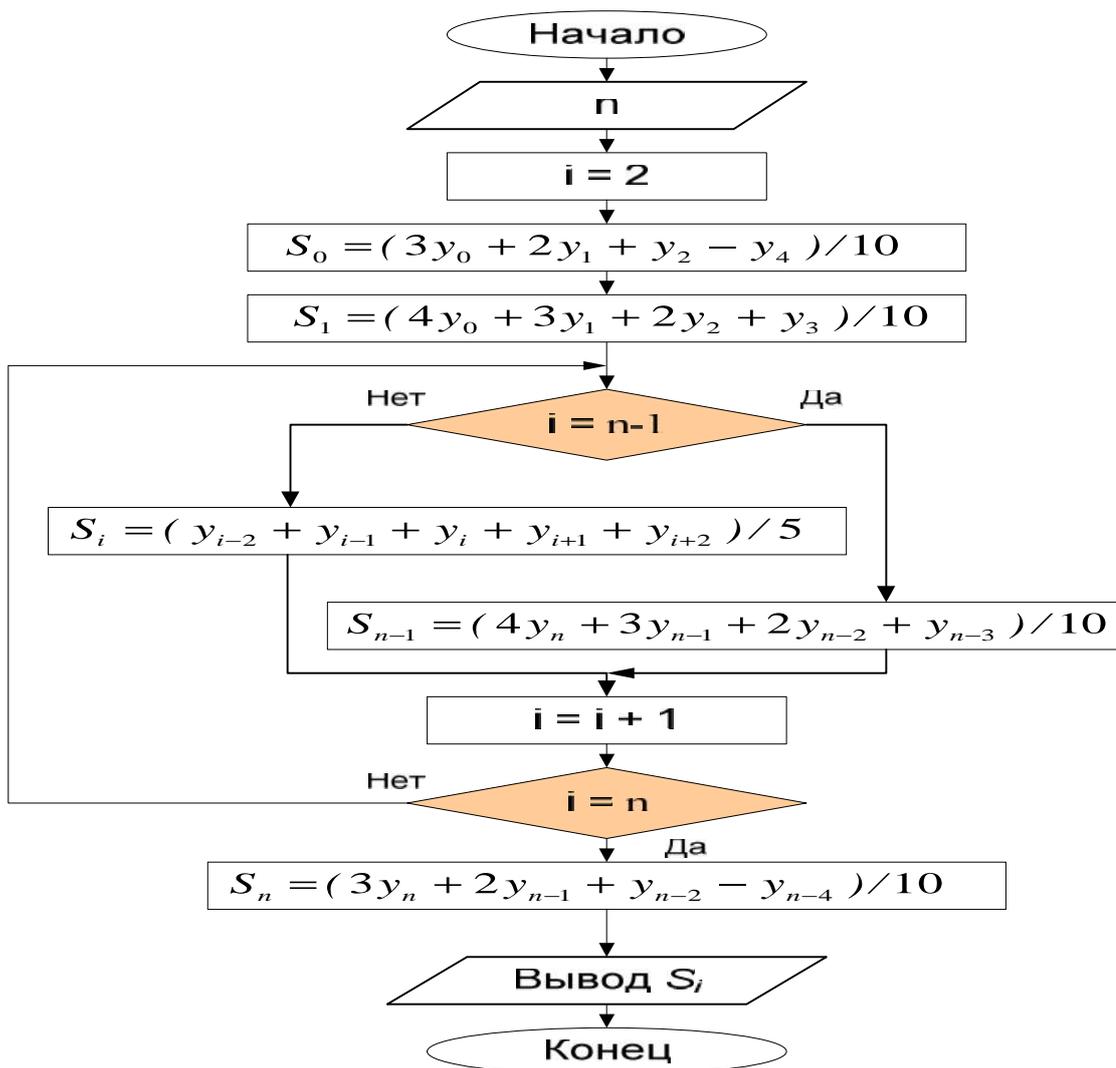
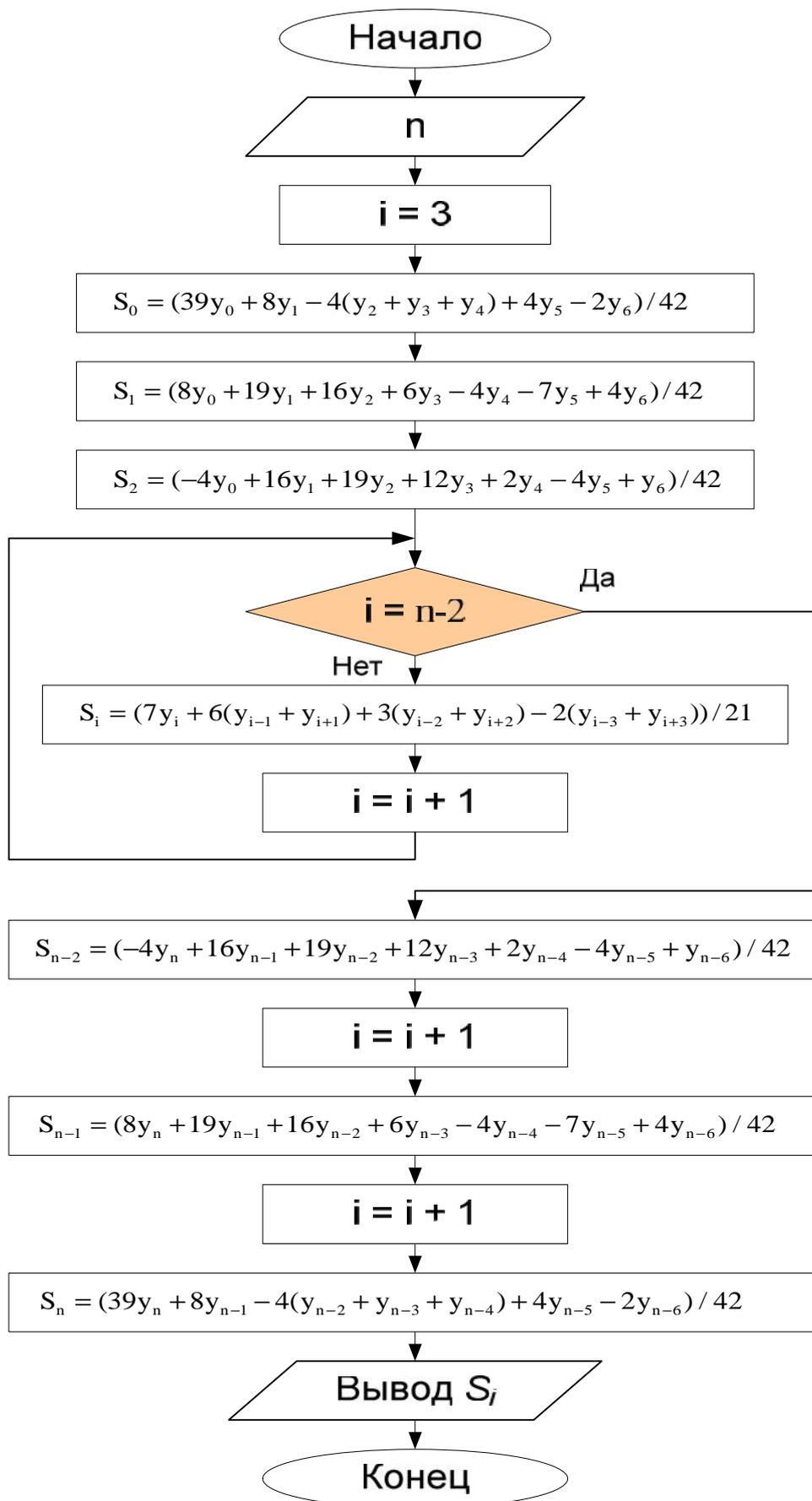


Рис. 2.7. Алгоритм обработки сигнала



po pa a c a a c ep e a x a x coc o
 po pa o o o Sglaj_prog. p o po a po pa c
 o o VisualDSP++, po pa o Sglaj_prog a o a ec
 peo pa e c a c e a acce ep po o o po eccopa
 c a o c a o e o o a c ope.

o -cxe a op o c a a c ep e a x a x
 co ep c e e apa e p :

i – apa e p o pe e e o ec o a e ;

n – apa e p o pe e e pa ep oc acc o a x;

Sx[n] – xo o acc a e c a o ;

Ss1[n] – acc pe a o o pa o o o e o op e;

Ss2[n] – acc pe a o o pa o o ce o e o op e.

o e po a po o c e e ap x a a ec x

: ap o ec x, c o e a x o ap ec x.

a ec e pea x c ep e a x a x c o o a c
 c a , o e e pe a e a o pa pa e , a a e
 o e e pe a e c e o x c a .

Oc o e pe a o o a e II

1. cc e o a e o o c a – o a ae , o a
 a op ax c e o e o , a a op ax occ a o e
 c a o ac o c pe a c a e e OC o epa a
 apa e e c o e , o e o e c a o e e . o o
 a op , o e e pe a e p e e e o o c a –
 c o pea a C.

2. pe a e a a a c ec x a apa x cpe c ,
 pe a a e x a a po o o pa o c a o o a a o, o
 ap ap c a apx e pa a e a apa o – pea o a x c e a x
 o a o e , apa e o o o e c a o e e a

o o oc po o o p e e co pe e x C pea a
e o o c a - occ a o e c a o .

3. pe o e c p e a e cpe c a o e po a
po ecco occ a o e o o ep x o o ep x c a o
po eccopo po o o pa o c a o ce e c a Blackfin o a
Analog Devices. c p e o o e pa pa o a pa pa a a
o o a p o e . a cpe a ae c o o a
acce ep, o op C/C++ o e c o e x C/C++,
a a e a ec e OC. e o
oco e oc cpe c pa pa o po pa o o o ec e e e c
e oc o a, a ca o o a ax C/C++.

4. poa a po a acc po eccopo po o o pa o c a o
pea a e o o c a - occ a o e pa po eccop
p Analog Devices - ADSP Blackfin. Ce e c a x po eccopo
c o ee o xo o pa o pa o o acca c a o .
a e, c o oc x po eccopo c cpa e o , e
apa e e o e c a o e e a ec oe pa e e
a e , c po e c e o e pe e o a o e op
pe o a o pa o ec a o o ep a e p po a cpe
pa pa o VisualDSP++.

III. PO PA O E CO PA O
 C O X C A O PO X C A X
 PO ECCOPAX

3.1. po pa occ a o e o o ep x o o ep x
 c a o c c o o a e co o- a c x .

po ecce cc e o a po o o ac o e pa o e pa pa o a
 a op po pa e cpe c a o e po a po ecco
 occ a o e o o ep x o o ep x c a o c c o o a e
 co o- a c x . p pa pa o e po pa o o o e ca
 o e po a po ecco occ a o e c a o c o o a
 c c e o o po pa po a Acce ep, c e a a cpe a pa pa o
 VisualDSP++ o ep a o po a o op C C++
 po x po eccopo c a o a BLACKFIN. ep e c a e a
 VisualDSP++ e c e cex cep c a x po eccopo
 o a Analog Devices, a 16-, 32- e.

p pa po pa o c c e occ a o e
 o o ep x o o ep x c a o e o a co o- a c x
 p e e a p c.3.1.1., 3.1.2., 3.1.3.

oc o o pa pa o a a po pa a c c e a pa e e c a p
 ac :

- po pa occ a o e o o ep x c a o ;
- po pa occ a o e o o ep x c a o ;
- po pa c a a c a o coc a a c a a ;
- po pa o e o pe oc occ a o e ;
- po pa c e pa o o pa o occ a a ae x c a o .

po pa occ a o e o o ep x c a o pe a a e
 o pa o c a o c ep e a x a x o o epe e o
 a ce o po pa : c e o o ep o o a c o o c a a ;

с е о е о па о е о о ер х с а о ;
а по с а о о ер х с а о с рех о е о оп о ;
а по с а о о ер х с а о с о е о оп о ;
а по с а о о ер х с а о с се о е о оп о ;

по па о с а о с ер е а х а х х ере е х
о па о с а о с ер е а х а х х ере е х

ае се о по па : с е е с а а х ере е х ;

с е е о е о па о е ер х с а о ;
а по с а ер х с а о с рех о е о оп о ;
а по с а ер х с а о с о е о оп о ;
а по с а ер х с а о с се о е о оп о ;

по па с а а с а о с а а с а а
ре а а е с а а па х с а о

(е е е а о е а с а о) ае се

о по па : с а а с а о с ре еар е е с о оп о ;
с а а с а о с о е о оп о ; с а а с а о с

се о е о оп о . рас е ах с а а с ер е а х
а х па х с а о а е с а а е е о а а 7-

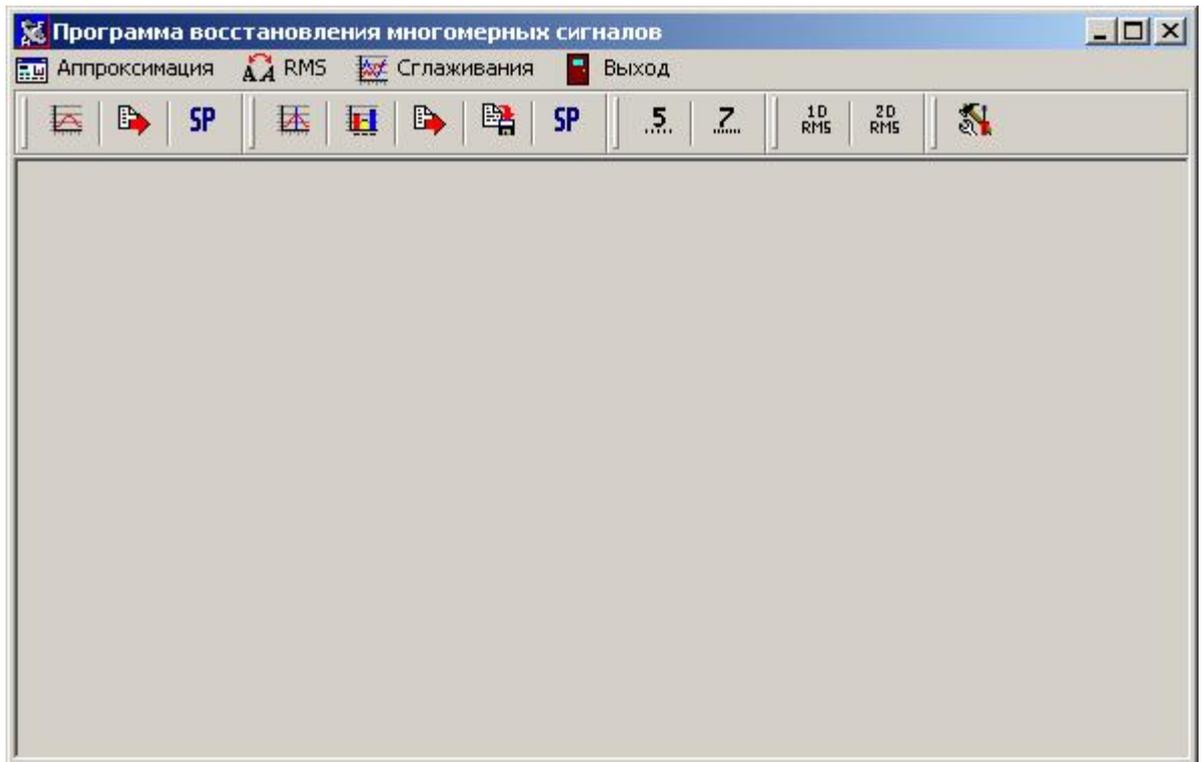
о е е оп .

по па а о е о пе ос о с а о е ре а а е а
с е о е о о с а о е о о ер х о о ер х

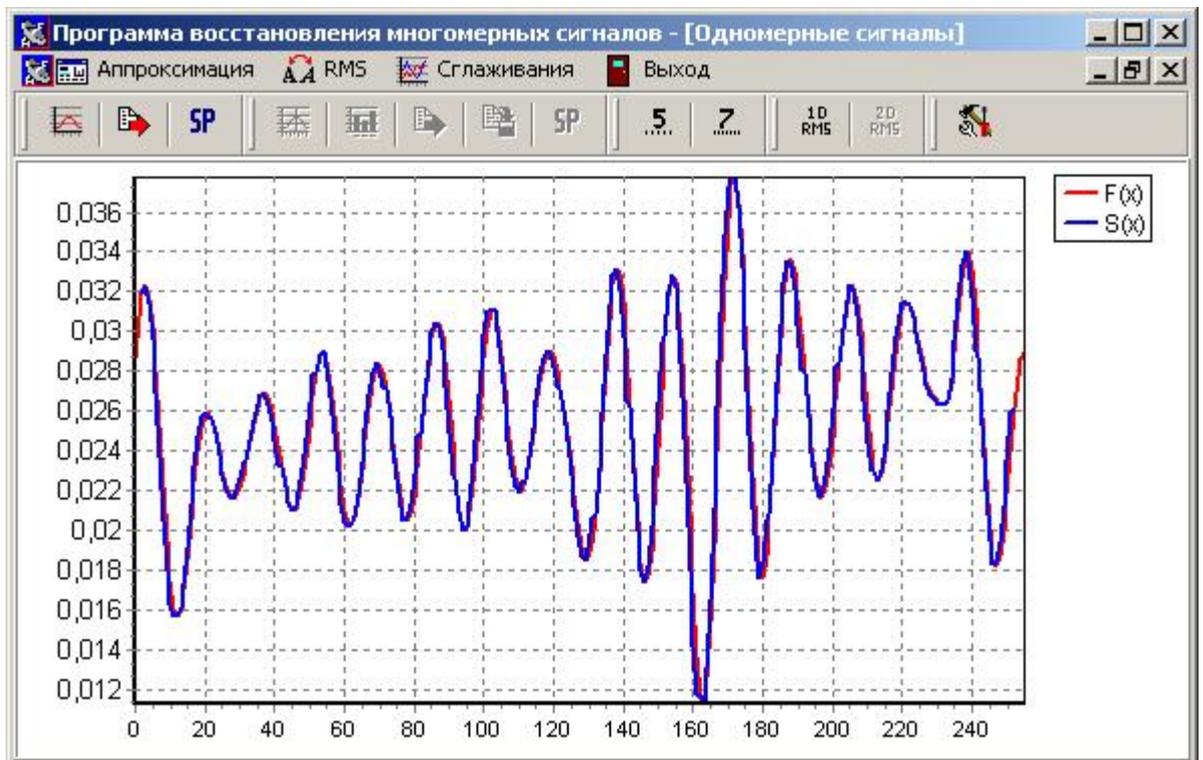
с а о . о е о пе ос о с а о е с о о а е о
с ре е а па е с о о о е е. Со а с о о е о по па а

о о а па па с х о х о с а о е х а е ,
с р е , е а о е с о а е о е о ае а е е о

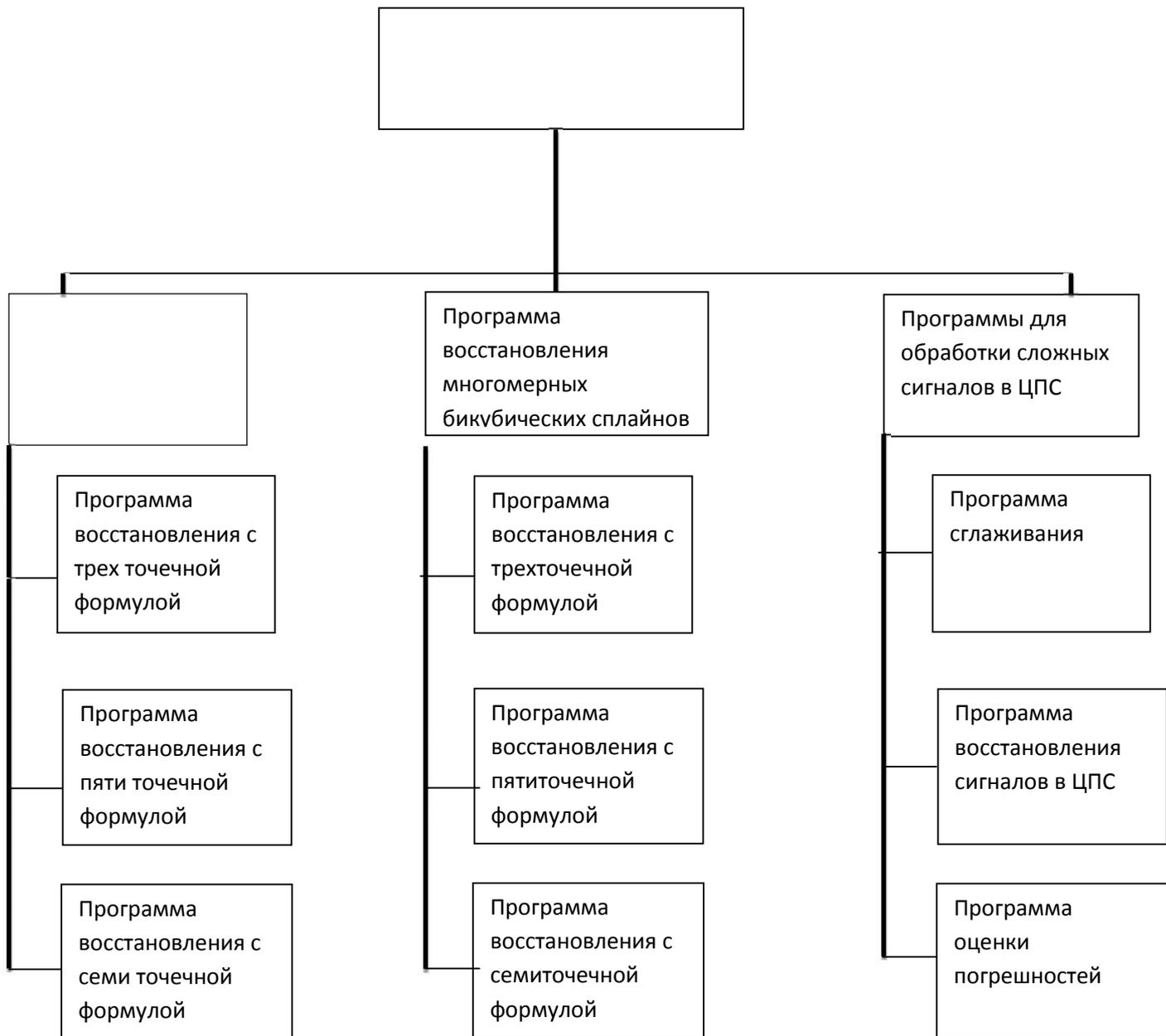
а па о о оп . о е пе а е с о пе ос
о с а о е .



. 3.1.1.



. 3.1.2



Р с. 3.1. С р ра ро ра о о о е са

3.2. А ор ро ра осс а о е о о ер хс а о

ра е а х сс е о а ас о с а а с с а а е ,
 о ор х о с ер е а а ео хо о осс а о о
 хара ер е ро есса. О е ре е о а а

е с п е е е с а - е о о п е с е р е а х
а х [35,50].

р о а о п о с с а – е о о о с е с е , о о
с а е р с а с п е о п е о с р а е
с п а е а е с е о а п р а х с о р а о х
а а р а х а р а а х о е с е а о о о с [23,24].

а е о р о а с с е е р о е п о р а е
о а о с а – а р о с а , о о р х а е п а е
с а – а а о о р е е а с о о о а е
а р о с п е о е о о р о р е с о c o o p e a. p o
о с о е о с а х е о о е с о, о о е р е р е
с с е а е р а е с х р а е п а х о е а р а е р о с а а.
е о х о о е с е о р а о е а с о с а о
с е , а о р е е е с с е е с а а.

р о р а о с с а о е о о е р х с а о с с о о а е
а с х с а о р е а а е о р а о с е р е а х
а х р а х с а о о о е р е е о , а а е а с с о о
р а е с о о р е с а е о р а о а х а х.

р о р а е о с с а о е о о е р х с а о о р а о
с а а с а а а с е с а е а с о о с а а р е е с е е о
о р е (x) п е е о о р а е е 1.1 с р а а 15. о -с х е а а о р а
с е а с о о с а а р е е с е е р е е а а р с. 3.2.1.

р о е р а с е а с о о с а а р е е с е е х о
р о р а о Unit_main. а а р о е р а р е а а е а,
с е е с о о а с о о с а а а с а с е е
а е х о о а с с а х а е е о с о о а .

а р с. 3.2.2 п е е а о – с х е а а о р а р а с е а о е о
р а о е 3-х, 5- , 7- о е о р а . с е

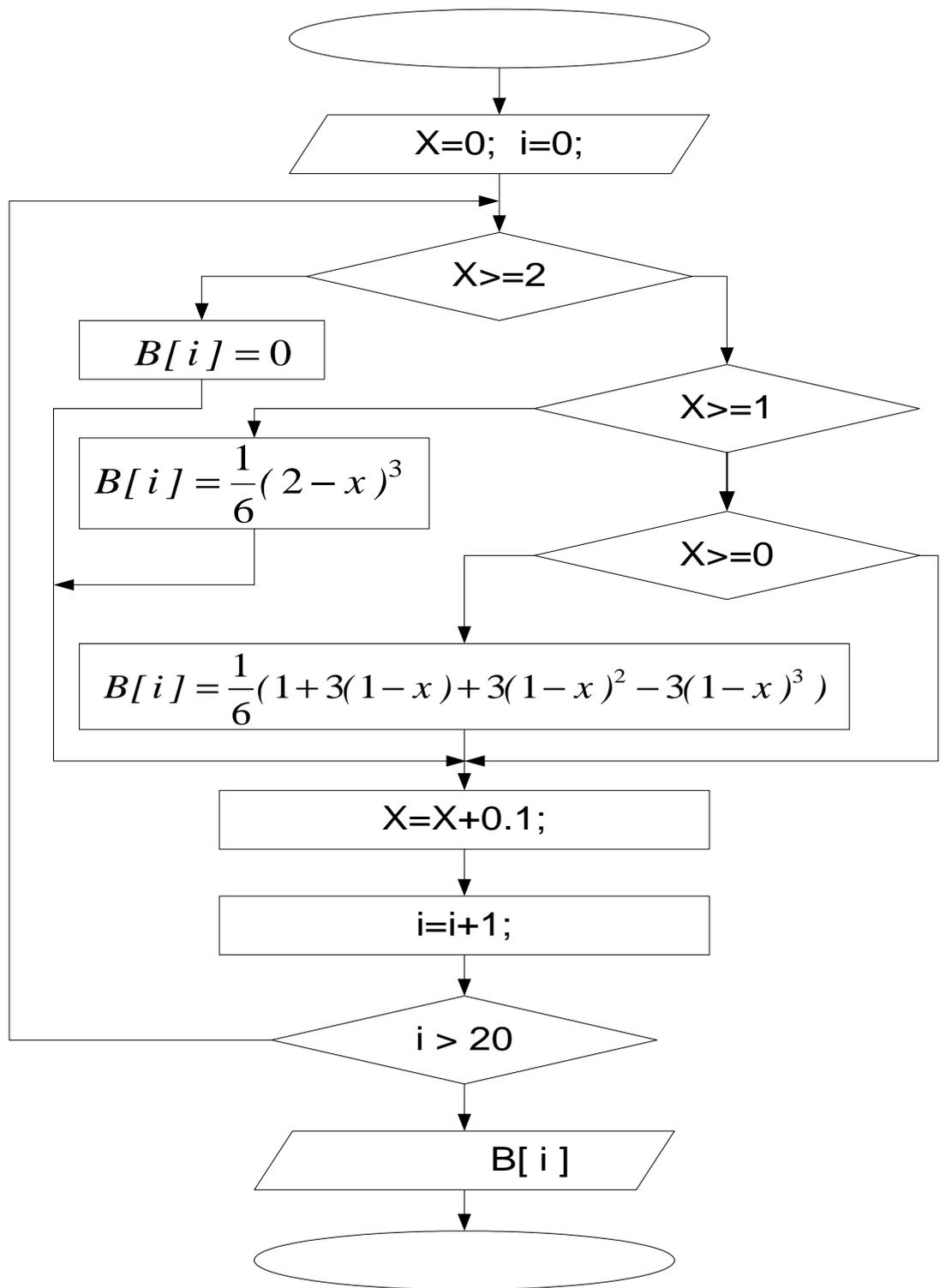
o e o c a a a po e pe RG_otschet po pa o o o
 Unit_set c a a ae c apa e p pac e a o e o :
 apa e p «0» pac e o e o o pex o e o op o ;
 apa e p «1» pac e o e o o o e o op o ;
 apa e p «2» pac e o e o o ce o e o op o .
 oc e opa apa e pa pac e a o e o pa o e
 c a o e apa e p e xpa c a e setunit.ini a e e o
 p e e . o a x c e o e o co ac o
 c a o e apa e po oc ec e c c ec o o o a a xpa e oc
 a c e o epa. Pe a c e o e o pa o e
 coo e c e op o a c ae c xo o acc a x.
 a p c. 3.2.3 p e e a o -cxe a a op a a po c a c
 ec a c c a o . occ a o e o o ep x c a o
 po e pe a po c a c ec a c c a o
 po o c o op e (x) p e e oe pa e e x.x a c pa e xx.
 a o po e pe occ a o e c a a c o e c ec
 a c c a (a c c a pe e c e e). C e e a c o o
 c a a pa o $N=3$, cxo o o, o ec o c a o ce e c e
 pa e c a $N+1=4$ (B-1, B0, B1, B2,). o o a po c a o o o
 a e c o e c e pe a e c a a.
 po pa e o , xo coc a po pa c c e c
 e e OneDim_signals Spline pe a a e occ a o e
 pa ec o o o pa e pe a o o pa o pa x o o ep x
 c a o a a e e a o op . po pa o o e
 OneDim_signals o a x po o c e x a o . p
 o e o o o a o a a e a e op p e c
 a a a c ae c acc a x c coo e c pa epo .
 po pa o ae ce e epe c e e po e p
 a e a : po e pa c e a c o o c a a pe e c e e ,

po e pa c e o e o pa o e o o e
op a po e pa a po c a c a o o o
epe e o .

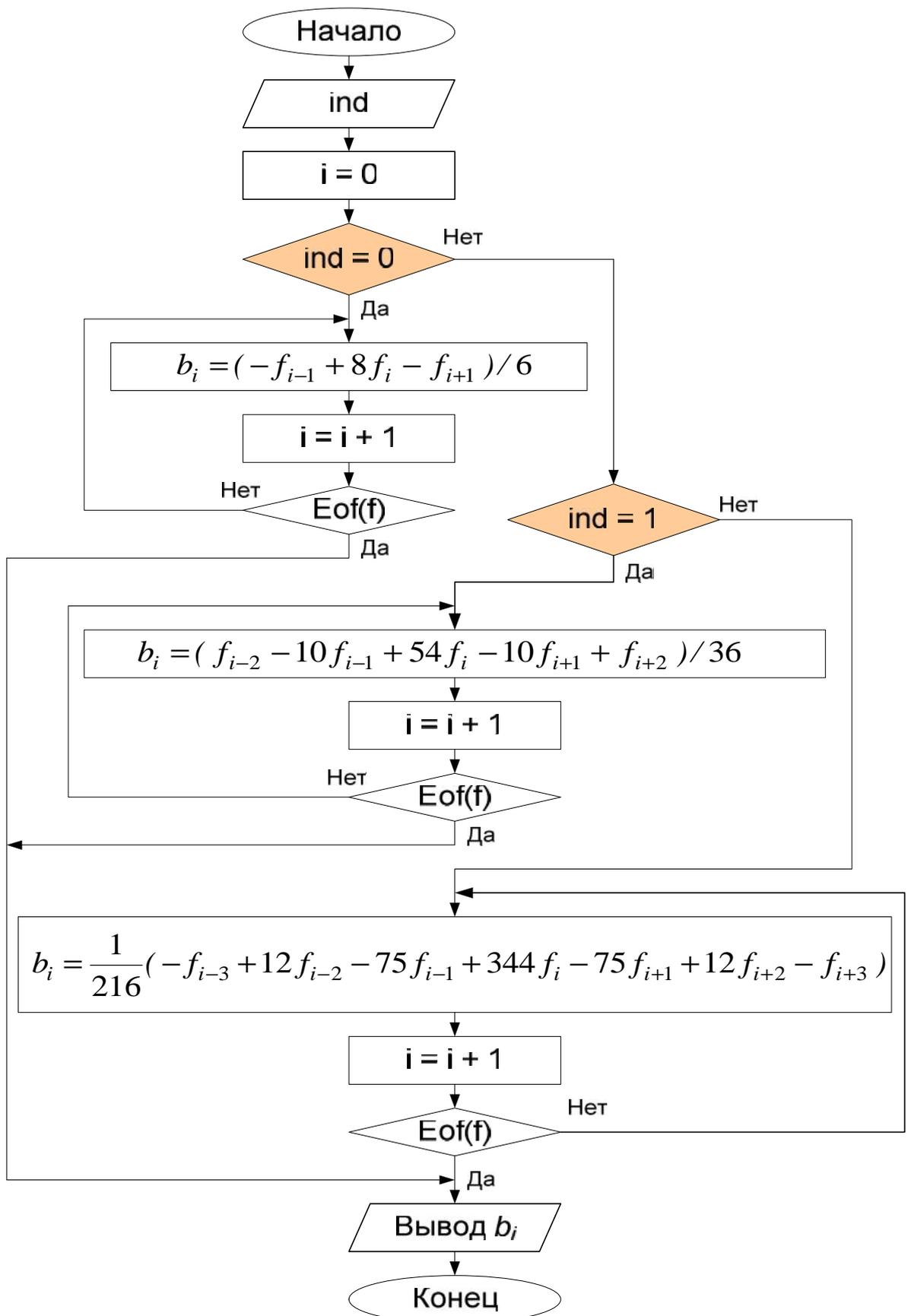
po pa o o e OneDim_signals c o c c e e
apa e p :

x – apa e p a a a e pac e a a c o o c a a;
i, j, l, k – apa e p , a a e o ec o a e ;
ind – apa e p pac e a o e o pa o e ;
_file – apa e p o p a a op a a e c a o ;
T_ind – apa e p a a a a setunit.ini o e
apa e pa pac e a o e o pa o e ;
Str – apa e p o e (e) a x a a;
B[1024] – acc a e a c o o c a a;
F[1024] – acc a e c a a;
bi[1024] – acc a e o e a pa o e ;
S[1024] – acc a e occ a o e o ;
Chart1. Series1 – o o e pa ec o o o o pa e a e
(c e).

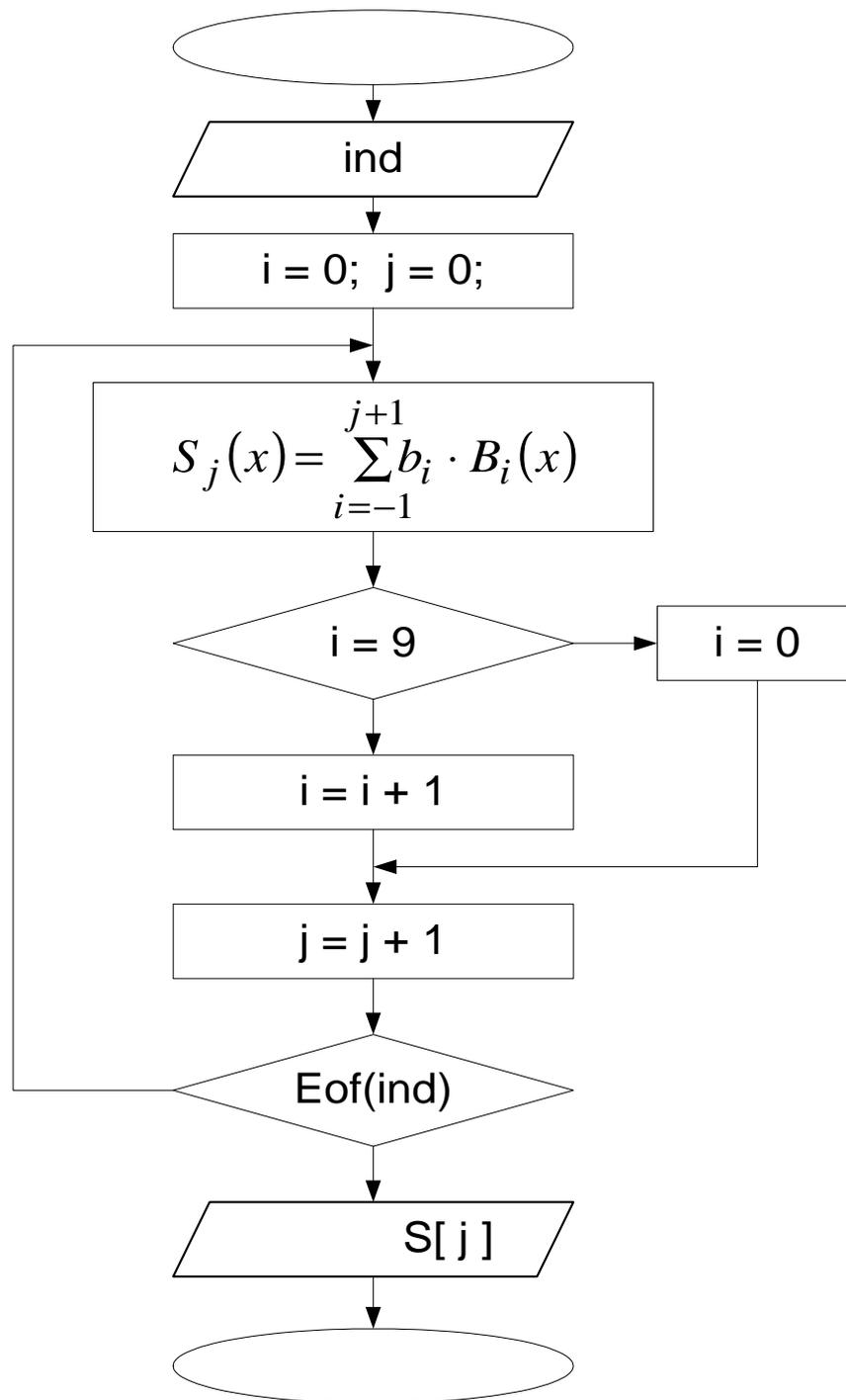
po e x e epe c e x o po pa , pa pa o a
o o e e o po pa pa ec o a a a e
occ a o e x c a o pa ec cpe c a a
po pa po a Delphi.



Р с. 3.2.1. о с х е а а о п а п а с е а е с о о а с о о с а а.



Р с. 3.2.2. о схе а а ор а рас е а о е о b_i 3-х, 5- , 7- о е ор а .



P c. 3.2.3. o cxe a a op a a po c a c ec
a c c a o .

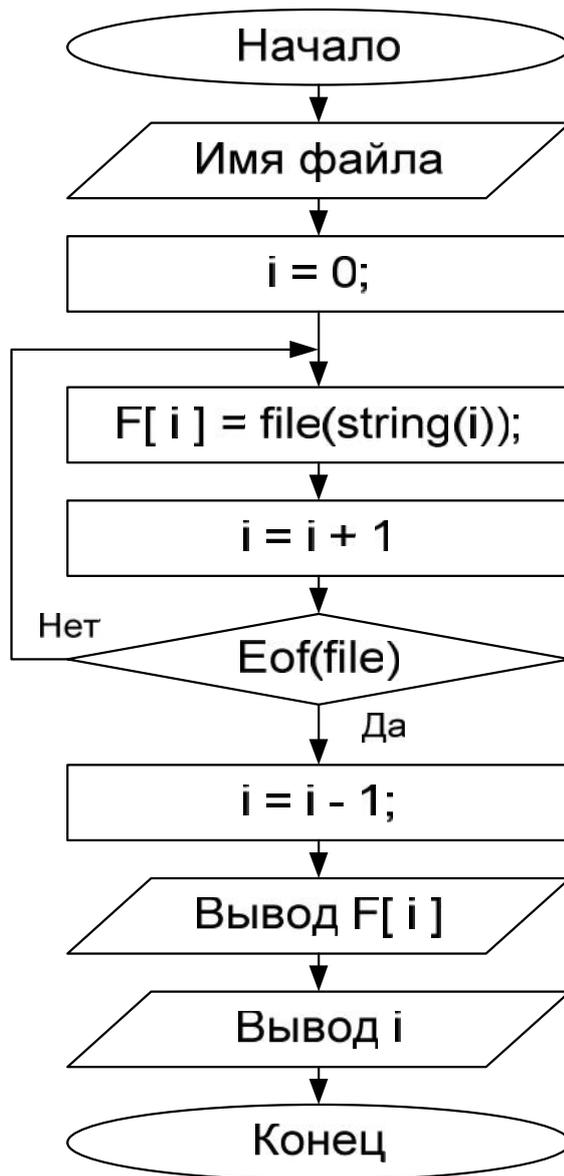


Рис. 3.2.4. Алгоритм обработки файла с помощью процедуры.

3.3. Алгоритм обработки массива данных с помощью процедуры

Обработка массива данных с помощью процедуры, состоит из следующих этапов: определение структуры массива, чтение данных, обработка данных, вывод результатов. Алгоритм обработки массива данных с помощью процедуры, представлен на рисунке 3.2.5. Алгоритм обработки массива данных с помощью процедуры, представлен на рисунке 3.2.5.

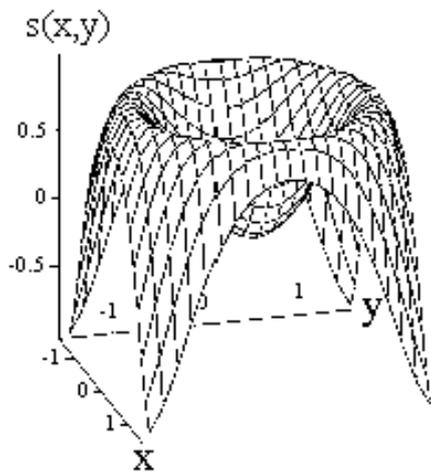
a x. , - pe x, o o ep e c c e o a a o c o
 c e e e c o o a e o o e oc . C p o c o p o ,
 o o ep e o o pa a a c a o e o o ac o c ae
 o e o o ep e e o e o o a c ac a o o ep x a a .
 e pac a p a c c a c c e c pa ep oc a
 o ee, p o oc o oe a e e e c ep a a a ,
 e po oe pac poc pa e e eo ec o pa e.

o o ep a op a c oe a co o o c e, o
 c pe a op a po o op e - o o ep e acc a x.
 o o ep e e pep e c o c o o c o
 eope ec x cc e o a x. a e ep x a x, e pep x
 (a a o o x) o o o ap e a pa ec e c ec e . C e o
 o o e pac a p a c , oc o o , o o ep e c a
 c pe o op e.

o o ep e c a pe c a co o P e a c x
 epe e x p $P > 1$. o e c ae, c a o e e pep ,
 c pe c e a . o e pep oc c pe oc
 a a o o o ep c a a . o acae c c e a o o c a a, o o
 o o ep c a , o op o c ae c e e o o p o o o ec a
 e pep x e o o p o o o ec a c pe x epe e x. p ep
 c e a o o ep o o c a a: co o oc e pep x c a o ,
 e xc o pe e (t - opa epe e a), c ae x c a opa
 ce c ec x p e o ce c o pac (o epa a o - ep a
 epe e a).

o e c ae, ep e pep c a pe c a e co o
 , a e o o p o a c o x e a c x epe e x
 (ap e o , oop a). a p ep:

$$S(x, y) = \text{Sin}(x^2 + y^2), \quad -\infty < x, y < +\infty$$



ep c pe c a (po o acc) - o ,
 o pe e e a a co o oc ap c o x a e oop a c
 o pe e e a o c pe a x y. o e c ae, p
 pa o ec o pa ep oc ap e o x y, a e x y e
 pa p p .

po ecce cc e o a po o o a o ccep a o o pa o e
 pa pa o a a op po pa o e po a po ecco
 occ a o e o o ep x c a o c ep e a x a x.
 po pa occ a o e c a o pa pa o a a oc o e e o o
 ec x a c x . pa e a o pa o po eccax
 occ a o e c a o c o o a ep e a o a a e
 c a .

po pa e o TwoDim_signals, Unit_dvumer Spline2
 pe a a e a po c a ep x c a o c c o o a e
 ec x a c x c a o , a a e pex ep o o x ep o o (
 pa pe ax) pa ec o o o o pa e pe a o o pa o .

a p c. 3.3.3 p e e a o - cxe a a op a occ a o e
 ep x c a o ec a c c a a .

po pa o TwoDim_signals coc o ec o o o po pa
 (po e pa): po e pa importznach (o a e), po e pa c e
 ep o o a c o o c a a, po e pa c e o e o

ec o o c a a, po e pa a po c a ep o o c a a c
ec c a o .

oc e a c a po pa o o o TwoDim_signals co c opo
o o a e , a o a ec o pe e e c pa ep acc a a x
ep o o c a a c a a ae c pa ep oc xo o o acc a
po pa . C o o po e p importznach o c a e
ep o o c a a o xo o acc po pa e x a o
a x.

po e pe c e ep o o a c o o c a a po o c
c e a e c a a, pe a c e a c ae c
ep acc Bxy[x,y] (p c.3.3.1). po e pa c e
o e o pa o e ec o o c a a po o c e
o e o ec o o c a a o c a o e o e
op a a c ae pe a ep acc bxy[x,y]. o op
o o a e o e o e c c o pex, ce
o e op a (p c.3.2.5). pac e ax, a e e o e o
a c o a e ep o o c a a c ep e a x a x.

o - cxe a a op a c e o e o ec o o
c a a c o e op a p e e a a p c.3.3.2.

po e pa a po c a ep o o c a a c ec c a o
pe a a e a o pa o (occ a o e) ep o o c a a c
e o a ec x c a - . oc e a ep e e po ecca
o pa o c a a, a e occ a o e o o c a a a c ae c
xo o acc Sxy[x,y], c o o o o e o c a ap o
pa ec x a x o o o pa pex ep pa ep o o
c a a.

po pa o Unit_dvumer c pex ep o o
pa ec o o o o pa e pe a o o pa o ep x c a o co

```

cpe c a      ex o o      OpenGL. C e o a e      o, po pa      o
Unit_dvumer co ep      c e      e po e p :
    po e pa FormCreate - co a e op      o o pa e      pex ep o o
pa      a;
    po e pa SetDCPixelFormat - c a o a op a a      ce      pa
OpenGL;
    po e pa FormPaint - p co a e ap      , pe a a e a      co a
cpe a o o pa e      pa      o (oc      oop a ,      a a, o      ac a )
    ep o o c      a a;
    po e pa PaintArray - p co a e pex ep o o      o pa e      o
a e      xo o o acc a Sx[1024, 1024];
    po e pa FormResize - ac a po a      pa a p      e e e
pa      epa o a;
    FormMouseDown, FormMouseUp, FormMouseMove -      e e e
    oc      oop a      pa      c o o      ;
    FormDestroy - a ep e e pa o      p o e      .
    po pa      o      Spline2 c      x ep o o pa      ec o o
o o pa e      pe      a o o pa o      ep x c      a o c pa      ec
cpe c a      a po pa      po a      Delphi      pa pe ax. po pa
o      Spline2 co ep      a o o e a:
    - Chart1.Series1 - o o o e      pe a a e      o o pa e
cxo      x a e      c      a a;
    - Chart1.Series2 - o o o e      pe a a e      o o pa e
a e      occ a o e o o c      a a.

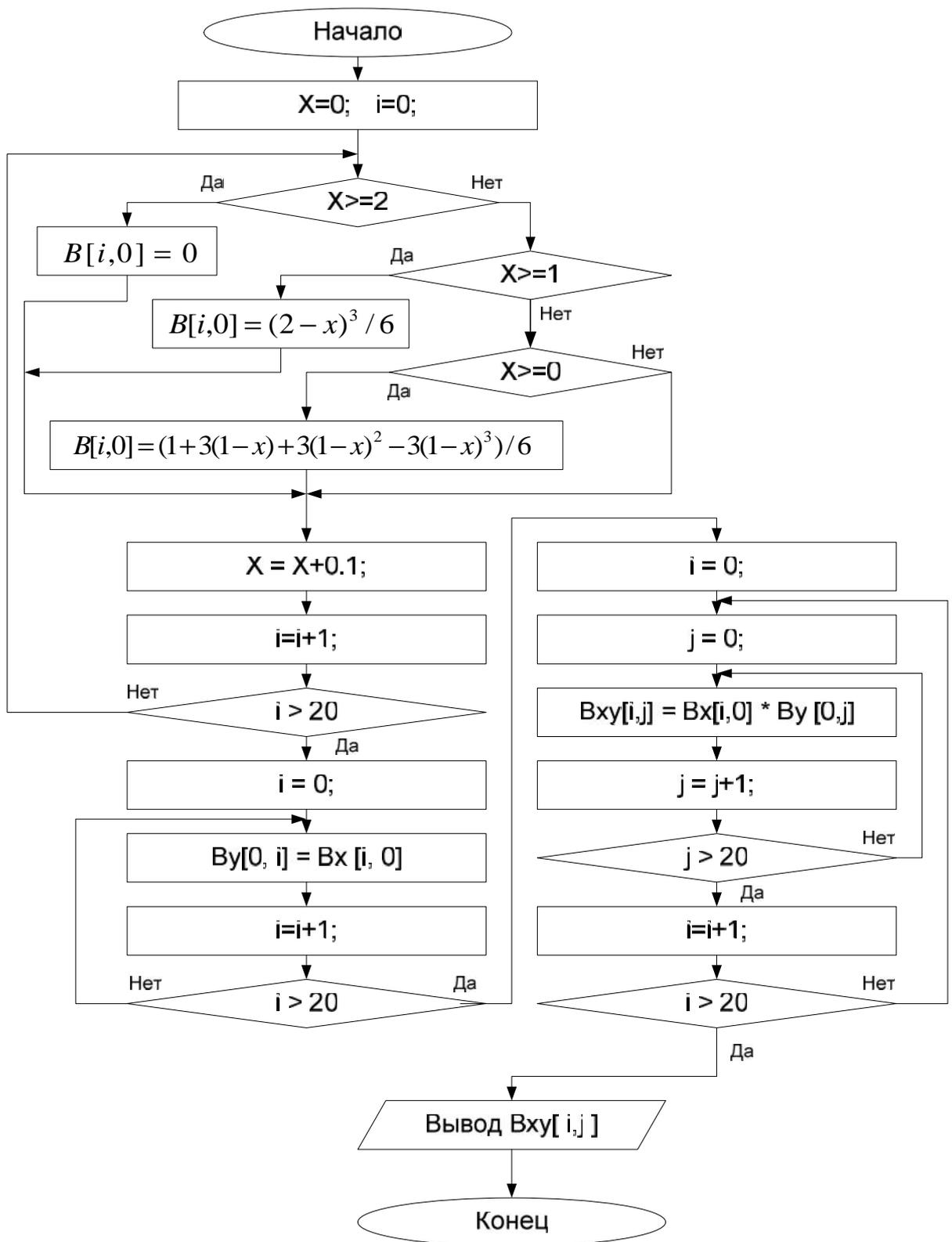
    occ a o e      ep x c      a o      c ep e a      x a x
x      epe e      x      po pa      o o e TwoDim_signals      o a x
oc      ec      e c      e      x a o a      x.      op p e e a e

```

```

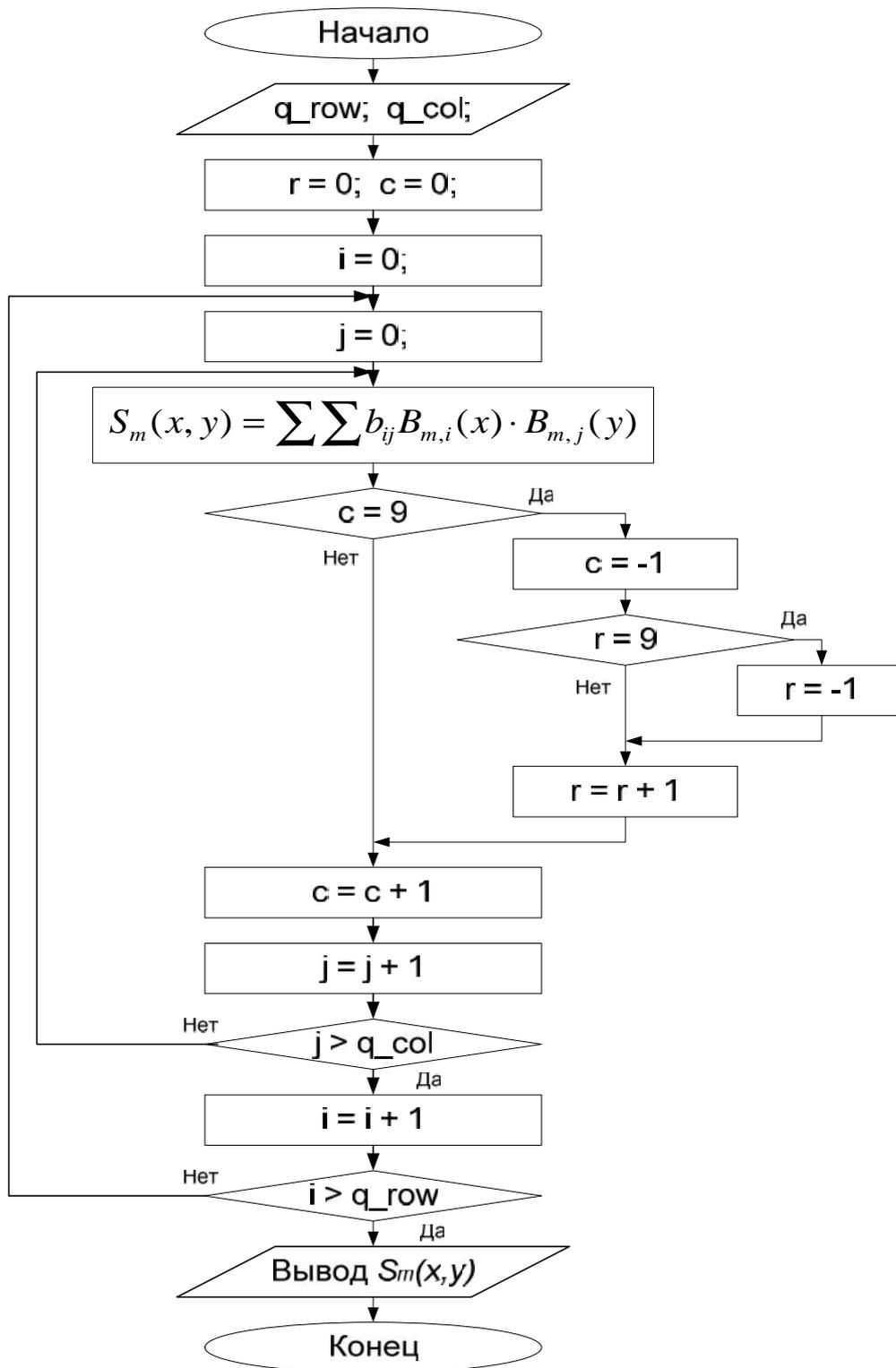
    e x a o a x a c ae c o xo o acc Fxy[x,y]
a e e o o pa o .
    p pa pa o e po pa po pa o o e TwoDim_signals
c o o a c e e apa e p :
    x - apa e p a a a e pac e a ec o o a c o o
c a a;
    i, j - apa e p , a a e o a o a a x a e
c a a o c o a c o a ;
    q_row - apa e p o pe e e o ec o c po acc e;
    q_col - apa e p o pe e e o ec o c o o acc e;
    r, c - apa e p a a a e o e o ec o o a c o o
c a a o ep a e;
    F - apa e p o p a a op a a e ep xc a o ;
    T_ind - apa e p a a a a setunit.ini o e
apa e pa pac e a o e o pa o e ;
    ind - apa e p pac e a o e o pa o e . a o c ae ind
=3, pac e po o c o pex o e o op e;
    Str - apa e p o e ( e ) a x a a;
    Fxy[1024, 1024] - ep xo o acc cxo x a e
    ep o o c a a;
    Bxy[1024, 1024] - ep acc a e ec o o a c o o
c a a;
    bxy[1024, 1024] - ep acc o e o pa o e
    ec o o c a a;
    Sxy[1024, 1024] - ep xo o acc a e
occ a o e o o ep o o c a a.

```



Р с. 3.3.1. о -схе а а ор а рас е а е с о о а с о о с а а.

Р с. 3.3.2. о -схе а а ор а рас е а о е о о рех
о е о ор



Р с. 3.3.3. о -схе а а ор а осс а о е о о ер х с а о
ес а с с а а .

3.4. А о р о п а о е р о а р о е с с а о а р о х р о е с с а о

С о с о е е р с е р а о р а о х е х о о а о р о е XXI е а х а р а е р с с а о е е р о р а е с с о о а е е х р о о р а о с а о – о о с а х а х с р о р а а х с е х о о р е е е о а о р а а о е с а. р о а о р а о а с а о (О С) - о о р а а р е а о о р е е , р а а р е а а а р е а, о р а о , с о р а е о о с е р е а о р а р е а о р е е .

е о е х а О С а о е е р е с е х с е а с о , р а о а х р а х о а с х , а х а с с с е р а е , р а о е х а е р о а , а с а с е с о о , р а о е а е е е е е , е р е а е х а р о р о с р о е е .

р а о е о е р р е е с х о а с х е е о с : 1) а а ; 2) а е а е с е с е . О а о , о с о о е р о е о о а о о х о р о о р а о а о е х с е р а х . о е р х р о е х а е а о а с , с о р р с , е р е а с . . , р е а о е е х о е р а е е е о о о а е о е х о р , о а о о о е о р е о е о о о о а е .

С р о с о р о , р о о о р а о с а о а о , о а е а е с е о е р а о с с р о , р е , р е е о е а о е е о а , о о е с о о о а р а е е . о о р о р а а , а а р а р а о о е е . р о х с а х р о е с с а о а о а е а е с о о е р а е р о с е х а о р о р о о р а о с а о е с о е е с о с е с р о а е . с р о е о е е о е р а о е с

oc e c po a e o e a o pea a po x
po pea o o pe e , occ a o e c a o , o e a p ,
a c pa ec o pa e . .

ac o ee pe pa pa o c apa c ec pa pa o a oc o e
po epe x a e x c c e e co ep a x ac xapa ep c
e o c po c a, Analog Devices po o o x
c o o a e x po pa x cpe c , ep o a a e o e
o o o c e po o ec oe po pa oe a apa oe
o ec e e e ADI CROSSCORE, o ep a e p e po eccop
Blackfin. o oc c VisualDSP++ e p po a a cpe a pa pa o
o a , op EZ-KIT Lite o e o oe a apa oe o ec e e e.

o o oc o e o-op e po a o o po pa po a
o oc e VisualDSP++. o po pa po
o ep ae o e DSP apx e p , pe a ae e Analog Devices, c
c po a o o o a a e a o , o op e xo ce e c a
BLACKFIN, SHARC, Tiger SHARC ADSP218x/219x.

ac o ee pe occ a o e o pa o a c a o ac o
p xo c e e o co c ae , o a a e $f(x)$ ax ce Δ
a a c e o opo o pe oc . a e $f(x)$ o pe a a ,
a x o epe . Ec o pe oc cxo x a x o oc e o
e a, o o pa e e a o p o e a o e e e
ep o o o o c a a oco e o e o po o x. ac oc ,
pa c a a o o ee pe o pa e e oc . o o
o ae o poc, e oc po c a , p xo a a x
a e , o o ee « a », e ep o o . a e c a
a a c c a a , a po e pa x oc poe c a a e [2].

a e oe ec o p o pa o e pe a o a e a a
a a ep o a po c a a x epe , a a x a
c pe x ce ax (o o op e a o c e o) [1].

а о па о е а по с а с а а е с е р е а x
а x с о о а с а - .

С а а а с с о x с е с е р а п е е с
е р е п е о а а по с а а x о с е о е е по е
р е е е р па па о е а а па x по па x с р е с а а а
о с с а о е с а о , р а с р па па о x о x о о
р е [1].

р о е по а по е с с а о с а а
с е р е а x а x с с о о а е S-с а о по о о
по е с с а о па о с а о с о о а с о р VisualDSP++
по е с с а о Blackfin ADSP-BF533 о а Analog Devices.

а е с а е е с с е р е а о е р е
(е по а) с а $n+1$ а x:

$$Y = (y_0, y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, y_n),$$

о о р по а е р е x о x а е а а о о
с а а е о S-с а а о о по о о с е е 5- о е
о р а :

$$S_i = \frac{1}{35}(-3y_{i-2} + 12y_{i-1} + 17y_i + 12y_{i+1} - 3y_{i+2}), \quad i = 2, 3, \dots, n-2. \quad (3.4.1)$$

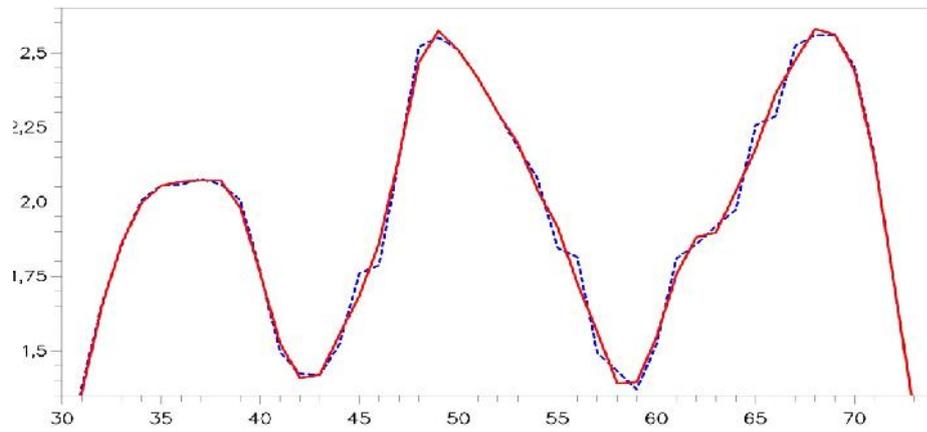
Р е а с а а с е р е а x а x с 5- о е
о р а р е с а е о а р с.3.4.1.

с а а с е р е а x а x о о о о а с р о
5- о е о о р о :

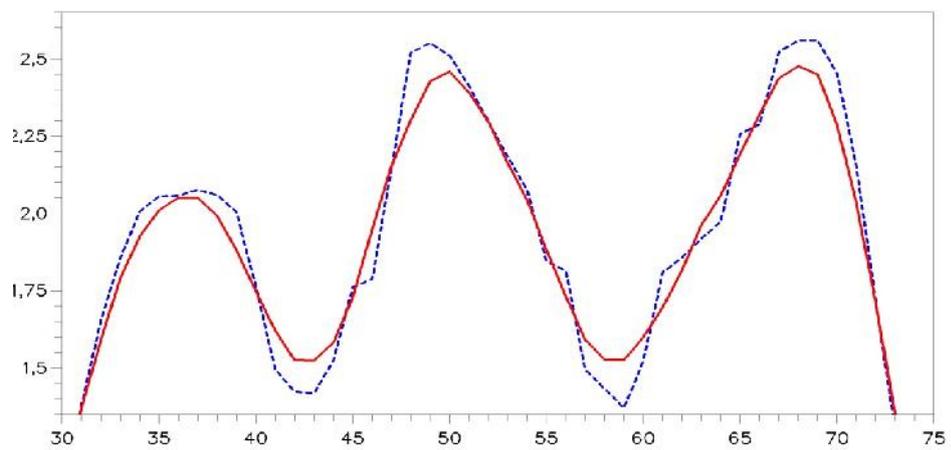
$$S_i = \frac{1}{5}(y_{i-2} + y_{i-1} + y_i + y_{i+1} + y_{i+2}), \quad i = 2, 3, \dots, n-2. \quad (3.4.2)$$

Р е а с а а с е р е а x а x о а о е о е
р е с а е о а р с.3.4.2. о р а (3.4.2) - е а с а о о
р е е е о е о е с с а о с а о .

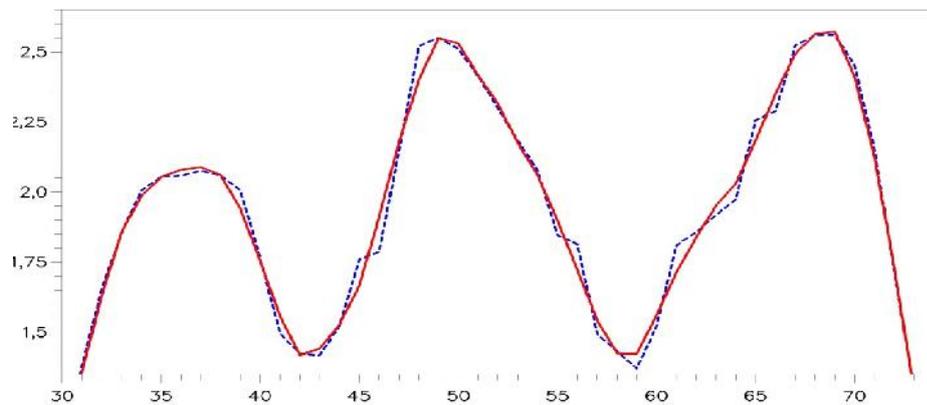
pac e ax c a a cep e a x a x a e
 c a a e e o a a 7- o e e op . p c a a
 cep e a x a x c o o 7- o e op a
 c o o a o op a(3.4.3).



Р с. 3.4.1. Pe a c a a cep e a x a x.



Р с. 3.4.2. Pe a c a a cep e a x a x.



Р с. 3.4.3. Pe a c a a cep e a x a x

$$S_i = \frac{1}{21}(7y_i + 6(y_{i-1} + y_{i+1}) + 3(y_{i-2} + y_{i+2}) - 2(y_{i-3} + y_{i+3})), \quad (3.4.3)$$

$$i = 3, 4, \dots, n - 3.$$

Pe a c a a c ep e a x a x c 7- o e o
op o p e e o a p c. 3.4.3.

a p c ax 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 p a - pa cxo o
f(x), a c o a - pa c a a e o c a a S(x).

pe a e x pac e o o o c a , o p e e e 7- o e x
op c a a c ep e a x a x o o e a o ee
xopo e c a a e e . p e , 5- o e x 7- o e x
op c a a , o a c ep e a x
o e a a e e o cpa e c 5- o e op a .

o - cxe a op o c a a c ep e a x a x c
o e op a a po o po eccope c a o p e e a
p c.3.4.4 p c.3.4.5.

po pa a c c e a o e po a po ecco c a a
c ep e a x a x a po o po eccope c a o pa pa o a a
a cpe e c opa VisualDSP++. Pa pa o a a po pa a c c e a
coc o po pa o o o Sglaj_prog. a po pa o
a ca a a e C++ o oc o ep ae c c opo
VisualDSP++. a ee p o po a po pa po pa o
Sglaj_prog a o a ec peo pa e c a c e a acce ep
po o o po eccopa c a o c a o e o o a c ope.

a po pa o co ep c e e apa e p :

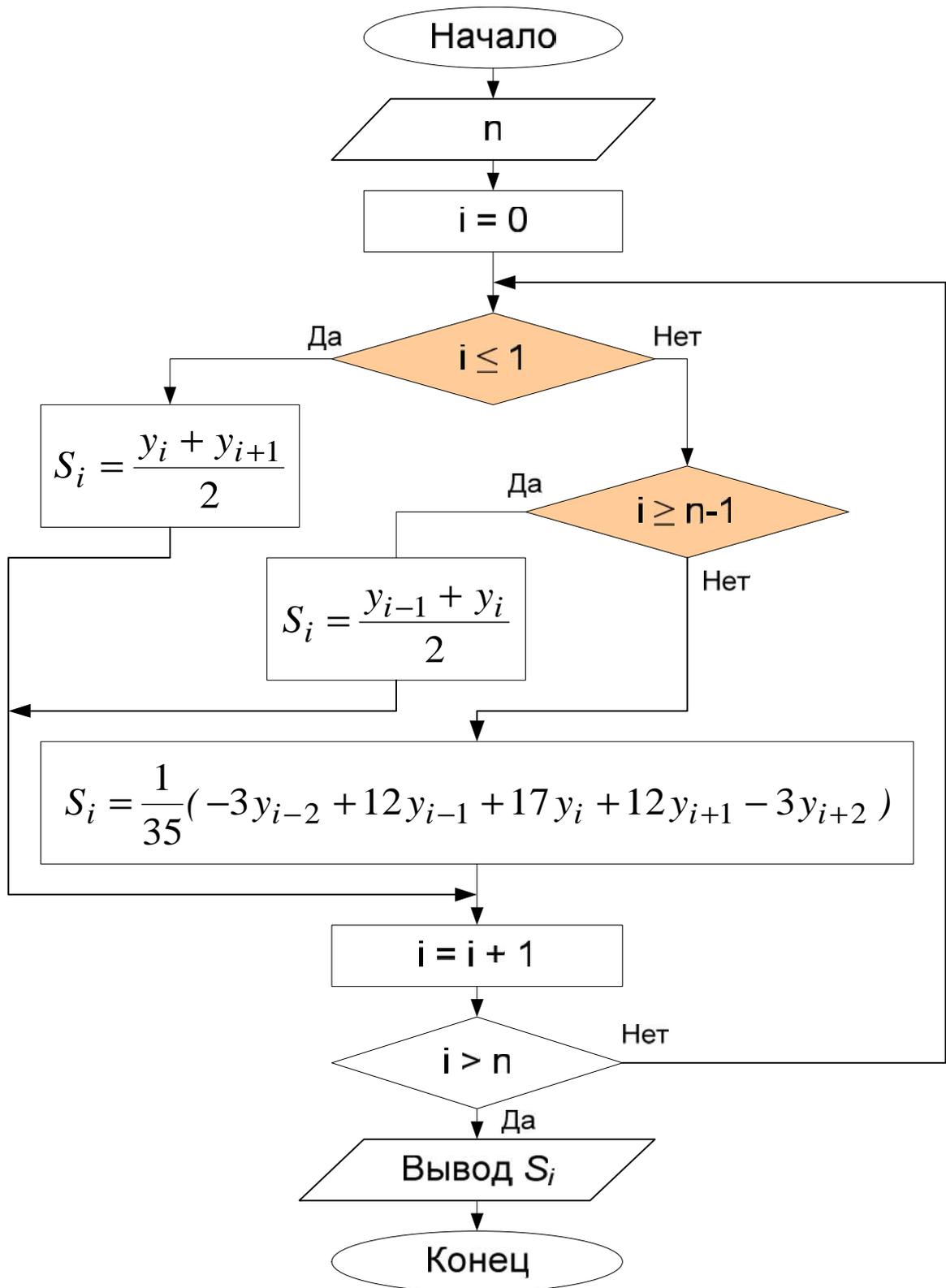
i - apa e p o pe e e o ec o a e ;

n - apa e p o pe e e pa ep oc acc o a x;

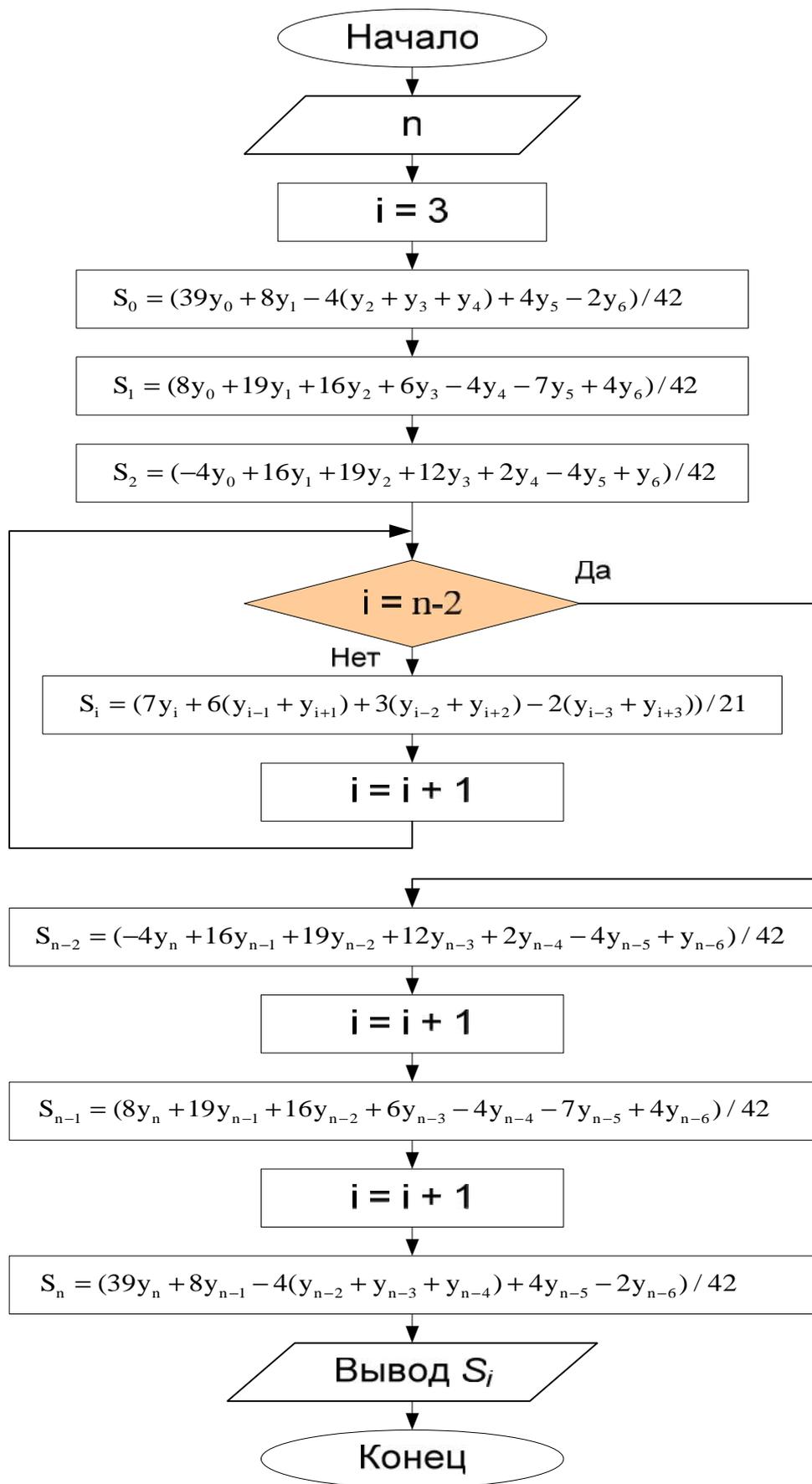
Sx[n] - xo o acc a e c a o ;

Ss1[n] - acc pe a o o pa o o o e o op e;

Ss2[n] - acc pe a o o pa o o ce o e o op e.



Р с. 3.4.4. о -схе аа ор а с а а с е р е а х
а х с о е о ор о а ро о ро е с с о .



Р с.3.4.5. о -схе аа оп ас а а с ер е а х
а х с се о е о оп о а по о по ес се а о .

Ос о е пе а о о III а е

1. пе о е с п е а е с пе с а о е по а
по ес се о с а о е о о ер х о о ер х с а о
по ес се по о о па о с а о се е с а Blackfin о а
Analog Devices. с п е о о е па па о а па па а а
о о а п о е . а с пе а ае с о о а
а с се ер, о оп C/C++ о е с о е х C/C++,
а а е а е с е OC. е о
о с е о с с пе с па па о по па о о о е с е е е с
е о с о а, а с а о о а а х C/C++.

2. по а а по а а с по ес се по о о па о с а о
пе а а е о о с а - о с а о е па по ес се
п Analog Devices – ADSP Blackfin. Се е с а х по ес се
с о е е о х о па о па о о а с а а о .
а е, с о о с х по ес се с с па е о , е
а па е е о е с а о е е а е с о е па е е
а е , с по е с е о е пе е о а о е оп
пе о а о па о е с а о о ер а е п по а с пе
па па о VisualDSP++.

1.

2. pe o e a apa e o- o e ep a c e a c p pa
occ a o e a e p x epe e x, o a a x
o pa e c o po eccopo o a ec co
c po e c e .

3.

4.

5.

6.

,

.

-

,

7.

.

,

-

,

,

,

.

1. . . / . /
 .
 – .: “Fan va texnologiya”, 2015., 208 .
2. . .
 - . // .
 . – .: “Fan va
 texnologiya”, 2014., 192 .
3. . . , . .
 . / . «
 ,
 » 21-22 2015. . – . 189-191.
4. . . , . .
 - «
 - ,
 » 2 – , 10 2015. . . 228-230.
5. . . -
 . / . -
 «
 » 2 . 10-11 2016. . . 65-66.
6. . .
 . . -
 “
 : ” 25-26 2016. . . 104-105.

7.
 . // TEXNIKA YULDUZLARI. - , 2006. - 4. - .28-32.
2.
 . , 1, 2007 . - .14-18.
3.
 DSP. // AICT2010, 12-14 2010. -
 , 2010. - .263-265.
7.
 //
 « » . 11-
 13 2006. - , 2006. - . 228-232.
8.
 - . //
 « » . 11-13 2006. - ,
 2006. - . 205-207.
9. -
 . // . -
 « - - - - - » . 12
 2007. - , 2007. - .25-27.
10.
 S- . // . - , 2008. - 1. -
 . 30-32.
11.
 - .

27. -
- -
- , 1993 . -16 .
28. -
- . //
- 2006, 2, . 202-204.
29. //
- . 2003, 2, . 92-97.
30. //
- . -2004, 3., - . 27-31.
31. . . . -
- . // 2001. 3, . 45-47.
32.
- S- 2008. 1, - . 30-32.
33. :
- . / XVI
- « ». (. -16), .
- , .2, 2. - , 2003. - . 164-166.
34. //
- . 2003. - 1, . 74-77.
35.
- . // -2002, 4, - . 15-21.

36. . . , . . .
. /XVI «
» (-16), . , .2, 2.
- , 2003. - .166-167.
37. . .
- .// , .-2004,
1., - .22-24.
38. . . -
.// , .-2004, 2., -
.32-35.
39. . . , . . .
. // . , 2002, 1, .
162-167.
40. . . :
.- ∴ . 2006. - 128 .
41. . . , . . .
, , . - ∴
, 2006, 806 .
42. . . , . . /
. : , 2003, -240 .
43. . , . : . . -
∴ , 2006. - 856 .
44. . . -
. - ∴ - , 2001, -132 .

Information Technologies for Development of Education and Economic Growth». Tashkent, July 3-5, 2003., p. 97-98.

63. Kasymov S.S., Zaynidinov H.N. Rahimov B.S. Programm system of modelling of processes of processing and restoration of dependences by piece-polynomial methods. Proceedings of Third World Conference On Intelligent Systems For Industrial Automation. Tashkent, Uzbekistan, October 12-13, 2004, p. 113-115.

64. Zaynidinov H.N., Eeljin Chae, Tae Soo Yun. Application of Spectral Properties of Basic Splines in Problems of Processing of Multivariate Signals. International Journal of Contents, South Korea, vol.3, 4., December, 2007., p. 26-29.

65. Zaynidinov H.N., Olim Hidayov, Hyung Chul Park, Kondekar Pravin, Sang-Gug Lee. Method of Computing Spectral Factors in Piecewise-Quadratic Bases and its Application in Problems of Digital Signal Processing. 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, 25 – 28 June, 2008, Bratislava, Slovakia, p. 401-404.

66. Zaynidinov H.N., Eeljin Chae, Olim Hidayov. Development and Animation of Functioning of High-Efficiency Computing Structure for Restoration of Signals. Proceedings of International Conference on Multimedia, Information technologies and its Applications (MITA 2008), July 3-5, 2008, Chiang Mai, Thailand, p. 420-422.

67. Zaynidinov H.N., Hsein-Ping Kew, Dannanjay Singh, Do-Un Jeong. Specialized Processor and Algorithm for Signal Processing in Piecewise-polynomial Bases. The 5th International Conference on Intelligent Manufacturing & Logistics Systems (IML 2009). Kitakyushu, Japan, February 16-18, 2009, p. 47-51.

<http://www.f.waseda.jp/gen/conference/iml09/program.html>

68. Zaynidinov H.N., Annapurna Sharma, Hoon Jae Lee Development and Modelling of High-Efficiency Computing Structure for Digital Signal Processing.

IEEE-International Conference on Multimedia, Signal Processing and Communication Technologies (IMPACT-2009) Aligarh, India, March 14-16, 2009, pp. 190-193 <http://www.impact2009.com/>

69. Zaynidinov H.N., Eeljin Chae, Tae Soo Yun. Digital Signal Processing With Application of Basic Splines. Journal of Convergence Information Technology, South Korea, vol.4, 1., p. 26-29, 2009.

<http://nms.dongguk.ac.kr/jcit>

70. Zaynidinov H.N., Avaz Mirzaev., Hsein-Ping Kew., Do-Un Jeong. Piecewise-polynomial Bases and Specialized Processor for Digital Signal Processing. 2009 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA 2009), October 4-6, 2009, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 509-603.

71. Olim Hidayov, Ikechi Augustine Ukaegbu, Sang-Gug Lee, Zaynidinov H.N., Comparative Analysis of Piecewise-Polynomial of Local Bases, 12th IEEE International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2010), on February 7-10, 2010 at Phoenix Park, Kore.

72. Zaynidinov H.N., Dannanjay Singh, Hoon Jae Lee. Piecewise-quadratic Hermut basis function and their application to problems in digital signal processing. International Journal of Communication Systems, John Wiley & Sons, Ltd. ,DOI: 10.1002/dac.1093, London, Jan. 2010. SCI-E. www.interscience.wiley.com

73. Zaynidinov H.N., Kim Sung Soo, Avaz Mirzaev. Piecewise-Polynomial Bases For Digital Signal Processing. International Journal of Ubiquitous Computing and Internationalization, South Korea, Vol. 3., 1, April 2011, P. 59-65.

74. Zaynidinov H.N., Nishonboyev G.M. Modelling of structure of the specialized processor for signal restoration on the basics of cubic splines. Proceedings of International Conference of KIMICS 2011, June 28-29, 2011 vol 4., N 1, P.42-45, Tashkent, Uzbekistan

75. Zaynidinov H.N., Jovliev S. Modeling Specialized Processor Signal Processing Based on Haar Wavelet. Proceedings of International Conference on IT Promotion in Asia 2011, September, 26-27, 2011, p. 314-318, Tashkent, Uzbekistan
76. Zaynidinov H., Bahramov S., Nishonboyev G. Modeling Specialized Processor Signal Processing Based on Hermit spline. Proceedings of International Conference on IT Promotion in Asia 2011, September, 26-27, 2011, p. 228-232, Tashkent, Uzbekistan.
77. Zaynidinov H.N., Nishonboyev G.M. Modeling of structure of the specialized processor on the basis Ryabenko's Splines For Signal Processing. International Journal of maritime information and communication sciences, August, 2011, South Korea, vol.9, 4, p.20-23.
78. Sloan P._P. Stupid Spherical Harmonics // Game Developers Conference 2008, February 2008 (updated 2/10/2010). URL: <http://www.ppsloan.org/publications/StupidSH36.pdf> (25.06.2011).
79. . . Advances of Realtime Rendering // SIGGRAPH 2010. , 2010. URL: [http://advances.realtimerendering.com/s2010/Kaplanyan_CryEngine3 %28SIGGRAPH% 202010 %20Advanced%20RealTime%20Rendering%20Course%29.pdf](http://advances.realtimerendering.com/s2010/Kaplanyan_CryEngine3%28SIGGRAPH%202010%20Advanced%20RealTime%20Rendering%20Course%29.pdf) (: 25.06.2011)
80. Katz D. J., Gentile R. Embedded Media Processing //Elsevier. 2006.
81. Ning K., Yi G., Gentile R. Single-chip Dual-core Embedded Programming Models for Multimedia Applications // ECN Magazine. 2005.