

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт Механико-технологический факультет
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»
Направление «Мехатроника и робототехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
В.Р. Гасияров

2018 г.

Реконструкция мехатронной системы обстукивания труб

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ 15.03.06.2018.084.00 ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер
Преподаватель
Е.А. Маклакова

2018 г.

Руководитель работы
Ст. преподаватель
С.С. Воронин

2018 г.

Нормоконтролер
Ст. преподаватель
С.С. Воронин

2018 г.

Автор работы
студент группы П-456
Бузанов Азамат Аскарлович

2018 г.

...

"

239" " " - : ,
-456, 2018, 71 ., 18 ., 11 .,
. -20 ., 0 .

()

« -239» « ».

« -239»,

Simulink

MATLAB

()

	).....	56
3.3	(
	,	
	,	
	-	
	,	
	).....	57
3.4	(
	,	
	,	
	).....	59
3.5		
	.....	61
3.6		
	.....	65
3.7		
	.....	66
3.8	-	
	.....	66
	.....	68
	.....	70

) :

) ;

) ;

) - .

) « 239» « »;

) ;

) ;

) , ;

) ;

) ,

) ;

) ,

) ;

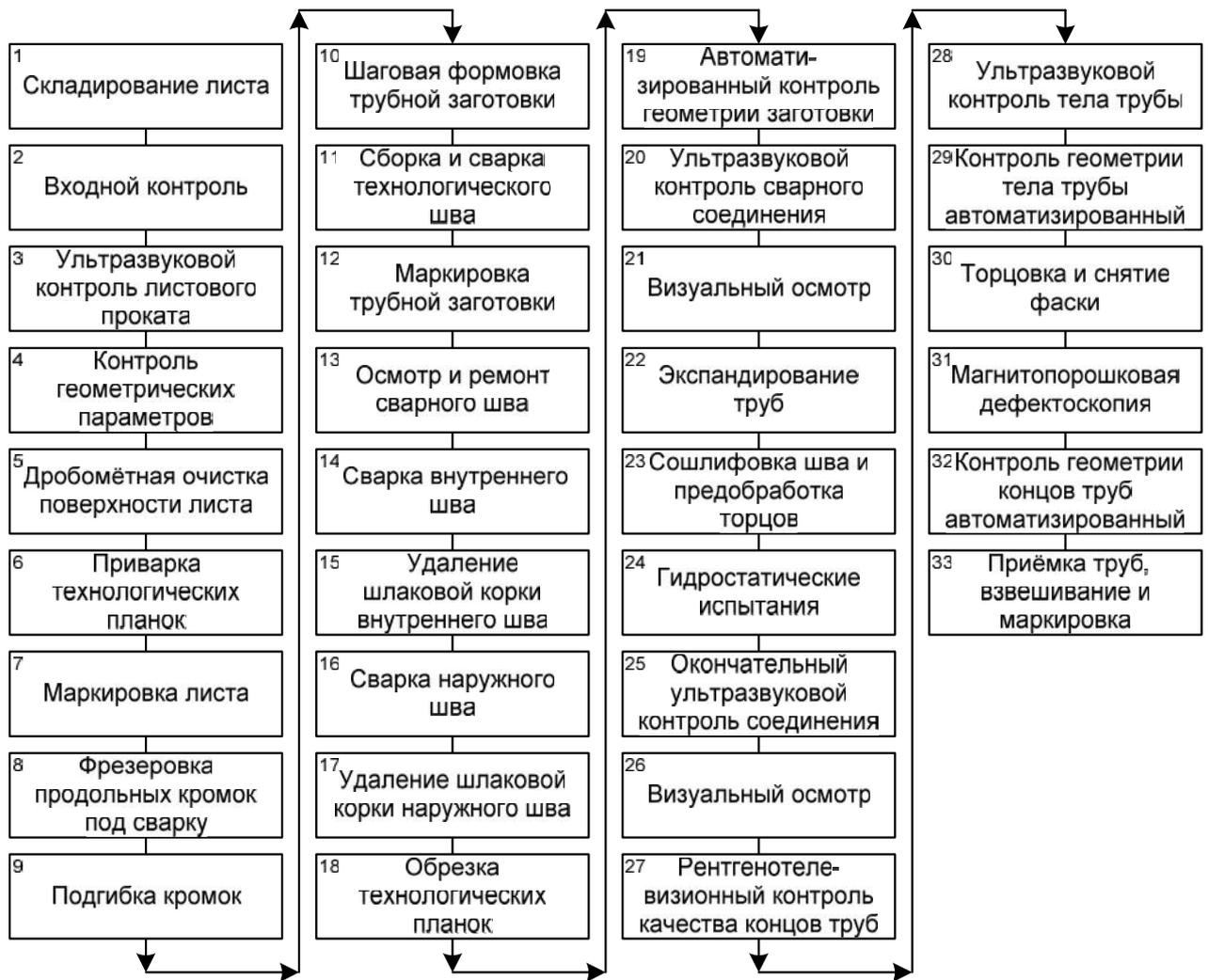
) ;

) ,

) ,

) .

– 80 %.



1 –

« 239»

« 239»

:

.

.

2°

.

.

.

,

.

,

,

.

.

.

.

.

2°.

.

,

,

.

.

.

,

.

.

:

1)

;

2)

;

- 3) ;
- 4) ;
- 5) ;
- 6) ;
- 7) ;
- 8) ;
- 9) ;
- 10) ;
- 11) ;
- 12) ;
- 13) ;
- 14) - ;
- 15) ;
- 16) ;
- 17) .

- 1) . ,
- 2) .
- 3) .
- 4) ,
- 5) . ,

(250)

- 250).
- 6) .
- 7) .
- 8) .
- 0,5 0,8 .
- 9) .
- 10) .
- 11) .
- 12) .

13)

.

1.2

.

:

1)

2)

9

.

5

.

4,

,

,

,

.

:

) 1"

"

(

)

) 1

) 1

) 1

) 1

"

"

:

) 1

) 1

"

"

) 1

"

"

,

.

,

) - 15 ;
)
)
)
)
- 2500 ; - 3700 ; - 8000 .

) " " 500 800

)

.

)

.

:

)

;

)

;

)

;

)

;

)

.

,

.

()

,

,

()

10

)

4 - 20

0 - 5

[6]:

)

;

)

-

;

)

-

;

)

;

)

(

,

,

,

.).

380/220

:

J - 380 (-15... +10 %);
J - 3;
J - 50±2 ;

() ,

()

0,2 % [11].

:

-

;

-

;

,

,

,

1.4

,

(

3)

[12]:

)

,

,

-

(

).

)

(

)

(

10

18),

(

).

)

,

,

,

.

)

-

,

.

)

,

,

10 000—20 000 (10—50

.

).

)

,

(

15

/,

100 000 /).

)

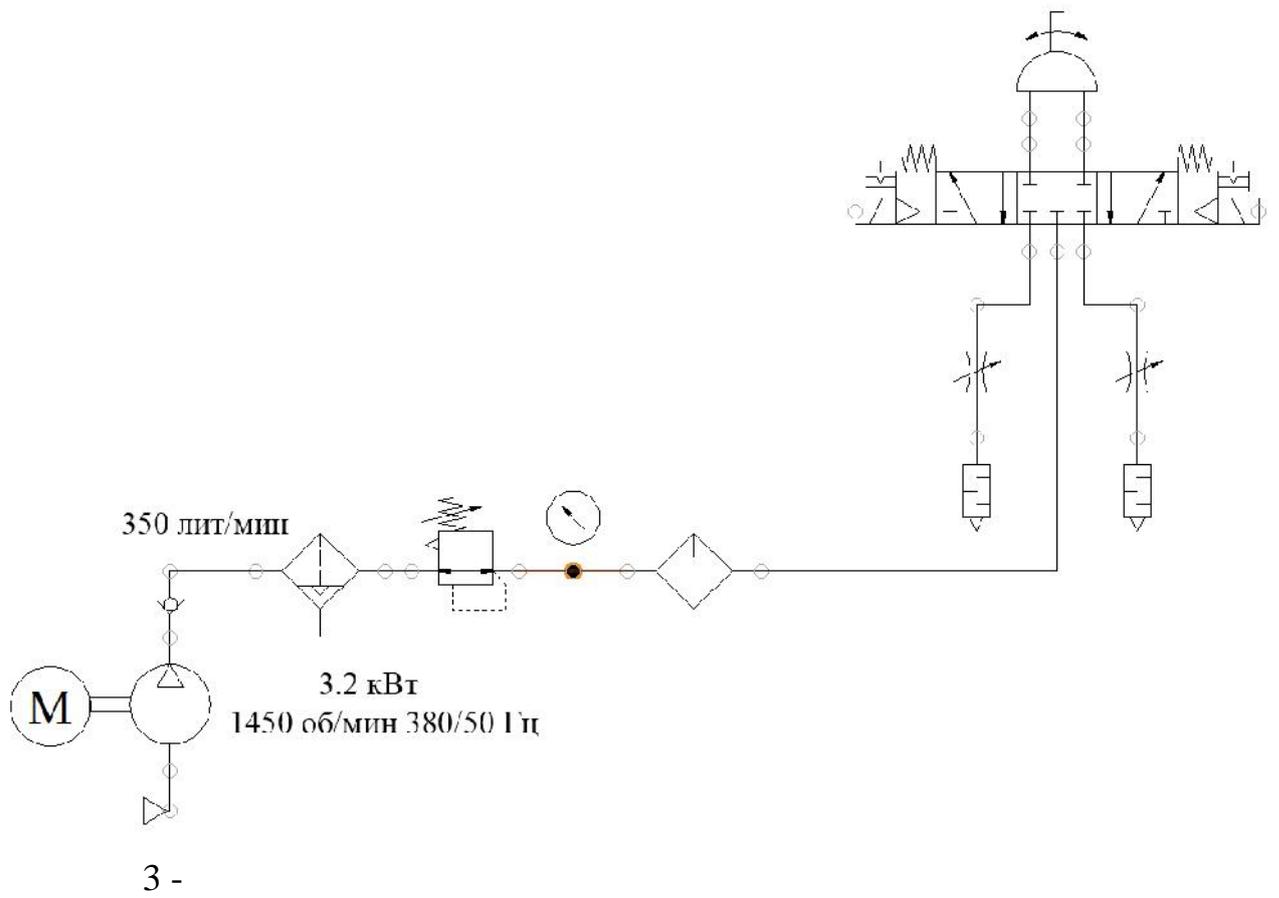
,

(

),

(

) [13].



1.5

)

(

()

().

:

() .

$$M = M + J \cdot \frac{dw}{dt}, \quad (1)$$

M - , () , ;
M - , ;
J - () , ²;
dw - , ⁻¹;
dt - , .

:

$$M = m \cdot g \cdot l , \quad (2)$$

m - , ;
g - , /c²;
l - , .

:

$$J = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2 , \quad (3)$$

m - , ;

l - , .

:

$$dw = \frac{dV}{R}, \quad (4)$$

dV - , ;

R - , .

2

:

$$M = 5,2 \cdot 9,81 \cdot 1 = 51 \text{ } \cdot \text{ } ,$$

3

,

::

$$J = \frac{1}{3} \cdot 0,65 \cdot 1^2 = 0,216 \text{ } \cdot \text{ } ^2,$$

4

:

$$dw = \frac{3,14}{2} = 1,57 \text{ }^{-1},$$

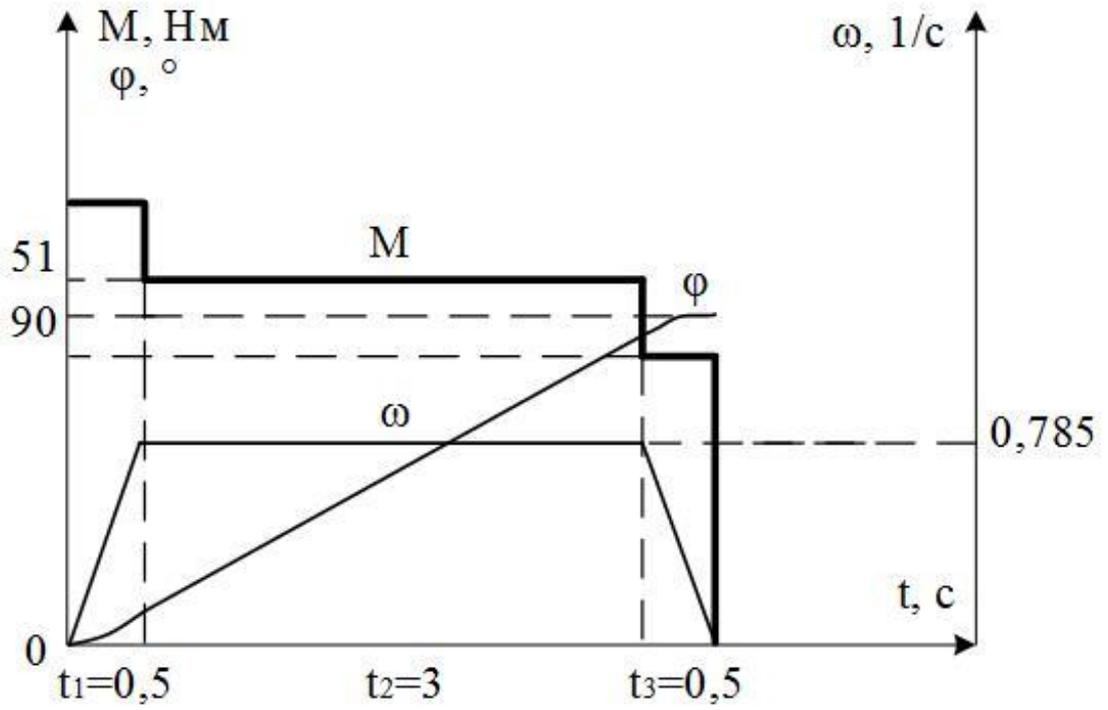
1 ,

:

$$M = 51 + 0,216 \cdot 0,785 = 51,17 \text{ } \cdot \text{ } .$$

,
(.4).

M .



4 - ()

1.6

$M = 51 \cdot \dots$

(8-10), (125), (180).

M/162125/MI NORGREN.

1.

1 -

NORGREN M/162125/MI.

	1,5 - 10
	125
	51
	41
	451 ³
	90, 180, 360
	C ,
	,
	-5 +80
	,

(G1/2), / (5/3),
(8-10).

ISO8573-1:2010.

0 +50

VPWP-8-L-5-Q10-10-E-G

FESTO.

2.

2 -

VPWP-8-L-5-Q10-10-E-G

FESTO.

	1 - 10
	G1/4, G1/2
/	5/3
	175 /
	1
	10 . .
	0 +50
	C ,
	,

(G1/2).

GRE-1/2

FESTO.

3.

3 -

FESTO GRE-1/2.

	G1/2
	350 /
	C ,
	,
	-10 +70
	75
	NBR

(G1).

BL68 - Olympian Plus

NORGREN.

4.

4 -

BL68 -

Olympian Plus NORGREN.

	G1
	0,4 - 10
	C
	-20 +80

()

(350 /),

(10).

SBDL 350/270

BOGE.

5.

5 -

SBDL 350/270

BOGE.

	350 /
	10
	1450 /
	3.2
	215

)
)
)
)

+3

2

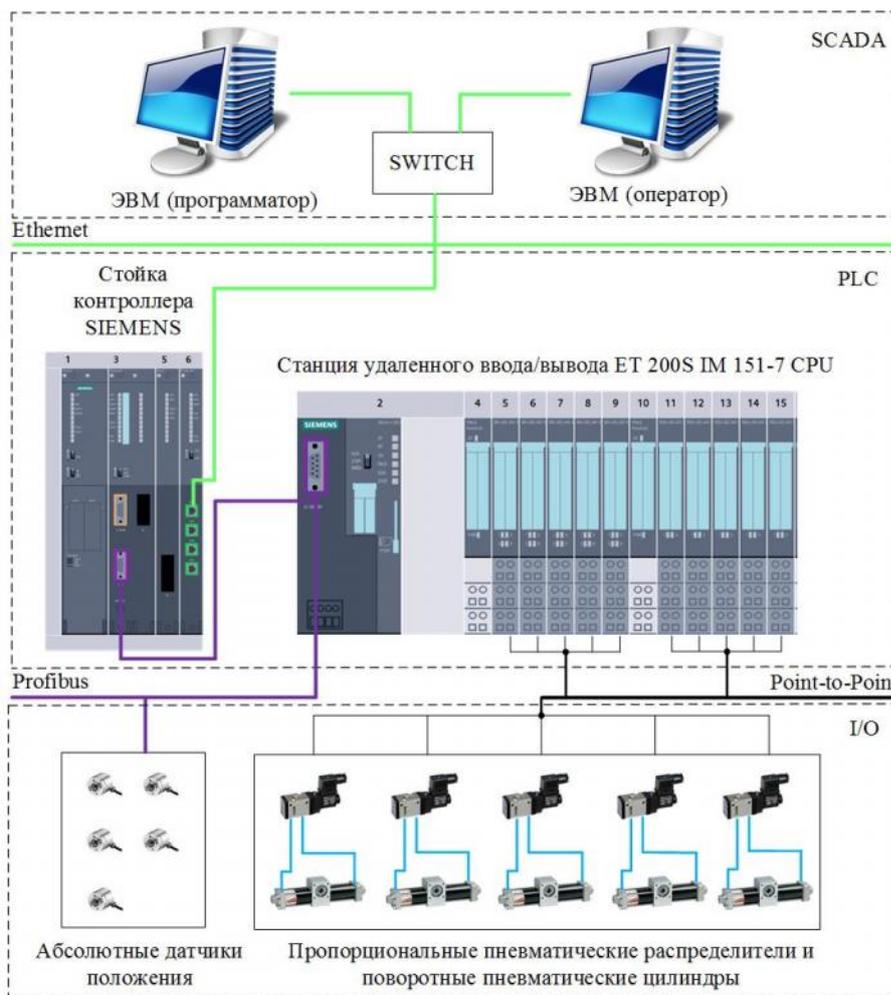
2.1

1.1

1.2

« 239» « ».

5.



Модули контроллера

1 – Блок питания PS-407, 10A

3 – Центральный процессор CPU 414-3 DP

6 – Модуль интерфейса Ethernet

Модули станции удаленного ввода/вывода

4, 10 – Модули питания, 24V

5-9 – Модули входных аналоговых сигналов

11-15 – Модули выходных аналоговых сигналов

5 -

(I/O, PLC, SCADA)

2.2

SIMATIC

(EN 61000-6-4: 2001)

(EN 61000-6-2: 2001).

Siemens SIMATIC S7-400

6.

SIMATIC S7-

400

S7-400

S7-400

0,1

(HMI):

S7-400.

SIMATIC HMI

SIMATIC S7-400,

S7-400

6.

6 -

SIMATIC S7-400

CPU	
PS	
SM	,
CP	, PROFIBUS, AS-Interface, Industrial Ethernet, PROFINET PtP
IM	

PROFIBUS DP PROFINET IO,
 PROFINET CBA [4].

7.

7 -

CPU 414-3 DP

SIMATIC S7-400

	1,4
	512 - 64
, :	45/45/135
/ /	
/ /	8 /2048/2048
- ,	65536/4096
/ ,	
	MPI, PROFINET, PROFIBUS DP
,	32
,	50 290 219

PS 407; 10 A,

: 10 A; 24 ;

, ;

(

120/230 , 50/60);

EN 60 950;

[3].

8.

PS 407; 10A

(5SN1 Siemens)

: 230

8 -

PS 407;

10

SIMATIC S7-400

,	230
,	60/50
,	47,63
,	1,14
25 ° ,	55
,	24
	(24 ± 5) %,
,	2,5
,	
	,
	(1,1...1,3)I _{HOM}
,	. 150
,	97,5

9.

9 -

EPM50S8-1013-B-S-24

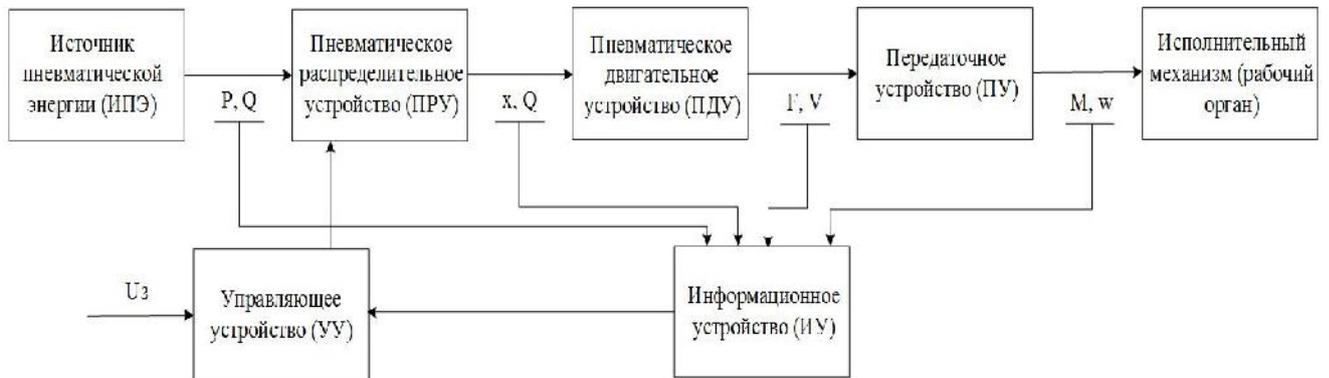
.	1024 (10)
	8192 (13)
	+90 -90
	,
	,
	: 5 - 24 . , :
	0 - 1.2 .
	,
	: 100
	:
	100
	:
	100
	: 100

SSI	100 1
	24 ,
	SSI ()
	,
Line Driver	: - .20 - .0.5 . : - .20 - .2.5 .
.	50
	12 - 24 . ± 5% (P- P: .5%)
	.150 ()
	.100 (500 .)
	750 . 50/60 1 ()
	()
	322

6

()

[18].



6 –

6: – (); –

(); –

(); –

(); () – (); –

; – . U –

[B]; P – []; Q – [³/]; F – [H]; V –

[/], M – [], w –

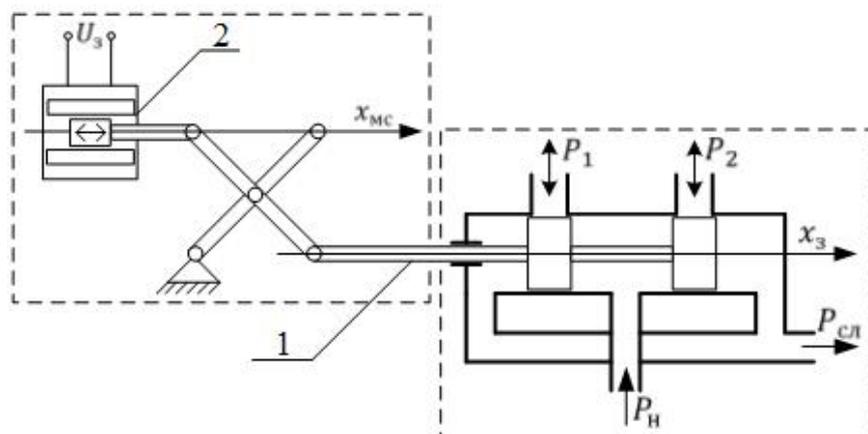
[1/].

()

2.4

[14].

(.7).



7 -

7:

- 1 – ;
- 2 – ;
- U – ;
- x – ;
- x – ;
- P₁, P₂ – ;
- P – ;
- P – .

, , [15].
 , :

$$T \cdot \frac{dx}{dt} + x = x \quad (5)$$

T – .

2...4

[16].

, (5) :

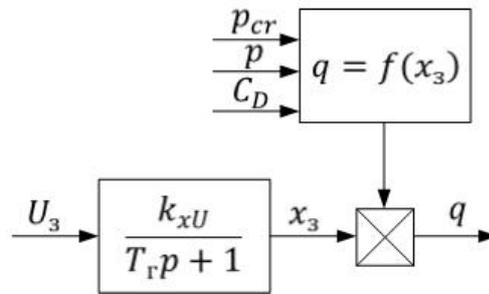
$$T \cdot \frac{dx}{dt} + x = k_{xU} \cdot U \quad (6)$$

, (6)

$$W(p) = \frac{k_{xU}}{T \cdot p + 1}, \quad (7)$$

[9].

8.



8 -

[17].

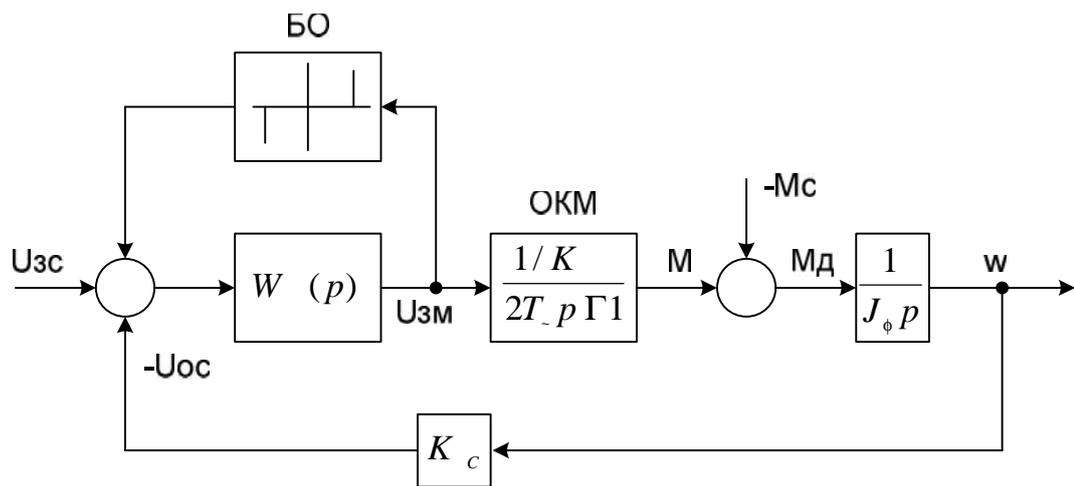
$$q = q_y + q_P = S \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{V_{01}}{B} \cdot \frac{dP_1}{dt} + k \cdot P_1, \quad (8)$$

$q -$, $^3/$;
 $q_y -$, $^3/$;
 $q_P -$, $^3/$;

$$\begin{aligned}
y - & \quad , \quad 2; \\
S - & \quad , \quad ; \\
V_{01} - & \quad , \quad 3; \\
B - & \quad , \quad ; \\
P_1 - & \quad , \quad ; \\
k - & \quad . \\
P & \quad , \quad q_P \\
(8) & \quad :
\end{aligned}$$

$$\frac{S}{k} \cdot q_P = \frac{V_{01}}{k \cdot B} \cdot \frac{dF}{dt} + F \quad , \quad (9)$$

$$W = \frac{S/k}{\frac{V_{01}}{k \cdot B} \cdot p+1} + S \cdot v \quad , \quad (10)$$



9 –

9:

– ;

M_c – ;

J – ;

$W(p)$ – ;

– ;

K – .

– ,

– .

$T_\mu = 0,0005$ [8].

K :

$$K = \frac{Q_{\max}}{M_{\max}}, \quad (11)$$

Q_{\max} – ;

M_{\max} – .

12:

$$K = \frac{28,5 \cdot 10^{-4}}{51} = 0,56 \cdot 10^{-4},$$

K :

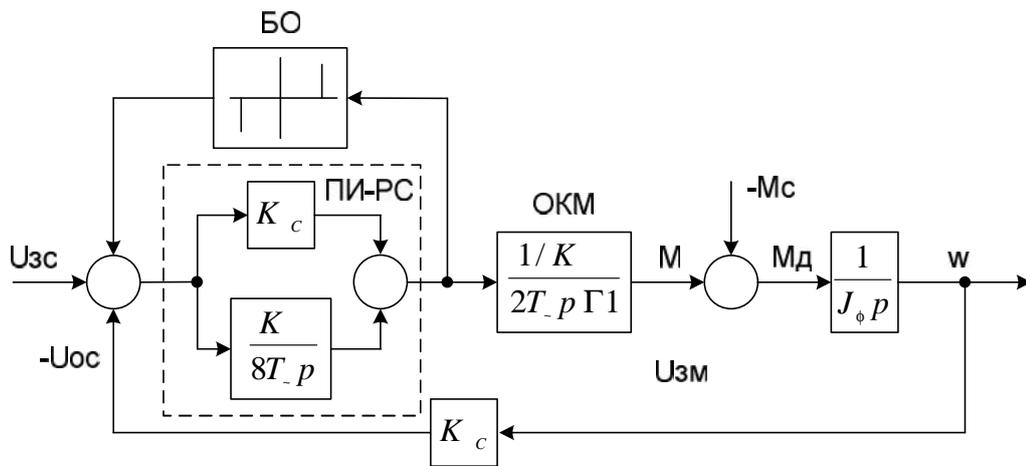
$$K = \frac{Q_{\max}}{\max}, \quad (12)$$

Q_{\max} — ;
 \max — .

13:

$$K = \frac{28,5 \cdot 10^{-4}}{0,785} = 36,3 \cdot 10^{-4},$$

(. 10).



10 –

K

:

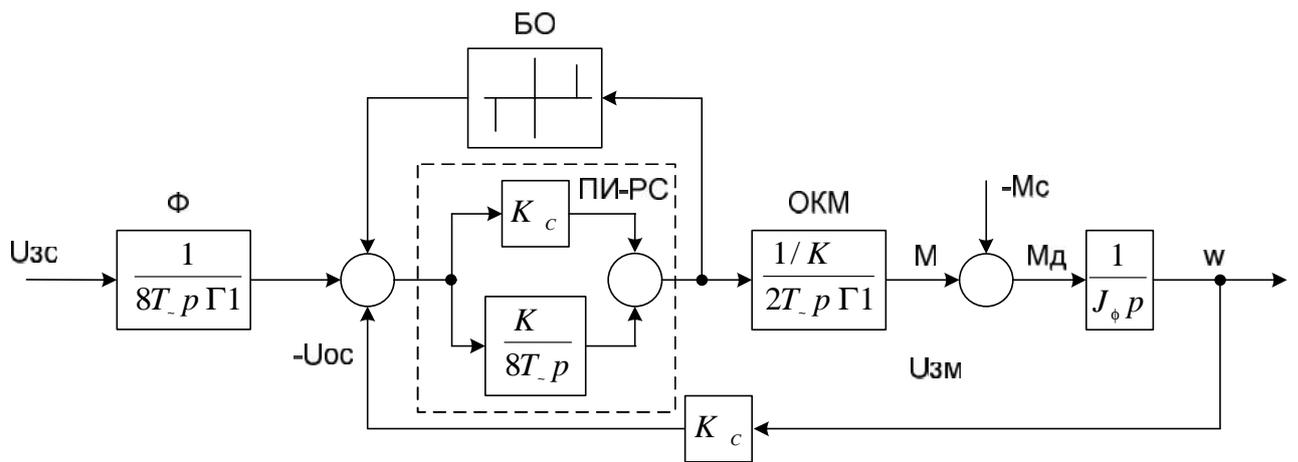
$$K = \frac{K \cdot J}{4 \cdot T_{\mu} \cdot K}, \quad (13)$$

14:

$$K = \frac{0,56 \cdot 10^{-4} \cdot 0,518}{4 \cdot 0,0005 \cdot 36,3 \cdot 10^{-4}} = 4.$$

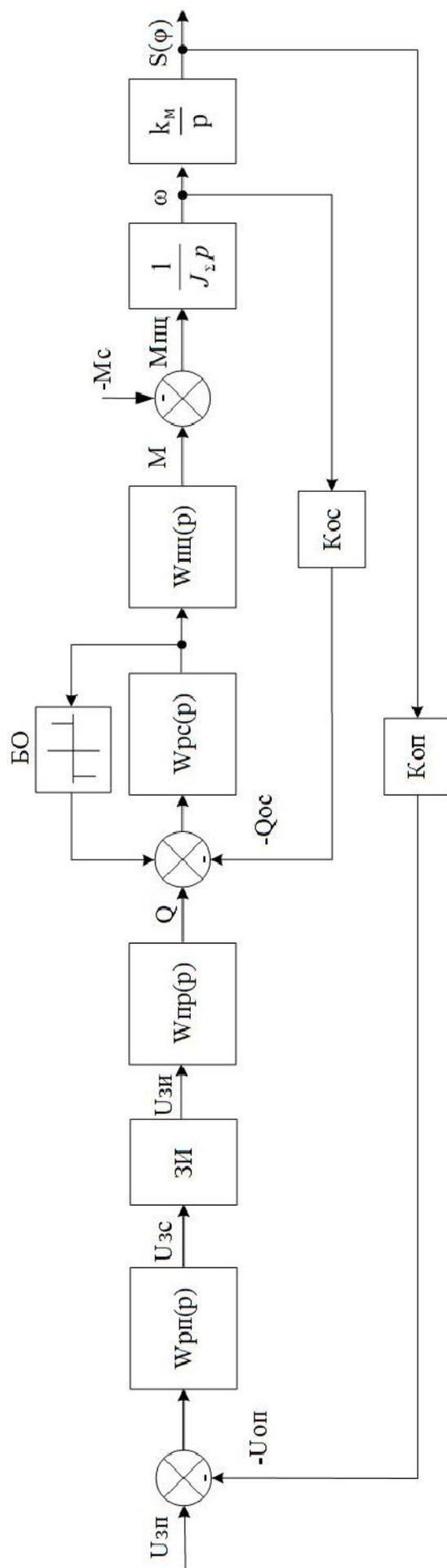
-

(. 11).



11 –

12:



12 -

12:

$$\begin{aligned}
 W(p) - & \dots ; \\
 M_c - & \dots ; \\
 J - & \dots ; \\
 W(p) - & \dots ; \\
 - & \dots ; \\
 K - & \dots ; \\
 K - & \dots ; \\
 W(p) - & \dots ; \\
 - & \dots ; \\
 W(p) - & \dots ; \\
 k - & \dots
 \end{aligned}$$

k

:

$$k = \frac{\max}{\max}, \quad (14)$$

max -

;

max -

15:

$$k = \frac{1,57}{0,785} = 2.$$

U .

2.4

MATLAB.

: (),

(), (),

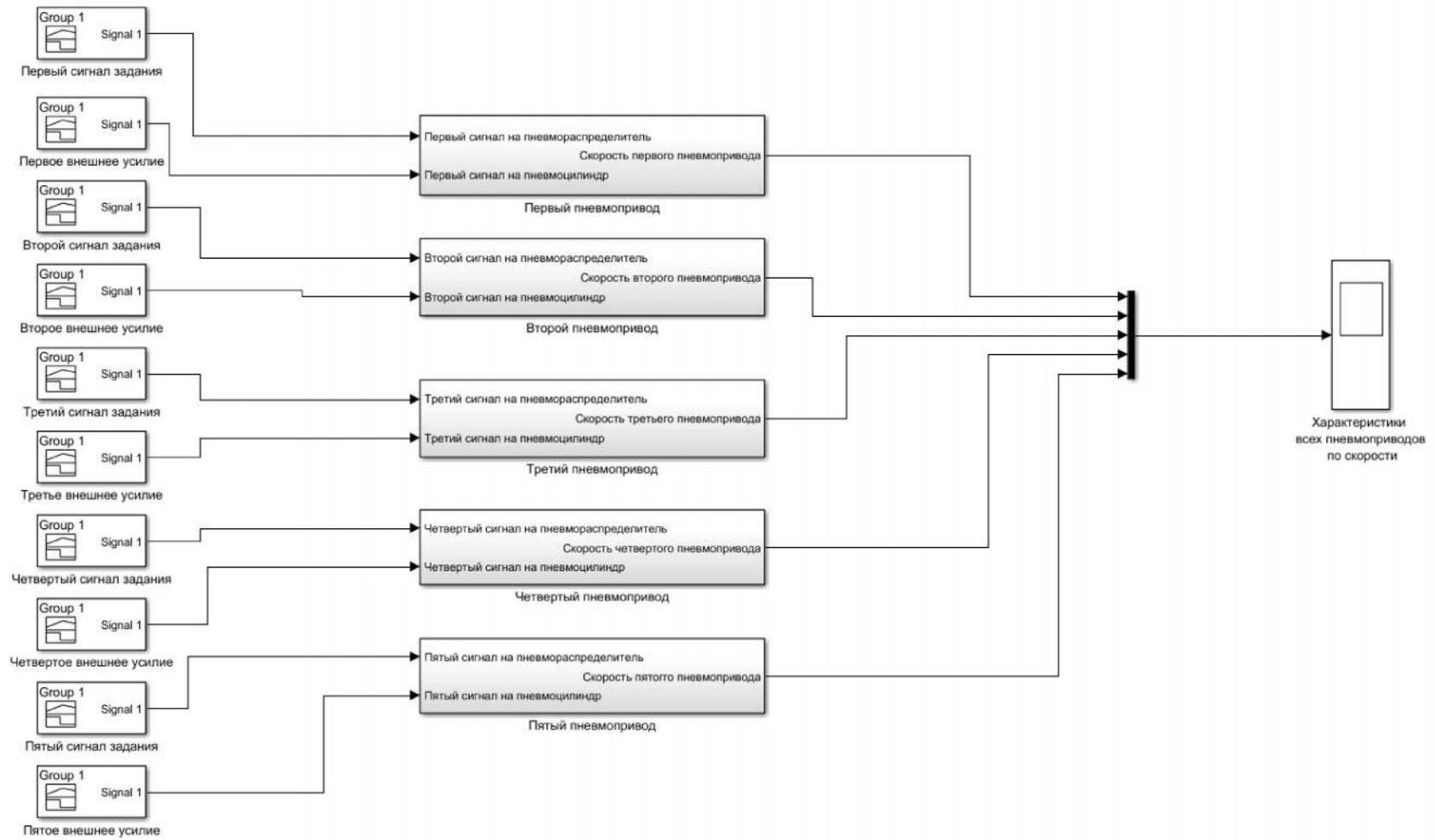
13

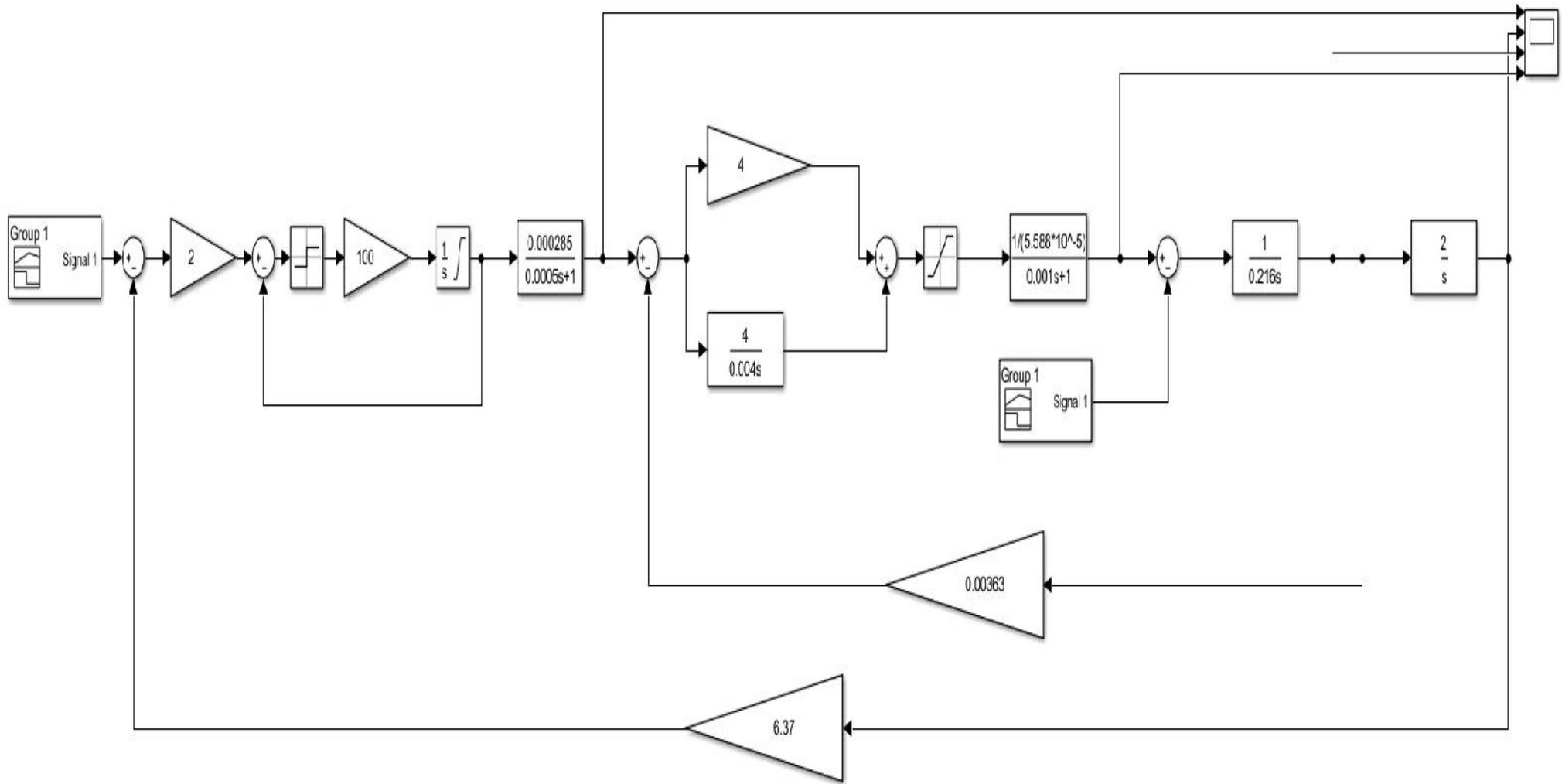
5 " " (5)).

2 :

14

(" ").



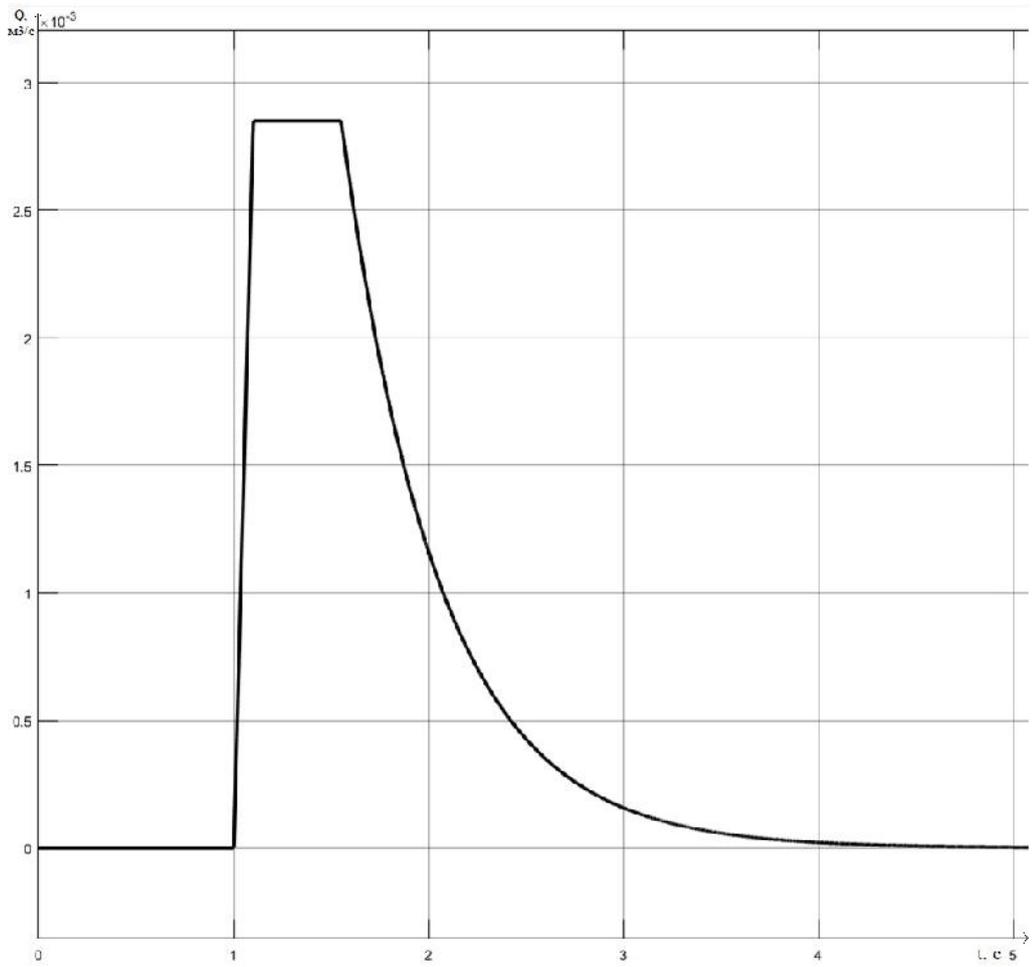


14 -

MATLAB

(. 15)

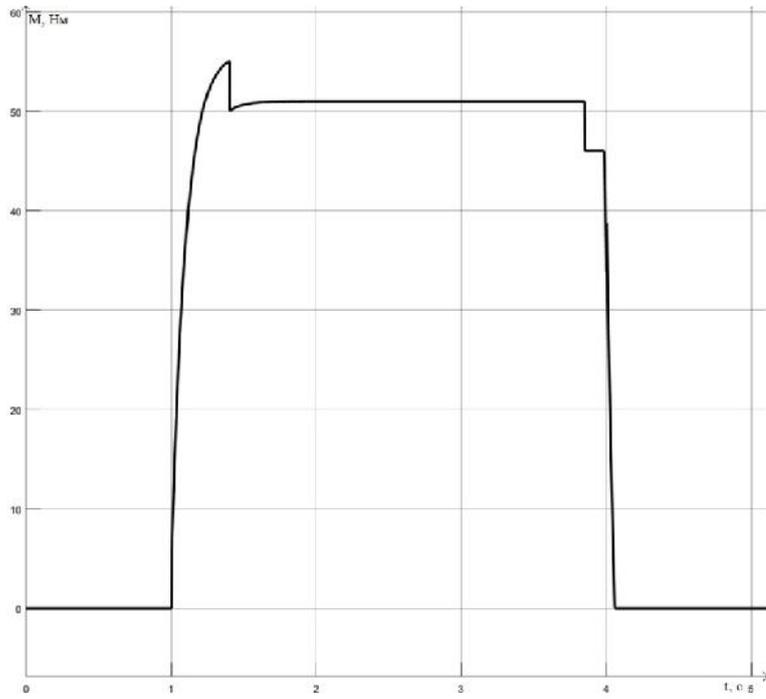
$$Q = 0,00285 \text{ m}^3/ .$$



15 -

(. 16),

$$M = 51 \text{ . .}$$

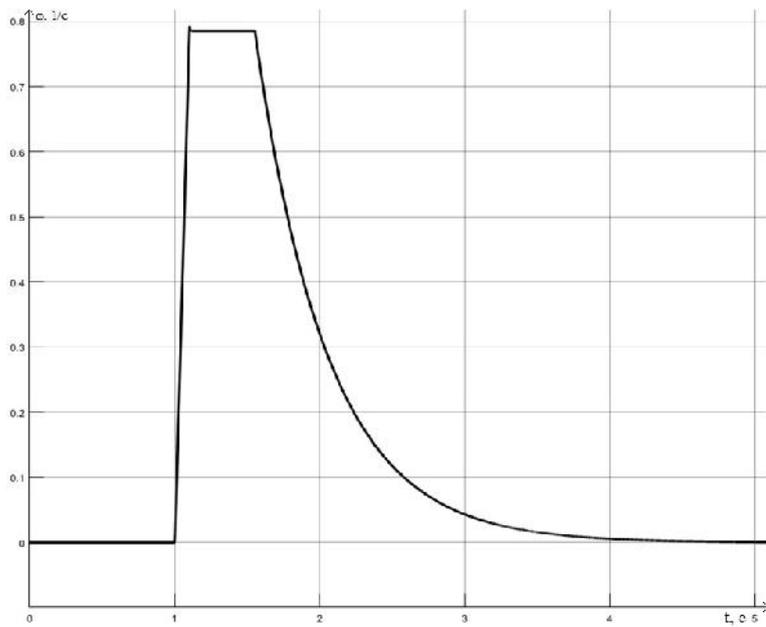


16 -

,

(. 17)

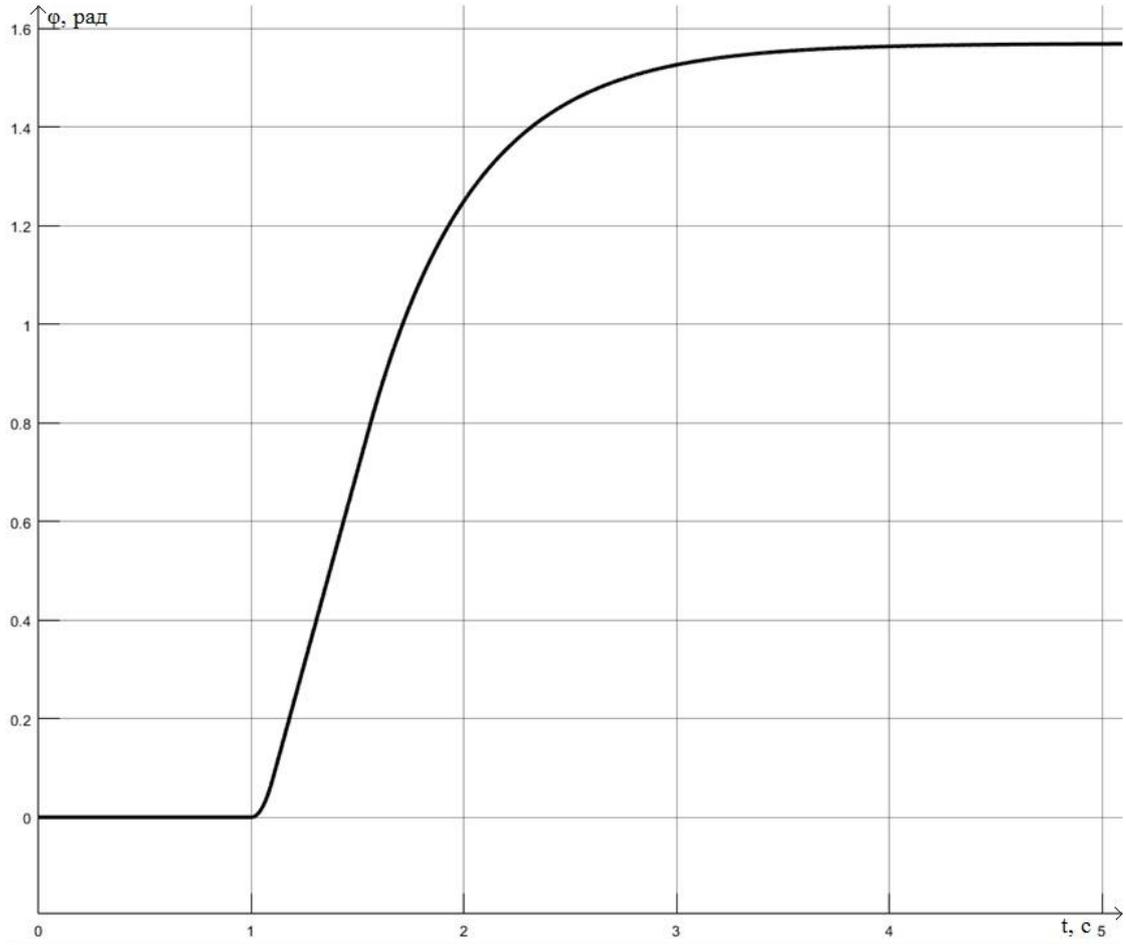
$$= 0,785 \text{ 1/ .}$$



17 -

(. 18)

$$= 1,57 \text{ .}$$



18 -

Simulink

MATLAB.

.

.

-

,

.

,

.

.

.

.

,

,

:

,

.

,

.

,

,

.

.

,

()

.

.

:

3.2

()

$$V = P \cdot T \quad (15)$$

V – ;
P – / ;
T – ,

$$T = 24 \cdot 365 = 8760 \quad ,$$

1020 , 12

27 « 239»

12 , 8 .
:

$$V_1 = 12 \cdot 8 \cdot 8760 = 840960 ,$$

105120) 5 12 (4,7
12,7 111252 .
:

$$V_2 = 12,7 \cdot 8 \cdot 8760 = 890000 .$$

3.3 (, , , -)

13

$$K = \Pi + T_P + 3_{CMP} + 3_{HP}, \quad (16)$$

- K – , ;
- Π – , ;
- T_P – , ;

$З_{CMP}$ – , ;
 $З_{HP}$ – , .

Ц 10. (,)
 20% .

$З_{CMP}$ 15% ,
 T_P – 10%, $З_{HP}$ – 5 % [7].

10 -

	- ,	”	,
FESTO VPWP-8-L-5-Q10-10-E-G	5	125000	625000
Temposonics RP and RH	5	30000	150000
			775000
			155000
			930000

$$З_{CMP} = Ц \cdot 0,15 = 835000 \cdot 0,15 = 125250 \quad . ,$$

$$T_P = Ц \cdot 0,1 = 835000 \cdot 0,1 = 83500 \quad .$$

$$З_{HP} = Ц \cdot 0,05 = 835000 \cdot 0,05 = 41750 \quad .$$

13,

:

$$K = 930000 + 125250 + 83500 + 41750 = 1\,180\,500 \text{ .}$$

$$1\,180\,500 \text{ .}$$

3.4 (, ,) ,

()

:

$$И = A + П_p, \tag{17}$$

И – , ;

– , ;

П_p – , .

3 % .

$$3738881 \cdot 0,03 = 112166 \text{ .}$$

2623400

NORGREN M/162125/MI

NORGREN Inline

12,6%,

:

$$A_1 = (250000 + 50000) \cdot 0,126 = 37800 \quad .$$

FESTO VPWP-8-L-5-Q10-10-E-G

Temposonics RP and RH

10%,

:

$$A_2 = (625000 + 150000) \cdot 0,1 = 77500 \quad .$$

,
()

3,

:

$$И_{тек1} = 112166 + 37800 = 149966 \quad .$$

$$И_{тек2} = 112166 + 77500 = 189666 \quad .$$

()

,

.

.

,

,

,

.

,

,

.

,

.

,

,

.

,

8

3

(

), 5-

8 760 (8

3

365

).

,

,

,

4

6

.

6

5-

8-

:

$$1976 \cdot 215,28 = 425394$$

1976 –
215,28 –

6 .
:

$$425394 \cdot 4 = 1\,701\,576 \quad .$$

425394 – 6
5- 8- , ;
4 – 6 .
– 40 % ,
– 13,33 % ; – 2,74 %
() ;
– 12 % .
:

$$1701576 \cdot (0,1333 + 0,0274 + 0,12) = 477632 \quad .$$

:
;
(5 10
– 10 %); – 30 % .
10 % :

$$1701576 \cdot 0,1 = 170158 \quad .$$

,

: - 40 %, ,
 - 25 %. :

$$1701576 \cdot 0,4 = 680630 \quad .$$

,
 ,
 ,
) 13% :

$$1701576 \cdot 0,13 = 221205 \quad .$$

. 15%
 :

$$(1701576 + 477632 + 170158 + 680630 + 221205) \cdot 0,15 = 487680 \quad .$$

6

:

$$= 1701576 + 477632 + 170158 + 680630 + 221205 + 487680 = 3\,738\,881 \quad .$$

30 %

(22%),

(5,1%),

(2,9%).

’
:

$$O_{CH} = 3738881 \cdot 0,3 = 1\,121\,664 \quad .$$

. 3

,

(10 %),

(15 %)

(5 %)

:

$$(3 \cdot 29500)(1 + 0,1 + 0,15 + 0,05) = 115050 \quad .$$

:

$$5760 \cdot 3,2 \cdot 1 \cdot 3,3 = 60825,6 \quad .$$

5760 –

-

;

3,2 –

-

, ;

1 –

-

, ;

3,3 –

, .

:

$$= 115050 + 60825,6 = 175876 \quad .$$

3.6

50366 . ,
37800 . 77500 ., 2,05 ,
2,05
103264 .
000 ., 1020 , 12 1 500
8 , 187500 . 27
6152 .

$$\Pi = \Pi - C_{\text{HOB}}, \quad (18)$$

- ;
 C_{HOB} - .
15:

$$\Pi = 187500 - 103264 = 84236 .$$

$$\Pi = 6132 \cdot 84236 = 516535 .$$

516535 .

3.7

:

$$T = \frac{K}{\Pi}, \tag{19}$$

– , ;
 П – , .

16:

$$T = 1180500 / 516535 = 2,3 .$$

3 ,

3.8

-

-

«

239» (11).

11 -

-

	840960	890000	49040
,			

, .	-	1 180 500	-1 180 500
, .	149966	189666	-39700
:	112166	112166	-
-	37800	77500	-39700
	3 738 881	3 738 881	-
	1 121 664	1 121 664	-
	175876	175876	-
	50366	103264	-52898
, .	8 854 888 320	9 371 423 472	516535
,	2,3		

-

.

,

,

,

.

1 180 500 .

,

,

,

39700 .

52898 .

516535 .

« 239»
« 239» « »

NORGREN M/162125/MI,

FESTO VPWP-8-L-5-Q10-10-E-

G.

SIMATIC S7-400:

– CPU 319-3 PN/DP,

– PS 407.

6

10

;

;

—

,

;

.

.

1 180 500 .

2,3 ,

« 239» .

, — .

1. / – : . , 2017. – 36 .
2. / – : . , 2017. – 36 .
3. PS 405 PS 407. – https://www.siemens-pro.ru/s7-400-modules/PS_405_PS_407.html.
4. Standart CPUs. – <https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/advanced-controller/s7-400/cpu/standard-cpus/pages/default.aspx>.
5. . – <http://www.chelpipe.ru/about/>.
6. SIEMENS, SIMATIC S7-300. : / SIEMENS, 2006. – 261 .
7. , . . : / . . . – : - , 2017. – 52 .
8. / – : - . . . , 2010. – 199 .
9. . . : / . . : . . . – : - , 2016. – 11 .
10. . . . / . , . , - . . – : - , 2003. – 346 .
11. , . . / . . , . . . – : - , 1992. – 181 .
12. , . . / . . . – : - « » , 1995 – 448 .

13. . . . -
/ - : - , 1976 -
424 .
14. . . . : / , . . .
. . . . - : - , 1977 - 320 .
15. . . . / . . .
. . . . - : - , 1972 - 768 .
16. . . . :
/ - : - , 1983 - 301 .
17. . . . / - : -
. . . . , 1985 - 256 .
18. . . . - :
“ ,
” / - : -
. . . . , 1991. - 384 .
19. . . . / ,
. . . . - : - , 2004 - 352 .
20. . . . / , . . .
. . . . - : -
. . . . , 2011 - 196 .