

102.13330.2012

2.06.09-84

2012

102.13330.2012

27 2002 . 184- « »,
» . 19 2008 . 858 « -

1 - « . . . »

2 465 « »

3 ,

4 () 30 2012 . 268 1 2013 .

5 (»). 102.13330.2011 « 2.06.09-84

() « »,
« » -

« » ,

- ()

1	.....	1
2	.....	1
3	.....	2
4	.....	3
5	.....	5
6	.....	7
7	.....	8
8	.....	14
9	.....	16
10	,	23
11	.....	27
	()	33
	()	41
	()	45
	()	46

21 1997 . 117- «
», 27 2002 . 184-
», 30 2009 . 384-
« ».
«
»:
- - ,
- , - , -
. . . . , - ,
. . . . , , -
.

Hydraulic tunnels

2013-01-01

1**2**

:
 14.13330.2011 « II-7-81* »
 16.13330.2011 « II-23-81* »
 20.13330.2011 « 2.01.07-85* »
 23.13330.2011 « 2.02.02-85* »
 31.13330.2012 « 2.04.02-84* »
 »
 41.13330.2012 « 2.06.08-87 »
 58.13330.2012 « 33-01-2003 »
 »
 63.13330.2012 « 52-01-2003 »
 »
 91.13330.2012 « II-94-80 »
 26633-91
 21153.1-75
 14637-89
 380-2005
 19282-73

1

(),

()

3

3.1

3.2

3.3

3.4

3.5

3.6

3.7

().

3.8

3.9

3.10

3.11

3.12

3.13

3.14

3.15

4.5

4.6

(, ,)

4.7

4.8

4.9

4.10

23.13330.

4.11

4.12

I II

5

5.1

5.2

5.3

5.1.

10 /

60°.

(10 /)

1)

I II

1).

5.4

6 .

(1),

1.

f

21153.1

10.

()

1

	f ()				
		r_1/b	r_2/b	r_3/b	r_4/b
I	$f \geq 8$	0,71	0,1 – 0,15	–	–
II*	$8 > f > 4$	0,5	0,1 – 0,15	–	–
III**	$4 \geq f \geq 2$	0,25	0,1 – 0,25	1 – 0,9	–
IV	$f < 2$	0,5	0,1 – 0,15	1 – 1,5	1 – 1,5
* I ()					
**					
1	1	$h/b = 1.$			
0,3h		$h/b > 1.$			
2					
()					

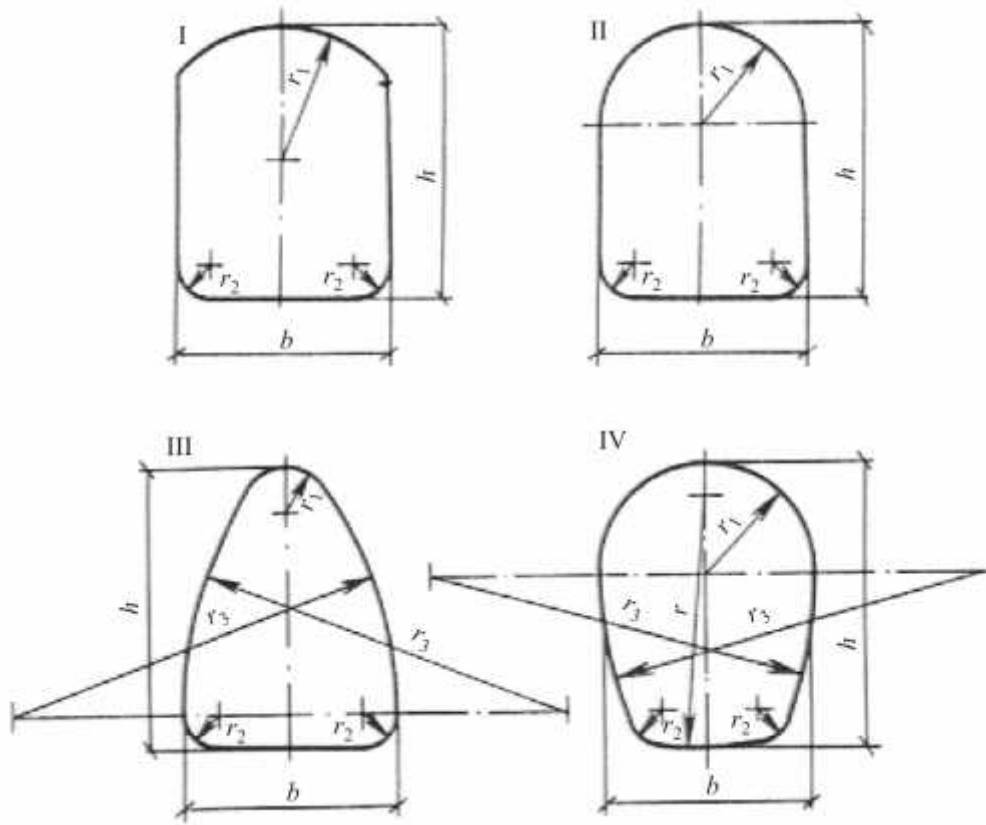
5.5

5.6

5.7

5.8

40



I -

5.9

5.10

6

6.1

(,)

41.13330

6.2

:

.....	20
.....	30
.....	25

W6,

-

W8.

41.13330.

() ,

180 .

6.3

()

6.4

-
B_t 2,4.

-

6.5

()

B_t 2,4; *B_t* 2,8; *B_t* 3,2
3,25×10⁴, 3,6×10⁴ 3,9×10⁴ .

6.6

6.7

() ,

26633.

5 – 8 %

6.8

-II (300) -III (400).

41.13330.

6.9

41.13330.

16.13330.

7

7.1

7.2

7.3

;

;

;

;

7.4

:

;

()

7.5

7.6

(50)

7.7

15 /

7.8

7.9

7.10

7.11

10 /

7.12

7.13

6 .

7.14

7.15

- .
 - 10 / ;
 - , 10 .

7.16

2.
 -
 , (, ,
 , ,) .
 -
 -
 - 0,5 .
 -
 -
 .
 $f = 4 \cdot 8$

7.17

(,) ,
 () .
 , ,
 ,
 , 0,25 - / , ,

7.18

0,15 0,15 r_i b .

2

	f $0, / ^3(/ ^3)$								
	$f > 8;$ $0 > 5000$ (500)			$f = 4 - 8;$ $0 = 2000 - 5000$ (200 - 500)			$f < 4;$ $0 < 2000$ (200)		
	30*	30 100	100	30*	30 100	100	30*	30 100	100
:	+	+	+	+	+	+	+	-	-
-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	-	-	+	-	+	+	+	+	+
:	-	-	-	-	+	-	-	-	-
,	-	-	-	-	-	+	-	-	+
,	-	-	-	+	-	-	+	+	-
,									
*									
1	«+»								
2	«-»								

7.19

..... 20

..... 10
 10
 - :
 10
 5
 5

7.20

(7) , 0,5 %.

0,3 %, $f < 4$,
 $f \geq 4 - 0,15 \%$.

1 %.
 7.21

(60 – 70 %)

7.22

30 ;
 40 » » » » 50 »;
 50 » » » » 50 ».

10 .

10

10

7.23

, ,
 ()

50 .

:

;

« »

;

() -

7.24

7.25

7.26

30°)

7.27

7.28

7.29

7.30

7.31

8

8.1

;

8.2

8.3

8.4

8.5

8.6

8.7 ()

8.8

(),

8.9

8.10 (,),

8.11

8.12 -

8.13 -

102.13330.2012

8.14

8.15

8.16

8.17

8.18

8.19

9

9.1

9.2

9.3 , ,). (, , , - . ,

9.4 () : ; , ; () ;

9.5 (3), : , ; - , ; , ;

9.6 , , , , : , , ; ,

9.7 (,) , , ,

9.8 , ,

9.9 14.13330.

9.10 : ; ; ;

:	()	<p>1 ,</p> <p>2 :</p> <p>();</p> <p>3 ,</p> <p>4 ,</p> <p>5 :</p> <p>;</p> <p>6 ,</p> <p>;</p> <p>7 200</p> <p>0,5 - 100</p>

3

<p>:</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>(,)</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>:</p> <p>()</p> <p>,</p>	<p>1</p> <p>,</p> <p>-</p> <p>2</p> <p>,</p> <p>,</p> <p>3</p> <p>100 ,</p> <p>50 – 150</p> <p>4</p> <p>,</p> <p>,</p> <p>(</p> <p>,</p> <p>)</p> <p>5</p> <p>,</p>
		<p>1</p> <p>50 – 100</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>()</p>

3

) (	1	,
	2	50 – 60 .
	3	,
	(. 9.5)	,

9.11

;

;

;

;

9.12

,

9.13

,

(.

102.13330.2012

9.14

9.15

9.16

9.17

9.18

9.19

9.20

9.21

9.22

4.

1
2 « »
3
4 , , J_{\max}

$$J_{\max} = \frac{H}{r} / \ln \frac{R}{r}, \quad (1)$$

$r, R -$

4

$H,$	() $q, / \cdot ^2,$	$k,$ $/ ,$	J
30	0,05	0,05	10
30 100	0,03	0,03	15
100	0,01	0,01	20

9.23

, $0,01 / \cdot ^2.$

10

10.1

, 58.13330, 20.13330 14.13330.

10.2

; ;

10.3

; ;

10.4

; ;

10.5

; ;

;

10.10

$$f < 4$$

10.11

$$g_{qzn}, \quad / \quad ^2, \quad f < 4$$

$$g_{qzn} = gh_q, \tag{2}$$

0,7 b 5,5 ; 1,0 b 7,5 ; b : 0,7 1,0
 $5,5 < b < 7,5$;
 $g = 9,81 \quad 10 \quad / \quad ^2$;
 $h_q -$, ;

$$h_q = \frac{b_q}{2f};$$

$b_q -$, ;

$$b_q = b + 2htg(45^\circ - \frac{\varphi}{2});$$

$h -$, ;

$\varphi -$ ($\varphi = \arctg f$).

10.12

$$g_{qzn}, \quad / \quad ^2, \quad f \quad 4$$

$$g_{qzn} = gh_{q1}, \tag{3}$$

$h_{q1} = k_a b -$, ; $k_a -$ 6

6

f	k _a		
	(M _j < 1,5)	(1,5 M _j < 5)	(5 M _j < 30)
4	0,2	0,25	0,3
5 8	0,1	0,2	0,25
10	0,05	0,1	0,15

1,5

10.13 : $\frac{g_{qzn}}{k}$ 20 %.
30 %.
 $g_{qzn}, / ^2,$

$$f < 4 -$$

$$g_{qzn} = g(h_q + 0,5h) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}); \quad (4)$$

$$f < 4 - \quad (4) \quad h_q$$

10.14 , $\frac{f}{6} = \frac{4}{-}$ 6 -

$$f = 4 \quad g_{qzn} = 0,1 gh. \quad (5)$$

10.15 (400)

10.16 $f < 4,$,

10.17 91.13330, .

10.18). (,

()

10.19 , 1.

10.20

11

11.1

58.13330,

11.2

41.13330 C 16.13330.

11.3

le,

58.13330;

γ_n

11.4

γ_c ,

7,

,

-

8.

11.5

11.6

7

	c	
() -	1,0	0,9 (0,75)
() -	1,1	1,3 (1,15)

7

		c	
)	(	0,9	-
<p>- < 2000 / 3 (200' / 3), , , , 0,25 - / . ,</p>			

8

		c	
	()	0,75 (0,9) 0,65 (0,75)	1,0 (1,1) 0,8 (0,9)
		0,75	0,9
1) ())) 2	cs , :); : $p_{wi} \leq 0,15 \cdot 10^{-2} K ;$ $p_{wi} \leq 10^{-3} \rho g h_{qz} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha),$ $\mu = 0,7$ α K) 2	, ; , ; ; , / 3, ; 11.13; , c	lc

11.7

10.4 10.5

11.8

11.9

I II

9.

J_H				Cl' SO" /		
	0,25	1	2	100	200	400-1000
5	0,1	0,18	0,35	0,4	0,35	0,3
50	0,07	0,15	0,32	0,4	0,35	0,3
300	0,05	0,12	0,23	0,3	0,25	0,2
—				0,2	0,15	0,1
1	$H_i > H_{el} -$; $H_i < H_{el} -$.					
2	III, IV 1,3 1,6 , , , 0,5 .					

11.10 J_H
 k :

$$J_H = 1 \quad k \leq 10^{-4} \quad / ;$$

$$J_H = \frac{H_i - H_{el}}{h_k} \quad k \geq 10^{-2} \quad / ,$$

$H_i -$, ;
 $H_{el} -$, ;
 $h_k -$, .
 $10^{-4} < k < 10^{-2}$ J_H .

11.11

11.12

:

$$E_k = 0,7E_b ;$$

$$E_k = E_a .$$

:

—

$$E_k = E_a ;$$

—

$$E_k = 0,7E_b .$$

11.13

· ()
 E_q ·
 () ,
).

·
 , E_q

$$E_q = K (1 + v), \quad (6)$$

$K = Kr_e -$, / ²;
 $K -$ / ³;
 $r_e -$, ·
 ,
 1,4,

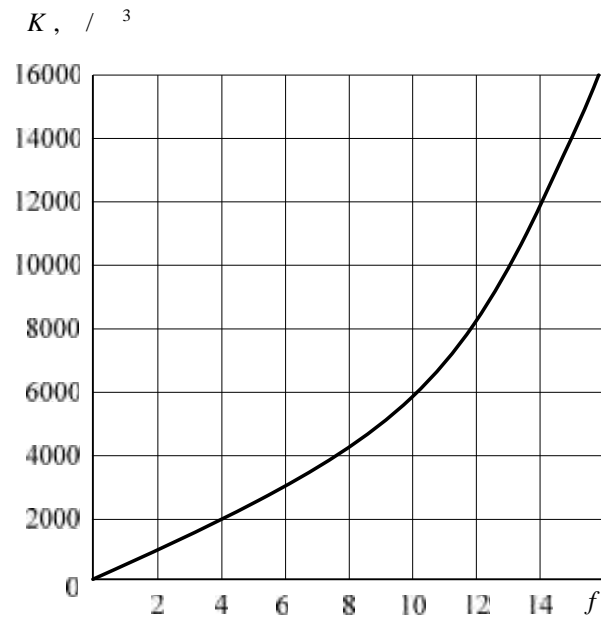
11.14

· K E_q I II
 -
 ,
 () ,
 III IV

11.15

11.16

K · 2
 -
 , $f \leq 10$,
 , 2, 30 %.



2 –

f

11.17

11.18

11.19

11.20

30°

11.21

$K \cdot 10^{-3} /$

P

$$P = (H_i - J_H h_k) \gamma_f,$$

$J_H -$

11.10;

$h_k -$

;

0,9.

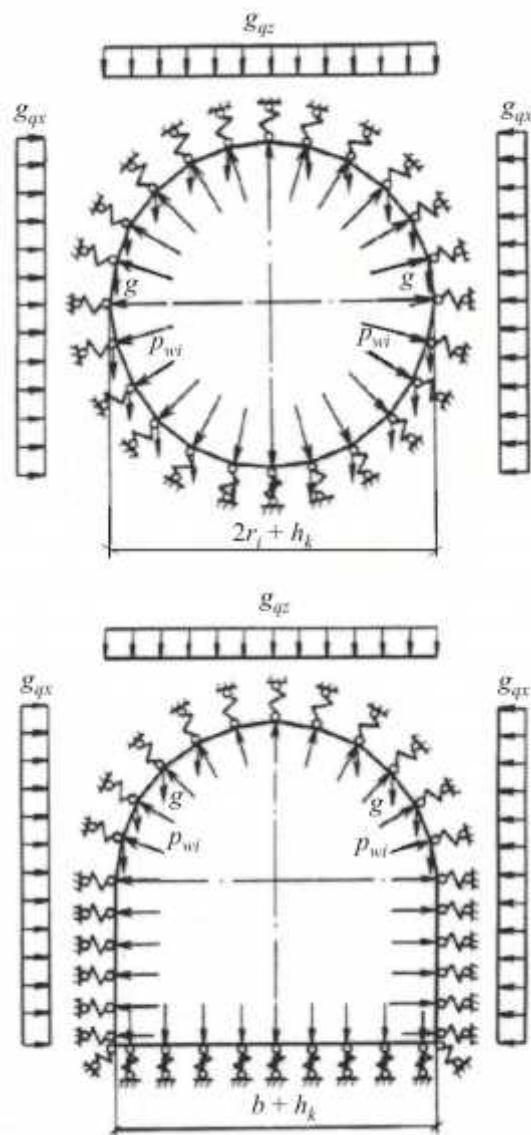
11.22

11.23

()

.1

.1.



.1-

(10,
-)

11.13 11.16. 11.12,

s 41.13330.
.2 , , -

$$h_{qz} \geq \frac{\gamma_c K r_i R_s}{\gamma_{lc} \gamma_n \rho g r_e E_s} \quad (.1)$$

$$A_s = \frac{\gamma_n \gamma_{lc} P_{wi} r_i}{\gamma_c R_s} - \frac{A_{ss} R_y}{R_s} - \frac{K r_i}{E_s}, \quad (.2)$$

(1) -

$$A_s = \frac{\gamma_n \gamma_{lc} P_{wi} r_i}{\gamma_c R_s} - \frac{A_{ss} R_y}{R_s} - \frac{\rho g h_{qz} r_e}{100 \gamma_c R_s}, \quad (.3)$$

P_{wi} - ;
 h_{qz} - ;
 R_s, E_s - ;
 A_{ss} - , ², 1 ;
 R_y - , 16.13330,
 ;
 - , / ³;
 ρ - , / ³;
 $\gamma_c, \gamma_n, \gamma_{lc}$ - 11.3.
 (.2) (.3) $A_s < 0$ (. .),
 A_s 7.18.

.3

.3.1

.1.

.3.2

) , , (

.1

			t,		
			t - 40	-40 > t - 50	-50 > t - 65
3	14637 380	10 - 30	5	-	-
5	14637	10 - 30	2	-	-
09 2	19282	10 - 32	12	-	-
09 2	19282	10 - 60	12	13	15
10	19282	10 - 40	12	13	15

1 «-» ,
2 -

γ_f ,

γ_n

γ_c

10.8 11.3.

γ_c

.3.3

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2} \leq \frac{\gamma_c R}{\gamma_n}, \quad (.4)$$

:

$$\sigma_x \leq \frac{R\gamma_c}{\gamma_n}; \quad \sigma_z \leq \frac{R\gamma_c}{\gamma_n},$$

$\sigma_x, \sigma_z -$

$R -$

$$\frac{R_u}{\gamma_u},$$

$- R_y;$

R_u, R_y – , , , , ,

16.13330;

γ_u – , , 1,3.

.3.4 σ_z , , :

$$\sigma_z = \frac{p_{wi}r_m + a_r K_{or}}{t + 4,33 \cdot 10^{-6} r_m K_{or}}, \quad (.5)$$

p_{wi} – , ;
 r_m – , ;
 t – , ;
 a_r – , / , 3 ;
 K_{or} – , / , 3 ;

$$K_{or} = \frac{1}{\frac{1}{E_b} \ln \frac{r_e}{r_m} + \frac{1}{K_o}}; \quad (.6)$$

r – , ;
 E_b – , ;

) $\frac{a_r}{r_m} \geq 4,33 \cdot 10^{-6} \frac{p_{wi}r_m}{t}$

$$\sigma_z = \frac{p_{wi}r_m}{t}. \quad (.7)$$

.3.5 , ,

$$a_r = a_{r1} + a_{r2} + a_{r3}, \quad (.8)$$

a_{r1}, a_{r2}, a_{r3} – , , .
 a_{r1}

$$a_{r1} = 15,6 \cdot 10^{-6} r_m (t_{\max} - t_{\min}), \quad (.9)$$

t_{\max} – , ° ;
 t_{\min} – , ° .
 a_{r2} , a_{r3} ,

$$a_r = 3 \cdot 10^{-4} r_m. \quad (.10)$$

3.6 σ_z ,

$$\sigma_z = \frac{P_{we} r_m}{t}, \quad (.11)$$

3.7 P_{we} – , .
: –

$$\sigma_{x1} = -2,52t_d, \quad (.12)$$

t_d – , ° ;

$$\sigma_{x2} = 0,3\sigma_z. \quad (.13)$$

3.8 t_d :

$$t_d = t_{\max} - t_{b,\min}, \quad (.14)$$

$$t_d = t_{\min} - t_{b,\max}, \quad (.15)$$

t_{\max}, t_{\min} – , ° ;

$t_{b,\max}, t_{b,\min}$ – , ° .

3.9 (, 10°), .

3.10 P_{we} ,

$$P_{we} < \frac{\gamma_c P_{cr} \zeta}{\gamma_n}, \quad (.16)$$

P_{cr} – , ;
 ζ – , .2.

$$\frac{P_{cr} r_m}{t R_{yn}} > 2,5$$

$$P_{cr} \zeta = \frac{R_{yn} t}{r_m}, \quad (.17)$$

R_{yn} – , .

.2

$p_{cr}r_m / tR_{yn}$	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5
ζ	1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4

.3.11

$$\frac{l}{r_m} > 2 \quad (\quad l - \quad , \quad)$$

.2.

.3.12

P_{cr} , ,

:

$$0,5 \leq \frac{l}{r_m} \leq 2$$

$$p_{cr} = 0,92E_s \frac{t}{l} \left(\frac{t}{r_m} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (.18)$$

$$\frac{l}{r_m} < 0,5$$

$$p_{cr} = E_s \frac{t}{r_m} \left[\frac{1}{n_w^2 m^2} + 0,092 \left(\frac{t}{r_m} \right)^2 n_w^2 \left(1 + \frac{2}{m} \right) \right], \quad (.19)$$

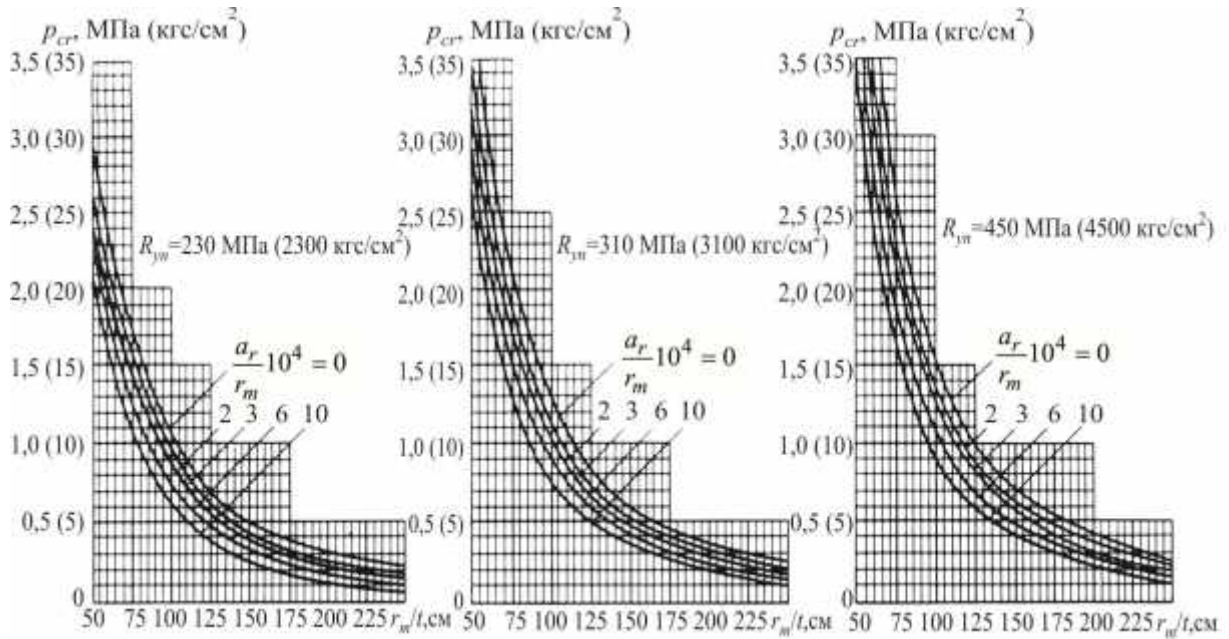
E_s –

n_w –

, ;

p_{cr} ;

$$m = 1 + \left(\frac{n_w l}{\pi r_m} \right)^2$$



(R_{yn} – , ;
 a_r – , ;
 r_m – , ; t – ,)
 .2 – p_{cr}
 r_m / t

.3.13

$$\gamma_n \frac{p_{we} l_s r_m}{\gamma_c A_r} \left(1 + \frac{y_r}{r_r} \chi \right) + \frac{y_r E_s a_r}{r_r^2} \chi \leq R_y, \quad (.20)$$

y_r – , ;
 χ – , .3

$$p_{rel} = \frac{\gamma_n p_{we}}{\gamma_c E_s \left[0,092 \left(\frac{t}{r_m} \right)^3 + \frac{J_r}{r_r^3 l} \right]}; \quad (.21)$$

$$a_{rel} = \frac{a_0}{a_r + \frac{p_{we} l_s r_m r_r \gamma_n}{\gamma_c E_s A_r}}, \quad (.22)$$

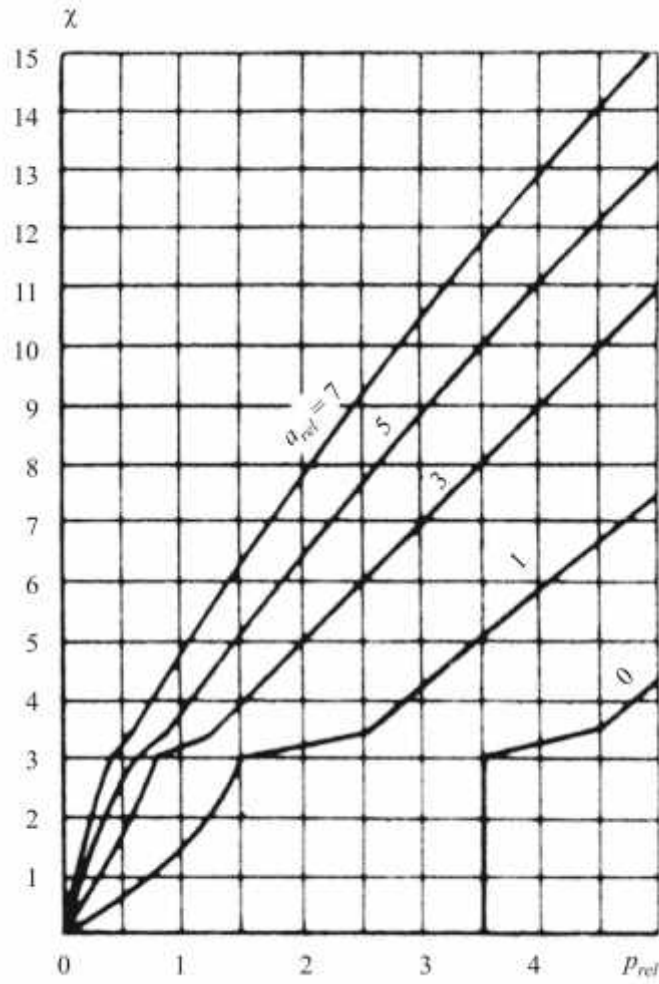
102.13330.2012

$r_r, A_r, J_r -$

, , , ²,

$$l_s = 1,56\sqrt{r_m t} + t_r, \quad 4;$$

$0 = 0,0025r_m -$



.3 -

$t \quad p_{rel} \quad a_{rel} \text{ N const}$

()

.1

10 11 ,
 11.12. ()
 41.13330. , 7.15,

.2

h_k , $K < 2000 / 3$:

$$h_k = \frac{r_i}{1 + \frac{30\mu}{R_{btm}}} \left(\frac{P_{win}}{\gamma_c R_{btm}} - \frac{K}{E_k} \right), \quad (.1)$$

P_{win} - , ;
 E_k - , $0,7 E_b$;
 R_{btm} - ,
 63.13330 , ;
 μ - ;
 $K > 2000 / 3$

$$h_k = \frac{r_i (P_{win} - K \varepsilon)}{\gamma_c R_{btm} \left(1 + \frac{30\mu}{R_{btm}} \right) + K \varepsilon}, \quad (.2)$$

$$\varepsilon = 0,25 \cdot 10^{-4} \gamma_c R_{btm} \lg(0,05K + 10).$$

.3

- h_k ,

$$h_k = 0,35a \sqrt{\frac{g_{qzn} + P_{we}}{\gamma_c R_{btm}}}, \quad (.3)$$

g_{qzn} – (. 10.12), .

P_{we} –

R_{btm} –

γ_c –

– 1, – 0,6;

)

$$a = l_a - \frac{k_b g_{qzn}}{c} (l_a + b), \quad (.4)$$

$l_a = h_{q1} + l_{q1}$ – , ;

h_{q1} – , (. 10.12);

l_{q1} – ,

0,5 – 0,7 ;

b – , ;

– ,

$= 0,03f$, ;

k_b – , 0,2 – 0,25 I

0,25 – 0,3 –

(. 1);

)

$$a = \frac{l_a}{3} \sqrt{\frac{c}{g_{qzn}}}; \quad (.5)$$

)

$$a = \sqrt{\frac{N_a}{\rho g h_q}}, \quad (.6)$$

N_a – ,

– 80–100 ;

ρ – , / ³.

.4

a_{cre} , ,

$$a_{crc} = 100c_{crc} \frac{P_{win}}{K}, \quad (.7)$$

$$c_{crc} = 0,28 + 625 \frac{P_{win}}{K} \leq 1.$$

.5

 $a_{crc},$

$$a_{crc} = \alpha\beta\eta \frac{\sigma_s - \sigma_{s0}}{E_s} 7,7(4 - 100\mu)\sqrt{d}, \quad (.8)$$

 $\alpha -$

$$M_j : \alpha = 1 \quad M_j \geq 5; \quad = 2 \quad M_j \leq 1.$$

$$1 \leq M_j \leq 5 \quad \alpha$$

 $\beta -$

$$- 1,2, \quad - 1;$$

 $\eta -$

$$- 1, \quad - 1,4;$$

 $\sigma_s -$
 $\sigma_{s0} -$

$$\sigma_{s0} = 0;$$

 $\mu -$

$$0,02 (\quad s - \quad \mu = \frac{A_s}{bh}, \quad 7.18);$$

 $d -$

$$\sigma_s = \frac{M_n}{A_s z}, \quad (.9)$$

$$\sigma_s = \frac{N_n}{A_s}, \quad (.10)$$

$$\sigma_s = \frac{N_n(e_t \pm z)}{A_s z}, \quad (.11)$$

$M_n, N_n -$;
 $z -$,

9.
 (.11) «+»
 «-» -

()

.1 $Q, / \times , 10$

$$Q = \frac{1}{\frac{h_k}{k_{crc} n_{crc}} + \frac{1}{k M_f}} \leq Q_{adm} 2\pi r_e \cdot 10^{-7}, \quad (.1)$$

$k_{crc} - 1$, $n_{crc} = 0,0628r ;$ $k_{crc} = a_{crc}^3 ;$ (.2)

$n_{crc} -$: $n_{crc} = 0,0628r ;$
 $n_{crc} = \frac{2\pi r_e 8\mu}{d} ;$

$\mu -$;
 $d -$, ;
 $r -$, ;
 $k -$, / ;
 $M_f -$,

$$M_f = \frac{2\pi}{\ln \frac{r_f}{r_e}} ; \quad (.3)$$

$r_f -$,
 $Q_{adm} -$, ;

- : $Q_{adm} = 1 / 1000^2$ 10
 - 100
 ; $Q_{adm} 0,3 \quad 0,5 / 1000^2$ 10
 -
 100 .

.2 $Q_{adm} , / ,$

$$Q_{abs} = \frac{Ql(H_i - H_e)}{10}, \quad (.4)$$

$l -$, .
 .3

R_{bm} — ;
 R_{bt} — - ;
 R_{as} — .

h — ;
 b — () ;
 h_k — ;
 t_b — - ;
 r_i — ;
 r_e — ;
 r_m — ;
 r_r — ;
 t — ;
 A_s — ;
 h_0 — ;
 a_c — ;

e_t, e_c — ;
 μ — ;
 d — ;
 A_r — ;
 A_{ss} — ;
 J_r — .

f — ;
 γ_n — ;
 γ_{lc} — ;
 γ_c — .

102.13330.2012

624.196(083.74)	93.160
:	,
,	,
,	,

102.13330.2012

2.06.09-84

« »

. (495) 930-64-69; (495) 930-96-11; (495) 930-09-14

60×84 ¹ / ₈ .	100 .	92/13.
-------------------------------------	-------	--------

« »
., .18