

38.13330.2012

(,)

2.06.04-82*

2012

38.13330.2012

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

1 - « . . . »

2 465 « »

3 ,

4 () 29 2011 . 635/12 1 2013 .

5 (). 38.13330.2010 « 2.06.04-82*
(,)»

« », -
() « ».

« », -
()

1	.....	1
2	.....	1
3	.....	1
4	.....	4
5	.....	4
6	()	21
7	.....	29
	()	50
	()	60
	()	60
	(,)	61
	()	65
	()	69
	()	73
	()	88
	()	90
	()	92
	()	94
	()	100
	()	104
	()	105
	()	108
	()	110
	.....	111

2.06.04-82*.

30

2009 .

384- 3 «
».

« . . . » (. . . —
 , - . . . , . . . ,
 , . . . „ - . . . ,
 . . . „ . . . „ ,
 . . . (. . .); - . . . ,
 . . . (. . .), - . . . ,
 . . . (. . .) „
 . . . («26 »)
 « . . .
 », « . . . » ,
 , « . . . » , « . . . » ,
 « . . . » , « . . . » ,
 », -
 ,
 ,
 .

(,)

Loads and impacts on Hydraulic structures (from wave, ice and ships)

- 2013-01-01

1

2

:
19185-73
20.13330.2011 « 2.01.07-85* »
58.13330.2012 « 33-01-2003 »

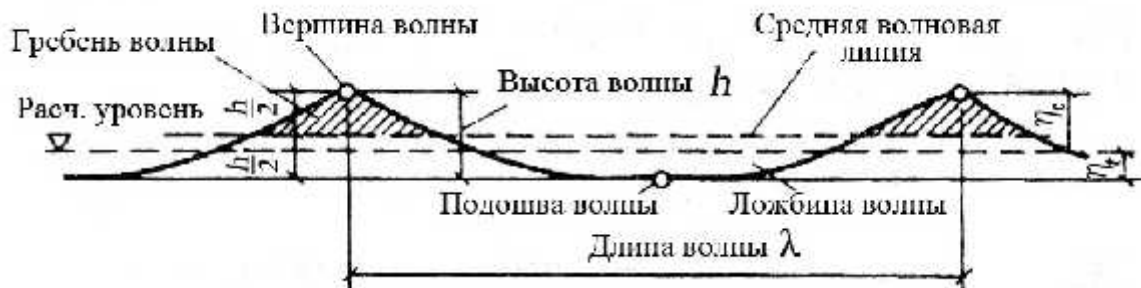
3

19185:
3.1 : ,
3.2 ;
3.3 : () ,
3.4 : (1);
3.5 : (1);
3.6 : ,
(1);

38.13330.2012

- 3.7 : , , .);
- 3.8 : (1);
- 3.9 : ;
- 3.10 : , ;
- 3.11 : , ;
- 3.12 : , ;
- 3.13 : ;
- 20 3.14 : , ;
- 3.15 : , ;
- (1);
- 3.16 : , ;
- 3.17 : , ;
- 3.18 : , 30 ;
- 3.19 : , ;
- 3.20 : ;
- 3.21 : ;
- 3.22 : , , ;
- 3.23 : ;
- 3.24 : (), ;
- (. ());
- 3.25 (): (1);
- 3.26 : , , ();
- 3.27 : ;

- 3.28 : , , , , ;
- (1);
- 3.29 : (, 25, 50 100) ; ;
- 3.30 : , ;
- 3.31 : ;
- 3.32 : , ;
- 3.33 : ;
- 3.34 : ;
- 3.35 : , (1);
- 3.36 : , ;
- 3.37 : ;
- 3.38 : ;
- 3.39 : , ;
- 3.40 : , , ;
- 3.41 : ;
- 3.42 : ;
- 3.43 () : (1).



1 -

38.13330.2012

4

4.1

f

f

58.13330,

20.13330.

4.2

[1], [2].

4.3

I 5 ,

5

5.1

5.2

I - 1	100	;
II - 1	50	;
III	IV - 1	25 .

5.3

()

()

[2]

5.4 (),

: (),

5.5

5.6

($d > 0,5 \bar{\lambda}_d$ -):

- $d > 0,5 \bar{\lambda}_d$;

- $0,5 \bar{\lambda}_d < d < d_{cr}$;

- $d_{cr} < d < d_{cu,r}$;

- $d > d_{cu,r}$.

.....

()

5.7

..... 5 %;

..... 1 %;

1. I

2.

()

1

	, %
	1
I II III, IV	1 3 5
I, II III, IV	1 5
1	h_i ; $(1 - 1,4) \bar{\lambda}$,
2	$(0,8 - 1,4) \bar{\lambda}$.
	0,1 %

5.8

() .

5.9

1 %, II III - 5 %, IV - 10 % : I - , , .

1

II

1 % .
2

(, ,) .

5.10

III IV
() .

5.11

5.12

, , , () , , (,) .

5.13

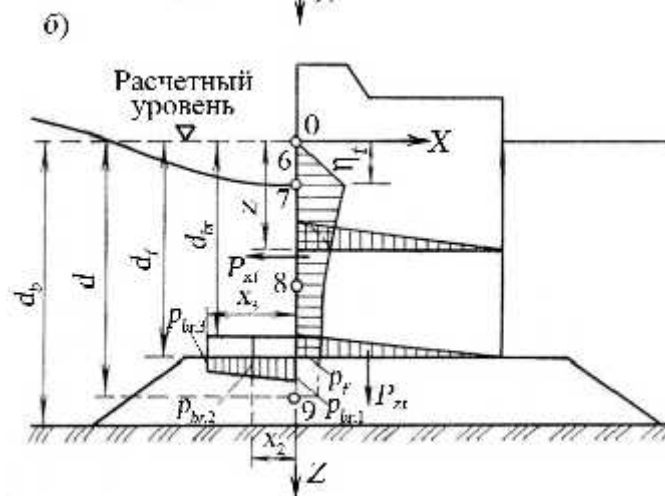
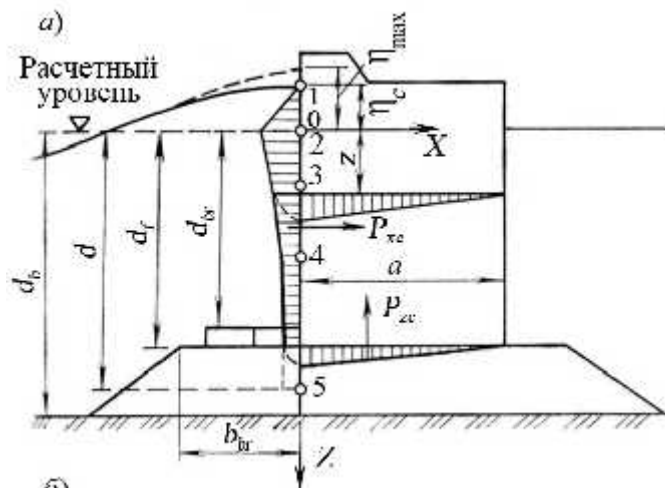
(2)
 $d_{br} > 1,25h$;

$d_b > 1,5h$

d , , d_b , ,

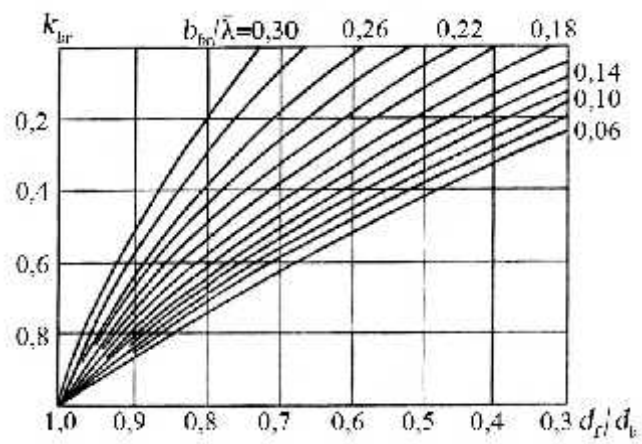
$$d = d_f + k_{br}(d_b - d_f), \quad (1)$$

d_f - , ;
 k_{br} - , 3;
 h - () , , .



(; -)

2 -



3 -

k_{br}

38.13330.2012

5.14

P_x

p

p

5.15

k_{cs}

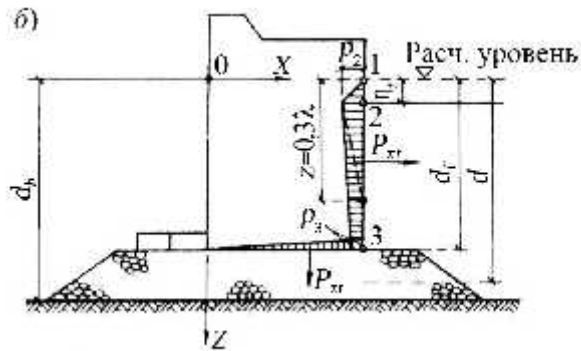
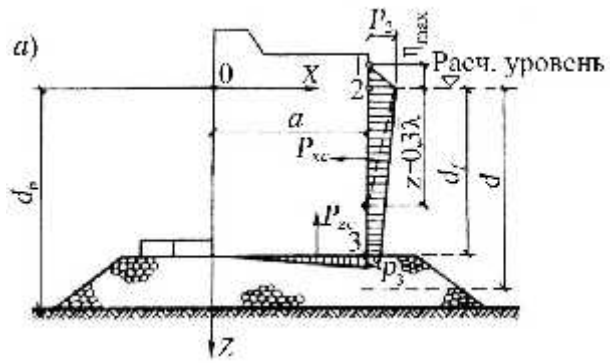
2.

2

	< 45	60	75
k_{cs}	1	0,9	0,7

5.16

(4).



4 -

5.17

(2 4)

5.18

$V_{b,max}$ / ,

$0,25\bar{\lambda}$

$$V_{b,max} = \frac{2k_{sl}\pi h}{Tshkd_b}, \tag{2}$$

$$k_{sl} = 0,25 \left(\frac{\bar{\lambda}}{h} \right)^{0,4}, \quad \frac{\bar{\lambda}}{h} \geq 30 \quad k_{sl} = 1,0;$$

$$k = 2\pi / \bar{\lambda} -$$

w,max, ,

$$\tau_{w,max} = \frac{1}{2} \rho f_w V_{b,max}^2, \tag{3}$$

$$f_w = 0,237(a_0/k_s)^{-0,52} - ; \quad a_0 = 0,63k_s \quad f_w = 0,3;$$

$$a_0 = V_{b,max} T / 2 ;$$

$$\bar{T} - , ;$$

$$k_s = k_{s,gr} + k_{s\Delta} -$$

$$k_{s,gr} = D_{50} (= 2-4, = 2,5) -$$

$$= 2,5) -$$

;

$$D_{50}, ;$$

$$k_{s\Delta} = 1,1 D_b [1 - \exp(-25 D_b / L_b)] -$$

$$,$$

$$D_b, ,$$

$$L_b, .$$

$$\bar{T}$$

$$\bar{\tau}_w,$$

,

$$\bar{\tau}_w = \frac{1}{2} \tau_{w,max} . \tag{4}$$

$$V_{b,max} / w,max ,$$

.

$$(,) .$$

5.19

$$d_b = 1,5h \quad (\quad 5) .$$

$$\frac{d_{br} < 1,25h}{P_{xc}, / ,}$$

,

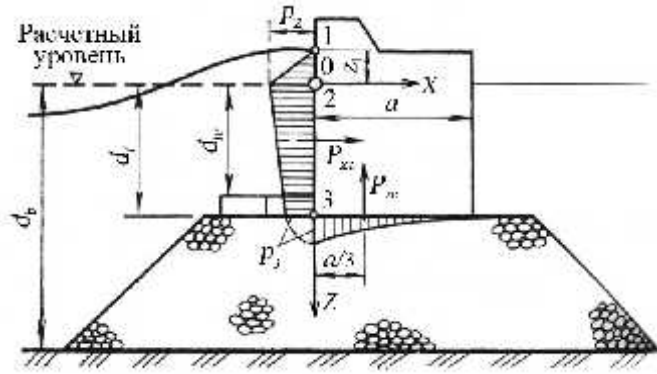
$$p, , z, ,$$

:

$$z_1 = -h \quad p_1 = 0, \tag{5}$$

$$z_2 = 0 \quad p_2 = 1,5\rho gh, \tag{6}$$

$$z_3 = d_f \quad p_3 = \frac{\rho gh}{chkd_f}. \tag{7}$$



5 –

$$P_{zc}, \quad / ,$$

$$P_{zc} = \mu \frac{p_3 a}{2}, \tag{8}$$

$$\mu - , \quad \mu = 0,55 + 0,05 \frac{a}{d_b - d_f}; \quad \frac{a}{d_b - d_f} \leq 3$$

$$\mu = 0,7; \quad \frac{a}{d_b - d_f} \geq 9 \quad \mu = 1,0.$$

$$V_{f,max}, \quad / ,$$

$$V_{f,max} = \sqrt{\frac{qh}{chkd_f}}. \tag{9}$$

5.20

$$0,5\bar{\lambda} \left(\frac{d_b}{d_{cr}} \right) \tag{6).$$

$$\eta_{c,sur} , ,$$

$$\eta_{c,sur} = 0,5d_f + h_{sur}, \tag{10}$$

$$\frac{h_{sur}}{d_{cr}} - , ;$$

$$P_{xc}, \quad / ,$$

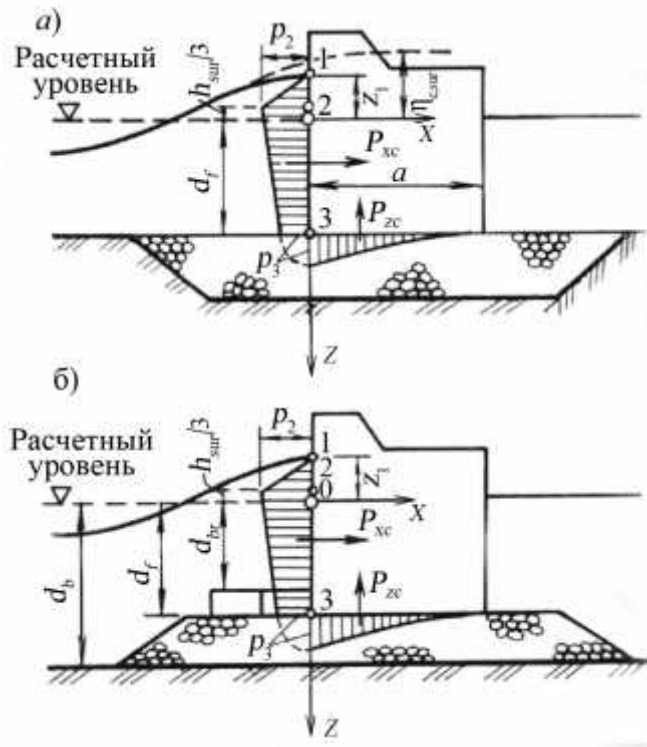
$$p, \quad , \quad z, \quad ,$$

$$z_1 = -h_{sur} \quad p_1 = 0; \tag{11}$$

$$z_2 = -\frac{1}{3}h_{sur} \quad p_2 = 1,5\rho gh_{sur}; \tag{12}$$

$$z_3 = d_f \quad p_3 = \frac{\rho gh_{sur}}{ch \frac{2\pi}{\lambda_{sur}} d_f}. \tag{13}$$

$$\bar{\lambda}_{sur} - , .$$



6 -

$$P_{zc}, \quad / , \quad (\quad p_3)$$

$$P_{zc} = 0,7 \left(\frac{p_3 a}{2} \right). \quad (14)$$

$$V_{b,max}, \quad / ,$$

$$V_{b,max} = \sqrt{\frac{gh_{sur}}{\operatorname{ch} \frac{2\pi}{\lambda_{sur}} d_f}}. \quad (15)$$

5.21
I II

5.22

$$h_{run} (\quad 7)$$

;
;
;
;

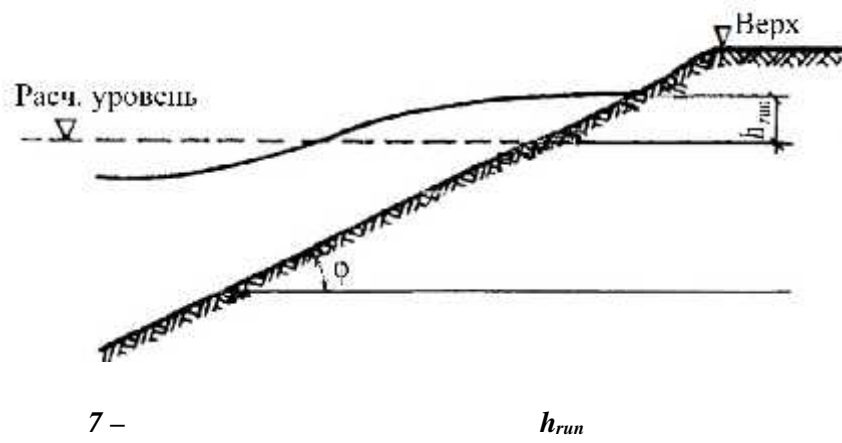
;

,

(,)

5.23

/



5.24

,

5.25

I II

/

5.26

(8,)
 $\alpha = x/$

5.27

(8,),

$\alpha = x/$

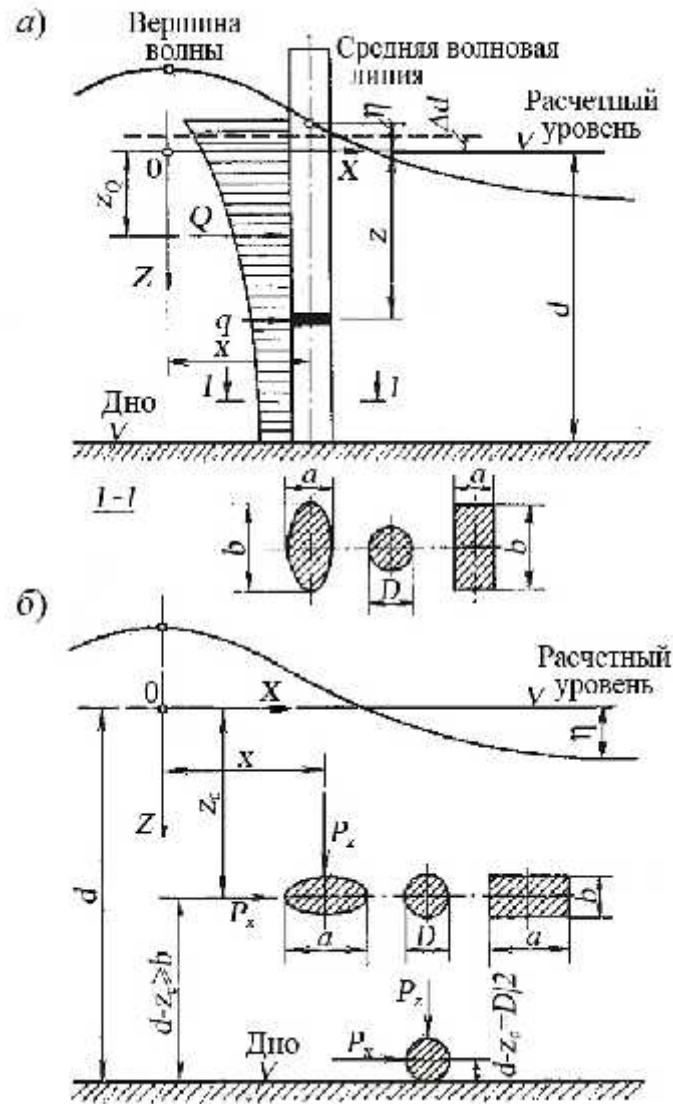
:

$P_{x,max}$

$P_z;$

$P_{z,max}$

$P_x.$



8 -

5.28

5.29

38.13330.2012

5.30 $V_{b,max}$ / , , 0,25
 (=90° 270°)
 (=0°),

$$V_{b,max} = 2\varphi_r \frac{\pi h}{T} \cdot \frac{1}{shkd}, \quad (16)$$

r 3.

3

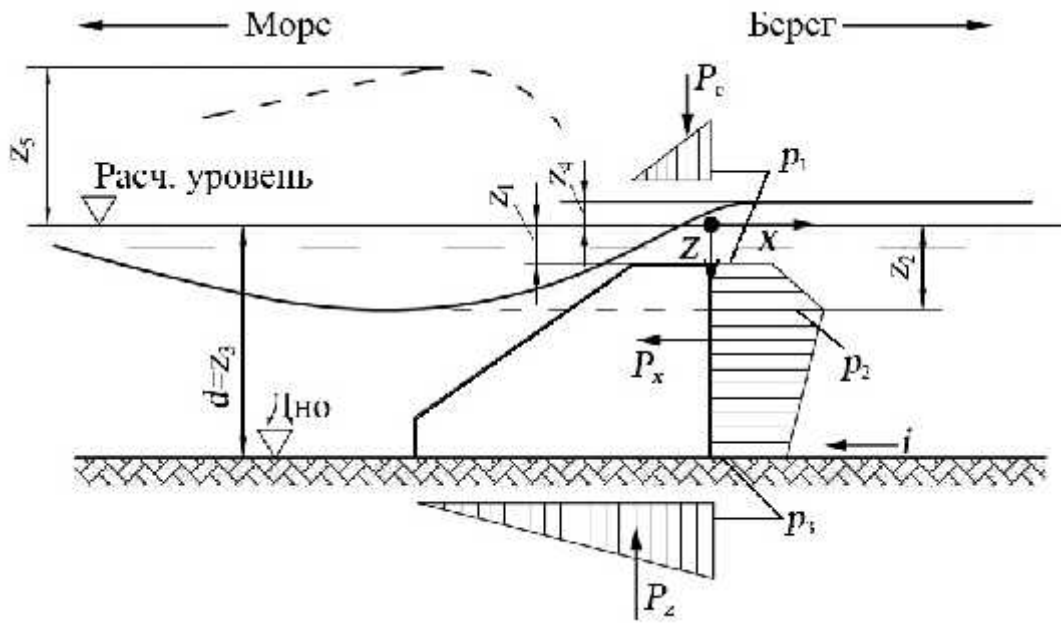
	r D/		
	0,2	0,3	0,4
	0,98	0,87	0,77
	0,67	0,75	0,75

5.31 P_x / , P_z P_c ,
 / ,

(9). p , z
 i , 4.

4

z ,	z ,	p ,	
z_1 ()		$p_1 = \rho g (z_1 - z_2)$ $p_1 = p_2$	$z_1 < z_2$ $z_1 \geq z_2$
z_2 ()	$z_2 = 0,28 \left(\frac{h}{d}\right)^{0,72}$	$p_2 = \rho g h \left(0,015 \frac{\bar{\lambda}}{d} + 0,23 \frac{d - z_1}{d}\right) - \rho g z_4$ $p_2 = \rho g (z_2 - z_4)$	$i \leq 0,04$ $i > 0,04$
z_3 ()		$p_3 = k_w p_2$; $k_w = 0,7 + 0,003 \left(\frac{\bar{\lambda}}{d}\right)^{1,3}$ $p_3 = p_2$	$i \leq 0,04$ $i > 0,04$
z_4 ()	$z_4 = -k_{rd} (z_1 - z_5) + z_1$ $k_{rd} = 0,88 - 0,31 \frac{h}{d}$		
z_5 ()	$z_5 = 0,37 \left(\frac{h}{d}\right)^{1,2}$		



9 -

5.32

$V_{b,max}$ / ,

(2).

(2)

k_{sl}

$$k_{sl} = 0,18 \left(\frac{\bar{\lambda}}{d} \right)^{0,6}; \quad \frac{\bar{\lambda}}{d} > 20$$

$k_{sl} = 1,1.$

$V_{b,max}$ / ,

(9) (15).

5.33

P_c / ,

P_x / ,

P_z

)

(10).

p , η_c ,

:

)

(10,)

:

$$p = p_u = \rho g h_{br} \left(0,033 \frac{\bar{\lambda}}{d} + 0,75 \right); \quad (17)$$

$$\eta_c = -\frac{p_u}{\rho g}; \quad (18)$$

)

(10,)

:

$$p = p_i = \left(1 - 0,3 \frac{a_i}{a_n}\right) p_u ; \tag{19}$$

$$\eta_c = -\frac{p_i}{\rho g} ; \tag{20}$$

)
(10,) :

$$p = p_l = 0,7 \left(1 - \frac{a_l}{a_r}\right) p_u ; \tag{21}$$

$$\eta_c = \frac{p_l}{\rho g} ; \tag{22}$$

η_c – , ;
 h_{br} – , ;
 a_n – (,) ;
 a_i – , ;
 a_l – , ;
 a_r – (,) ,

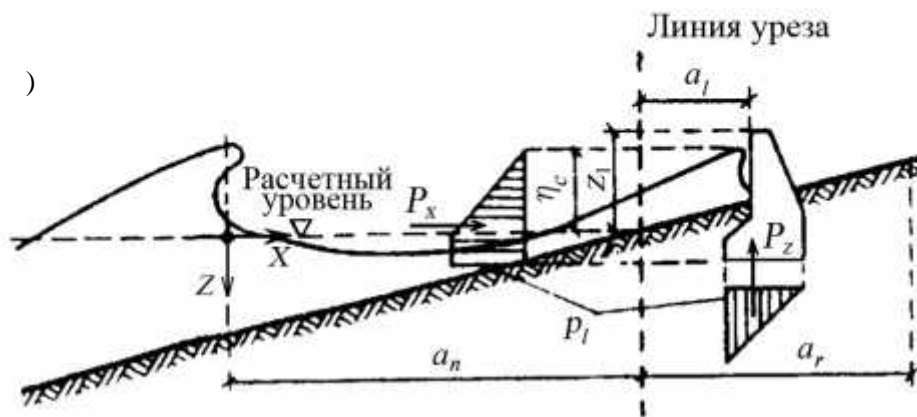
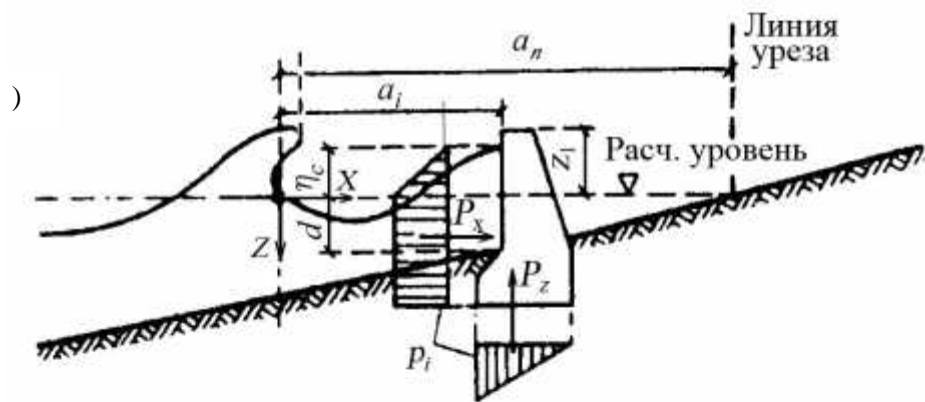
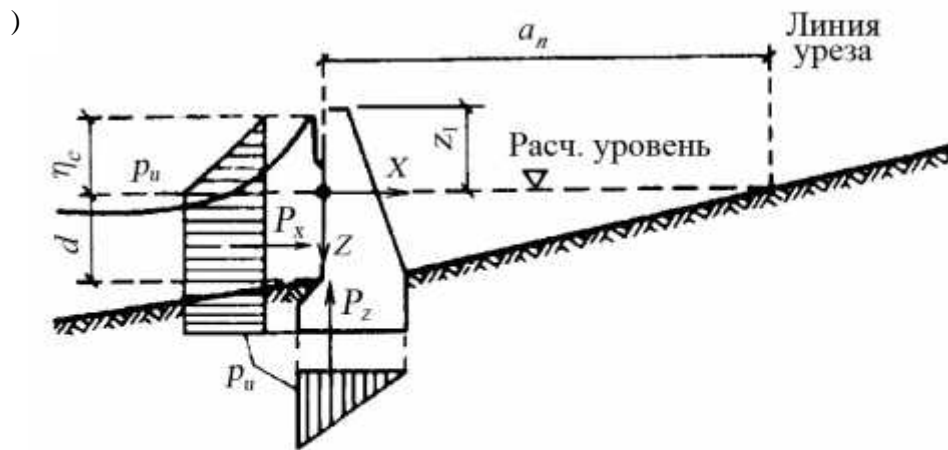
$$a_r = h_{sur1\%} \text{ctg}\varphi ; \tag{23}$$

$h_{sur1\%}$ – , , 5.22.

1 $z_1 - 0,3h$, k_{zd} , 5.
 (17), (18) (21),
 2 5.20.
 3 (19) (21) p_u (17), d – , 10 .

5

z_1	-0,3h	0,0	+0,3h	+0,65h
k_{zd}	0,95	0,85	0,8	0,5



10 -

5.34

P_x , / , P_z , / ,

()

(11); p_r , ,

$$p_r = \rho g (\Delta z_r - 0,75 h_{br}), \quad (24)$$

$\Delta z_r -$

5.35 $a_l < 3h_{br} \Delta z_r = 0,25 h_{br}$

5.36 $P_{x,ext}, P_{x,int}, P_z$ (12).

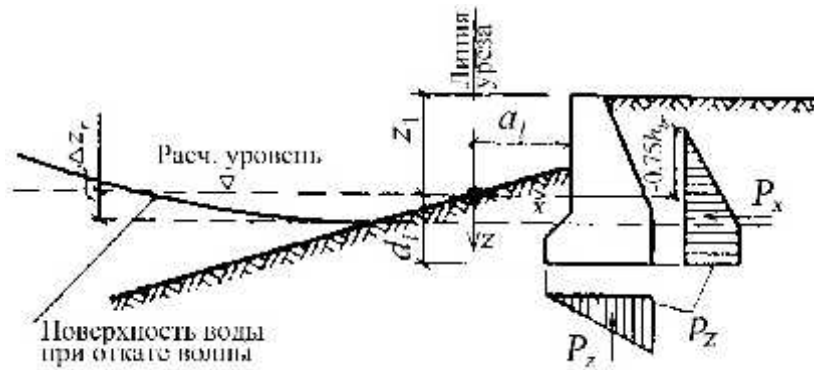
5.36 $P_{ext}, P_{int}, \eta_{ext}, \eta_{int}$ (13).

$$P_{ext(int)} = \frac{3}{4} k_\alpha \rho g h (1 + \cos^2 \alpha), \quad (25)$$

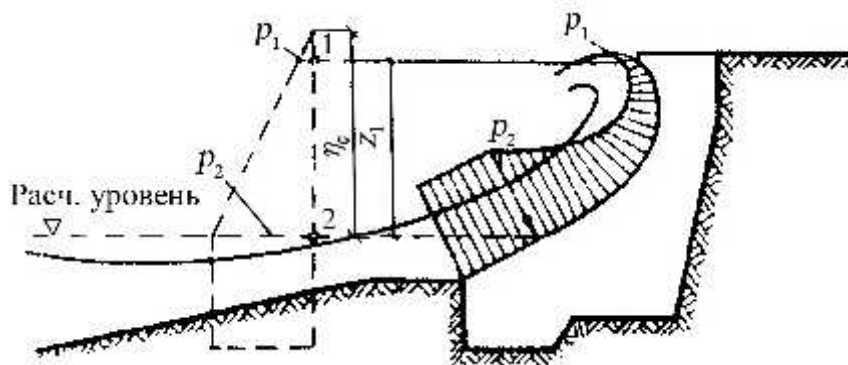
$$\eta_{ext} = \frac{P_{ext}}{\rho g}, \quad \eta_{int} = \frac{P_{int}}{\rho g}, \quad (26)$$

$k -$

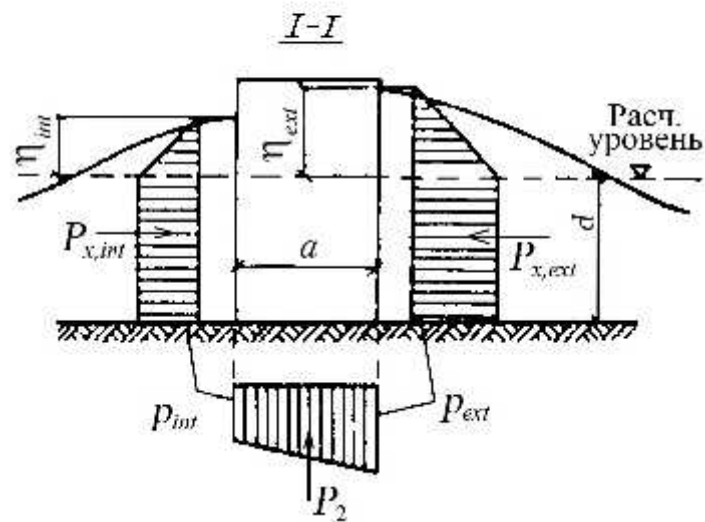
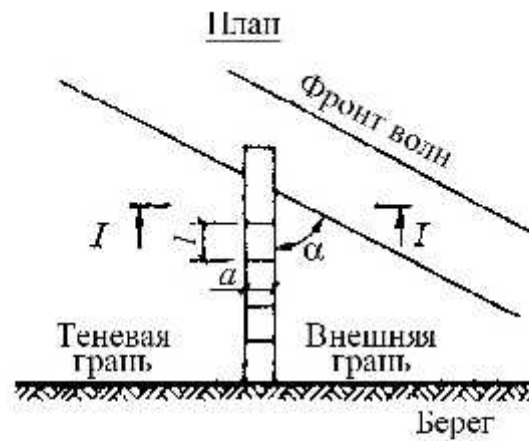
6



11 -



12 -



13 -

6

	ctg	k_a		$l/\bar{\lambda}$	
		0,03	0,05	0,1	0,2
(int)	-	1	0,75	0,65	0,6
(ext)	0	1	0,75	0,65	0,6
	0,2	0,45	0,45	0,45	0,45
	0,5	0,18	0,22	0,3	0,35
	1	0	0	0	0

5.37

$$h_{sh}, \quad sh, \quad , \quad :$$

$$h_{sh} = \frac{2V^2}{g} \sqrt{\frac{\delta d_s}{l_u}}, \quad (27)$$

$$\lambda_{sh} = 5,65 \frac{V^2}{g}, \tag{28}$$

d_s — диаметр, м; l_u — длина участка, м; V — скорость течения, м/с; V_{adm} — допустимая скорость, м/с; A — площадь сечения, м²; b — ширина, м; k_a — коэффициент, зависящий от угла наклона; Z — высота, м; $Z_1 = h_{rsh}$ — расчетная высота; Z_3 — высота от основания до расчетной поверхности; φ — угол наклона.

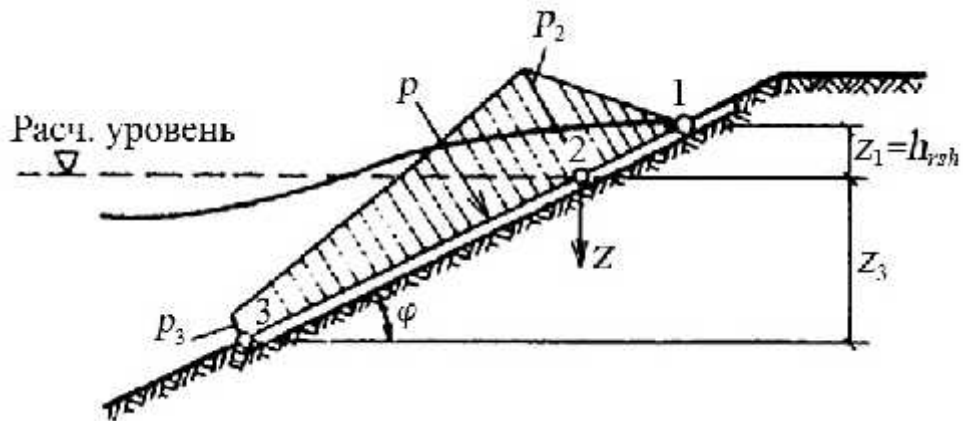
$$V_{adm} = 0,9 \sqrt{\left[6 \cos \frac{\pi + \arccos(1 - k_a)}{3} - 2(1 - k_a) \right] g \frac{A}{b}}, \tag{29}$$

k_a — коэффициент, зависящий от угла наклона; A — площадь сечения, м²; b — ширина, м; $Z_1 = h_{rsh}$ — расчетная высота; Z_3 — высота от основания до расчетной поверхности; φ — угол наклона. k_a (29)

5.38 h_{rsh} — расчетная высота, м; $(V - V_{adm})$ — разность скоростей, м/с; (14)

$$h_{rsh} = \beta_{sl} \frac{0,5h_{sh} + 0,05ctg\varphi \frac{V^2}{g}}{1 - 0,05ctg\varphi}, \tag{30}$$

β_{sl} — коэффициент, зависящий от угла наклона; 1,4, — 1,0, — 0,8.



14 -

5.39 P — сила, м/с; , , .

6 ()

6.1) : ;
 , ;
 , ;
 (7).

6.2 , F_q , F_n , :

$$Q_w = 73,6 \cdot 10^{-5} \gamma_f A_q V_q^2 \xi, \tag{31}$$

$$N_w = 49,0 \cdot 10^{-5} \gamma_f A_n V_n^2 \xi, \tag{32}$$

$$F_q = 79,5 \cdot 10^{-5} \gamma_f A_q V_q^2, \tag{33}$$

$$F_n = 79,5 \cdot 10^{-5} \gamma_f A_n V_n^2, \tag{34}$$

A_q A_n – () , ²;
 V_q V_n – , / ,
 7;
 – , h ,
 ; (1 4–6 7) ⁸ =1;
 f – ,
 20.13330.
 – () .

Таблица 7

Тип	Группа	Условия эксплуатации швартовно-отбойных систем	Наименование внешних воздействий			
			Ветер	Течение	Волнение	Колебания уровня моря
1	2	3	4	5	6	7
Длительно эксплуатируемые швартовно-отбойные системы стационарных и плавучих причалов морских портов	1	Проведение различных технологических операций по обслуживанию (снабжению) судна у погрузочных, топливных причалов и т.п. Стоянка допускается только в благоприятных погодных условиях. При прогнозе ухудшения погоды судно отходит от причала	Исходя из технических возможностей конкретного судна и причала, но не менее 1 раза в год (анемометрическая скорость ветра не менее 10 м/с)			
	2	Стоянка судна в штормовых условиях у специализированных (погрузочных, топливных и т.п.) и стояночных причалов	1 раз в 50 лет* при анемометрической скорости ветра не более 25 м/с	1 раз в 50 лет*	1 раз в год	Средние значения между сизигийной и квадратурной полной и сизигийная, малая вода заданной повторяемости ***
	3	Разовая непрерывная стоянка судна у причала до 3-х месяцев без возможности отвода от причала	1 раз в 10 лет	1 раз в 10 лет	1 раз в 10 лет	Средние значения между сизигийными и квадратурными, полными и малыми водами заданной повторяемости***
	4	Многократные стоянки судов у причалов, судостроительных и судоремонтных заводов и т.п. до 3-х месяцев, либо непрерывная стоянка у причала до 1-2 лет без возможности отвода от причала	1 раз в 50 лет*	1 раз в 50 лет*	1 раз в 50 лет*	Сизигийные полная и малая вода заданной повторяемости***
	5	Непрерывная стоянка плавучего объекта более 2-х лет без возможности отвода с места стоянки (корабли-музеи, плавучие теплоэлектростанции, в том числе атомные, плавучие доки и т.п.)	1 раз в 100 лет*	1 раз в 100 лет*	1 раз в 100 лет*	Сизигийные полная и малая вода заданной повторяемости***

Окончание таблицы 7

Кратковременно эксплуатируемые швартовно-отбойные системы при проведении морских операций	6	Проведение морских операций, ограниченных по погодным условиям: длительностью до 3-х суток; длительностью более 3-х суток при обеспечении возможности их прерывания и отвода судов и плавучих объектов в защищенное место	Исходя из технических возможностей судов, плавучих объектов и оборудования, используемых при проведении морской операции, но не менее 1 раза в год (анемометрическая скорость ветра не менее 10 м/с)	Средние значения между сизигийными и квадратурными, полными и малыми водами заданной повторяемости****
		7	Проведение морских операций, не ограниченных по погодным условиям, при длительности операции до 1 месяца без возможности прерывания операции и отвода судов в защищенное место	Средние значения между сизигийными и квадратурными, полными и малыми водами заданной повторяемости****
		8	Проведение морских операций, не ограниченных по погодным условиям при длительности операций свыше 1 мес	Средние значения между сизигийными и квадратурными, полными и малыми водами заданной повторяемости****
<p>* При соответствующем обосновании расчетная повторяемость внешних воздействий может приниматься в соответствии с расчетным периодом повторяемости для причального сооружения заданного класса капитальности, например, для причальных сооружений III – IV классов капитальности допускается принимать расчетную повторяемость внешних воздействий I раз в 2,5 лет.</p> <p>** Меньшее значение повторяемости внешних воздействий (1 раз в 5 лет) рекомендуется принимать при проведении морской операции на открытых акваториях на удалении от других объектов, а большее (1 раз в 10 лет) – при проведении морской операции поблизости от других сооружений.</p> <p>*** При расчете длительно эксплуатируемых швартовно-отбойных систем повторяемость расчетных уровней воды рекомендуется принимать в соответствии с классом капитальности причального сооружения: для сооружений I класса – 1 раз в 100 лет; для сооружений II и III классов капитальности – 1 раз в 20 лет; для сооружений IV класса капитальности – 1 раз в 10 лет.</p> <p>**** При расчете кратковременно эксплуатируемых швартовно-отбойных систем по группе 6 повторяемость расчетных уровней воды рекомендуется принимать не менее 1 раза в год, для швартовно-отбойных систем по группе 7 – 1 раз в 5 – 10 лет в зависимости от стесненности акватории и удаленности места проведения морской операции от других сооружений, а для швартовно-отбойных устройств по группе 8 – 1 раз в 10 лет.</p>				

$a_h,$	25	50	100	200
	1	0,8	0,65	0,5

6.3 $Q_w,$, $N_w,$, :

$$Q_c = C_y \frac{\rho}{2} A_t V_t^2, \quad (35)$$

$$N_c = C_x \frac{\rho}{2} A_t V_t^2, \quad (36)$$

A_l A_t –

, 2;

C_y, C_x –

, () .

V_t V_l –

7.

, / ,

6.4

$Q,$,

$N,$,

:

$$Q = \alpha \gamma_l \rho g h A_t, \quad (37)$$

$$N = \alpha \rho g h A_t, \quad (38)$$

α –

, $d_s,$, ;

15;

1 –

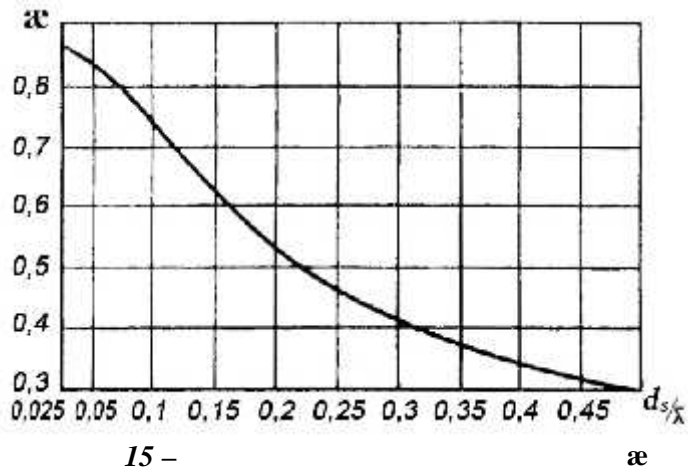
, 9, a_l –

, ;

h –
 A_l A_t –

5 % , ;

6.3.



9

$a_1/$	0,5	1	2	3	4
1	1	0,73	0,5	0,42	0,4

6.5 ,
 (, ,),
 : ;

6.6 ,

6.7 $q, /$,
 10,
 $q = 1,1 \frac{Q_{tot}}{l_d}$ (39)

Q_{tot} - ,
 6.2–6.4, 6.6;
 l_d - , ,
 L , ,
 () l , :
 $L \geq l \quad l_d=l,$
 $L < l \quad l_d=L.$

10

	$h_5 \%$,						
	W, .						
	2	5	10	20	40	100	200
45	0,6	0,7	0,9	1,1	1,2	1,5	1,8
90	0,9	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3,2

$h_5 \%$ ().

6.8 E_q ,

$$E_q = \psi \frac{WV_B^2}{2}, \quad (40)$$

$W -$
 $V_B -$ () ;
 , / ;
 - ,
 .

6.9 F_q , E_q ,
 16,

E_{tot} ,
 E_c , E_i ,
 $E_c = 10E_i$, E_i ,
 E_i ,

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_q^2}{k_i}, \quad (41)$$

$k_i -$
 F_n ,

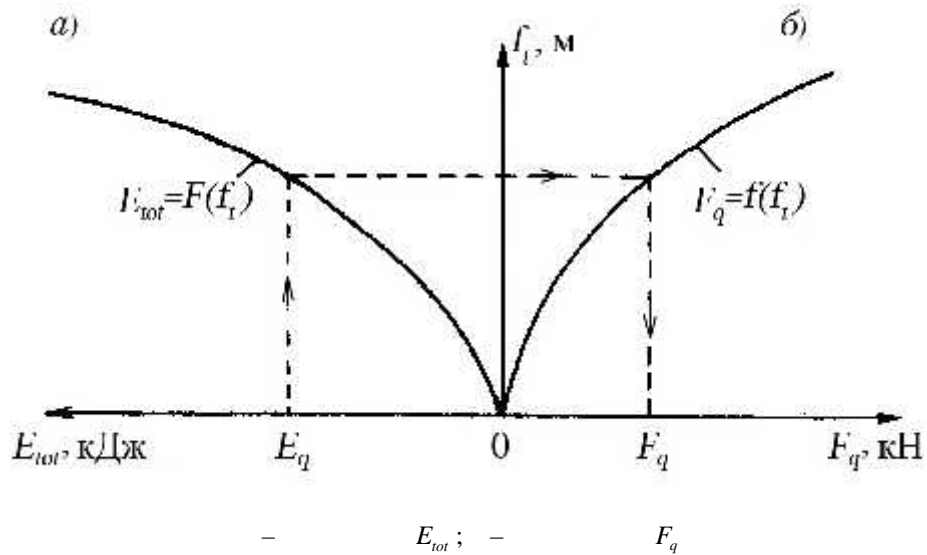
$$F_n = \mu F_q, \quad (42)$$

$\mu -$,
 $\mu=0,5$; $\mu=0,4$;
 $\mu=0,1-0,15$.

6.10 V_{adm} , / ,

$$V_{adm} = \sqrt{\frac{2E_{tot}}{\psi W}}, \quad (43)$$

E_{tot} — 16 () ;
 W — 6.8.



16 — () f_t

6.11

()
 Q_{tot} , 6.2, 6.3.
 () S ,
 (17) S_q , S_n , S_v ,

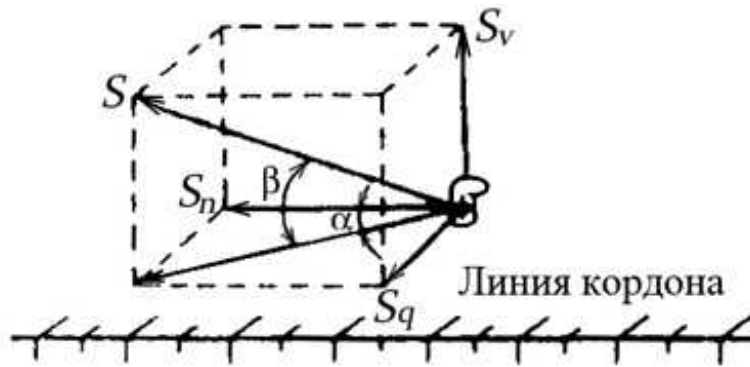
$$S = \frac{Q_{tot}}{n \sin \alpha \cos \beta}, \tag{44}$$

$$S_q = \frac{Q_{tot}}{n}, \tag{45}$$

$$S_n = S \cos \alpha \cos \beta, \tag{46}$$

$$S = S \sin \beta, \tag{47}$$

n — 11;
 , — 12.



17 -

11

l_{max}	50	150	250	300
l_s	20	25	30	30
n	2	4	6	8

12

		30	20	40
		40	10	20
		45	0	0
		30	0	0
		30°.		

S, \dots

13.

13

	S, \dots	
D, \dots		
0,1	50	30
0,11 - 0,5	100	50
0,51 - 1	145	100
1,1 - 2	195	125
2,1 - 3	245	145
3,1 - 5	-	195
5,1 - 10	-	245
10	-	295

50
 N_{tot} ,

6.2 – 6.4.

6.12

N_{tot}

Q_{tot} ,
 6.2, 6.3,

) – $0,8Q_{tot}$;
) – $0,6Q_{tot}$.

17)

I II

7

7.1

() ,

14.

14

	I, II	III, IV
() p, %	0,1	1,0

7.2

7.3

c

7.4

R_c

R_f ,

$$R_c = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_i + \Delta_i)^2}, \quad (48)$$

$$R_f = 0,4(C_b + \Delta_b), \quad (49)$$

N –

C_i –

Δ_i –

C_b Δ_b –

t_b –

7.5

II III

7.6

R_c R_f ,

(48) (49),

– 0,45;

$R_c - 0,5$;

– 0,64;

– 0,83;
– 0,83.

15

		<i>i-</i>			<i>t_i</i> , °
		0	-3	-15	-30
		<i>C_i±Δ_i</i>			
()	0,95 0,99	1,2 ±0,1 ±0,1	3,1 ±0,2 ±0,3	4,8 ±0,3 ±0,4	5,8 ±0,4 ±0,6
()	0,95 0,99	1,5 ±0,2 ±0,3	3,5 ±0,3 ±0,4	5,3 ±0,4 ±0,6	6,5 ±0,5 ±0,7
(-)	0,95 0,99	0,8 ±0,1 ±0,1	2,0 ±0,2 ±0,3	3,2 ±0,3 ±0,4	3,8 ±0,4 ±0,6

- : 0,5 - 1 ; 1 -

5 ; 1,5 - 11 ; 2 - 19 .

16

		<i>i-</i> , <i>i_s</i> /					
		200	100	50	25	10	1
		<i>C_i±Δ_i</i>					
	0,95 0,99	0,8 ±0,2 ±0,3	1,0 ±0,2 ±0,3	1,6 ±0,2 ±0,3	3,4 ±0,4 ±0,6	6,0 ±0,5 ±0,7	8,4 ±0,5 ±0,7
	0,95 0,99	0,3 ±0,1 ±0,1	0,4 ±0,1 ±0,1	0,7 ±0,1 ±0,1	1,9 ±0,2 ±0,3	3,9 ±0,4 ±0,6	6,0 ±0,5 ±0,7

- *i-* , *i_s* / ,

ξ_i = -s_i (1 - 0,018t_i) / 0,018t_i , 0 < t_i < -7,3 ° ;

ξ_i = -s_i $\frac{1,06 - 0,005t_i}{0,03 - 0,014t_i}$, -7,3 < t_i < -22,4 ° ;

ξ_i = -s_i $\frac{1,17 - 0,005t_i}{2,0 - 0,106t_i}$, -22,4 < t_i < -30 ° .

s_i - *i-* , 0,2s_w , 0,15s_w

2 .

7.7

()

;

,

;

1:3.

7.8

(18)

$$F_{c,p} = 1,26 \cdot 10^{-3} V h_d \sqrt{m A k_b k_v R_c \rho t g \gamma}, \quad (50)$$

(19) $F_{c,w}$,

$$F_{c,w} = 2,2 \cdot 10^{-3} V h_d \sqrt{A k_v \rho R_c}, \quad (51)$$

V –

, / .

3 %-

h_d –

;

m –

,

17;

A –

(

), ²,

$$A = 3l^2, \quad (l -$$

);

k_b –

,

18;

k_v –

,

19;

–

, ;

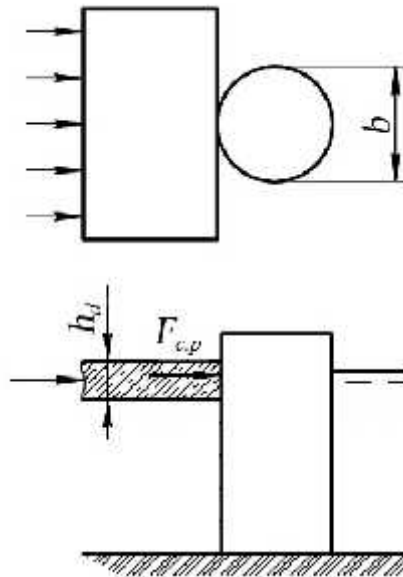
R_c –

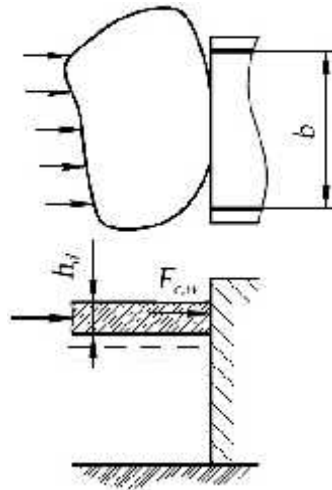
$= 70^\circ$;

7.4;

–

, / ³.





19 –

17

	2 ,						
	45	60	75	90	120		
<i>m</i>	0,41	0,47	0,52	0,58	0,71	0,83	1
$m = 1,26.$							

18

b/h_d	0,3	1	3	10	15	25	50
k_b	5,5	3,3	2,2	1,3	1,1	1,0	0,5
$b -$							

19

$\dot{\epsilon}_e, ^{-1}$	10^{-7}	$5 \cdot 10^{-5}$	$10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}
k_V	0,1	0,9	1,0	0,8	0,5	0,3
$\dot{\epsilon}_e -$						
$\dot{\epsilon}_e = V / (k_l b),$						
$k_l -$						
$b/h_d (b_s/h_d) \leq 15,$						
$b_s/h_d \geq 25$						
$15 \leq b/h_d (b_s/h_d) \leq 25$						
$4 \ 2.$						

$F_{b,p}$, $F_{c,p}$, $0,15 / , - 0,01 / .$
 (50),

$$F_{b,p} = mk_b k_v R_c b h_d, \tag{52}$$

$$F_{c,w}, \tag{51}, F_{b,w},$$

$$F_{b,w} = k k_v R_c b_s h_d, \tag{53}$$

$k -$, $20;$
 $b_s -$, .

(52).

20

b/h_d ($n_f b/h_d$)	0,3	1	3	10	20	25
k (k_n)	1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4

7.9

(20)

$$F_{h,p} = [k_{h,1} k_{v,f} R_f h_d^2 + 10^{-6} k_{h,2} \rho g h_d d^2 + 10^{-6} k_{h,3} \rho g h_d (d^2 - d_t^2)] k_{h,4}, \tag{54}$$

$$F_{v,p} = k_{v,1} F_{h,p} + 10^{-6} k_{v,2} \rho g h_d (d^2 - d_t^2), \tag{55}$$

$k_{h,1}, k_{h,2} -$, 21;
 $k_{h,3}, k_{h,4}, k_{v,1}, k_{v,2} -$, 22;
 $k_{v,f} -$, 22a;
 $-$, / 3;
 $g -$, 9,81 / 2;
 $d -$, ;
 $d_t -$, ;
 $-$ (;
 $R_f, h_d, b -$, 7.4 7.8.

21

$\frac{10^{-6} \rho g d^2}{R_f h_d}$	0,1	0,5	1	5	10	25	50	100
:								
$k_{h,1}$	1,6	1,6	1,7	1,9	2,1	2,5	2,9	3,5
$k_{h,2}$	0,31	0,24	0,21	0,11	0,08	0,05	0,02	0,02

(21)

$$F_h, , :$$

$$F_h = k_\beta k_\Delta R_f b h_d \operatorname{tg}(\beta + \operatorname{arctg} f) + m_h [1 + A_1 (f - 0,1) + A_2 (f - 0,1)^2] b, \quad (56)$$

) $F_v,$

$$F_v = k_\beta k_\Delta R_f b h_d + m_v [1 + A_3 (f - 0,1)] b, \quad (57)$$

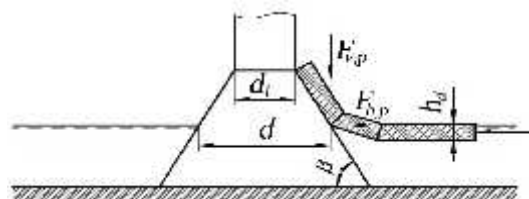
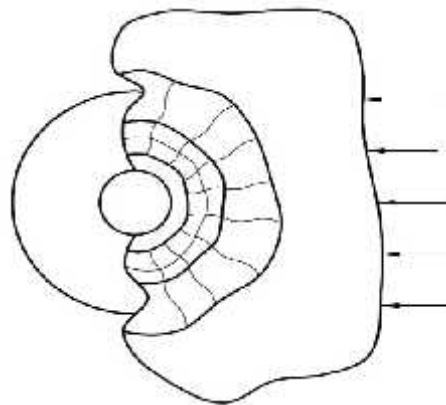
- $k_\beta -$, 23;
- $k_\Delta -$, 24;
- $m_h -$, 25;
- $A_1, A_2, A_3 -$, 26;
- $m_v -$, 27;
- $f -$.

22

	20	30	40	50	60	70
$k_{h,3}$	0,25	0,27	0,31	0,36	0,46	0,67
$k_{h,4}$	0,7	0,9	1,3	1,8	2,6	5,3
$k_{v,1}$	2,2	1,6	1,1	0,8	0,5	0,3
$k_{v,2}$	0,041	0,042	0,039	0,034	0,026	0,017
	0,15.					

22

	$10^{-3} \cdot V^2/R_f$				
	0,08	0,8	1,6	3,2	5,4
	$k_{v,f}$				
40–50	1	2,0	2,7	3,7	4,7
60	1	2,0	2,6	3,5	3,6
70	1	1,9	2,5	2,6	2,7



20 -

38.13330.2012

k_{β} , m_h m_v Δh , ,

Δh

Δh

23

	30	40	50	60	70
k_{β}	1,0	1,5	2,0	2,5	2,5

24

Δh ,	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
k_{Δ}	0,039	0,48	0,062	0,073	0,083

25

Δh ,	m_h , / , ,				
	30	40	50	60	70
0,5	0,044	0,058	0,143	0,316	0,746
1,0	0,089	0,178	0,319	0,642	1,463
2,0	0,238	0,484	0,746	1,394	3,076
3,0	0,499	0,847	1,213	2,157	4,635
4,0	0,622	1,303	1,790	3,084	6,510

26

	30	40	50	60	70
A_1	1,92	2,01	2,09	2,17	2,22
A_2	1,19	2,68	4,70	12,20	60,0
A_3	2,07	1,35	0,75	0,41	0,24

27

Δh ,	m_v , / , ,				
	30	40	50	60	70
0,5	0,018	0,056	0,095	0,138	0,186
1,0	0,157	0,172	0,211	0,281	0,365
2,0	0,426	0,444	0,485	0,607	0,767
3,0	0,721	0,740	0,773	0,933	0,155
4,0	1,080	1,099	1,122	1,327	1,620

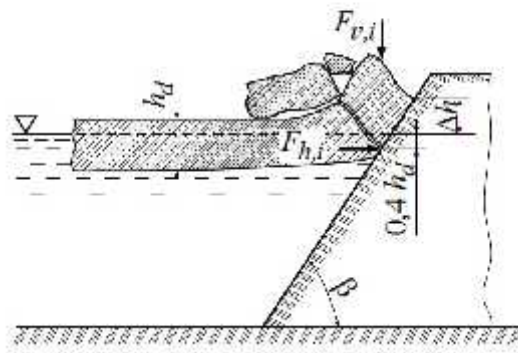
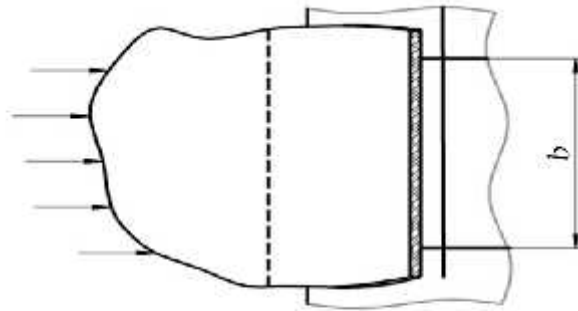
b $F_{h,f}$, ,

$$F_{h,f} = k_{\beta i} F_{b,p}, \quad (58)$$

k_i – , 28;
 $F_{b,p}$ – , 7.8. $F_{v,p}$.

28

	45	60	75	90
$k_{\beta i}$	0,60	0,79	0,92	1,00



21 –

7.10

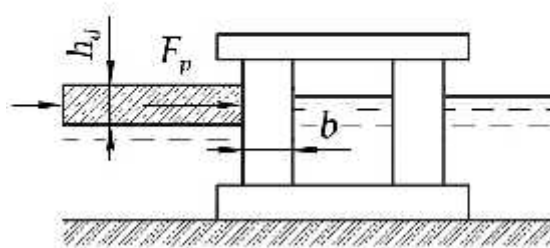
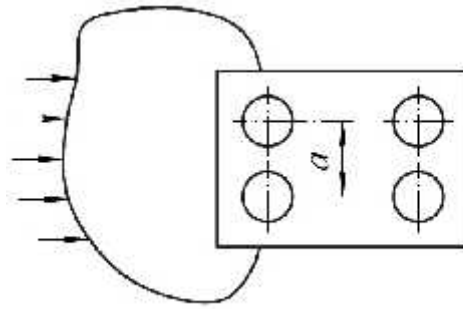
, F_p , (22) ,

$$F_p = n_t K_1 K_2 F_{b,p}, \tag{59}$$

n_t – ;
 $F_{b,p}$ – , (52);
 K_1 – ,

$$K_1 = 0,83 + 0,17 n_t^{-1/2}; \tag{60}$$

K_2 – , 29.
 – K_1 , (60),
 , 0,2.



22 –

29

b/a	0,1	0,5	1
K_2	1	$0,55 + 0,45 \frac{k_n}{k}$	$\frac{k_n}{k}$
$a -$, ; $k_n -$, $n_f -$, h_d, b $k -$,		20 $n_f b / h_d$;	7.8.

7.11

7.12

R_c .

F_s ,

$$F_s = (p_\mu + p_V + p_i + p_{\mu,a}) A, \tag{61}$$

p_μ, p_V, p_i $p_{\mu,a}$, :

$$p_\mu = 5 \cdot 10^{-9} \rho V_{\max}^2 ; \tag{62}$$

$$p_V = 5 \cdot 10^{-7} \frac{h_d \rho V_{\max}^2}{L_m} ; \tag{63}$$

$$p_i = 9,4 \cdot 10^{-7} h_d \rho g i ; \tag{64}$$

$$p_{\mu,a} = 2 \cdot 10^{-11} \rho V_{w,max}^2 , \tag{65}$$

$$\frac{V_{max} - V_{w,max}}{L_m} = \dots , / ;$$

$$h_d \frac{i - A - F_{b,w}}{F_s} = \dots ; \tag{61},$$

$$\frac{1}{2} \dots - 0,2h_d \dots - 0,4h_d .$$

$$7.13 \dots q, / , (1$$

$$q \dots \Delta , ^\circ , h_d , h_{red} . \tag{23}$$

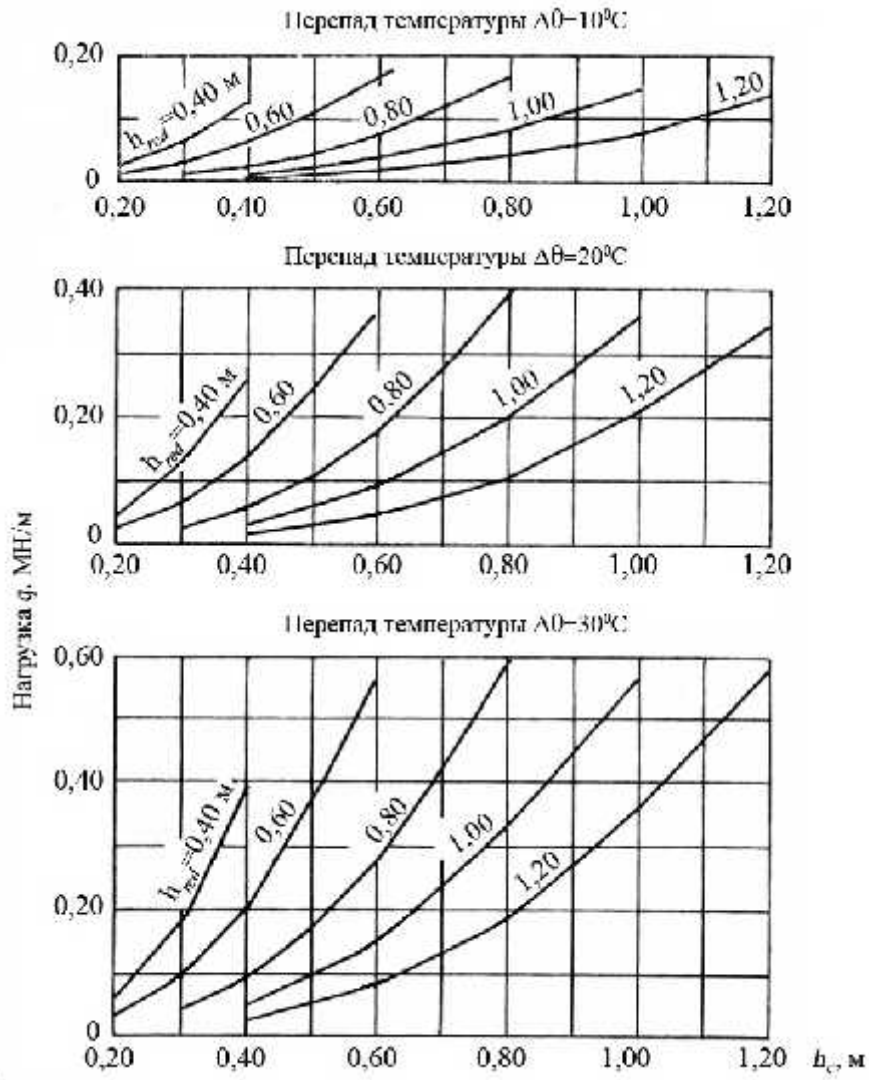
$$\Delta \dots 5 \dots 20 \dots h_d \dots h_{red} ,$$

$$h_{red} = h_d + 1,43h_s + h_r , \tag{66}$$

$$\frac{h_s - h_r}{h_r} = \dots , ; \dots 30 .$$

30

$V_w, /$	$h_r, , a$			
	0°	-10°	-20°	-30°
1	0,46	0,45	0,45	0,45
3	0,15	0,15	0,15	0,15
5	0,09	0,09	0,09	0,09
10	0,046	0,045	0,045	0,045



23 –

q

7.14

F_t , ,

$$F_t = k_L qb, \quad (67)$$

k_L – , 31;
 q, b – , 7.8 7.13.

31

L/b	1	5	15	25	50	75	100
k_L	1	2	4	6	10	14	17
L –							

$$F_{t,b}, \quad F_t, \quad (67),$$

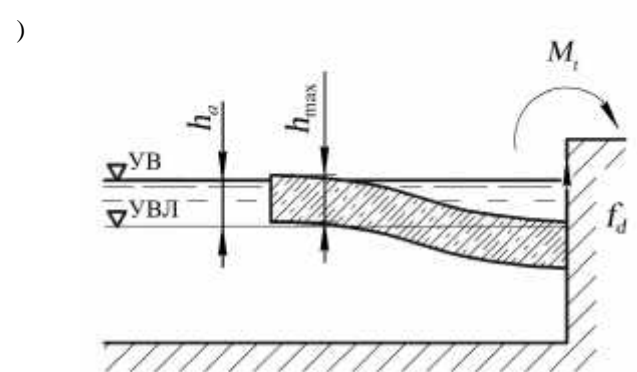
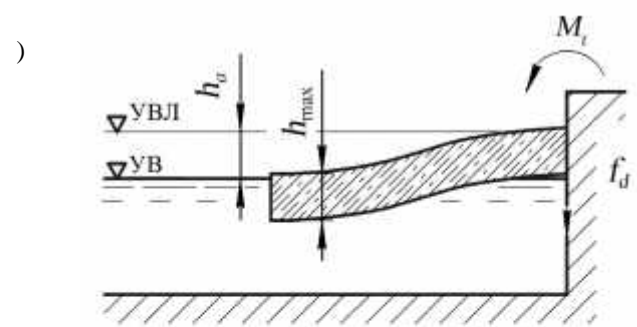
$$F_{t,b} = R_c b h_c, \quad (68)$$

7.15
7.14, $0,25h_c.$

7.16 (1)
/ (24), $f_d,$

$$f_d = 2,24 \cdot 10^{-4} \rho g h_0 h_{\max} \left(\frac{v^2}{g h_{\max}^3} \right)^{1/12}, \quad (69)$$

h_0 – ; h_0 h_{\max} ;
 h_{\max} – ;
 v – ; 0° $v=1,793 \cdot 10^{-6} \text{ }^2/$.



$f_{d,lim}$ / , f_d , (69),

$$f_{d,lim} = 7,68 \cdot 10^{-2} h_{max} \left(\frac{v^2}{gh_{max}^3} \right)^{1/12} (\sigma_{c,lim} + \sigma_{t,lim}), \quad (70)$$

$c_{,lim} -$, ,
 $(C_i + \Delta_i)$,
 t_b ,
 t_u ;
 $t_{,lim} -$, ,
 $0,3(C_i + \Delta_i)$,
 t_u ,
 t_b ;

$C_i, \Delta_i, t_b -$, 7.4.
 7.17 , $M_l, (\cdot) /$,
 (24),

$$M_l = 2,2 \cdot 10^{-6} \rho g h_0 h_{max} \left(\frac{gh_{max}^3}{v^2} \right)^{1/6}, \quad (71)$$

$h_0, h_{max} -$, 6.16.
 M_l , (71),
 $M_{l,lim}, (\cdot) /$,

$$M_{l,lim} = \frac{h_{max}^2 (\sigma_{c,lim} + \sigma_{t,lim})}{12}, \quad (72)$$

$c_{,lim}, t_{,lim} -$, 7.16.
 7.18

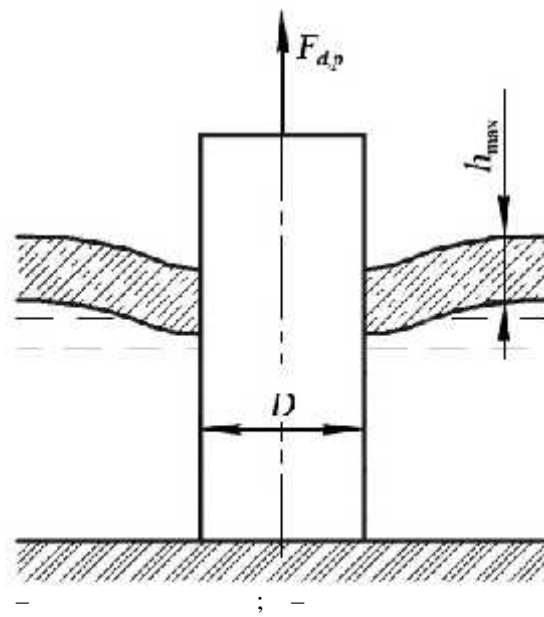
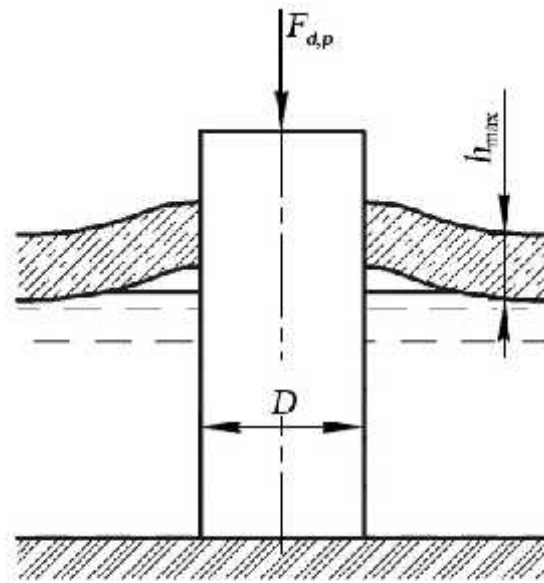
$F_{d,p}$, (25),

$$F_{d,p} = k_f R_f h_{max}^2, \quad (73)$$

$k_f -$,
 $k_f = 0,6 + 0,15D / h_{max}$, (74)

$D -$ () , ;
 $R_f h_{max} -$, 7.4 7.16.

$b c$, $D = \sqrt{bc}$, .



25 -

()

7.19

$F_{d,f}$, (26),

$$F_{d,f} = KF_{d,p}n_f, \tag{75}$$

$$K = \prod_{k=1}^{n_f} K_k, \tag{76}$$

38.13330.2012

$K -$

n

$K_k,$
27

a_k, b

$$A = \frac{b}{11h_{\max}} \left(\frac{gh_{\max}^3}{v^2} \right)^{1/12};$$

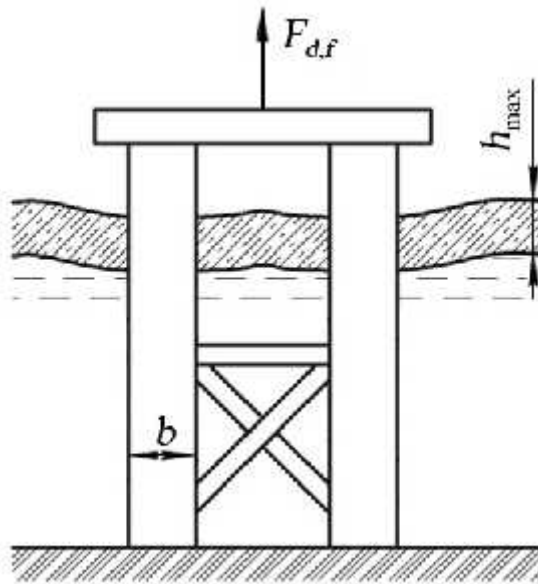
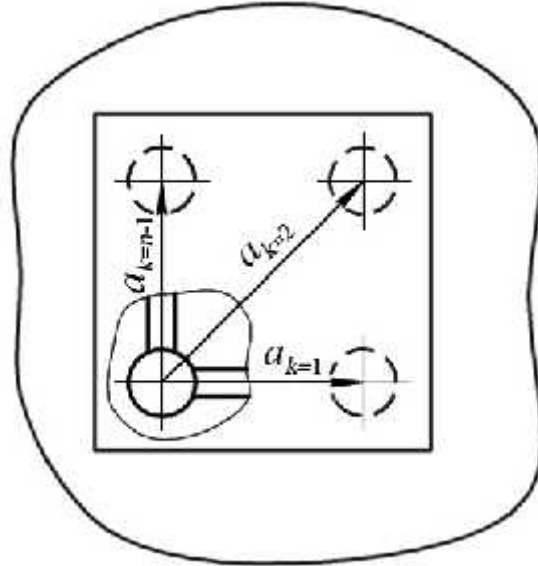
$a_k -$

$k -$

(26), ;

b, n_f, h_{\max} $F_{d,p} -$

, 7.8, 7.10, 7.17, 7.19.

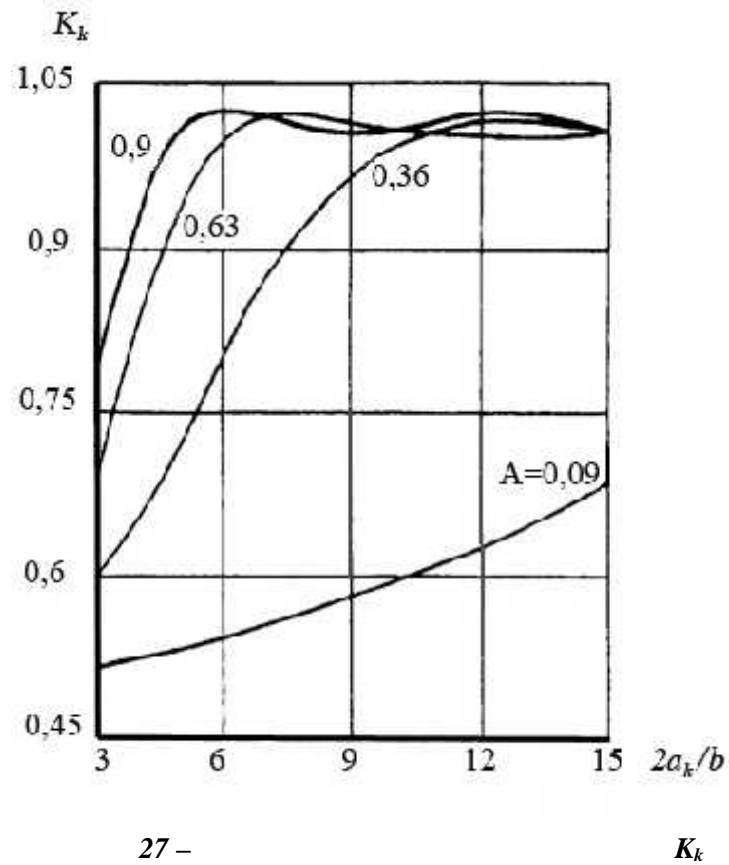


26 -

(,

F_{df}

)



7.20
 $F_{b,j}$,

$$F_{b,j} = 0,5mR_{b,j}bh_{b,i}, \tag{77}$$

$R_{b,j}$ –

0,45 –

0,35 –

0,25 –

$h_{b,i}$ –

$$h_{b,i} = 1,45H_{b,i}^{1,5}, \tag{78}$$

$H_{b,i}$ –

m, b –

7.8.

38.13330.2012

7.21

$F_{b,j}$,

$$F_{b,j} = mR_{b,j}bh_j, \quad (79)$$

$R_{b,j}$ –

h_j –

m, b –

7.22

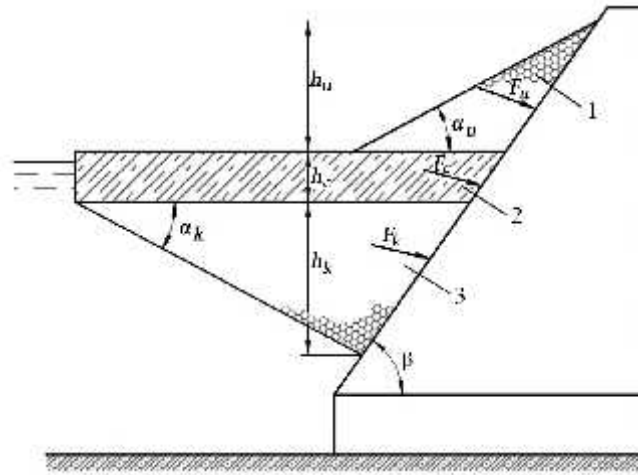
(40°) F_r , (28),

$$F_r = F_u + F_c + F_k, \quad (80)$$

F_u –

F_c –

F_k –



1 – (); 2 – ; 3 –

28 –

7.23

)

$F_{u,h}$,

$$F_{u,h} = 0,5 \left[10^{-6} \rho_i g (1 - \psi_u) h_u^2 k_{u,\varphi} + c_u \operatorname{ctg} \varphi_u (k_{u,c} - 1) h_u \right] b_u; \quad (81)$$

)

$F_{u,v}$,

$$F_{u,v} = F_{u,h} \operatorname{tg} (90 - \beta - \alpha_f) - 0,5 c_u \operatorname{ctg} \varphi_u \operatorname{tg} \alpha_f h_u b_u; \quad (82)$$

$$\begin{aligned}
 i - & \quad , \quad / \quad ^3; \\
 u - & \quad (\quad) \quad , \\
 b_u - & \quad , \quad u=0,5; \\
 c_u - & \quad , \quad ; \\
 & \quad ; \\
 c_u=0,003\dots0,005 & \quad ; \\
 u - & \quad , \quad , \\
 h - & \quad ; \quad u = 35 - 40^\circ; \\
 h_u - & \quad , \quad ; \\
 & \quad h_u \\
 & \quad h_u = 9,1h_t^{0,4}, \quad (83)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_t - & \quad , \quad , \quad 0,6 \quad ; \\
 k_u, \quad k_{u,c} - & \quad :
 \end{aligned}$$

$$k_{u,\varphi} = \left\{ \frac{\cos(\varphi_u + 90 - \beta)}{\cos(90 - \beta) [1 - \sqrt{k_1}]} \right\}^2; \quad (84)$$

$$k_{u,c} = \left\{ \frac{\cos(\varphi_u + 90 - \beta + \alpha_u)}{\cos(90 - \beta) [1 - \sqrt{k_2}]} \right\}^2 k_3; \quad (85)$$

$$k_1 = \frac{\sin(\varphi_u + \alpha_f) \sin(\varphi_u - \alpha_u)}{\cos(90 - \beta - \alpha_f) \cos(90 - \beta + \alpha_u)}; \quad (86)$$

$$k_2 = \frac{\sin(\varphi_u + \alpha_f) \sin \varphi_u}{\cos(90 - \beta - \alpha_f + \alpha_u) \cos(90 - \beta + \alpha_u)}; \quad (87)$$

$$k_3 = \frac{\cos(90 - \beta) \cos(90 - \beta - \alpha_f)}{\cos(90 - \beta - \alpha_f + \alpha_u) \cos(90 - \beta + \alpha_u)}, \quad (88)$$

$$\begin{aligned}
 f - & \quad , \quad ; \\
 \alpha_f = \arctg f, & \quad (89)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f - & \quad , \\
 u - & \quad , \quad f = 0,1 - 0,2; \\
 - & \quad , \quad u = 30^\circ; \\
 - & \quad , \quad 7.9.
 \end{aligned}$$

$$0,33h_u, \quad F_{u,v} < 0$$

7.24

$$) \quad F_{c,h}, \quad (52) -$$

$$k_V = 1 \quad h_d \quad h_c - R_c$$

$r_c -$

$$h_d, R_c - \quad ; \quad r_c = 0,8,$$

$$7.8; \quad h_c = (1,8 - 2,0)h_d ($$

$$) \quad F_{c,v},$$

$$F_{c,v} = F_{c,h} \operatorname{tg}(90 - \beta - \alpha_f). \quad (90)$$

$0,5h_c.$

7.25

$$) \quad F_{k,h},$$

$$F_{k,h} = 0,5 \left[10^{-6} (\rho - \rho_i) g (1 - \psi_k) (h_k - h_c)^2 k_k + c_k \operatorname{ctg} \varphi_k (k_k - 1) (h_k - h_c) \right] b_k, \quad (91)$$

$$) \quad F_{k,v},$$

$$F_{k,v} = F_{k,h} \operatorname{tg}(90 - \beta - \alpha_f) - 0,5 c_k \operatorname{ctg} \varphi_k \operatorname{tg} \alpha_f (h_k - h_c) b_k, \quad (92)$$

$k -$ () , $k = 0,3 - 0,4;$
 $h_k -$, ; $h_u/h_k = 2 - 6;$
 $b_k -$, ;
 $c_k -$ () , ,
 $c_k = 0,02 - 0,03$;
 $k -$, , $k = 15 - 20^\circ;$
 $k_k -$, ;

$$k_k = \left[\frac{\cos(\varphi_k + 90 - \beta)}{\cos(90 - \beta)(1 - \sqrt{k_4})} \right]^2; \quad (93)$$

$$k_4 = \frac{\sin(\varphi_k + \alpha_f) \sin(\varphi_k)}{\cos(90 - \beta - \alpha_f) (\cos 90 - \beta)}; \quad (94)$$

$$b_k (h_k - h_c) \begin{matrix} F_{k,h}, \\ F_{b,j}, \end{matrix} .$$

$$\begin{matrix} (91), \\ (79) \end{matrix}$$

$$b \quad h_j$$

$$0,33(h_k - h_c) .$$

$$=90^\circ .$$

()

.1

[1] [2] ;

.2

[1] [2] - ,

.3

.6 – .20.

.1.

[1] [2].

.4

.5

.6

\bar{h}_d , , \bar{T} , ,

.1.

V_w

gt/V_w gL/V_w^2 ,

$g\bar{h}_d/V_w^2$ $g\bar{T}/V_w$

L , ,

.1

L_u , ,
 V_w .

.1

V_w , /	20	25	30	40	50
$L_u \cdot 10^{-3}$,	1600	1200	600	200	100

$\bar{\lambda}_d$, ,

T

$$\lambda_d = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \tag{.1}$$

h_d

.7

i % -

h_{di} ,

.2

gL/V_w^2 .

k_i ,

gL/V_w^2

$g\bar{h}_d/V_w^2$

.1.

1; 2; 4 %

.8

h_d ,

$$\bar{h}_d = 0,1 \sqrt{25\bar{h}_1^2 + 21(\bar{h}_2^2 + \bar{h}_{-2}^2) + 13(\bar{h}_3^2 + \bar{h}_{-3}^2) + 3,5(\bar{h}_4^2 + \bar{h}_{-4}^2)} \tag{.2}$$

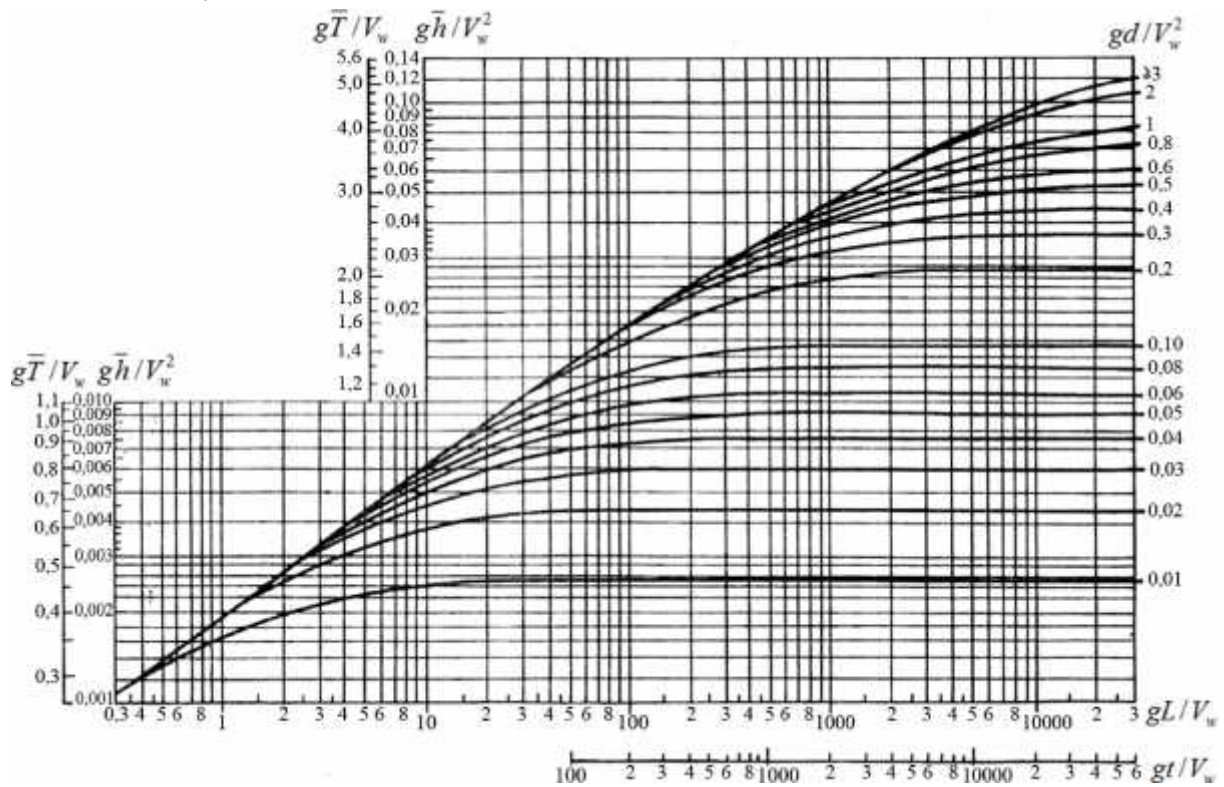
\bar{h}_n , ($n=1; \pm 2; \pm 3; \pm 4$) -

.1

V_w

L_n ,

$\pm 22,5^\circ$



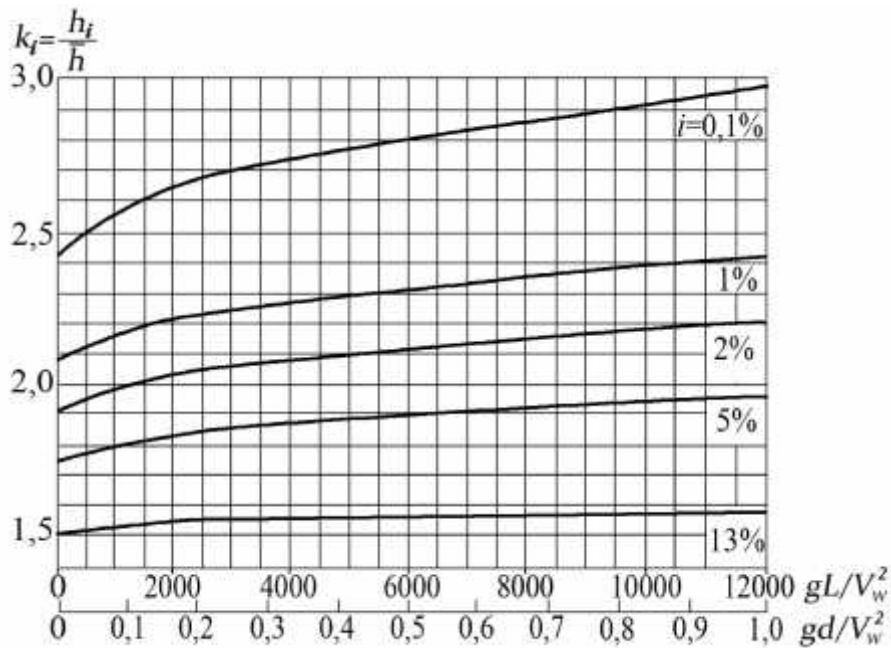
.1 -

$$\bar{h}_n = \sqrt{\sum_{i=1}^{k_n} \alpha_{ni} \bar{h}_{ni}^{-2} + \sum_{j=1}^{l_n} \nu_{nj} \bar{h}_{nj}^{-2}}, \quad (3)$$

$\alpha_{ni}, \nu_{nj} -$ $i-$ $j-$
 $l_n)$ $n-$ $22,5^\circ (i=1,2,3...k_n; j=1,2,3..., \pm 11,25^\circ$
 $\bar{h}_{ni}, \bar{h}_{nj},$ $L,$ $L_{ni} L_{nj},$ $g\bar{T}/V_w,$
 $L_{ni} L_{nj}$ $g\bar{h}_d/V_w^2.$
 $i-$ $j-$ $(.1).$

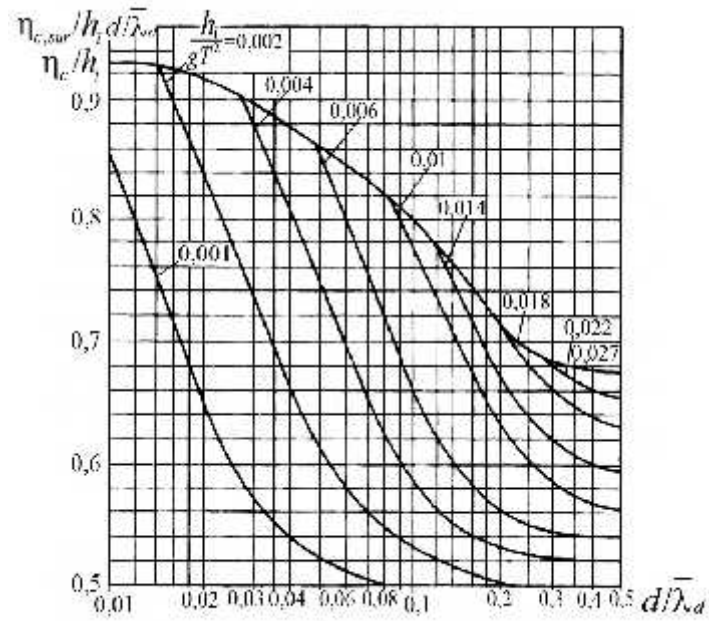
$L_{max} L_{min} -$ $L_{max}/L_{min} 2, \pm 45^\circ$
 $.9$ $\eta_c,$
 $\eta_c / h_i (.3)$ $h_i / g\bar{T}^2$

$d/\lambda_d = 0,5.$



.2 -

k_i



.3 -

y_c / h_i

$y_{c,sur} / h_i$

.10
0,002

i % -

h_i ,

$$h_i = k_t k_r k_l k_i \bar{h}_d , \tag{.4}$$

(.4)

k_t -

;

k_r -

;

k_l -

.

k_i -

.

k_t, k_r, k_l

.11.

.4

$d / \bar{\lambda}_d$

$h_{1\%} / g\bar{T}^2$.

.3

η_c ,
 $d / \bar{\lambda}_d$ $h_{1\%} / g\bar{T}^2$.

.11

1

.5.

$$k_r = \sqrt{\frac{a_d}{a}} , \tag{.5}$$

(.5)

a_d -

a -

, ;

a

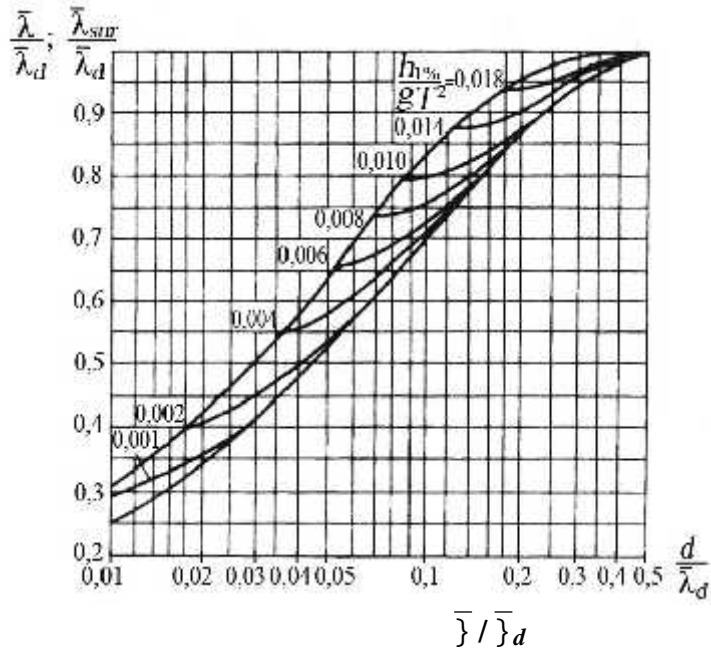
.6

$$d / \bar{\lambda}_d \quad i (\quad .2);$$

0,03

k_r

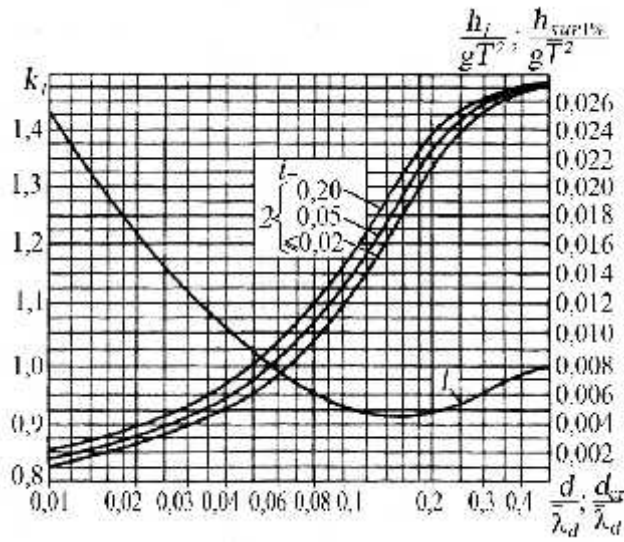
22,5°



.4 -

$\bar{\lambda} / \bar{\lambda}_d$

$\bar{\lambda}_{sur} / \bar{\lambda}_d$



.5 -

:

$k_i (1)$

$d_{cr} / \bar{\lambda}_d (2)$

.2

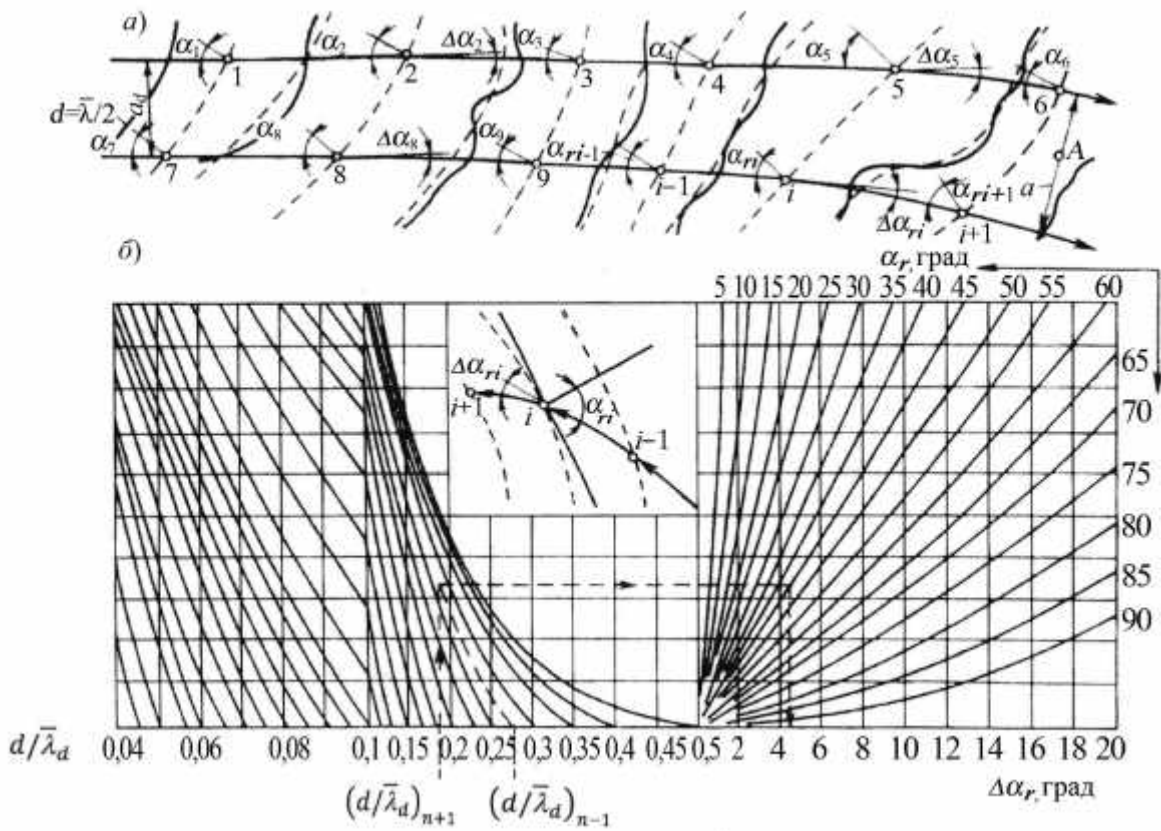
$d/\bar{\lambda}_d$	k_l		i
	0,025	0,02-0,002	
0,01	0,82		0,66
0,02	0,85		0,72
0,03	0,87		0,76
0,04	0,89		0,78
0,06	0,9		0,81
0,08	0,92		0,84
0,1	0,93		0,86
0,2	0,96		0,92
0,3	0,98		0,95
0,4	0,99		0,98
0,5	1		1

.12
0,001

$$\frac{gL/V_w^2}{\bar{h} \bar{T}}$$

.1.

$$\frac{g\bar{h}/V_w^2}{g\bar{T}/V_w}$$



.6 - () ()

i %-

k_i , .2.

gL/V_w^2 gd/V_w^2 k_i

.6.

.3.

0,001 — 0,002 , .10 .11,

$\bar{h} = \bar{h}_d$.

.13 i 2, 3 4 $h_{sur1\%}$, , $d_{cr}/\bar{\lambda}_d$

$h_{sur1\%}/g\bar{T}^2$ $h_{sur1\%}$.5:

$\bar{\lambda}_{sur}$, , .4,

$\eta_{c,sur}$, — .3.

.14 d_{cr} , , 2, 3 4 .5

.10 .11 $h_i/g\bar{T}^2$ 2, 3 4 d

.5 — $d_{cr}/\bar{\lambda}_d$, d_{cr}

.15 $d_{cr,u}$

$d_{cr,u} = k_u^{n-1}d_{cr}$, (.6)

$k_u - n -$, .3;

($k_u^{n-2} \geq 0,43$ $k_u^{n-1} < 0,43$. $n = 2, 3 4$

$d_{cr,u}$ k_u

0,35.

0,05

$d_{cr} = d_{cr,u}$.

— $d_{cr,u}$

.3

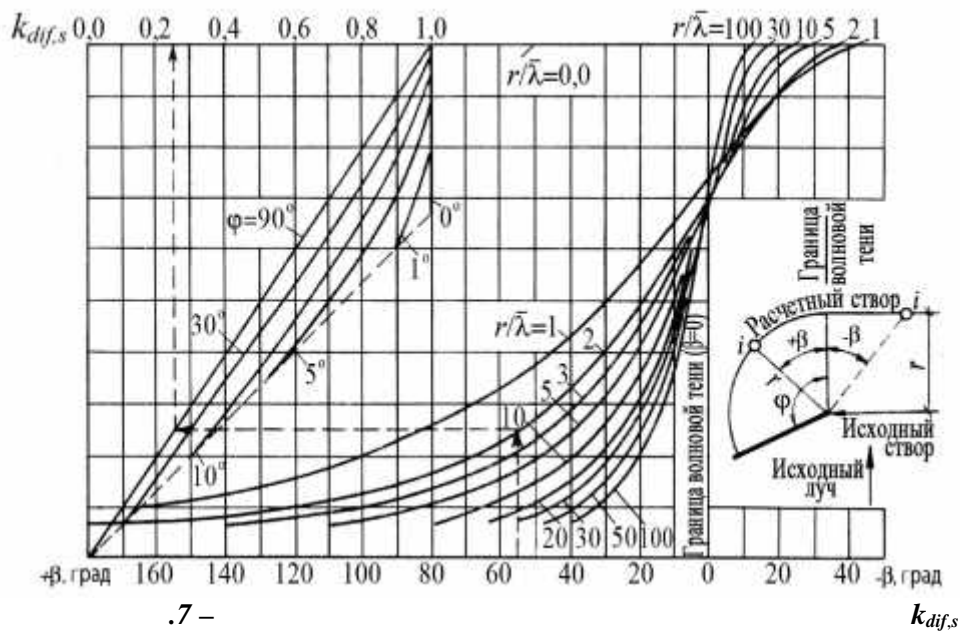
i	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05
k_u	0,75	0,63	0,56	0,5	0,45	0,42	0,4	0,37	0,35

.16 h_{dif} ,

$$h_{dif} = k_{dif} h_i, \quad (.7)$$

k_{dif} – , .17, .18 .19;
 h_i – i %- .
 $\bar{\lambda}$

.17
 ($k_{dif,s}$, , k_{dif} ,) ,
 .7



.18 $k_{dif,c}$,

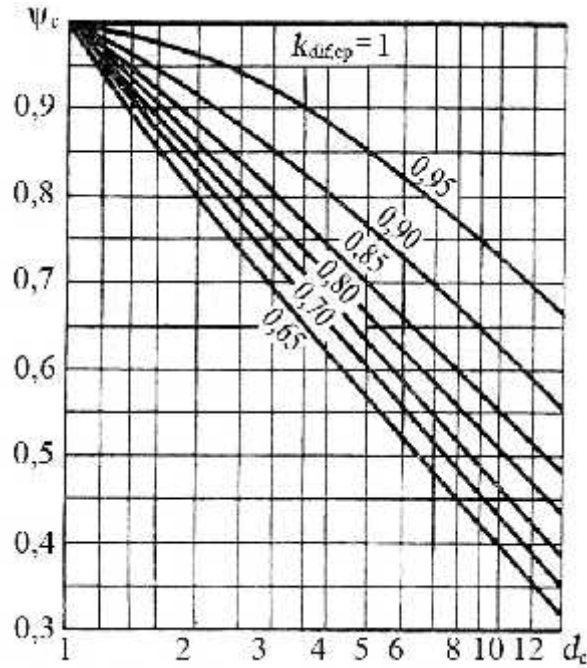
$$k_{dif,c} = k_{dif,s} \psi_c, \quad (.8)$$

c – , .8 d_c $k_{dif,sp}$.
 d_c

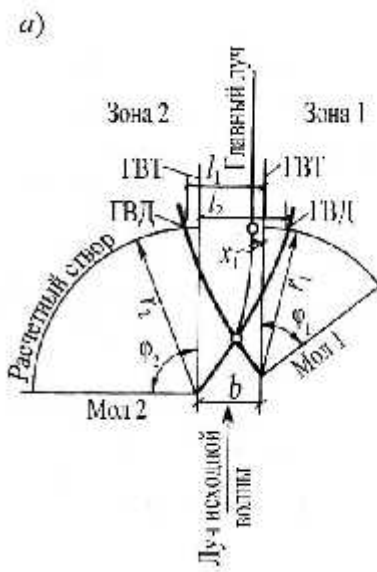
$$d_c = \frac{l_1 + l_2 + b}{2b}, \quad (.9)$$

l_1 l_2 – () ,
 (.9)

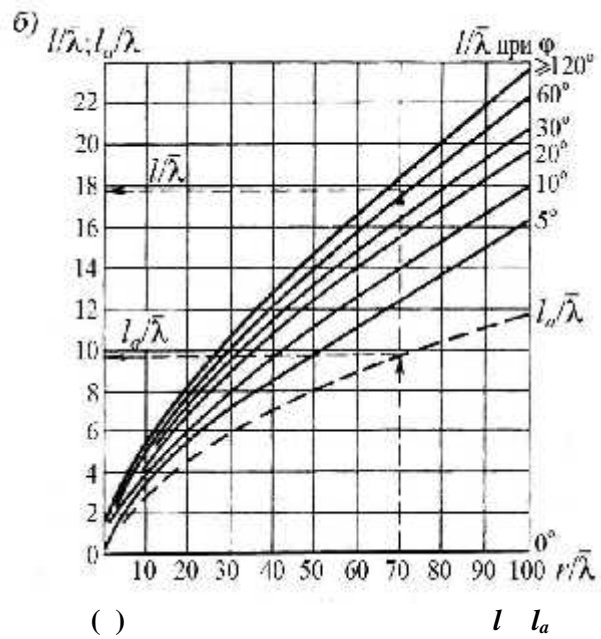
b – , ,



.8 -



.9 -



()

$k_{dif,sp}$

$k_{dif,s}$

.17

.9,

()

i,

$$x = \frac{l_1 l_{a1} - l_{a1} (l_2 - b)}{l_{a1} + l_{a2}},$$

(.10)

19. $l_{a1} \quad l_{a2} -$, .9.

.19 $k_{dif,b}$,

$$k_{dif,b} = \sqrt{k_{dif,s1}^2 + k_{dif,s2}^2} , \quad (.11)$$

$k_{dif,s1} \quad k_{dif,s2} -$.17.

.20. $h_{dif,r}$,

$$h_{dif,r} = (k_{dif} + k_{ref}) h_i , \quad (.12)$$

$$k_{ref} = k_{dif,s} k_r k_p k_{ref,i} \cdot e^{-0,08r/\lambda} \sqrt{\cos \theta_r} , \quad (.13)$$

$k_{dif,s} -$.17, .18 .19;

$k_r \quad k_p -$, .1 ;
 $r -$;
 $r/ -$;

$k_{ref,i} -$, .4;
 45°

$$k_{ref,i} = 1.$$

- .10 .11 .

.4

$/h_{dif}$	$k_{ref,i}$			i
	1	0,5	0,25	
10	0,5	0,02	0,0	0,0
15	0,8	0,15	0,0	0,0
20	1	0,5	0,0	0,0
30	1	0,7	0,05	0,05
40	1	0,9	0,18	0,18

()

.1 Δh_{set} , , d

$$\Delta h_{set} = k_w \frac{V_w^2 L}{g(d + 0,5\Delta h_{set})} \cos \alpha_w, \quad (.1)$$

$$\Delta h_{set} = d \left(\sqrt{2k_w \frac{V_w^2 L}{gd^2} \cos \alpha_w + 1} - 1 \right), \quad (.1)$$

V_w – , ;
 L – , ;
 k_w – ,

$$k_w = 3 \left(1 + 0,0138 \frac{V_w}{\sqrt[3]{gv}} \right) 10^{-7}, \quad (.2)$$

v – ; $g=9,81 / ^2$ $v=10^{-5} / ^2$;

$$k_w = 3(1 + 0,3V_w) 10^{-7}. \quad (.2)$$

.2 Δh_{wav} ,
 [1]

$$\Delta h_{wav} = \frac{13,7}{g} \left(\frac{h_{sur}}{\bar{T}} \right)^2, \quad (.3)$$

h_{sur} – , ;
 \bar{T} – .

, $h / 0,1$, Δh_{wav}
 1,8 .

()

, (,)

.1

$$V_{b,max} (5.18, 5.20, 5.32) \quad V_{f,max} (5.19)$$

$$V_{b,adm} / , \quad D > 100 \quad - \quad D < 100$$

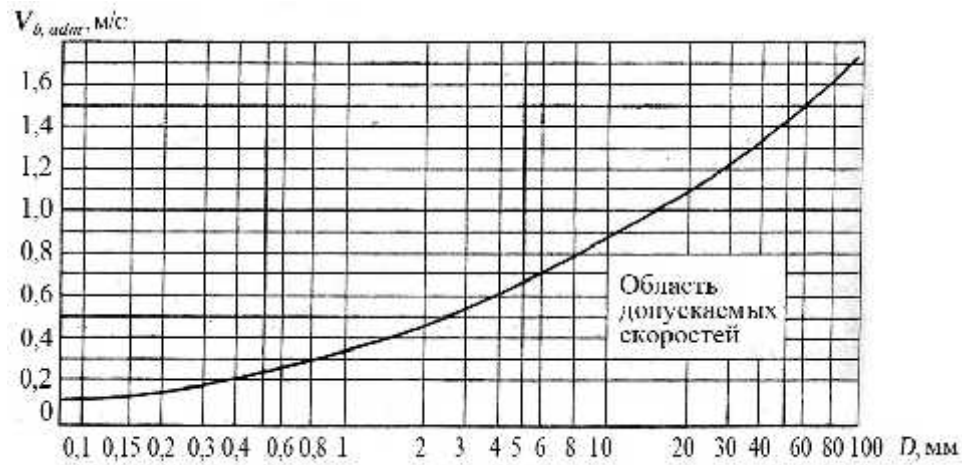
$$V_{b,adm} = 1,4 \sqrt{gD \frac{\rho_m - \rho}{\rho}}, \quad (.1)$$

$$m - , / ^3; \quad V_{b,max} > V_{b,adm} \quad V_{f,max} > V_{b,adm}$$

.2

()

.1.



.1 -

.3

()

$$m \quad m_z, \quad :$$

$$z = 0,7h$$

$$m = \frac{3,16k_{fr}\rho_m h^3}{\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)^3 \sqrt{1 + \text{ctg}^3 \varphi}} \sqrt{\frac{\lambda}{h}}; \quad (.2)$$

38.13330.2012

, $z > 0,7h$

$$m_z = me^{-\left(\frac{7,5z^2}{h\bar{\lambda}}\right)} \quad (.3)$$

$k_{fr} -$, .1; $\bar{\lambda}/h > 15,$
 k_{fr}

$m -$; , / ³.

.1

	k_{fr}	
	0,025	–
	0,021	–
	0,008	0,006

.4 ()

$ctg\varphi \leq 5,$ 3,5 $ctg > 5.$ 3,0 ,

.2. k_{gr} ,
 k_{gr}

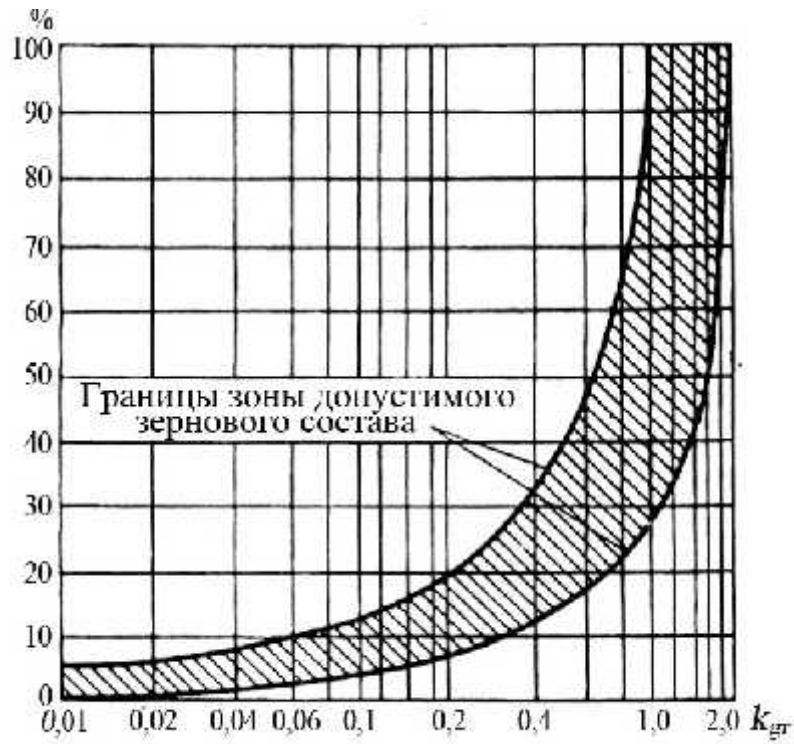
$$k_{gr} = \sqrt[3]{\frac{m_i}{m}} = \frac{D_i}{D} \quad (.4)$$

$m -$, , ;
 $m_i -$, , $i -$;
 D $D_i -$, , , ... ,

m m_i :

$$D = \sqrt[3]{\frac{\pi m}{6\rho_m}} \quad D_i = \sqrt[3]{\frac{\pi m_i}{6\rho_m}} \quad (.5)$$

m , ³ $ctg < 5,$
 (.2) (.3).



.2 -

.5 $5 \text{ ctg } 15, m, ,$

(.2) $\bar{\lambda} / h \geq 10$

$$k_{\varphi} = \left(\frac{5}{\text{ctg}\varphi} \right)^{1.45} .$$

$D_i D$

.6 $\text{ctg} < 3, m, ,$

.2

	D_{60}/D_{10}	5	0	20	40-100
$D_i D$	, % ( ),	50	30	25	20

.7 , ,

($\tau_c > 0,8\bar{\tau}_w$):

$$\bar{\tau}_{cw} = \tau_c + \bar{\tau}_w; \tau_c = \rho g \frac{U^2}{C^2}, \quad (.6)$$

$\bar{\tau}_w = \frac{c}{U - C}$ (4);

 $\tau_c = \frac{1}{2} \rho_m U^2 / c$

.8

$(\tau_c > 0,8\bar{\tau}_w)$

D_{50}

$$\Psi_{cr} = \frac{\bar{\tau}_{cw}}{(\rho_m - \rho) g D_{50}}$$
 (.7)

$\Psi_{cr} = 0,03 - 0,035$

 D_{50}

 $\Psi_{cr} = 0,05 - 0,055$

()

.1

$$(5.14)$$

η , , :

) $\eta_{\max} = k_{\eta 1} h$ -

;

) $\eta = k_{\eta 2} h$ -

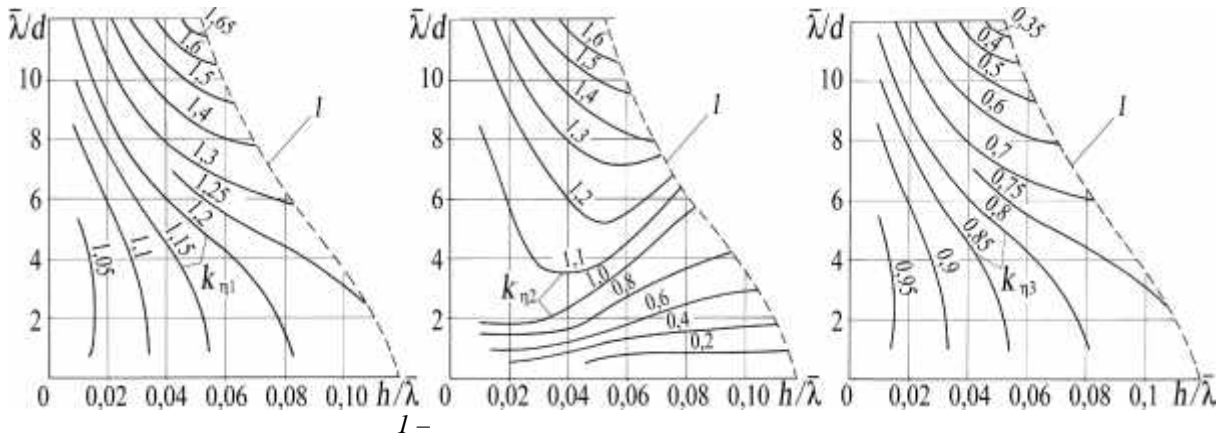
P_{xc} , / , ;

) $\eta_t = -k_{\eta 3} h$ -

.

$k_{\eta 1}, k_{\eta 2}, k_{\eta 3}$

.1.



.1 -

k_{y1}, k_{y2}, k_{y3}

.2

« » « », .1,

P_x / ,

;

P , ,

z , ,

.1,

$k_2, k_3, k_4, k_5, k_8, k_9$

(.2.)

.3

P , ,

η_{\max} , ,

z_{\sup} , ,

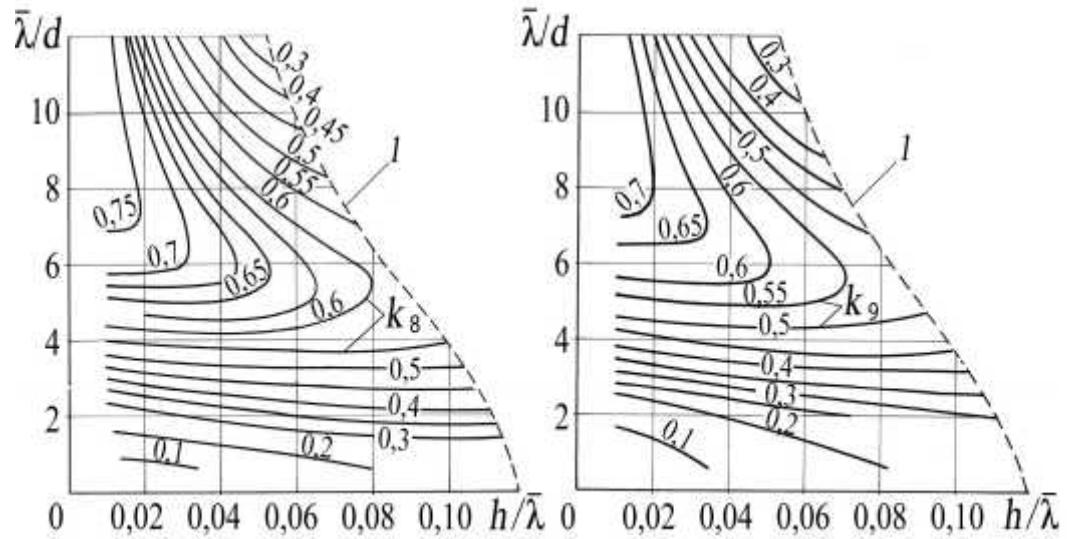
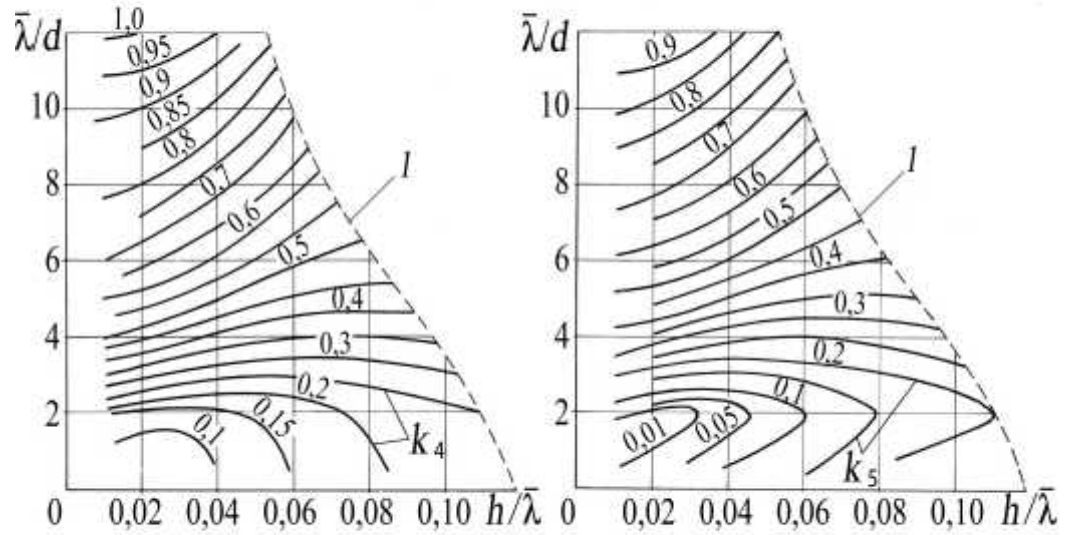
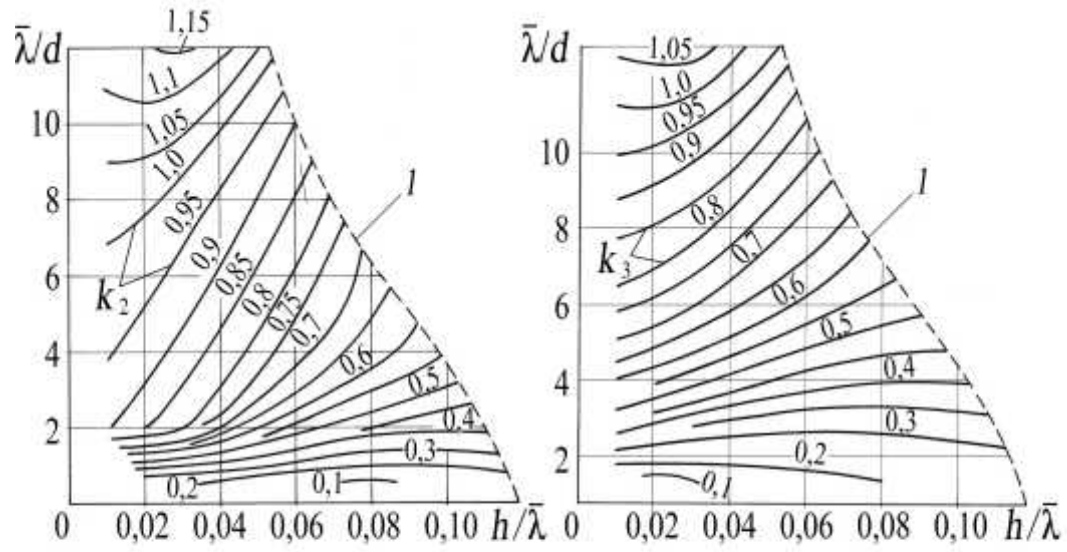
.2

k_c ,

$$k_c = 0,76 \pm 0,19 \frac{z_{\sup}}{h}, \quad (.1)$$

« » « »

.



1 -

.2 -

$k_2, k_3, k_4, k_5, k_8, k_9$

.1

	$z,$	$p,$
η_c		
1		$p_1 = 0$
2	0	$p_2 = k_2 gh$
3	0,25	$p_3 = k_3 gh$
4	0,5	$p_4 = k_4 gh$
5	d	$p_5 = k_5 gh$
η_t		
6	0	$p_6 = 0$
7	t	$p_7 = -g t$
8	0,5	$p_8 = k_8 gh$
9	d	$p_9 = k_9 gh$

.1, k_c , P , / , η

.4 $l/\bar{\lambda} \leq 0,8$;

) $p,$, (5.16, 4,):

$$z_1 = \eta_{\max} = -\frac{h_{dif}}{2} - \frac{kh_{dif}^2}{8} cthkd , \quad p_1 = 0; \quad (.2)$$

$$z_2 = 0, \quad p_2 = k_1 pg \left(\frac{h_{dif}}{2} - \frac{kh_{dif}^2}{8} cthkd \right); \quad (.3)$$

$$z_3 = d_f , \quad p_3 = k_1 pg \left(\frac{h_{dif}}{2chkd} - \frac{kh_{dif}^2}{4sh2kd} \right); \quad (.4)$$

) (5.15, 5,):

$$z_1 = 0, \quad p_1 = 0; \quad (.5)$$

$$z_2 = \eta_1 = \frac{h_{dif}}{2} - \frac{kh_{dif}^2}{8} cthkd , \quad p_2 = -k_1 pg \eta_1; \quad (.6)$$

$$z_3 = d_f , \quad p_3 = -k_1 pg \left(\frac{h_{dif}}{2chkd} + \frac{kh_{dif}^2}{4sh2kd} \right), \quad (.7)$$

$\frac{h_{dif}}{k_1} -$, , .2 ;

.2

	$l/\bar{\lambda}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	k_l	0,98	0,92	0,85	0,76	0,64	0,51	0,38	0,26
(5.16, .4).		$d \geq 0,3\bar{\lambda}$ $z_3 = 0,3\bar{\lambda}$							

.5

(5.13, 2,) $p_{br,i}$,
($i=1, 2$ 3)

$$p_{br,i} = k_{br} pgh \frac{chk(d-d_f)}{chkd} \cos kx_i \leq p_f, \quad (.8)$$

x_i – , ;
 k_{br} – .3;
 p_f – .

.3

$d/\bar{\lambda}$	k_{br}	
	15	20
0,27	0,86	0,64
0,27 0,32	0,6	0,44
0,32	0,3	0,3

()

.1 h_{run} ,

$$h_{run} = k_r k_p k_{sp} k_{run} k_i k_d h_{1\%} \quad (.1)$$

$h_{1\%}$ – 1 % ;
 k_r, k_p – ,

k_{sp} – .1;
 k_{run} – .2;
 d

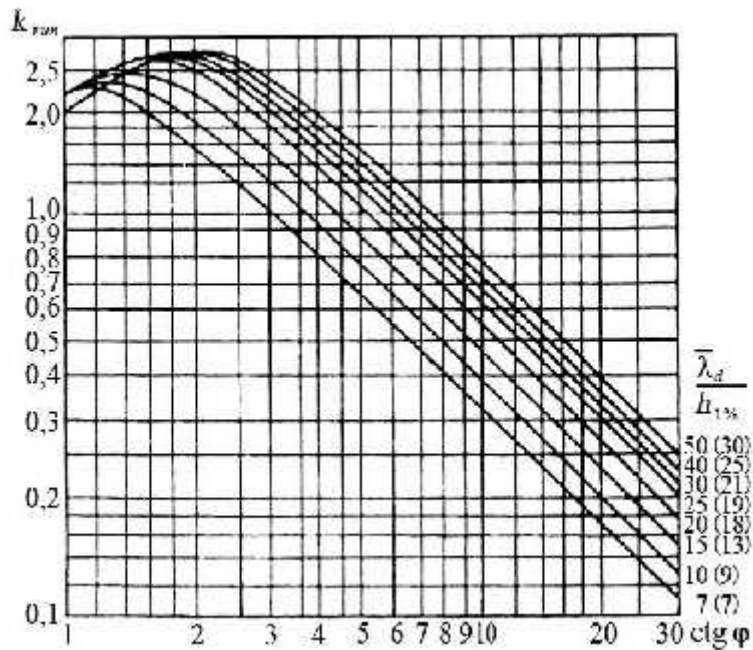
$\bar{\lambda}_d / h_{1\%}$.1.
 $\bar{\lambda}_d / h_{1\%}$, $d_h \geq 2h_{1\%}$.

$d < 2h_{1\%}$, k_{run}
 $\bar{\lambda}_d$, $d = 2h_{1\%}$
 $\bar{\lambda}_d / h_{1\%}$.1 .

k_i – , .3;
 k – , .4

$0,3h$,

$d = d_{cr,u}$, - , $d = d_{cr}$,
 (h, d_{cr} $d_{cr,u}$ - ,).



.1 -

k_{run}

.1

	$r/h_1 \%$	k_r	k_p
()	–	1	0,9
-	0,002	1	0,9
, ()	0,005–0,01	0,95	0,85
	0,02	0,9	0,8
	0,05	0,8	0,7
	0,1	0,75	0,6
	0,2	0,7	0,5
– $r, ,$			
() .			

.2

ctg	1–2	3–5	5
$k_{sp} V_w, / :$			
20	1,4	1,5	1,6
10	1,1	1,1	1,2
5	1	0,8	0,6
: – , .			

.3

$i, \%$	0,1	1	2	5	10	30	50
k_i	1,1	1	0,96	0,91	0,86	0,76	0,68

.4

,	0	10	20	30	40	50	60
k	1	0,98	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76

.2 $1,5 \text{ ctg } 5,$
, (.2),

$p_d, ,$

$$p_d = k_s k_f p_{rel} \rho g h, \quad (.2)$$

$k_s \quad k_f - , \quad \bar{\lambda} / h$

$$k_s = 0,85 + 4,8 \frac{h}{\lambda} + \text{ctg} \varphi \left(0,028 - 1,15 \frac{h}{\lambda} \right), \quad (.3)$$

$$k_f = 1 + 0,092 \sqrt{\frac{\bar{\lambda}}{h}} - 10, \quad (.4)$$

$p_{rel} - \quad h < 4 \quad (h,). \quad 2 (.2),$

$$p_{rel} = \left(\frac{20}{h}\right)^{1/3}, \quad (.5)$$

$h \geq 4 p_{rel} = 1,7.$
 $z_2, \dots, 2$
 p_d

$$z_2 = A + \frac{1}{\text{ctg}^2 \varphi} (1 - \sqrt{2 \text{ctg}^2 \varphi + 1}) (A + B), \quad (.6)$$

$A, B - \dots, \dots$:

$$A = h \left(0,47 + 0,023 \frac{\bar{\lambda}}{h} \right) \frac{1 + \text{ctg}^2 \varphi}{\text{ctg}^2 \varphi}; \quad (.7)$$

$$B = h \left[0,95 - (0,84 \text{ctg} \varphi - 0,25) \frac{h}{\lambda} \right]. \quad (.8)$$

z_3, \dots, \dots

.1.

2 (. . . .2)

p, \dots, \dots :

$l_1 = 0,0125L \quad l_3 = 0,0265L \quad p = 0,4p_d$
 $l_2 = 0,0325L \quad l_4 = 0,0675L \quad p = 0,1p_d$

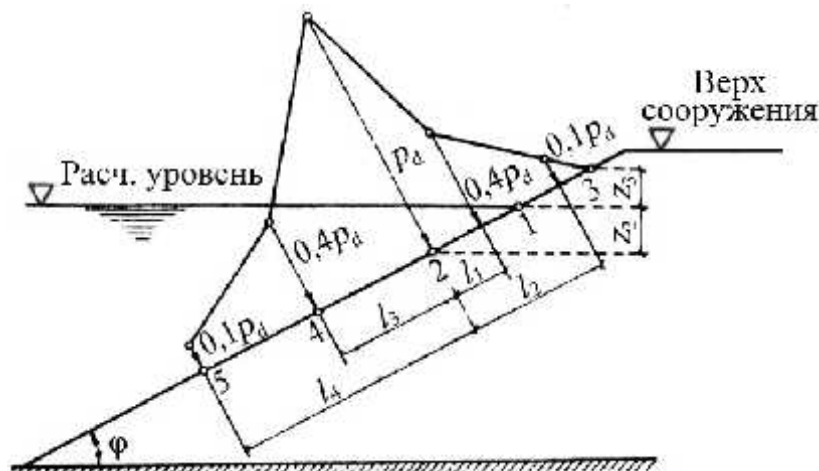
$$L_\varphi = \frac{\bar{\lambda} \text{ctg} \varphi}{\sqrt[4]{\text{ctg}^2 \varphi - 1}}. \quad (.9)$$

p_c, \dots

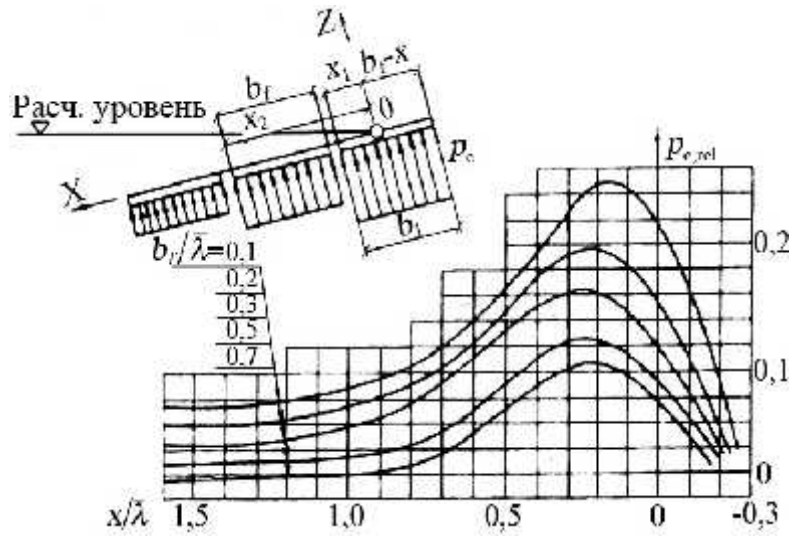
$$p_c = k_s k_f p_{c,rel} \rho g h, \quad (.10)$$

$p_{c,rel} - \dots$

.3.



.2 -



.3 -

E
()

.1 Q_{max} , , $a = 0,4$ $b = 0,4$ (8,) $d > d_{cr}$
 $\alpha = x/\lambda$

$$Q_{max} = Q_{i,max} \delta_i + Q_{v,max} \delta_v, \quad (.1)$$

$Q_{i,max}$ $Q_{v,max}$ -

$$Q_{i,max} = \frac{1}{4} \rho g \pi b^2 h k_v \alpha_i \beta_i, \quad (.2)$$

$$Q_{v,max} = \frac{1}{12} \rho g b h^2 k_v^2 \alpha_v \beta_v, \quad (.3)$$

i v -

1 2 .1;
 h - ;
 a - , ;
 b - , ;
 k_v -

(.1);
 a_i a_v -

.2;

i v -

.3.

1

$$\beta_i = \frac{a}{2b} C_i, \quad (.4)$$

$$\beta_v = C_v, \quad (.5)$$

C_i C_v - -
 2

()

3

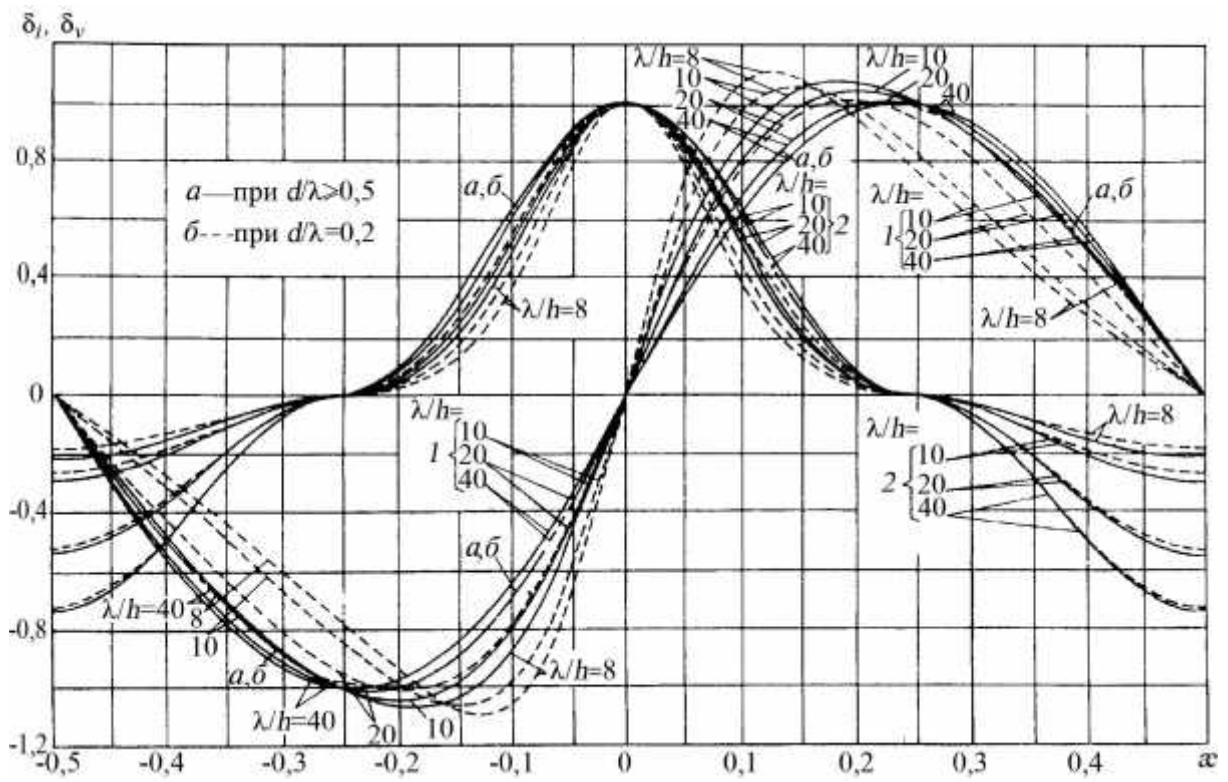
$$\frac{Q_{i,\max}}{Q_{v,\max}} \geq 2 \quad Q_{\max} = Q_{i,\max}, \quad \frac{Q_{i,\max}}{Q_{v,\max}} \leq 0,2$$

$Q_{\max} = Q_{v,\max};$ Q_{\max}

(.1) æ.

.1

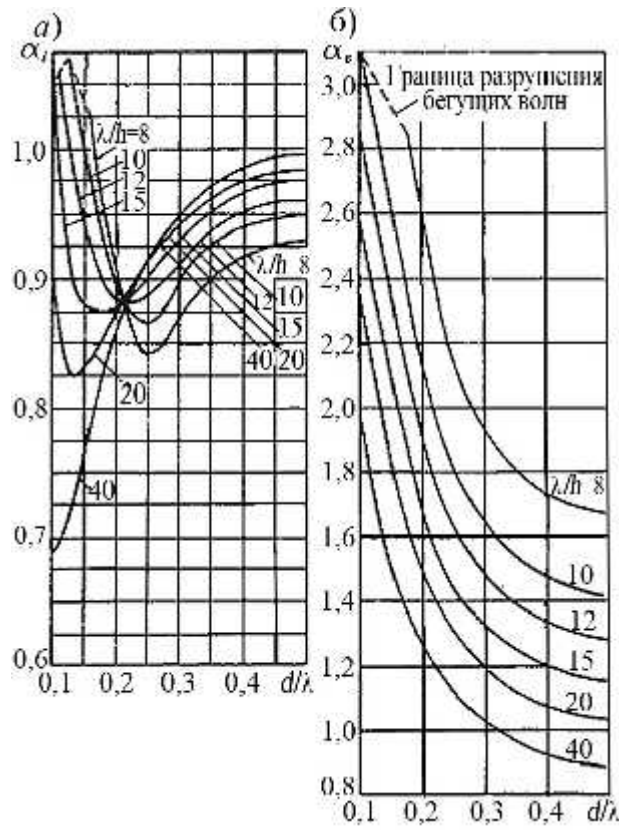
$a/ , b/ , D/$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
k_v	1	0,97	0,93	0,86	0,79	0,7	0,52



.1 -

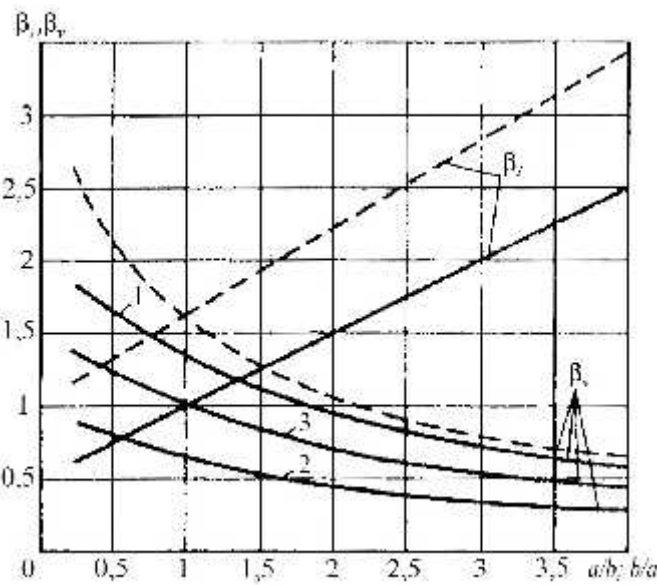
$v (2)$

$i (D)$



.2 -

i v



1 -

; 2 -

; 3 -

.3 -

$$a/b \left(\begin{matrix} i \\ Q, q \\ P_x \end{matrix} \right) \quad b/a \left(\begin{matrix} v \\ P_z \end{matrix} \right)$$

z, , .2 q, / , Q_max (8,)

$$q = q_{i,max} \delta_{xi} + q_{v,max} \delta_{xv}, \quad (.6)$$

q_{i,max} q_{v,max} -

, / :

$$q_{i,max} = \frac{1}{2} \rho g \pi^2 b^2 \frac{h}{\lambda} k_v \theta_{xi} \beta_i, \quad (.7)$$

$$q_{v,max} = \frac{2}{3} \rho g \pi b \frac{h^2}{\lambda} k_v^2 \theta_{xv} \beta_v, \quad (.8)$$

xi xv -

, æ .1; I 2 .4

xi xv -

.5

$$z_{rel} = \frac{d-z}{d}.$$

.3

η, ,

$$\eta = \eta_{rel} h, \quad (.9)$$

η_{rel} -

.6.

Δd, ,

$$\Delta d = (\eta_{c,rel} + 0,5) h, \quad (.10)$$

η_{c,rel} -

,

.6,

æ = 0.

.4

Q q

x, ,

(.1)

(.6).

.1,

xi xv -

i v I 2

.4

æ = x/λ.

.5

z_{Q,max} , ,

Q_max

$$z_{Q,max} = \frac{1}{Q_{max}} (Q_{i,max} \delta_i z_{Q,i} + Q_{v,max} \delta_v z_{Q,v}), \quad (.11)$$

i v -

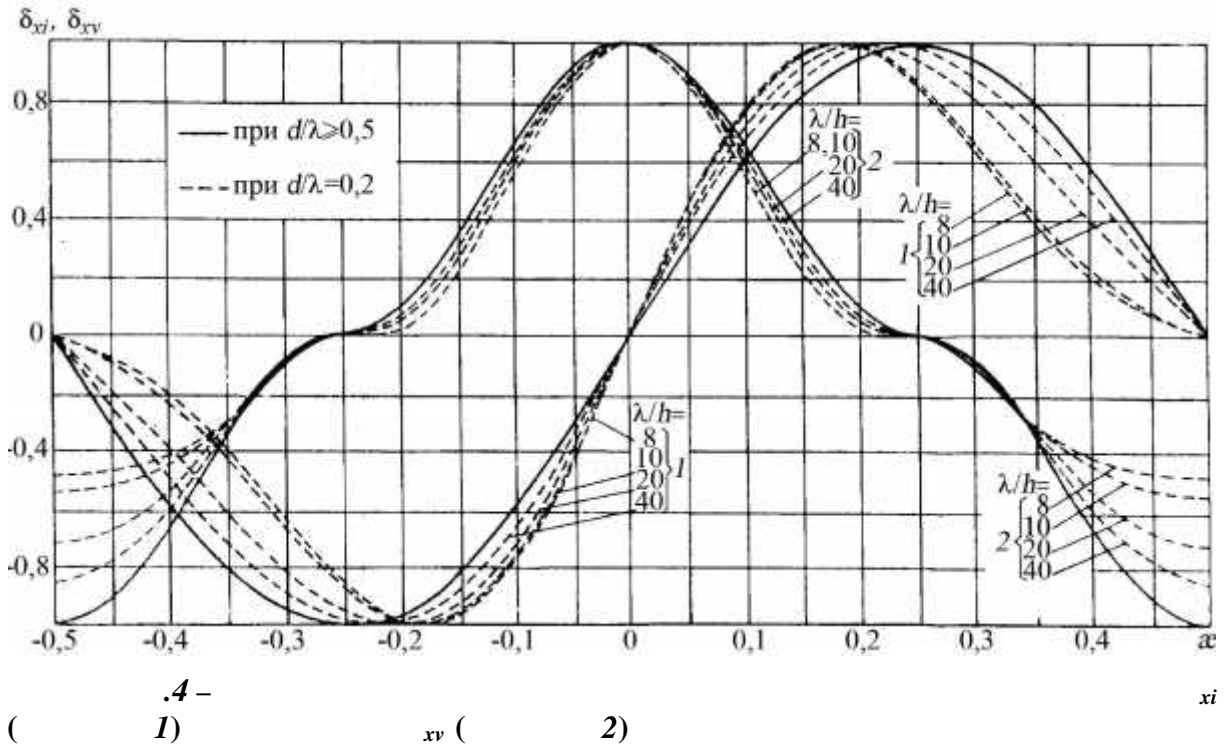
,

I 2

.1

æ,

Q_max ;



$z_{Q,i} = \mu_i \zeta_{i,rel} \lambda$, (.12)

$z_{Q,v} = \mu_v \zeta_{v,rel} \lambda$, (.13)

i,rel v,rel — , , :

μ_i μ_v — .7;

z_Q Q (.11),

$\alpha = x/\lambda$.8.

$Q_{cr,max}$, D $0,4d_{cr}$

Q_{cr} , (.9) .

$0,1 \frac{x}{d_t}$,

$$\frac{x}{d_t} = 0 \quad (x - \dots, \dots, \dots).$$

$$Q_{cr} = \dots,$$

$$Q_{cr} = Q_{i,cr} + Q_{v,cr}, \quad (.14)$$

$$Q_{i,cr} = Q_{v,cr} - \dots$$

$$Q_{i,cr} = \frac{1}{2} \rho g \pi D^2 (d_{cr} + \eta_{c,sur}) \delta_{i,cr}, \quad (.15)$$

$$Q_{v,cr} = \frac{2}{5} \rho g D (d_{cr} + \eta_{c,sur}) d_t \delta_{v,cr}, \quad (.16)$$

$$d_t = \dots, \dots, (.9, .):$$

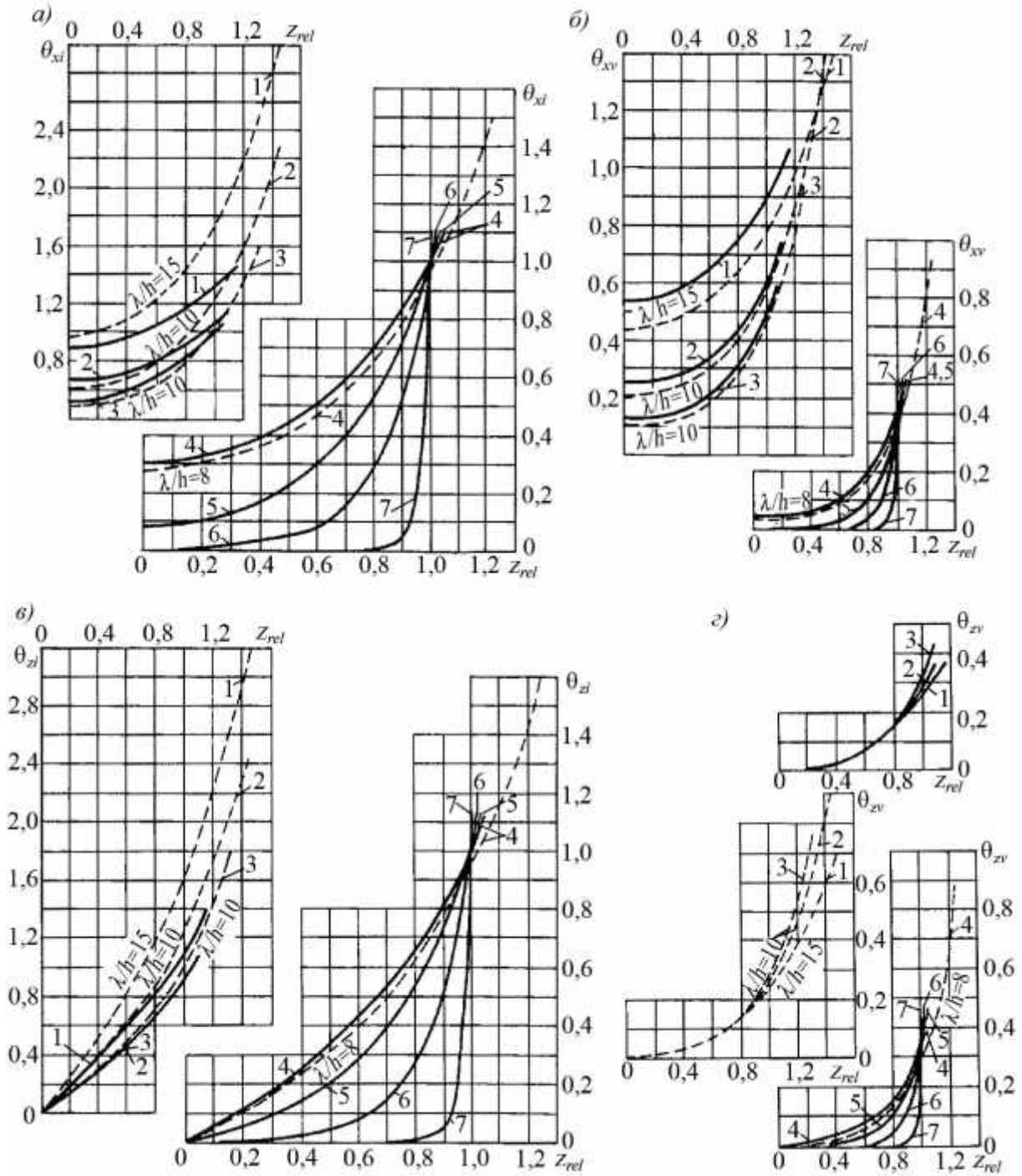
$$d_t = d_{cr} - (h_{sur} - \eta_{c,sur}), \quad (.17)$$

$$h_{sur} = \dots, \dots, \dots$$

$$h_{sur} = 0,8 d_t;$$

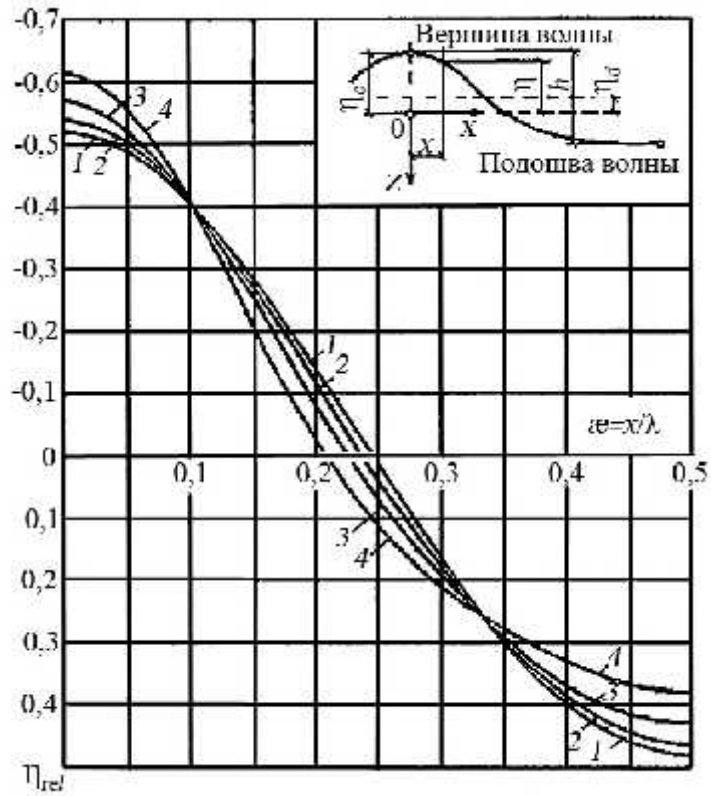
$$\eta_{c,sur} = \dots, \dots$$

$$i,cr = v,cr - \dots, \dots$$



.5 -

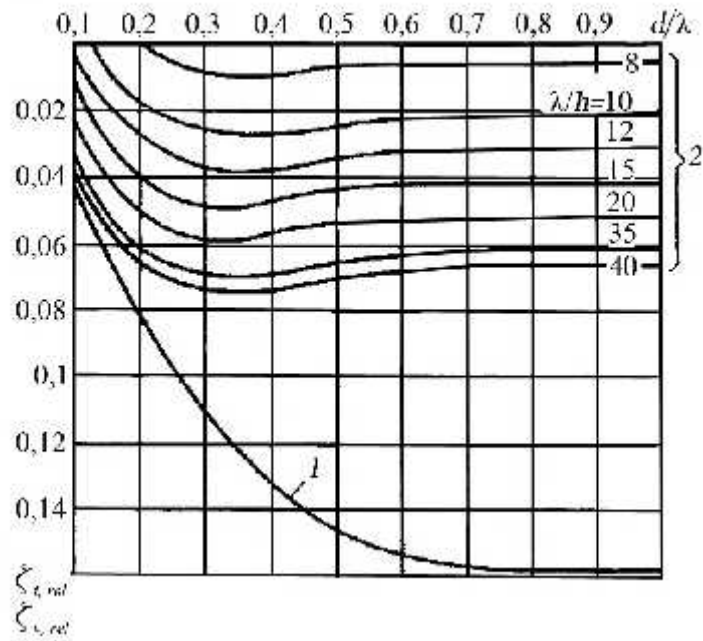
xi, xv, zi, zv, d/ :1) 0,1;
 2) 0,15; 3) 0,2; 4) 0,3; 5) 0,5; 6) 1; 7) 5;
 /d = 40 - ; /d = 8-15 -



1 - $d/\lambda = 0,5$ $h/d=40$; 2 - $d/\lambda = 0,5$ $h/d=20$, $d/\lambda = 0,2$ $h/d=40$; 3 - $d/\lambda = 0,5$ $h/d=10$, $d/\lambda = 0,2$ $h/d=20$; 4 - $d/\lambda = 0,2$ $h/d=10$

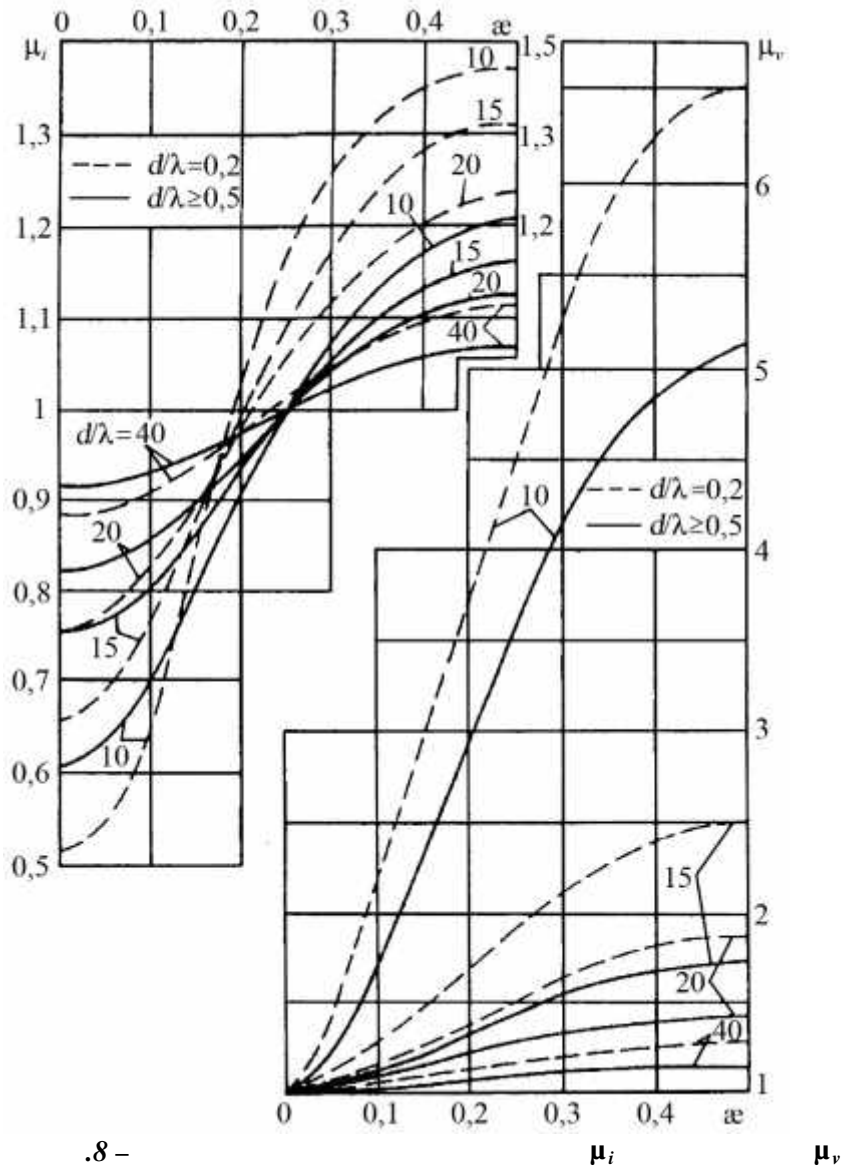
.6 -

y_{rel}



1 - i_{rel} ; 2 - v_{rel}

.7 -



.7

$z, \quad q_{cr}, \quad / , \quad (\quad .9,)$
 x/d_t

$$q_{cr} = q_{i,cr} + q_{v,cr}, \quad (.18)$$

$q_{i,cr} \quad q_{v,cr} -$

, / :

$$q_{i,cr} = \frac{1}{2} \rho g \pi D^2 \quad i_{cr}, \quad (.19)$$

$$q_{v,cr} = \frac{2}{5} \rho g D (d_{cr} + \eta_{c,sur}) \quad .cr, \quad (.20)$$

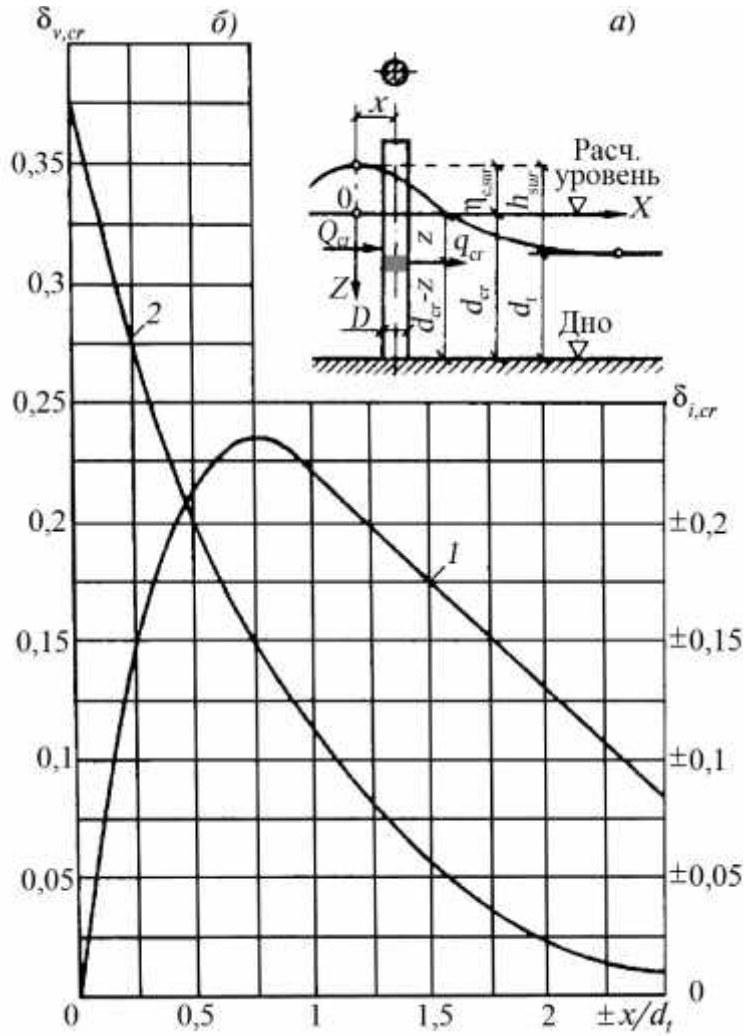
i_{cr} v_{cr} —

,
.10

$$z_{rel} = \frac{d_{cr} - z}{d_t}$$

$x/d_t > 0$

i_{cr} (9,) i_{cr} (10,)
 $x/d_t < 0$.



.9 -

i_{cr} — 1 v_{cr} — 2

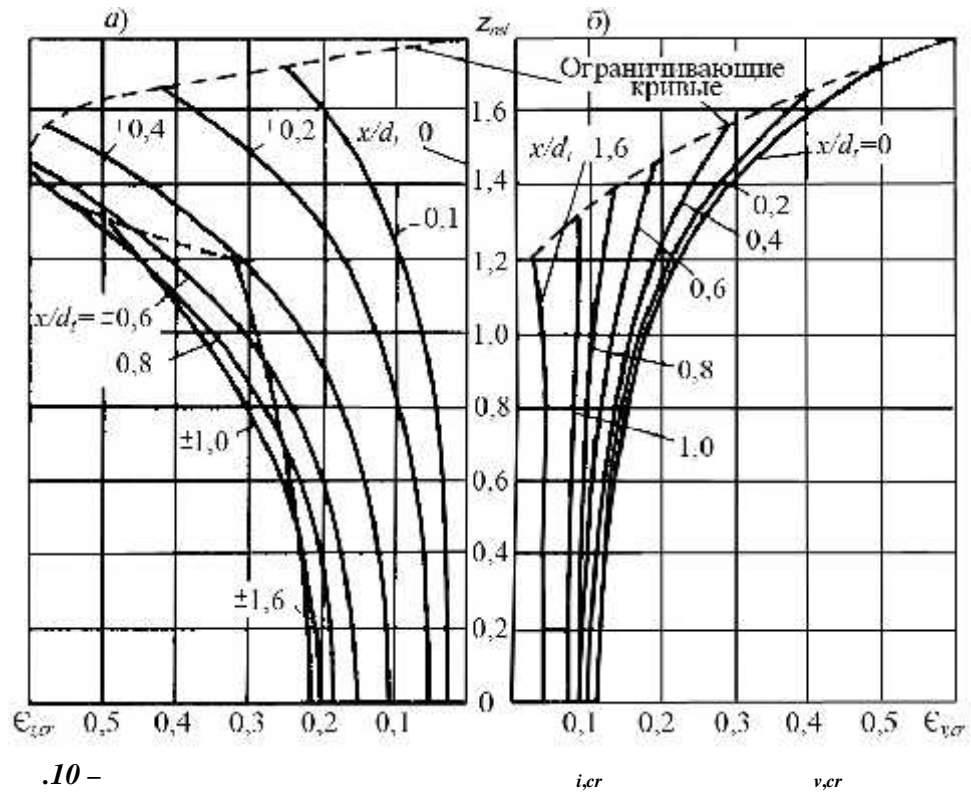
.8

$M_{z,por}$, ,

$$M_{z,por} = \frac{1}{16chkd} \rho gh D^3 \beta_{por} , \quad (.21)$$

por —

.2.



.10 -

E.5,

$$Q_{max} = \dots$$

(.21),

$$M_{z,por} = \dots$$

Q_{max} ·

.2

<i>D/por</i>	0,2	0,25	0,3	0,4
<i>por</i>	0,88	1,05	1,10	1,08

.9 *p*, *z* 0

*Q*_{max}

$$p = \rho gh \frac{chk(d-z)}{chkd} \chi, \quad (.22)$$

— , (z 0), .3. :

$\chi > 0$, $p = 0$ $z = 0$, $p = 0$

(.22), $p = 0$ $z = -\chi h$; $z = 0$, $p = 0$

$\chi < 0$ $z = 0$ $p = 0$ $z = -\chi h$ $p = 0$

$z = 0$ p , (.22) $z = -\chi h$ $p = 0$

.10 $V_{b,max}$ / , , 0,25
 (= 90° 270°)
 (= 0°),

$$V_{b,max} = 2\varphi_v \frac{\pi h}{T} \frac{1}{shkd}, \quad (.23)$$

v .4.

.3

, 0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180	χ D/		
	0,2	0,3	0,4
0	0,73	0,85	0,86
15	0,7	0,83	0,85
30	0,68	0,81	0,84
45	0,6	0,74	0,8
60	0,5	0,65	0,7
75	0,35	0,51	0,55
90	0,22	0,34	0,34
105	0,03	0,11	0,1
120	-0,09	-0,08	-0,1
135	-0,23	-0,23	-0,23
150	-0,32	-0,36	-0,33
165	-0,37	-0,42	-0,38
180	-0,41	-0,45	-0,4

–
(= 0°).

.4

	v D/		
	0,2	0,3	0,4
	0,98	0,87	0,77
	0,67	0,75	0,75

.11 P_{max} / ,

a 0,1 , , b 0,1 , , z_c b, (8,) $(z_c - b/2) > h/2$ $(d - z_c) b$

$$P_{max} = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}, \quad (.24)$$

:

$$\begin{aligned} P_{x,max} & / , \\ P_z & / ; \\ P_{z,max} & / , \\ P_x & / . \end{aligned}$$

$$P_{x,max} = P_{xi} \delta_{xi} + P_{zv} \delta_{zv} \quad (11)$$

$$P_{x,max} = \dots$$

$$P_{x,max} = P_{xi} \delta_{xi} + P_{zv} \delta_{zv} \quad (12)$$

$$P_{xi} = P_{zv} = \dots$$

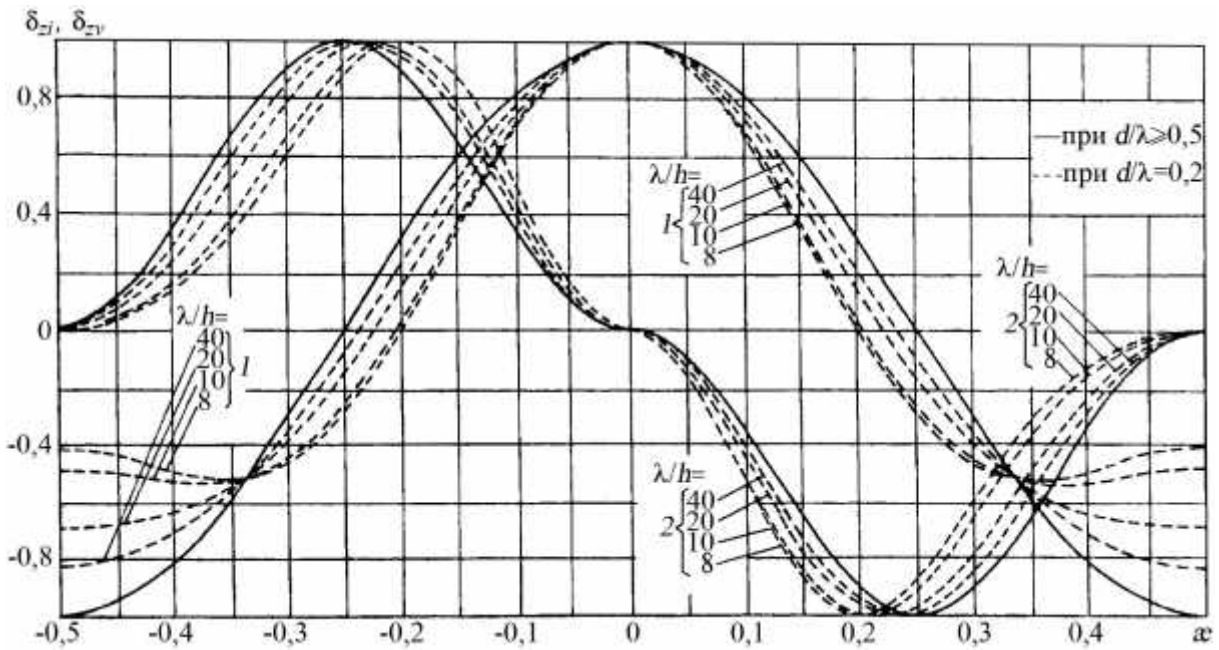
$$P_{xi} = \frac{1}{2} \rho g \pi^2 b^2 \frac{h}{\lambda} k_v \theta_{xi} \beta_i \quad (26)$$

$$P_{zv} = \frac{2}{3} \rho g \pi b \frac{h^2}{\lambda} k_v^2 \theta_{zv} \beta_v \quad (27)$$

xi xv - , I 2 .4

xi xv - .2;

.3 a/b - b/a -



.11 -

zv (2)

zi (1)

.13

$$P_{z,max} / \alpha, \quad (28)$$

$$P_{z,max} = P_{zi} \delta_{zi} + P_{zv} \delta_{zv}, \quad (28)$$

$P_{zi} \quad P_{zv} -$

, / , :

$$P_{zi} = \frac{1}{2} \rho g \pi^2 a^2 \frac{h}{\lambda} k_v \theta_{zi} \beta_i, \quad (29)$$

$$P_{zv} = \frac{2}{3} \rho g \pi a \frac{h^2}{\lambda} k_v^2 \theta_{zv} \beta_v, \quad (30)$$

$z_i \quad z_v -$

1 2 .11.

$z_i \quad z_v -$

.5

$$z_{c,rel} = \frac{d - z_c}{d};$$

$i \quad v -$

.14

.12.

$$P_x, / ,$$

$$P_z, / ,$$

$$(25) \quad (28).$$

.4 .11

$$x_i, \quad x_v \quad z_i, \quad z_v$$

$$\alpha = x/\lambda.$$

.15

$$P_{max}, / ,$$

(8,),

$$D \quad 0,1$$

$D \quad 0,1d$

.16

(24)

$$P_{x,max}, / ,$$

.11.

$$P_z, / ,$$

, :

$$P_{x,max} = P_{xi} \delta_{xi} + P_{xv} \delta_{xv}, \quad (31)$$

$$P_z = -\frac{9}{5} P_{xv} \delta_{xv}, \quad (32)$$

$P_{xi} \quad P_{xv} -$

, / ,

:

$$P_{xi} = \frac{3}{4} \rho g \pi^2 D^2 \frac{h}{\lambda} \theta_{xi}, \quad (33)$$

$$P_{xv} = \rho g \pi D \frac{h^2}{\lambda} \theta_{xv}, \quad (34)$$

$x_i, \quad x_v, \quad x_i, \quad x_v, -$, .12.

$P_x, / ,$ $P_{z,max}, / ,$
 $P_{z,max} = -\frac{9}{5} P_{xv};$ $P_x = P_{xv} \cdot$

.17

.1 – .14

$D;$ $l < 3D$ ($D -$ $l,$)

.18

.5.

.14

25°,

.4 .14

.5

l/D	t l			
	t		l	
	0,1	0,05	0,1	0,05
3	1	1	1	1
2,5	1	1,05	1	0,98
2	1,04	1,15	0,97	0,92
1,5	1,2	1,4	0,87	0,8
1,25	1,4	1,65	0,72	0,68

.19

.17 .18

$k_d,$

.6.

$T_c / \bar{T} > 0,3$

.6

$T_c / \bar{T} > 0,3$	0,01	0,1	0,2	0,3
k_d	1	1,15	1,2	1,3
$T_c -$ $\bar{T} -$, ;			

()

.1.

.1

$$h_{sh} - \dots, ; \dots (30);$$

$$h_{rsh} - \dots, ; \dots$$

$$d_{inf} - \dots, ;$$

$$d_{sh} - \dots, ;$$

$$d_h - \dots;$$

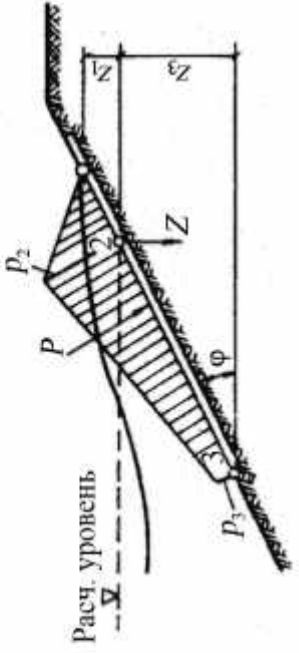
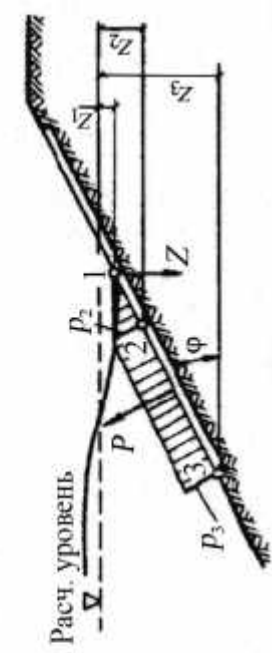
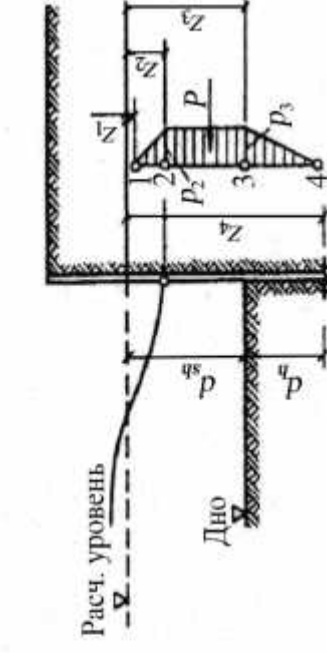
$$\Delta z_f - \dots, ;$$

$$0,25h_{sh} - \dots, ;$$

$$0,2h_{sh} - \dots, ;$$

$$0,1h_{sh} - \dots.$$

Таблица Ж.1

Условия	Эшора давления от судовых волн	Формула для определения давления в характерных точках
<p>Накат волны на откос, укрепленный плитами</p>		$z = z_1 = -h_{rsh}$ $z = z_2 = 0$ $z = z_3 = 1,5h_{rsh}\sqrt{1 + \text{ctg}^2 \varphi}$ $p_1 = 0;$ $p_2 = 1,34\rho gh_{sh};$ $p_3 = 0,5\rho gh_{sh}.$
<p>Откат волны с откоса, укрепленного плитами</p>		$z = z_1 = \Delta z_f$ $z = z_2 = 0,5h_{rsh}$ $z = z_3 = d_{inf}$ $p_1 = 0;$ $p_2 = -\rho g(0,5h_{sh} - \Delta z_f);$ $p_3 = p_2.$
<p>Ложбина волны у вертикальной стены</p>		$z = z_1 = \Delta z_f$ $z = z_2 = 0,5h_{rsh}$ $z = z_3 = d_{inf}$ $z = z_4 = d_{sh} + d_h$ $p_1 = 0;$ $p_2 = -\rho g(0,5h_{sh} - \Delta z_f);$ $p_3 = p_2;$ $p_4 = 0;$

()

.1

10

() () , -
 (.). () 30-
 ()
 $\pm 30^\circ$,
 Q_w N_w .

20.13330

V_w , / ,

(31) (32)

$$V_w = 4\sqrt{q_0}, \quad (.1)$$

q_0 - , .

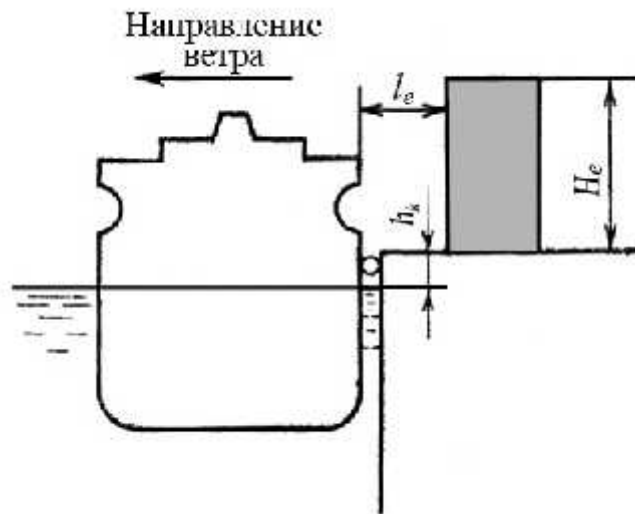
.2

, ,
 ,
 .1 A_e , ²,

$$A_e = (h_k + \alpha_e H_e) L, \quad (.2)$$

h_k - , ;

e - , ,



.1 -

$$\alpha_e = 0,5 \frac{H_e}{l_e} \frac{L_e}{\alpha_h}, \quad (.3)$$

$H_e -$, ;
 $l_e -$; $l_e < H_e$
 $h -$ $l_e = H_e$;
 $L_e -$ L_s L ; L L_s .

()

.1 C_x ,

$$C_x = 0,1 \left[1,0 + C_t L_s \left(\frac{1,7}{B_k} + \frac{358}{T_k} \right) \right] + 1,2 \frac{L_s}{T_k A_R}, \quad (.1)$$

$$C_t = \frac{0,075}{(\log Re_n - 2)^2}, \quad (.2)$$

$$Re_n = \frac{V_t L_s}{\nu}; \quad (.3)$$

V_t – , / ;
 L_s – , ;
 $\nu = 1,0 \cdot 10^{-6}$, m^2/s ;
 B_k, T_k – ;
 A_R – ,

.2 .1 .

$$C_y = C_y^\infty + (C_y^1 - C_y^\infty) \cdot \left(\frac{T_k}{d} \right)^{k_1}, \quad (.4)$$

C_y^∞ –
 $d/T_k = \infty$;
 C_y^1 –
 $d/T_k = 1$;
 d – , ;
 k_1 – .

.1

	A_R
	240
	270

$$C_y^\infty = 0,22 \sqrt{L_s^2 A_{px} / (B_k W)}, \quad (5)$$

$A_{px} -$, $W -$ (C_y^∞ , $2;$), $3;$

$$C_y^\infty = 0,4.$$

C_y^1
 $\delta L_s / \mu \sqrt{T_k}$, $-$,
 $\mu = A_{px} / B_k T_k -$,
 $\delta L_s / \mu \sqrt{T_k}$.
 C_y^1

$$C_y^1 = 2,0.$$

$$k_1 \quad (4)$$

$$k_1=2;$$

.2

$\delta L_s / \mu \sqrt{T_k}$	C_y^1
20	2,00
40	2,84
60	3,64
80	4,50
100	5,44

()

.1 () Δ_z ,

$$\Delta_z = \bar{A} \left(j + \frac{\eta_0}{A} \right), \quad (.1)$$

\bar{A} -

$$\bar{A} = \chi \frac{\hbar}{2}; \quad (.2)$$

$$\chi = \chi_\psi \left(\chi_\eta + 2\pi \frac{l_0}{\lambda} \chi_\theta k_\theta \right); \quad (.3)$$

η_0 -

$$P = \frac{\sqrt{v}\sigma}{\tilde{\omega}}$$

.1).

$$P = \pi \frac{\mu \varepsilon}{\chi \lambda}; \quad (.4)$$

$$v = v \frac{1}{\frac{1}{k_m} + \left(\frac{l_\varphi}{\rho_\varphi} \right)^2 + \left(\frac{l_\theta}{\rho_\theta} \right)^2}; \quad (.5)$$

k_m -

.1;

c -

.2;

$$= 1 - \frac{l}{l}$$

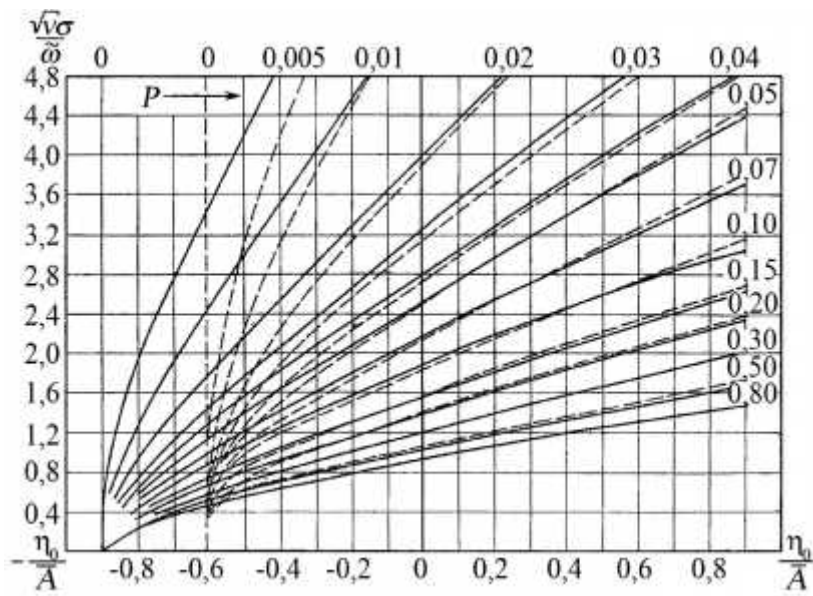
$$\sigma = \frac{2\pi}{\tau}$$

$$\tilde{\omega} = \sqrt{\frac{o n}{\rho W}}$$

« - », / ;
 $n -$;
 (, . .) $\tilde{\omega}$ -
 0,7;
 $W -$;
 $\mu -$, / ³;
 $\chi -$.2 .3 ;
 $L -$, ; - .4,
 $\chi_{\eta} \chi -$;
 $k -$, .5;
 $\bar{h} \bar{\lambda} -$ c^{-1} , - , ;
 $j -$, ;
 .3,
 L_k ,
 n
 .1

d_s/d	$k_m B^2/g,$						
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
0,00	1,90	1,67	1,39	1,23	1,15	1,15	1,15
0,20	2,08	1,82	1,48	1,32	1,22	1,21	1,21
0,40	2,35	2,04	1,64	1,43	1,35	1,33	1,33
0,60	2,63	2,27	1,82	1,60	1,55	1,54	1,54
0,80	2,86	2,44	2,04	1,82	1,75	1,74	1,72
0,90	3,13	2,67	2,22	1,96	1,89	1,87	1,85
0,95	3,33	2,78	2,27	2,04	1,96	1,92	1,90
$B d_s -$, ; $d -$ $\sigma = \frac{2\pi}{\tau}$, $1/c$; $\bar{\tau} -$, .							

(, ,), $n = 1$.

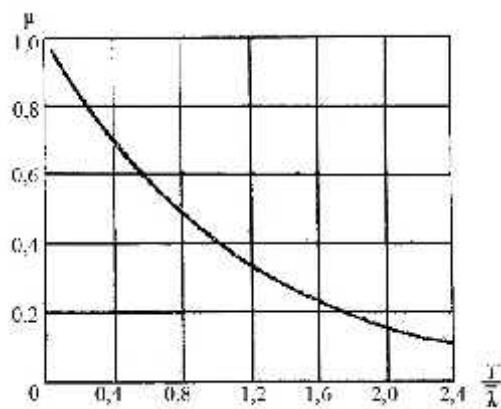


- ;

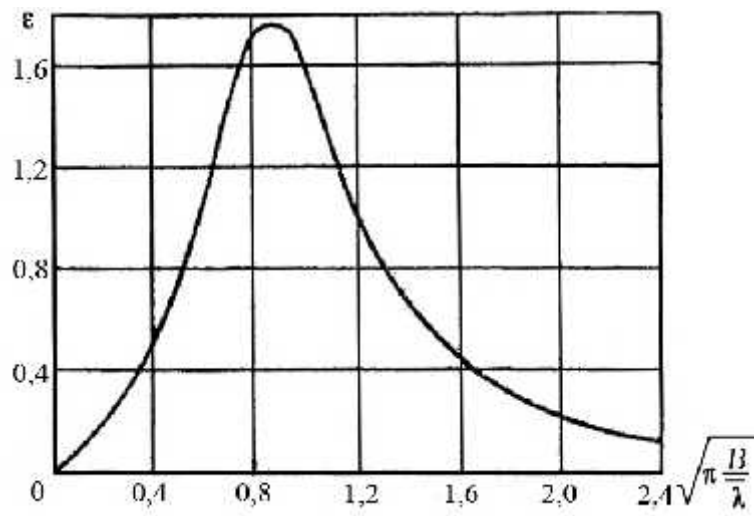
.1 - $\frac{y_0}{A}$

.2

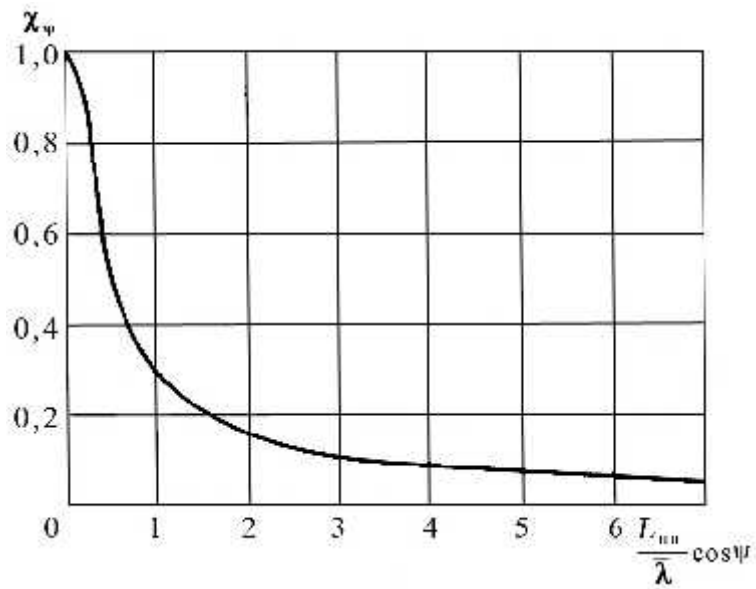
	c
	0,75
	0,85
	1,0



.2 - μ



.3 -



.4 -

t

.3

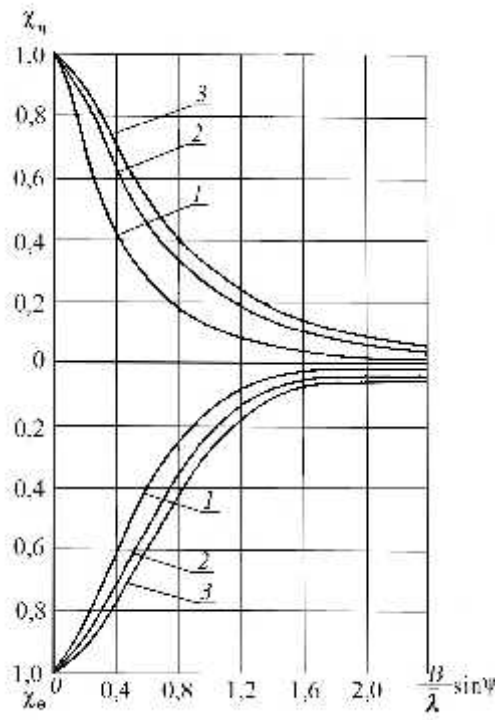
, %	1	3	5	10	20	50
<i>j</i>	2,42	2,11	1,95	1,71	1,43	0,94

.2

()

C_o
(.1).

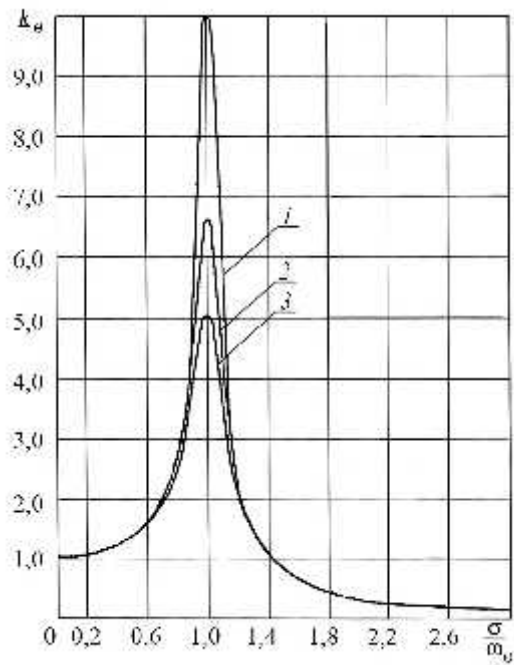
(), 6.7,



1 - ; 2 - ; 3 -

.5 -

t_y t



1 - ; 2 - ; 3 -

.6 -

k

.3
 (.5). z (.1) –
 (.5)

.4
 (.5) $l \quad l$

l , $l -$

C_0 C_m $n -$

$C_m = N_p k (\Delta l_{\max})^{m-1}$,
 $N_p -$, H;
 $k, m -$, .4 [4];
 $l_{\max} -$, .4.
 .5

(.1) C_m ,

6.12,

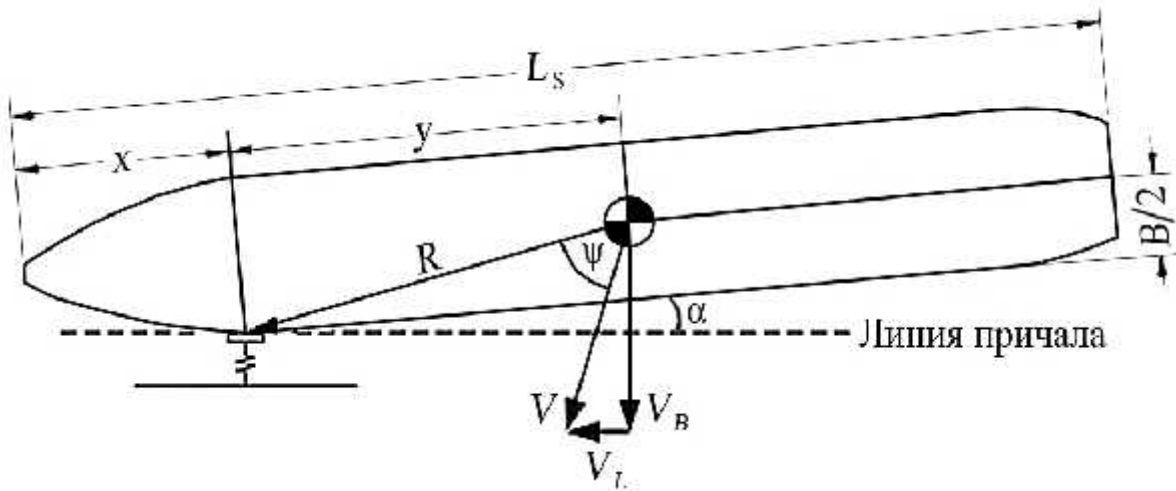
.4

	l_{\max}	k	m
	0,010	22,5	1,0
	0,252	1,5	1,46
	0,226	2,3	1,64
	0,156	4,2	1,64
	0,163	4,6	1,73
	0,168	6,7	1,97
	0,122	3,4	1,35
	0,123	27,4	2,24
	0,112	28,3	2,16
	0,111	32,0	2,21

()

1

.1 () (30) E_q ,
 V_B / , .1.



.1 - С

.1

		V_B / ,													
		W .													
		1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	100	200	300	400
		0,87	0,73	0,65	0,60	0,56	0,45	0,36	0,31	0,28	0,26	0,20	0,16	0,14	0,12
		0,67	0,58	0,52	0,49	0,46	0,38	0,30	0,26	0,24	0,22	0,17	0,13	0,11	0,10
		0,52	0,45	0,40	0,37	0,35	0,29	0,23	0,20	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,08
		0,34	0,30	0,27	0,25	0,24	0,19	0,15	0,13	0,12	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08
		0,18	0,15	0,14	0,13	0,12	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

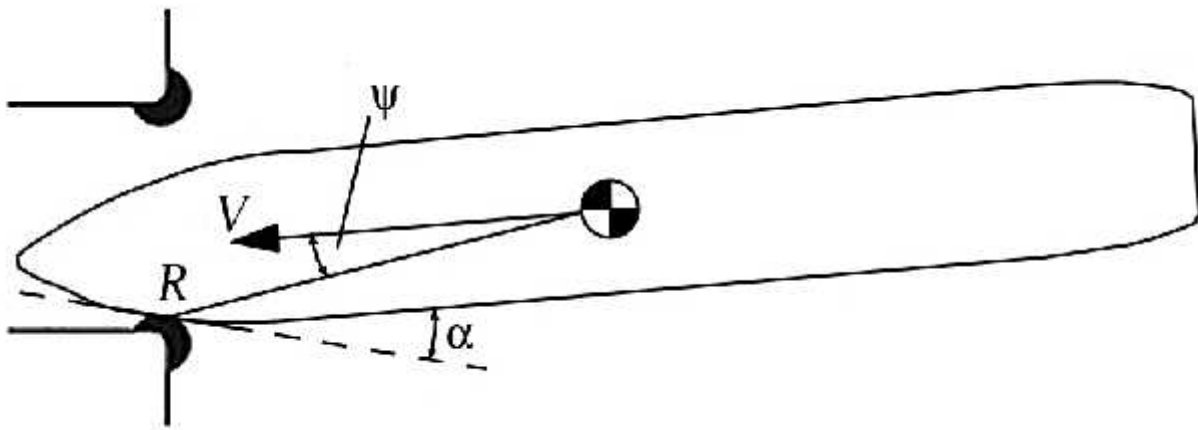
() .

(.2)
 $V_L = V \sin$.

1

PIANC -

() .



.2 - C

()

.2

$$\psi = c_m c_e c_c c_s, \quad (.1)$$

c_m -

c_e -

c_c -

c_s -

.3

c_m

() (.3,)

d_s , , d , ,

$$d/d_s \leq 1,1$$

$$c_m = 1,8;$$

$$1,1 \leq d/d_s \leq 1,5$$

$$c_m = 2,625 - 0,75d/d_s; \quad (.2)$$

$$d/d_s \leq 1,5$$

$$c_m = 1,5.$$

(.3,) $c_m = 1,1$.

.4

c_e

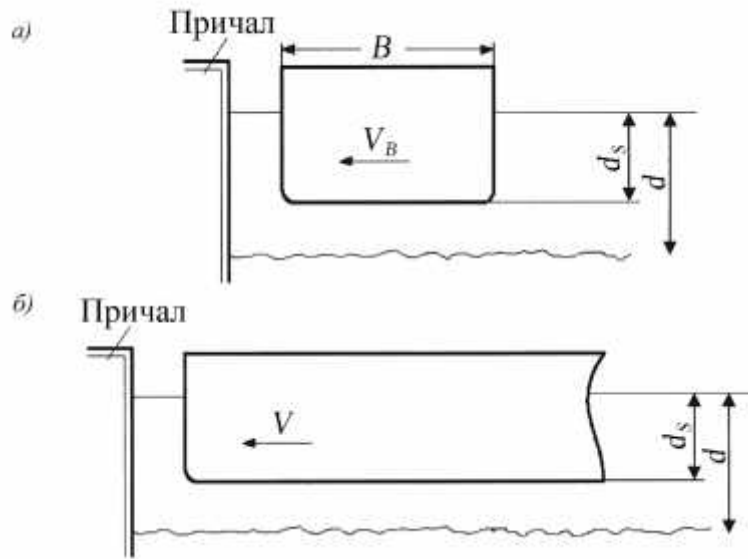
c_e

(.1)

$$c_e = \frac{K^2 + R^2 \cos \varphi}{K^2 + R^2}, \quad (.3)$$

R -

$$R = \sqrt{y^2 + (B/2)^2}; \quad (.4)$$



- () ; -

.3-

K - , , :

$$K = (0,19c_w + 0,11)L_s; \quad (.5)$$

c_w -

$$c_w = \frac{W}{\rho L_s B d_s}; \quad (.6)$$

- , , $< 10^\circ$

$$c_e = 1,0; \quad V \quad R \quad (.1);$$

W - , ;
 L_s - , ;
 B - , ;
 y - , ;

(.1);

- , / ³.

c_e

$$\begin{aligned} \alpha = L_s / 4 &: c_e \approx 0,4 - 0,6; \\ \alpha = L_s / 3 &: c_e \approx 0,6 - 0,8; \\ \alpha = L_s / 2 &: c_e \approx 1,0. \end{aligned}$$

.5

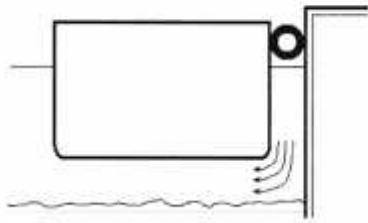
$$c_c = 1,0; \quad (.4).$$

; ;
 $> 5^\circ$.

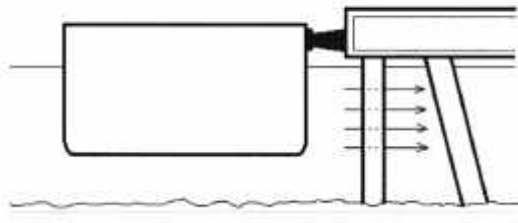
$c_c = 0,9$;
 $< 5^\circ$.

.6
 c_s .
 (,)
 150)
 $c_s = 0,9$.
 (,)
 150) $c_s = 1,0$.

a)



b)



.4 -

.7
 E_A .

, , ,
 $E_A = \gamma_s E_q$, (.7)
 E_A ,
 s - , .2.

.2

	s
, ,	1,25-1,75
	1,5-2,0
,	2,0
, .	2,0

()

.1

.2

$$N_i = \frac{0,6Q_{tot}}{\sin \alpha_i \cos \beta_i} \cdot \frac{1}{l_i \sum_{j=1}^{n_r} 1/l_j}; \quad (.1)$$

$$N_i = \frac{N_{tot}}{\sin \alpha_i \cos \beta_i} \cdot \frac{1}{l_i \sum_{j=1}^{n_r} 1/l_j}, \quad (.2)$$

$l_i -$, N_i ;
 $l_j -$, $(j=1, 2, \dots, n_r)$;
 $n_r -$;
 $i -$

R_x

R_y

$i -$

N_i

$Q_{tot}, N_{tot} -$

6.2 6.3

$V_w, / .$

()

,

N

; $N \geq 3$.

(), 2,5.

10

,

$\pm 1\%$.

,

,

-

-

,

,

,

,

.

1

t_i ,

,

-

.

« - »
 $\pm 5\%$.

t_i
 $\dot{\varepsilon}_c = 3 \cdot 10^{-4}, \text{c}^{-1}$, - .1.

.1

i - $t_i, ^\circ$	-2	-10	-15	-23
$\dot{\varepsilon}_c = 3 \cdot 10^{-4}, \text{c}^{-1}$	0,5	1,5	2,0	3,0

C_j , ()

$$C_j = \frac{(P_{\max})_j}{f}, \tag{.1}$$

$(P_{\max})_j$ – () , j –
 « - » , ;
 f – , 2.

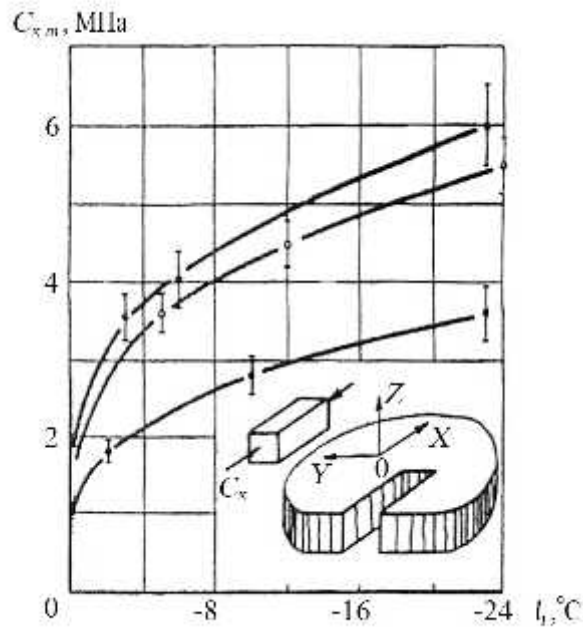
$C_i \pm \Delta_i$,
 C_i – () ,

$$C_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n C_j, \tag{.2}$$

n – ;
 Δ_i – , 7.4.

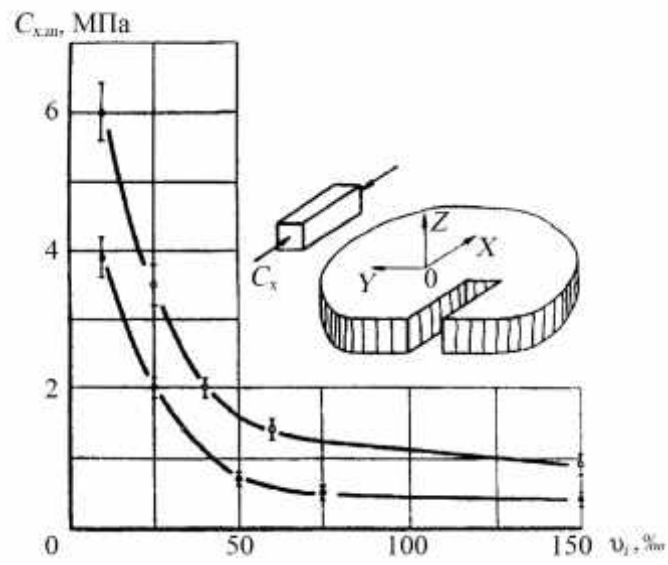
; ()
 , -

.1 .2.



- - (25×25×50);
- - () (15×15×30);
- ▣ - (-) (22×22×45)

.1 -
 (-)
 ($n = 5$)



○ - () (15×15×30);
 ■ - (-) (22×22×45)
 4×4×10

.2 -

-

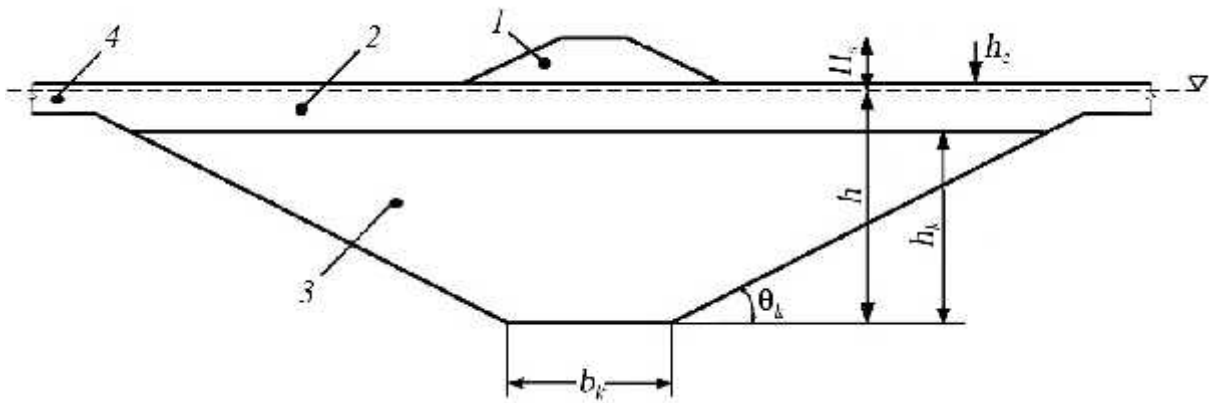
)

(

(n=5)

()

.1.



$\theta_k -$; $H_s -$; $h -$; $h_c -$; $b_k -$; $H_k -$; $b_k -$; $h_k -$;

.1 -

$h_c = 1,6h, H_k = 4,5H_s, \theta_k = 26^\circ, b_k = 0$

0,1 0,4.

$$F_R = F_c + F_k, \quad (.1)$$

$F_c -$;
 $F_k -$.

$$F_k = \mu h_k b \left(\frac{h_k \mu \gamma_e}{2} + 2c \right) \cdot \left(1 + \frac{h_k}{6b} \right), \quad (.2)$$

$\mu -$;

$$\mu = \text{tg} \left(45^\circ + \frac{\Theta}{2} \right), \quad (.3)$$

$$\begin{array}{l}
 - \\
 c - \\
 b - \\
 e -
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 ; \\
 ; \\
 ; \\
 ,
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \\
 \\
 \\
 :
 \end{array}$$

$$\gamma_e = (1 - n_k)(\rho - \rho_i)g. \quad (.4)$$

()

$V_w -$, / ;
 $\eta_c -$, ;
 $\eta_t -$, ;
 $h -$, ;
 $k = 2\pi / \bar{\lambda} -$, 1/ ;
 $T -$, ;
 $= 2 / T -$, 1/ ;
 $c -$, / ;
 $h / -$;
 $/ h -$;
 $h_i, i, T_i -$, i %-
 $\bar{h}, \bar{\lambda}, \bar{T} -$, , ;
 $d -$, ;
 $d_{cr} -$, ;
 $D_{cr,u} -$, , ;
 $Q -$, , ;
 $P -$, , / ;
 $p -$, / ³ ;
 $g -$, / ² ;
 $, -$ () , .

- [1] 11-103-97 -
- [2] 11-114-2004
- [3] 32-103-97
- [4] 31.33.10-87

38.13330.2012

627.042.8 (083.74)	93.160
:	,
,	,

38.13330.2012

(,)

2.06.04-82*

« »

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

60×84 ¹ / ₈ .	100 .	1039/14.
-------------------------------------	-------	----------

“ , .18, ” .3