Строительные нормы и правила СНиП 2.06.04-82*"Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)"(утв. постановлением Госстроя СССР от 15 июня 1982 г. N 161)

Срок введения в действие 1 января 1984 г.

Взамен СНиП II-57-75

Настоящие нормы распространяются на речные и морские гидротехнические сооружения при проектировании вновь строящихся и реконструкции существующих объектов.

Нормы устанавливают нормативные значения нагрузок и воздействий от волн, льда и судов на гидротехнические сооружения. Расчетная нагрузка должна определяться как произведение нормативной нагрузки на коэффициент надежности по нагрузкам γ_f , учитывающий возможное отклонение нагрузки в неблагоприятную сторону от ее нормативного значения; γ_f должен приниматься согласно требованиям, приведенным в главе СНиП по основным положениям проектирования речных гидротехнических сооружений.

Нагрузки от волн и льда на гидротехнические сооружения I класса, а также расчетные элементы волн на открытых и огражденных акваториях необходимо уточнять на основе натурных наблюдений и лабораторных исследований.

1. Нагрузки и воздействия волн на гидротехнические сооружения вертикального и откосного профилей

Нагрузки от стоячих волн на сооружения вертикального профиля

1.1. Расчет сооружений на воздействие стоячих волн со стороны открытой акватории (рис.1) должен производиться при глубине до дна $d_b > 1{,}5h$ и глубине над бермой $d_{br} \geq 1{,}25h$; при этом в формулах для свободной волновой поверхности и волнового давления вместо глубины до дна d_b , м, необходимо применять условную расчетную глубину d, м, определяемую по формуле

$$d = d_f + k_{br}\left(d_h - d_f\right)$$, (1)

где d_f - глубина над подошвой сооружения, м;

k_{br} - коэффициент, принимаемый по графикам рис.2;

h - высота бегущей волны, м, принимаемая по приложению 1.

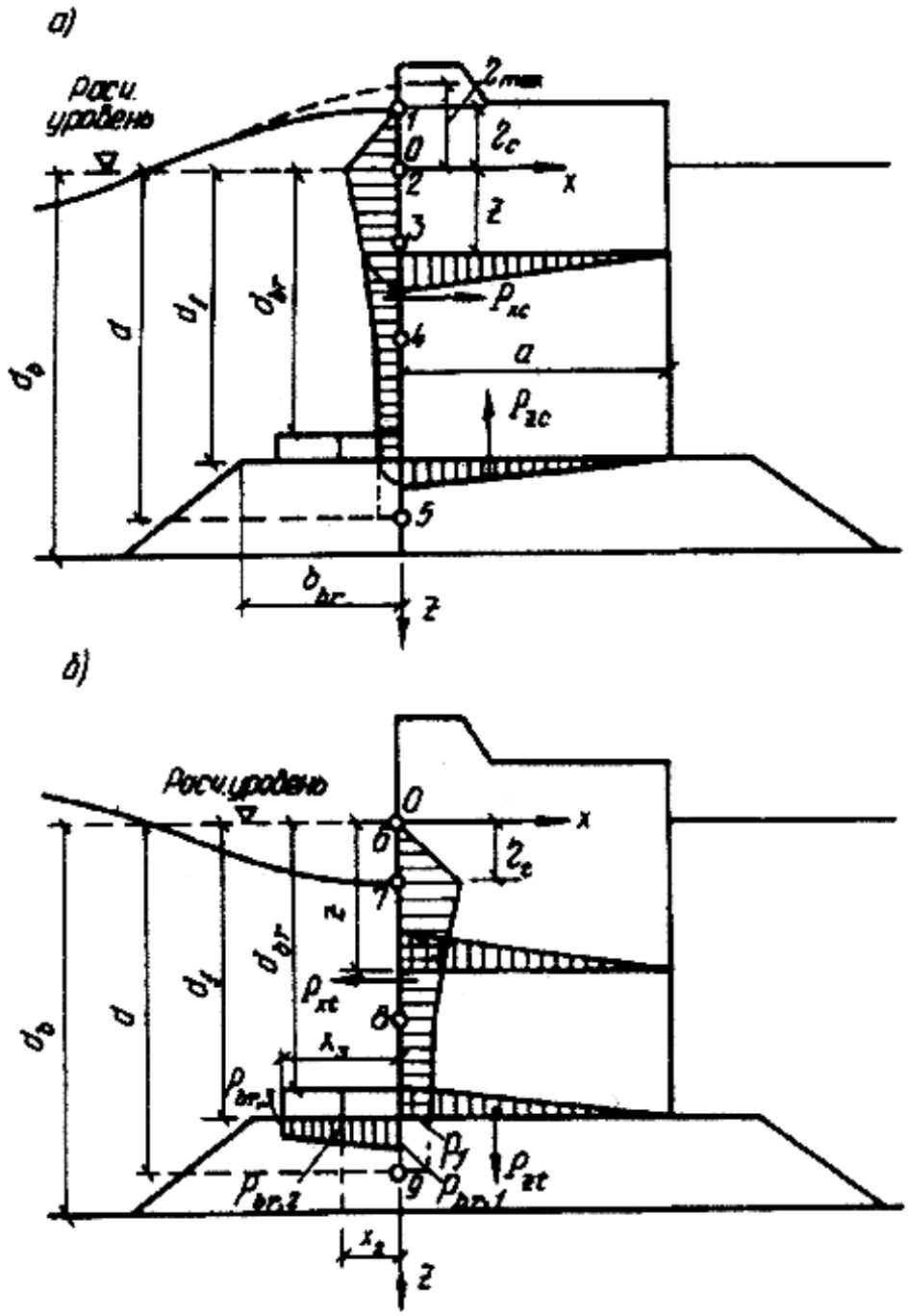


Рис. 1. Эпюры давления стоячих волн на вертикальную стену со стороны открытой акватории

а — при гребне волны; *б* — при ложбине волны (с эпюрами взвешивающего волнового давления на берменные массивы)

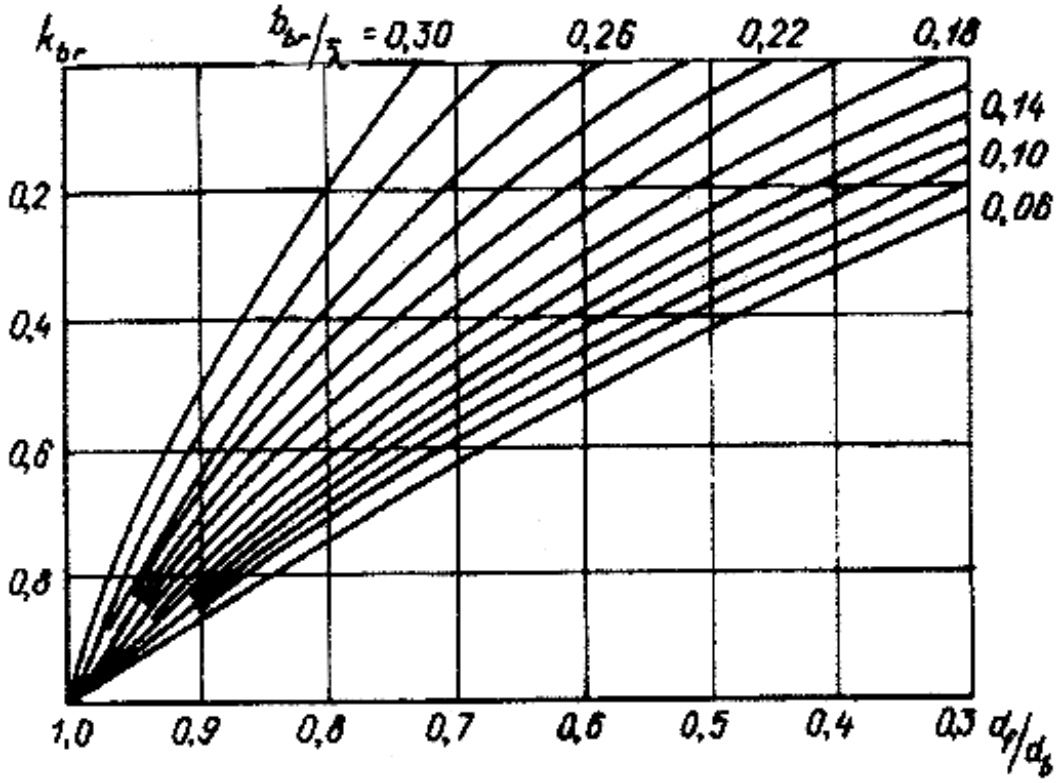


Рис. 2. Графики значений коэффициента k_{br}

1.2. Возвышение или понижение свободной волновой поверхности η , м, у вертикальной стены, отсчитываемое от расчетного уровня воды, должно определяться по формуле

$$\eta = -h\cos\omega t - \frac{kh^2}{2} cthkd\cos^2\omega t$$

, (2)

где $\omega = \frac{2\pi}{\overline{T}}$ - круговая частота волны;

$\overline{T}$ - средний период волны, с; время, с;

$k = \frac{2\pi}{\overline{\lambda}}$ - волновое число;

$\overline{\lambda}$ - средняя длина волны, м.

При действии стоячей волны на вертикальную стену необходимо предусматривать три случая определения η по формуле (2) для следующих значений $\cos\omega t$:

а) $cos\ \omega\ t=1$ - при подходе к стене вершины волны, возвышающейся над расчетным уровнем на η_{max} , м;

б) $1>cos\ \omega\ t>0$ - при максимальном значении горизонтальной линейной волновой нагрузки P_{xc} , кН/м, для гребня волны, возвышающегося над расчетным уровнем на η_c , в этом случае значение $cos\ \omega\ t$ должно определяться по формуле

$$cos\ \omega\ t=\frac{\bar{\lambda}}{\pi h(4kd-3)}$$; (3)

в) $cos\ \omega\ t=-1$ - при максимальном значении горизонтальной линейной волновой нагрузки P_{xt} , кН/м, для подошвы волны, расположенной ниже расчетного уровня на η_t ,

Примечание. При $d/\lambda\leq 0{,}2$ и во всех других случаях, когда по формуле (3) значение $cos\ \omega\ t>1$, необходимо в дальнейших расчетах принимать $cos\ \omega\ t=1$.

1.3. В глубоководной зоне горизонтальную линейную нагрузку на вертикальную стену P_x , кН/м, при гребне или ложбине стоячей волны (см. рис.1) необходимо принимать по эпюре волнового давления, при этом величина p, кПа, на глубине z, м, должна определяться по формуле

$$p=\rho g h e^{-kz}cos\omega t-\rho g\frac{kh^2}{2}e^{-2kz}cos^2\omega t-\rho g\frac{kh^2}{2}\left(1-e^{-2kz}\right)cos2\omega t-\rho g\frac{k^2h^3}{2}e^{-3kz}cos2\omega t cos\omega t$$

, (4)

где ρ - плотность воды, $т/м^3$;

g - ускорение свободного падения, равное 9,81 $м/с^2$;

z - ординаты точек $\left(z_1=\eta_c;\ z_2=0;\ldots z_n=d\right)$, м, отсчитываемые от расчетного уровня.

Для гребня при $z_1=\eta_c$, а для ложбины при $z_6=0$, следует принимать p = 0.

1.4. В мелководной зоне горизонтальную линейную нагрузку на вертикальную стену P_x , кН/м, при гребне и ложбине стоячей волны (см. рис.1) необходимо принимать по эпюре волнового давления, при этом величина p, кПа, на глубине z, м, должна определяться по табл.1.

Таблица 1

N точек	Заглубление точек z, м	Значение волнового давления p, кПа

при гребне		
1	эта_c	p_1 = 0
2	0	p_2 = k_2 po gh
3	0,25d	p_3 = k_3 po gh
4	0,5d	p_4 = k_4 po gh
5	d	p_5 = k_5 po gh
при ложбине		
6	0	p_6 = 0
7	эта_t	p_7 = -po g эта_t
8	0,5d	p_8 = -k_8 po gh
9	d	p_9 = -k_9 po gh

Примечание. Значения коэффициентов k_2, k_3, k_4, k_5, k_8 и k_9 следует принимать по графикам рис. 3, 4, 5.

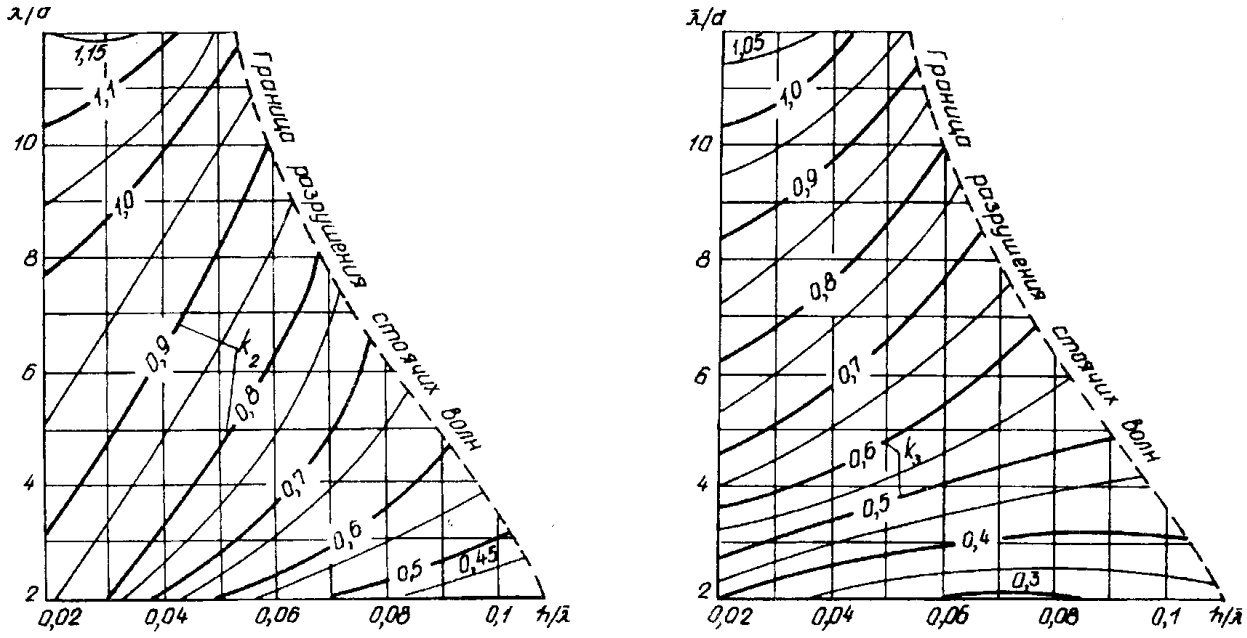


Рис. 3. Графики значений коэффициентов k_2 и k_3

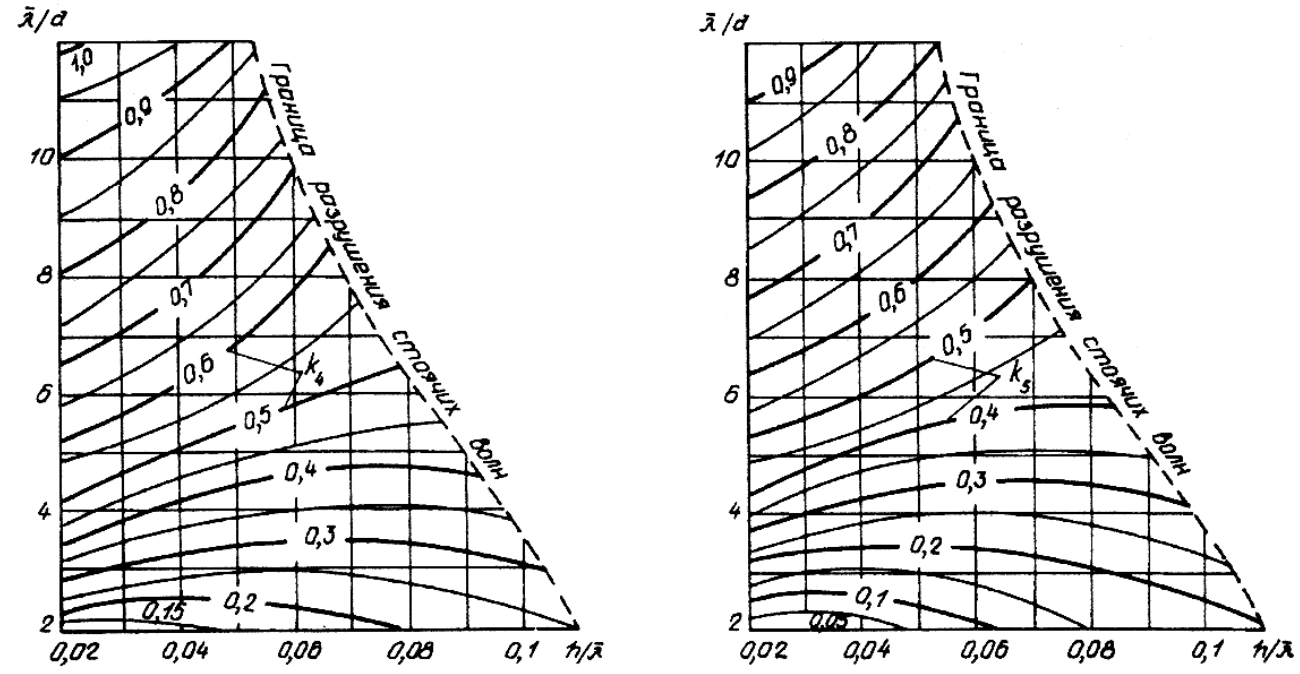


Рис. 4. Графики значений коэффициентов k_4 и k_5

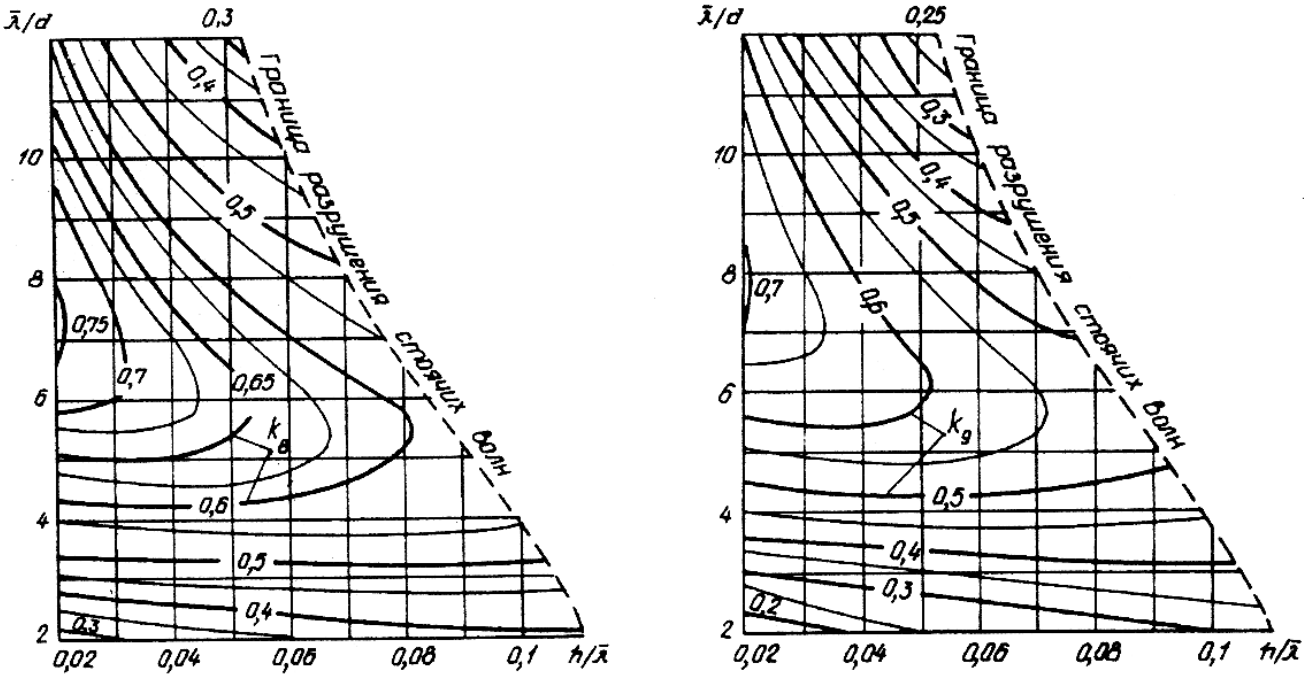


Рис. 5. Графики значений коэффициентов k_8 и k_9

Нагрузки и воздействия волн на сооружения вертикального профиля и их элементы (особые случаи)

1.5*. Волновое давление p, кПа, на вертикальную стену с возвышением над расчетным уровнем верха сооружения $z_{гр}$, м, на величину менее η_{max} , м, следует определять согласно пп.1.3 и 1.4 с последующим умножением полученных значений давления на коэффициент k_6 , определяемый по

формуле

$$k_c = 0{,}76 \pm 0{,}19 \frac{z_{sup}}{h}$$, (5)

где знаки "плюс" и "минус" соответствуют положению верха сооружения выше или ниже расчетного уровня воды.

Возвышение или понижение свободной волновой поверхности η , определенное по п.1.2, следует также умножать на коэффициент k_c .

Горизонтальная линейная волновая нагрузка P_{xc} , кН/м, в рассматриваемом случае должна определяться по площади эпюры волнового давления в пределах высоты вертикальной стены.

1.6. При подходе фронта волны к сооружению под углом α , град, со стороны открытой акватории (в расчетах устойчивости сооружения и прочности грунтов основания) линейную волновую нагрузку на вертикальную стену, определенную согласно пп.1.3 и 1.4, необходимо уменьшать путем умножения ее на коэффициент k_{cs} , принимаемый равным:

альфа, град	k cs
45	1
60	0,9
75	0,7

Примечание. При перемещении фронта волн вдоль стены, т.е. для α , близких или равных 90 град, волновую нагрузку на секцию сооружения следует определять согласно п. 1.7.

1.7. Горизонтальную нагрузку от дифрагированных волн со стороны огражденной акватории следует определять при относительной длине секции сооружения $l/\bar{\lambda} \le 0{,}8$; при этом расчетную эпюру волнового давления со значениями p, кПа, допускается выполнять по трем точкам, рассматривая следующие случаи:

а) вершина волны совмещена с серединой секции сооружения (рис. 6, а):

$$z_1 = \eta_{max} = -\frac{h_{dif}}{2} - \frac{k h_{dif}^2}{8} cth\ kd$$

, $p_1 = 0$; (6)

$$z_2 = 0$$,

$$p_2 = k_1 \rho g \left(\frac{h_{dif}}{2} - \frac{k h_{dif}^2}{8} cth\ kd \right)$$

; (7)

$$z_3 = d_f \quad ,$$

$$p_3 = k_1 \rho g \left(\frac{h_{dif}}{2ch\ kd} - \frac{kh_{dif}^2}{4sh2kd} \right)$$

; (8)

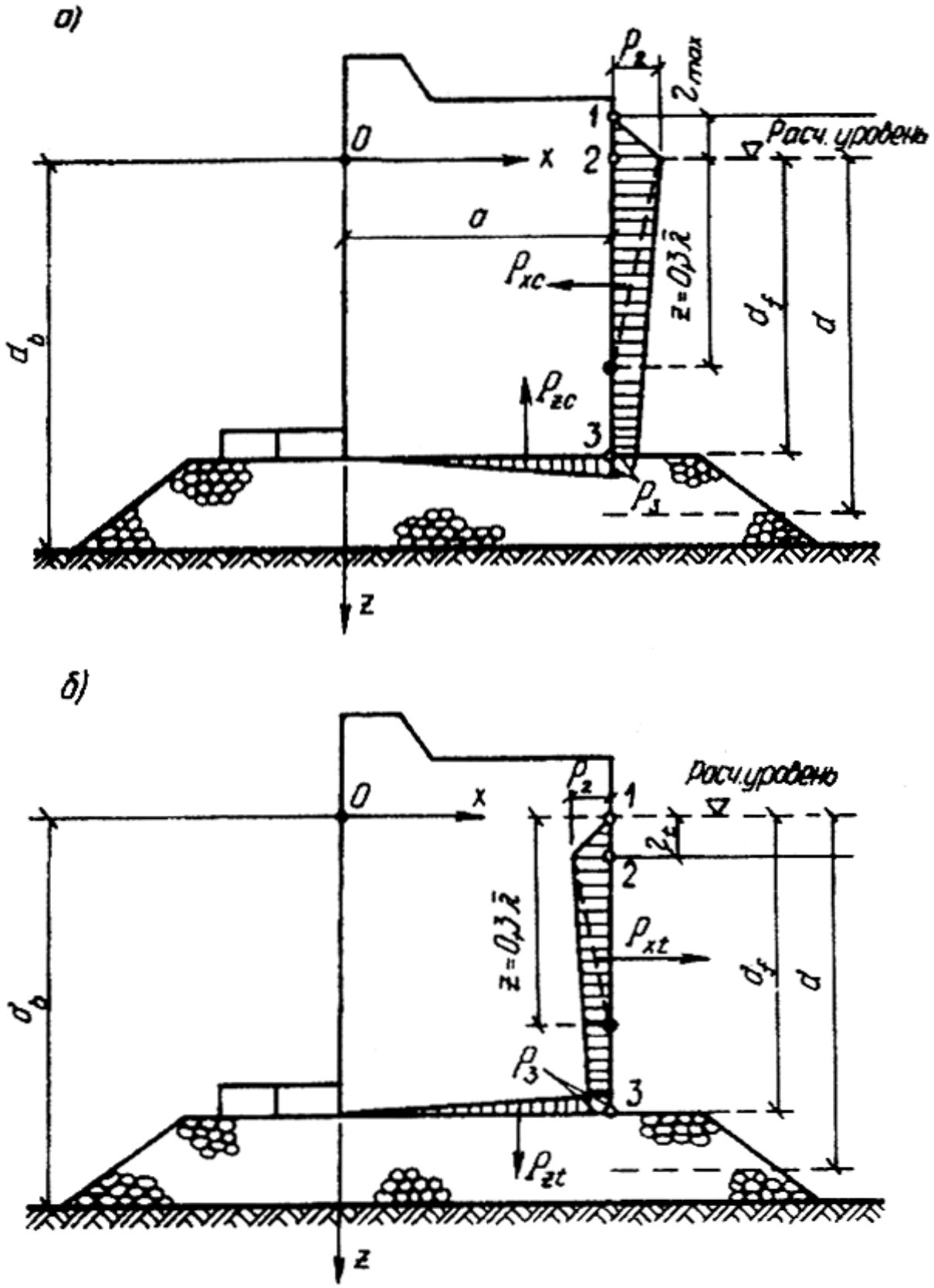


Рис. 6. Эпюры давления дифрагированных волн на вертикальную стену со стороны огражденной акватории

а — при гребне волны; *б* — при ложбине волны

б) подошва волны совмещена с серединой секции сооружения (рис. 6, б):

$$z_1=0, \quad p_1=0 \quad ; (9)$$

$$z_2=\eta_l=\frac{h_{dif}}{2}-\frac{kh_{dif}^2}{8}cth\ kd,\ \ p_2=-k_l\rho g\eta_l$$

; (10)

$$z_3=d_f\ ,$$

$$p_3=-kl\rho g\left(\frac{h_{dif}}{2ch\ kd}+\frac{kh_{dif}^2}{4sh2kd}\right)$$

, (11)

где h_{dif} - высота дифрагированной волны, м, определяемая согласно обязательному прил. 1;

k_l - коэффициент, принимаемый по табл. 2

Таблица 2

Относительная длина секции l/ламбда	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Коэффициент k_l	0,98	0,92	0,85	0,76	0,64	0,51	0,38	0,26

Примечание. При глубине со стороны огражденной акватории d >= 0,3 ламбда следует строить треугольную эпюру волнового давления, принимая на глубине z_3 = 0,3 ламбда волновое давление равным нулю (см. рис. 6).

1.8. Взвешивающее волновое давление в горизонтальных швах массивовой кладки и по подошве сооружения следует принимать равным соответствующим величинам горизонтального волнового давления в крайних точках (см. рис. 1 и 6) при линейном изменении его в пределах ширины сооружения.

1.9. Максимальную донную скорость $v_{b,max}$, м/с, перед вертикальной стеной (от действия стоячих волн) на расстоянии $0{,}25\bar{\lambda}$ от передней грани стены необходимо определять по формуле

$$v_{b,max}=\frac{2k_{sl}\pi h}{\sqrt{\frac{\pi}{g}\bar{\lambda}\ sh2kd_h}}\ ,\ (12)$$

где k_{sl} - коэффициент, принимаемый по табл. 3.

Таблица 3

Пологость волны ____ ламбда/h	8	10	15	20	30
Коэффициент k_sl	0,6	0,7	0,75	0,8	1

Допускаемые значения неразмывающих донных скоростей $v_{b,adm}$, м/с, для грунта крупностью фракций D, мм, следует принимать по рис. 7; при $v_{b,max} > v_{b,adm}$ необходимо предусматривать защиту от размыва основания.

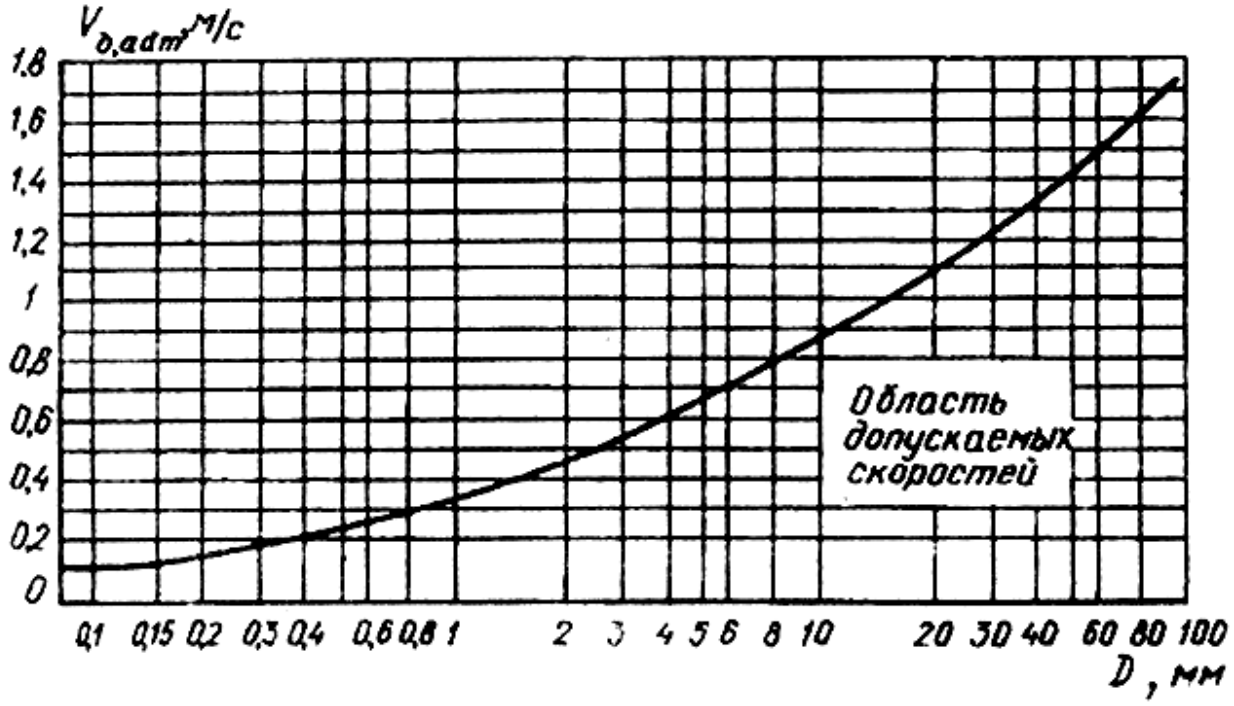


Рис. 7. График допускаемых значений неразмывающих донных скоростей

1.10. Эпюра взвешивающего волнового давления на берменные массивы должна приниматься трапецеидальной, согласно рис. 1, б, с ординатами $p_{br,i}$, кПа, определяемыми (при i = 1, 2 или 3) по формуле

$$p_{br,i} = k_{br} \rho g h \frac{ch\, k(d - d_f)}{ch\, kd} \cos kx_i \le p_f$$

, (13)

где x_i - расстояние от стены до соответствующей грани массива, м;

k_{br} - коэффициент, принимаемый по табл. 4;

p_f - волновое давление на уровне подошвы сооружения.

Таблица 4

Относительная глубина d/ламбда	Коэффициент k при br/ламбда на пологостях волн ламбда/h	
	15 и менее	20 и более
Менее 0,27	0,86	0,64
От 0,27 до 0,32	0,6	0,44
Более 0,32	0,3	0,3

Нагрузки от разбивающихся и прибойных волн на сооружения вертикального профиля

1.11. Расчет сооружений на воздействие разбивающихся волн со стороны открытой акватории должен производиться при глубине над бермой $d_{br} < 1{,}25h$ и глубине до дна $d_b \geq 1{,}5h$ (рис. 8).

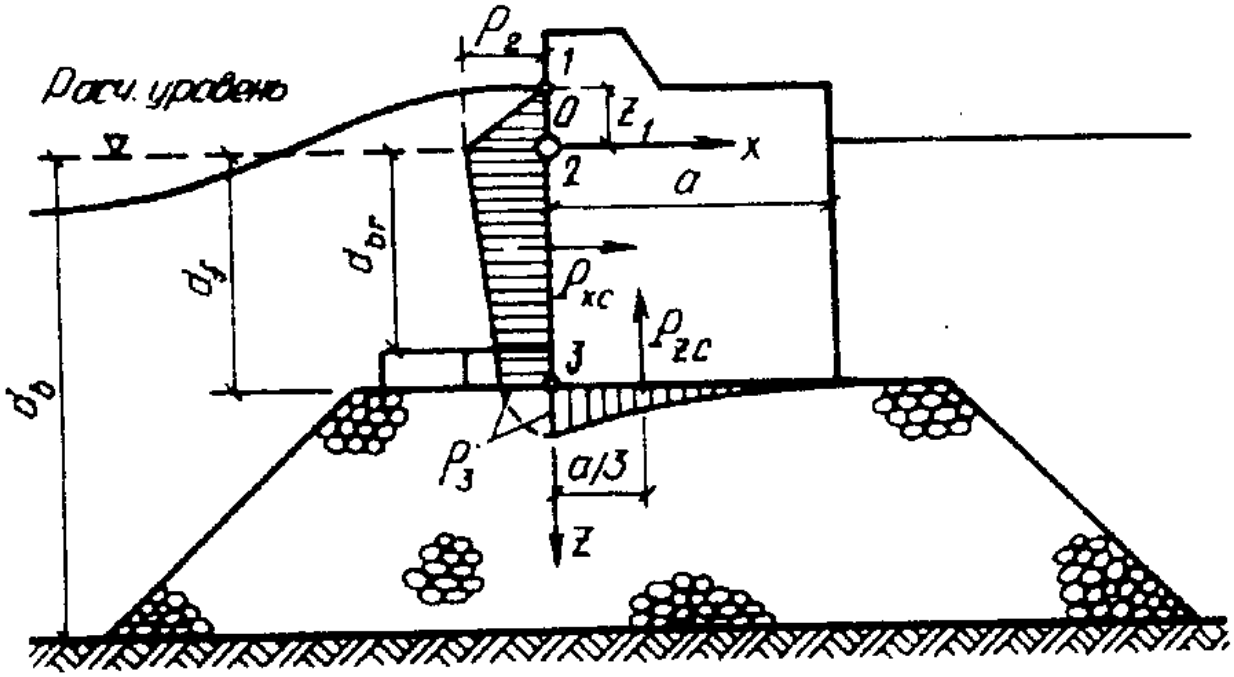


Рис. 8. Эпюры давления разбивающихся волн на вертикальную стену

Горизонтальную линейную нагрузку P_{xc} , кН/м, от разбивающихся волн необходимо принимать по площади эпюры бокового волнового давления, при этом величины p, кПа, для значений ординат z, м, следует определять по формулам:

$$z_1 = -h, \; p_1 = 0 \quad ; (14)$$

$$z_2 = 0 \; , \; p_2 = 1{,}5\rho\, gh \quad ; (15)$$

$$z_3 = d_f \; , \; p_3 = \frac{\rho g h}{ch k d_f} \quad . (16)$$

Вертикальную линейную нагрузку P_{zc} , кН/м, от разбивающихся волн следует принимать равной площади эпюры взвешивающего волнового давления и определять по формуле

$$P_{zc} = \mu \frac{p_3 a}{2} \quad , (17)$$

где μ - коэффициент, принимаемый по табл. 5.

Таблица 5

$\frac{a}{d_b - d_f}$	<=3	5	7	9
Коэффициент мю	0,7	0,8	0,9	1

Максимальную скорость воды $v_{f,max}$, м/с, над поверхностью бермы перед вертикальной стеной при разбивающихся волнах необходимо определять по формуле

$$v_{f,max} = \sqrt{\frac{gh}{ch\, kd_f}} \quad . (18)$$

1.12. Расчет сооружений на воздействие прибойных волн со стороны открытой акватории должен производиться при глубине $d_b \le d_{cr}$ на примыкающем к стене участке дна протяженностью не менее $0{,}5\lambda$, м (рис. 9), при этом возвышение вершины максимальной прибойной волны $\eta_{c,sur}$, м, над расчетным уровнем следует определять по формуле

$$\eta_{csur} = -0{,}5 d_f - h_{sur} \quad , (19)$$

где h_{sur} - высота прибойной волны, м;

d_{cr} - критическая глубина, м.

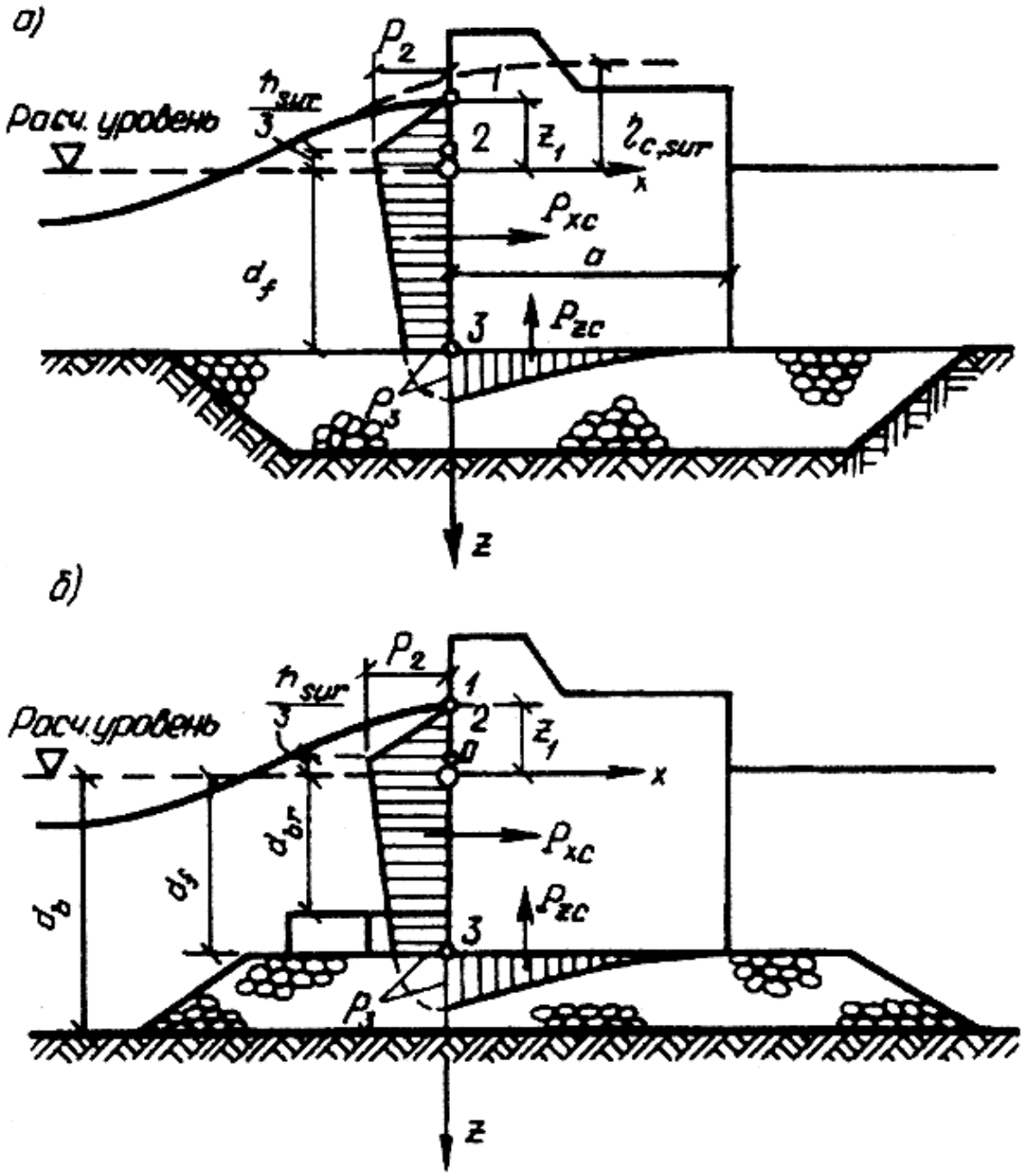


Рис. 9. Эпюры давления прибойных волн на вертикальную стену

а **— с верхом постели на уровне дна;** ***б*** **— с возвышающейся над дном постелью**

Горизонтальную линейную нагрузку, кН/м, от прибойных волн необходимо принимать по площади эпюры бокового волнового давления, при этом величины p , кПа, для значений ординат z, м, должны определяться по формулам:

$$z_1 = -h_{sur} \qquad p_1 = 0; \qquad (20)$$

$$z_2 = -\frac{1}{3} h_{sur} \qquad p_2 = 1{,}5 \rho g h_{sur}; \qquad (21)$$

$$z_3 = d_f \qquad p_3 = \frac{\rho g h_{sur}}{ch \frac{2\pi}{\bar{\lambda}_{sur}} d_f}, \qquad (22)$$

где $\bar{\lambda}_{sur}$ - средняя длина прибавочной волны, м.

Вертикальную линейную нагрузку P_{zc}, кН/м, от прибойных волн следует принимать равной площади эпюры взвешивающего волнового давления (с высотой p_3) и определять по формуле

$$P_{zc} = 0{,}7 \left(\frac{p_3 a}{2} \right) \quad . (23)$$

Максимальная донная скорость прибойной волны $v_{b,max}$, м/с, перед вертикальной стеной со стороны открытой акватории должна определяться по формуле

$$v_{h,max} = \sqrt{\frac{g h_{sur}}{ch \frac{2\pi}{\bar{\lambda}_{sur}} d_f}} \quad . (24)$$

1.13. Определение нагрузок на вертикальную стену от воздействия разбивающихся и прибойных волн (см. рис.8 и 9) при надлежащем обосновании допускается производить динамическими методами, учитывающими импульсы давления и инерционные силы.

Нагрузки и воздействия волн на сооружения откосного профиля

1.14*. Высоту наката на откос волн обеспеченностью 1% по накату ($h_{run1\%}$, м) для фронтально подходящих волн при глубине перед сооружением $d \geq 2h_{1\%}$ надлежит определять по формуле

$$h_{run1\%} = k_r k_p k_{sp} k_{run} h_{1\%} \quad , (25)$$

где k_r и k_p - коэффициенты шероховатости и проницаемости откоса, принимаемые по табл. 6;

k_{sp} - коэффициент, принимаемый по табл. 7*;

k_{run} - коэффициент, принимаемый по графикам рис. 10* в зависимости от пологости волны $\bar{\lambda}_d / h_{d1\%}$ на глубокой воде.

При глубине перед сооружением $d < 2h_{1\%}$ коэффициент k_{run} необходимо принимать для значений пологости волны, указанной на рис. 10* в скобках и определяемой при глубине $d = 2h_{1\%}$.

Высоту наката на откос волн обеспеченностью i, %, по накату необходимо определять умножением полученного по формуле (25) значения $h_{run1\%}$, м, на коэффициент k_i , принимаемый по табл. 8.

Таблица 6

Конструкция крепления откоса	Относительная шероховатость r/h_1%	Коэффициент k_r	Коэффициент k_p
Бетонными (железобетонными) плитами	-	1	0,9
Гравийно-галечниковое, каменное или крепление бетонными (железобетонными) блоками	Менее 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
	Более 0,2	0,7	0,5

Примечание. Характерный размер шероховатости r, м, следует принимать равным среднему диаметру зерен материала крепления откоса или среднему размеру бетонных (железобетонных) блоков.

Таблица 7*

Значение ctg фи	1-2	3-5	Более 5
Коэффициент k_sp при скорости ветра V_w, м/с:			
20 и более	1,4	1,5	1,6
10	1,1	1,1	1,2
5 и менее	1	0,8	0,6

Примечание. Фи - угол наклона откоса к горизонту, град.

Таблица 8

Обеспеченность по накату i, %	0,1	1	2	5	10	30	50
Коэффициент k_i	1,1	1	0,96	0,91	0,86	0,76	0,68

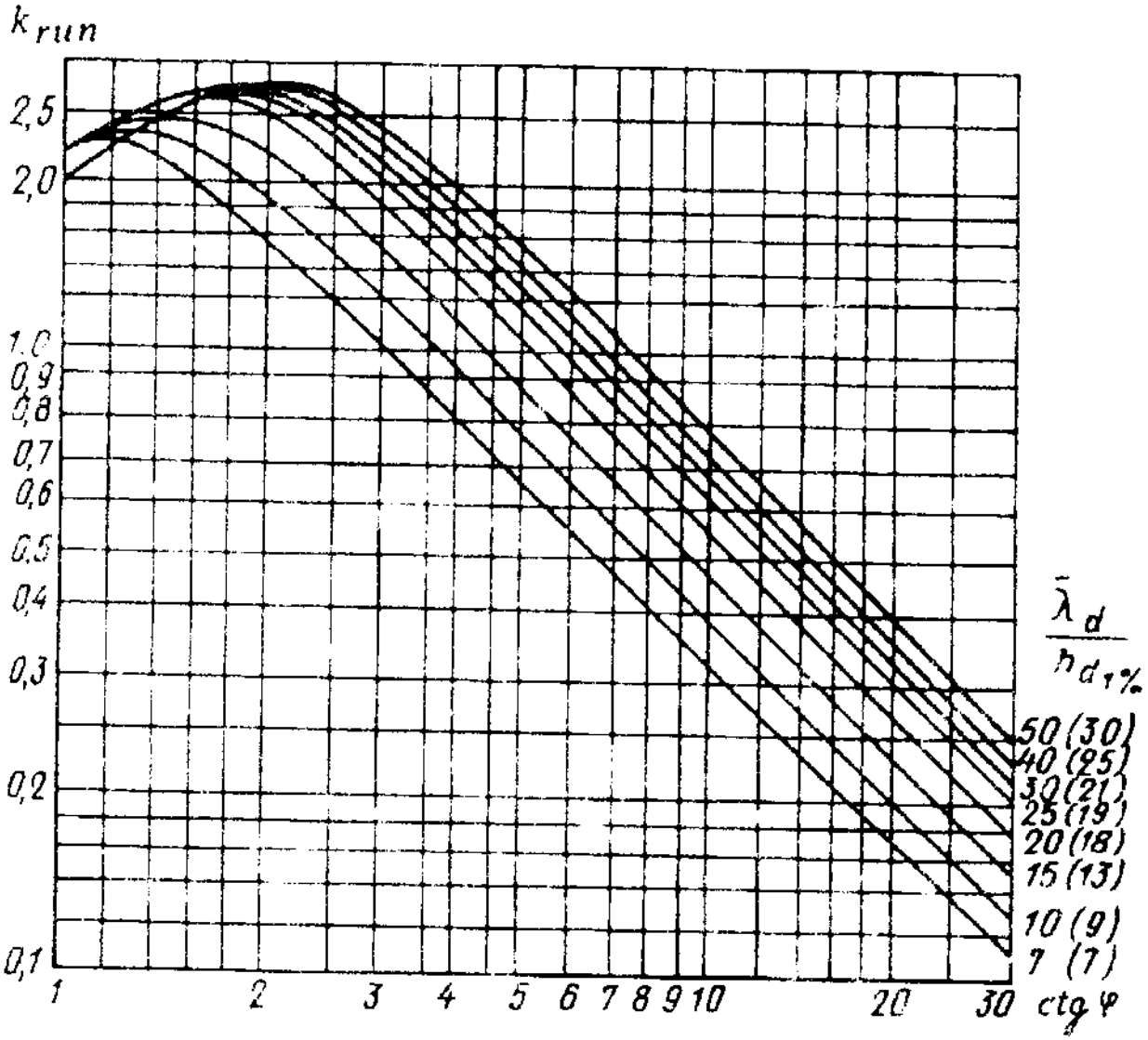


Рис. 10*. Графики значений коэффициента k_{run}

При подходе фронта волны к сооружению под углом α, град, со стороны открытой акватории величину наката волн на откос следует уменьшать умножением на коэффициент k_α, принимаемый по табл. 9.

Таблица 9

Значение угла альфа, град	0	10	20	30	40	50	60
Коэффициент k_альфа	1	0,98	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76

Примечание. При определении высоты наката волн на песчаные и гравийно-галечниковые пляжи необходимо учитывать изменение уклона пляжа во время шторма. Наибольшее понижение пляжа в створе уреза воды следует принимать равным 0,3h, м, с выклиниванием на нулевые значения на берегу до высоты наибольшего наката, а в море до глубины $d=d_{cr}$, м, для размываемых грунтов или на глубине $d=d_{cr,u}$, м, - для неразмываемых грунтов (где h, d_{cr} и $d_{cr,u}$ - соответственно высота волны и глубина воды в створах первого и последнего обрушений, м).

1.15. Эпюра волнового давления на откос при $1{,}5 \le ctg\varphi \le 5$, укрепленный монолитными или сборными плитами, должна приниматься по рис. 11, при этом максимальное расчетное волновое давление p_d , кПа, необходимо определять по формуле

$$p_d = k_\varsigma k_f p_{rel} \rho g h \quad , (26)$$

где k_ς - коэффициент, определяемый по формуле

$$k_\varsigma = 0{,}85 + 4{,}8\frac{h}{\lambda} + ctg\varphi\left(0{,}028 - 1{,}15\frac{h}{\lambda}\right) \quad ; (27)$$

k_f - коэффициент, принимаемый по табл. 10;

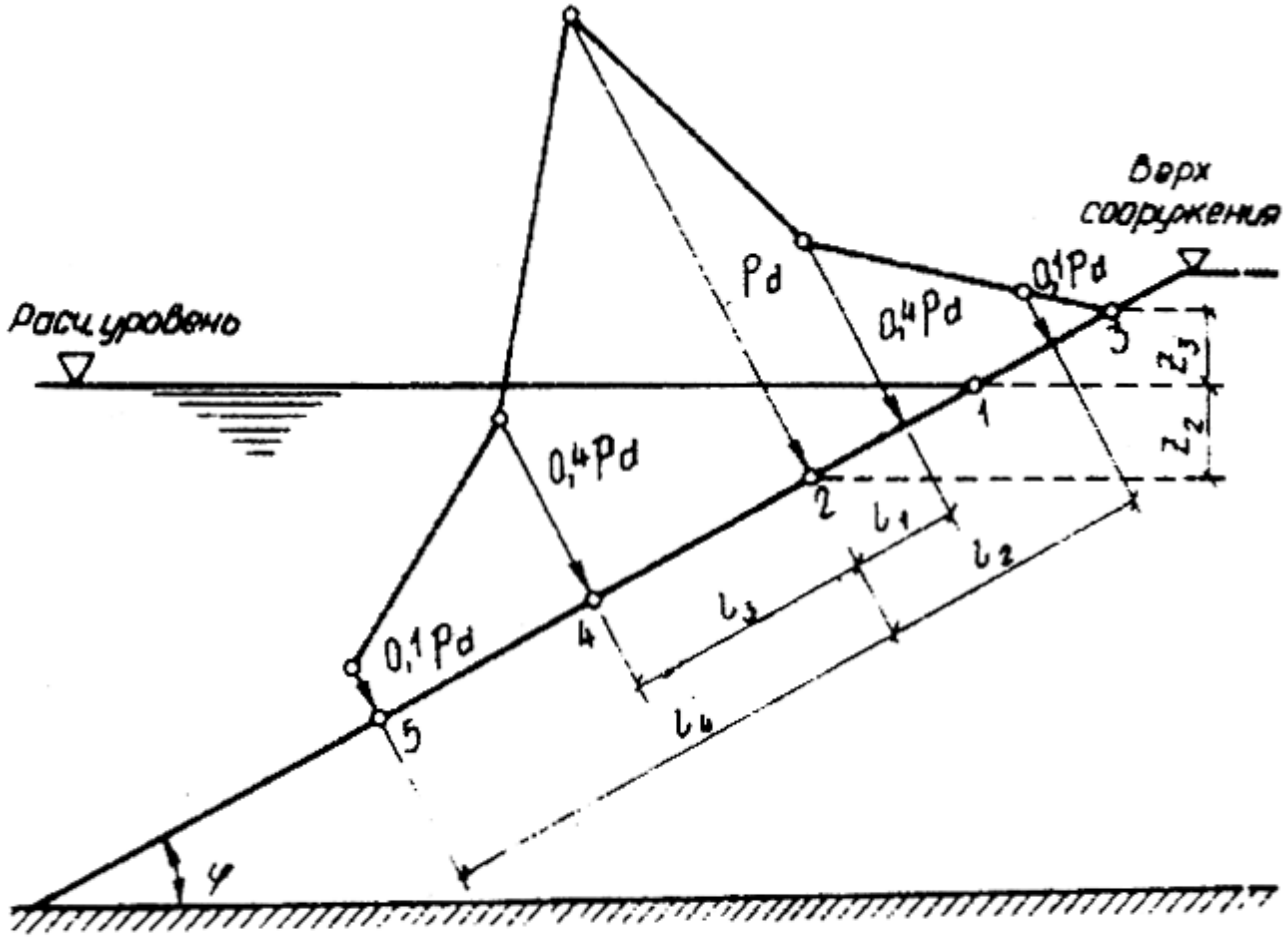


Рис. 11. Эпюра максимального расчетного волнового давления на откос, укрепленный плитами

Таблица 10

Пологость волны ____ ламбда/h	10	15	20	25	35
Коэффициент k_f	1	1,15	1,3	1,35	1,48

P_{rel} - максимальное относительное волновое давление на откос в точке 2 (см. рис. 11), принимаемое по табл 11.

Таблица 11

Высота волны h, м	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	>=4
Максимальное относительное волновое давление p_rel	3,7	2,8	2,3	2,1	1,9	1,8	1,75	1,7

Ордината z_2 , м, точки 2 приложения максимального расчетного волнового давления p_d должна определяться по формуле

$$z_2 = A + \frac{1}{ctg^2\varphi}\left(1 - \sqrt{2ctg^2\varphi + 1}\right)(A + B)$$

, (28)

где А и В - величины, м, определяемые по формулам

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

; (29)

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

. (30)

Ордината z_3 , м, соответствующая высоте наката волн на откос, должна определяться согласно п. 1.14*.

На участках крепления по откосу выше и ниже точки 2 (см. рис. 11) следует принимать значения ординат эпюры волнового давления р, кПа, на расстояних, м:

при $l_1 = 0{,}0125L_\varphi$ и $l_3 = 0{,}0265L_\varphi$ $p = 0{,}4p_d$;

при $l_2 = 0{,}0325L_\varphi$ и $l_4 = 0{,}0675L_\varphi$ $p = 0{,}1p_d$,

где

$$L_\varphi = \frac{\bar{\lambda}ctg\varphi}{\sqrt[4]{ctg^2\varphi - 1}}$$

. (31)

Ординаты эпюры волнового противодавления p_c , кПа, на плиты крепления откосов следует определять по формуле

$$p_c = k_s k_f p_{c,rel}\rho g h$$

, (32)

где $p_{c,rel}$ - относительное волновое противодавление, принимаемое по графикам рис. 12.

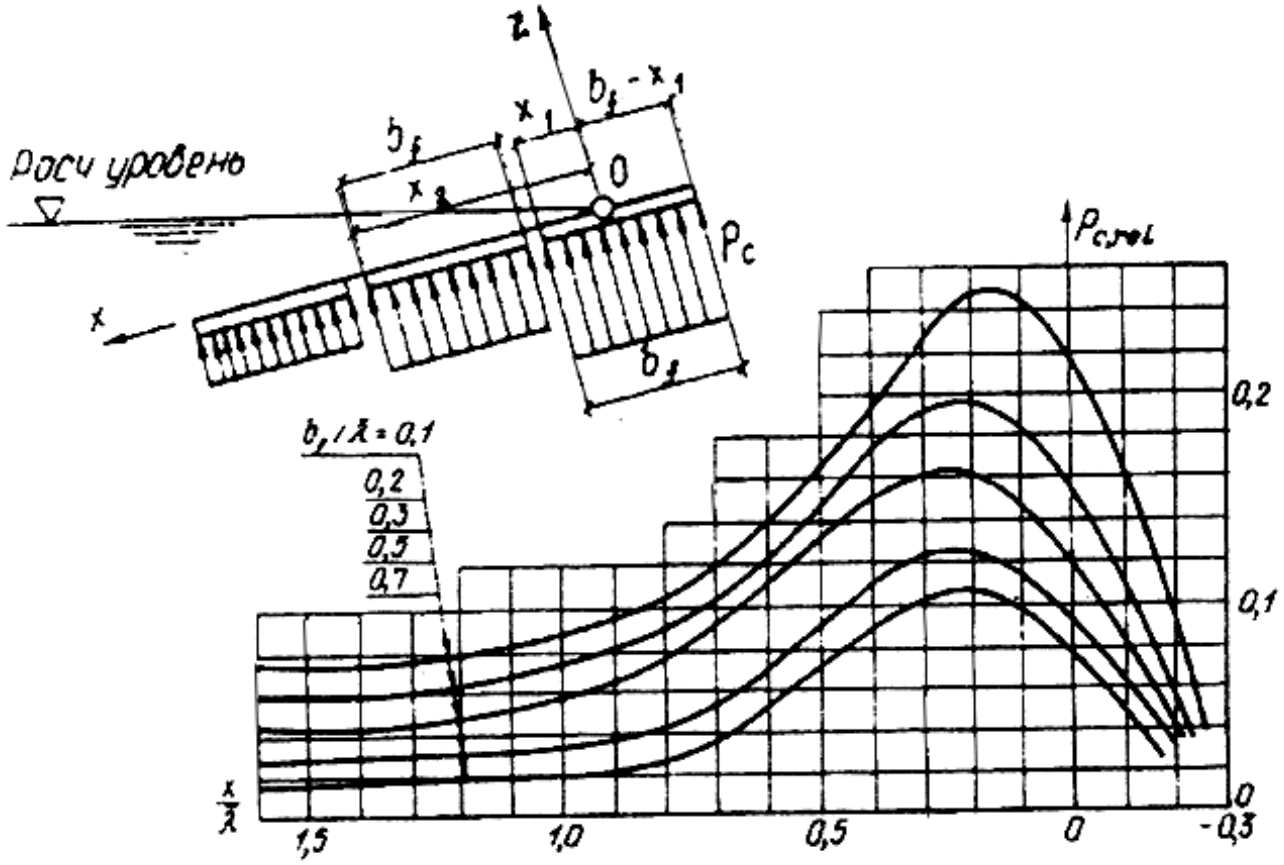


Рис. 12. Графики для определения относительного волнового противодавления

1.16. Нагрузку от волн на откос, укрепленный плитами, для сооружений I и II класса при высоте волн более 1,5 м обеспеченностью 1% в системе допускается при надлежащем обосновании определять методами, в которых учитывается нерегулярность ветровых волн.

При наличии берм и переменных уклонов отдельных участков сооружений откосного профиля нагрузки от волн на крепления откосов необходимо определять по данным лабораторных исследований.

1.17*. При проектировании сооружений откосного профиля и креплений откосов из рваного камня, обыкновенных и фасонных бетонных или железобетонных блоков массу отдельного элемента m или m_z , т, соответствующую состоянию его предельного равновесия от действия ветровых волн, необходимо определять:

при расположении камня или блока на участке откоса от верха сооружения до глубины z = 0,7h по формуле

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

; (33)*

то же, при z > 0,7h по формуле

$$m_z = me^{-\left(\frac{7,5z^2}{h\bar{\lambda}}\right)}, \quad (34)$$

где k_{fr} - коэффициент, принимаемый по табл. 12; при $\bar{\lambda}/h$ >15, а также при наличии бермы k_{fr} следует уточнять по опытным данным;

ρ_m - плотность камня, т/м^3 .

Таблица 12*

Элементы крепления	Коэффициент k_fr	
	при наброске	при укладке
Камень	0,025	-
Обыкновенные бетонные блоки	0,021	-
Тетраподы и другие фигурные блоки	0,008	0,006

1.18. При проектировании крепления откосов сооружений из несортированной каменной наброски необходимо, чтобы значение коэффициента k_{gr} зернового состава находилось в границах заштрихованной зоны, приведенной на графике рис. 13.

Значение коэффициента k_{gr} должно определяться по формуле

$$k_{gr} = \sqrt[3]{\frac{m_i}{m}} = \frac{D_{ba,i}}{D_{ba}}, \quad (35)$$

где m - масса камня, определяемая по п. 1.17*, т;

m_i - масса камня, большая или меньшая расчетной, т;

$D_{ba,i}$ и D_{ba} - диаметры фракций камня, см, приведенные к диаметру шара, имеющего массу соответственно m_i и m.

Зерновой состав несортированной каменной наброски для крепления откосов, соответствующий заштрихованной зоне (см. рис. 13), следует считать пригодным только для сооружений с откосами, пологость которых находится в пределах $3 \le ctg\varphi \le 5$, а высота расчетной волны - 3 м и менее.

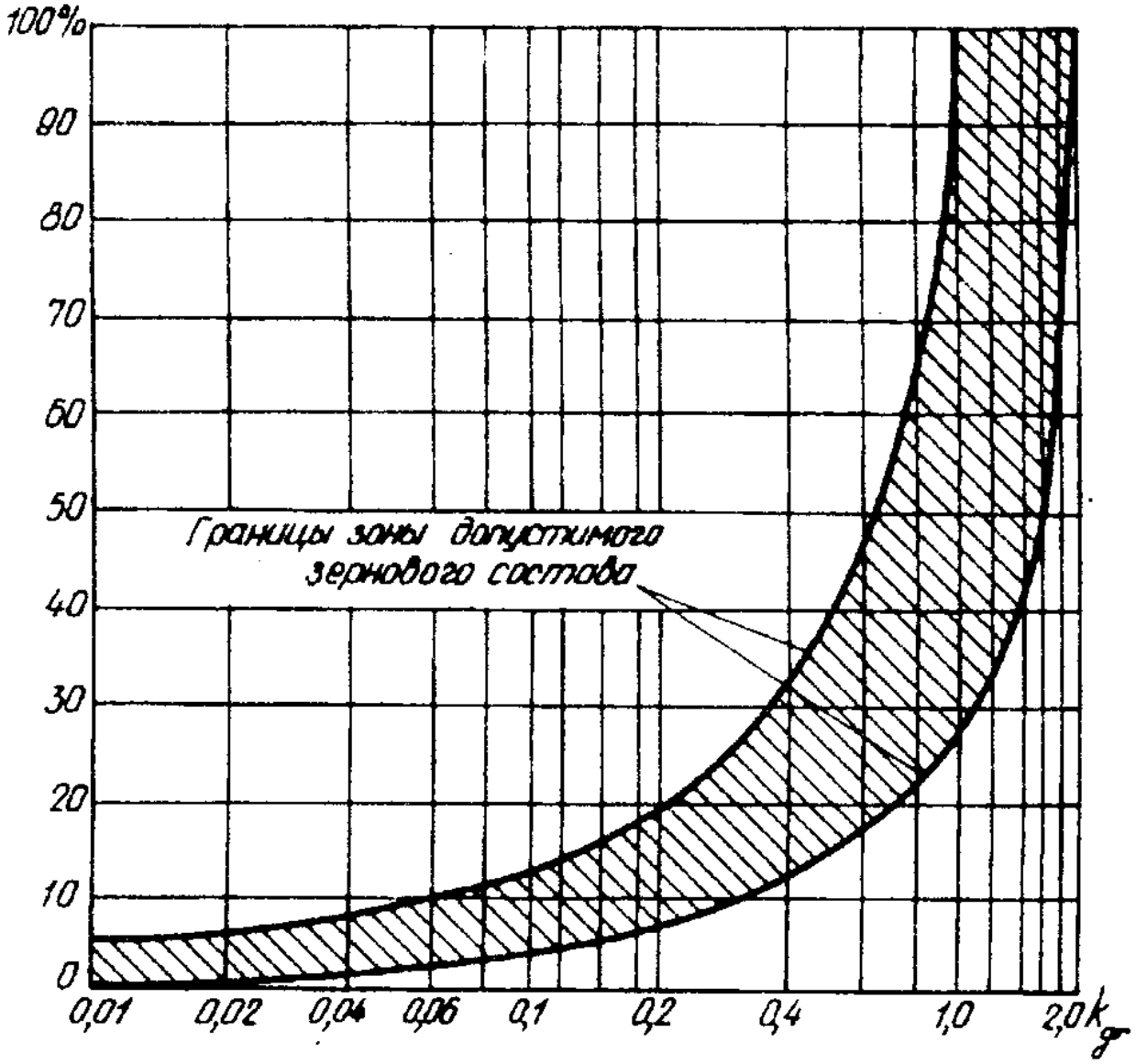


Рис. 13. График для определения допустимого зернового состава несортированной каменной наброски для крепления откосов

1.19*. При пологости откосов $ctg\varphi > 5$, укрепляемых несортированной

разнозернистой каменной наброской, расчетную массу камня m, т, соответствующую состоянию его предельного равновесия от действия ветровых волн, необходимо определять по формуле (33*) при $\bar{\lambda}/h \geq 10$ с умножением полученных результатов на коэффициент k_φ, определяемый по табл.12а*.

Таблица 12а*

ctg фи	6	8	10	12	15
Коэффициент k_фи при _____ ламбда/h >= 10	0,78	0,52	0,43	0,25	0,2

Минимальное содержание фракций диаметром D_{ba}, соответствующим расчетной массе камня в несортированной разнозернистой наброске, должно приниматься в соответствии с табл. 12б*.

Таблица 12б*

Коэффициент разнозернистости D_60/D_10	5	10	20	40-100
Минимальное содержание фракций диаметром D_ba,% (по весу)	50	30	25	20

2. Нагрузки от волн на обтекаемые преграды и сквозные сооружения

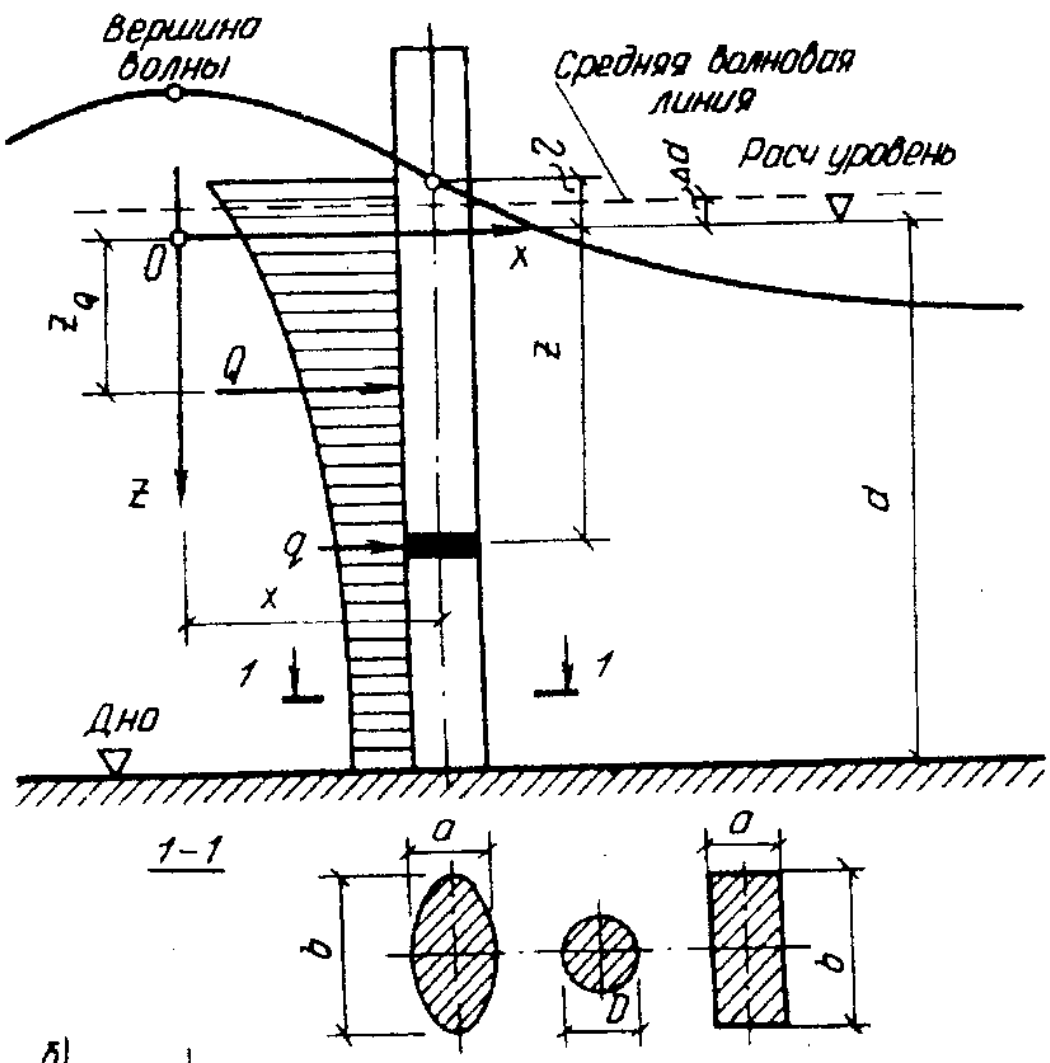
Нагрузки от волн на вертикальную обтекаемую преграду

2.1. Максимальную силу от воздействия волн Q_{max}, кН, на вертикальную обтекаемую преграду с поперечными размерами $a \leq 0{,}4\lambda$ и $b \leq 0{,}4\lambda$ (рис. 14, а) при $d > d_{cr}$ необходимо определять из ряда значений, получаемых при различных положениях преграды относительно вершины волны $x = x/\lambda$, по формуле

$$Q_{max} = Q_{i,max}\delta_i + Q_{v,max}\delta_v \quad (36)$$

где $Q_{i,max}$ и $Q_{v,max}$ - соответственно инерционный и скоростной компоненты силы от воздействия волн, кН, определяемые по формулам:

а)


Вершина волны
Средняя волновая линия
Расч уровень
z
d
0
x
z_q
Q
z
d
q
x
1
1
Дно
1–1
a
b
D
a
b

б)

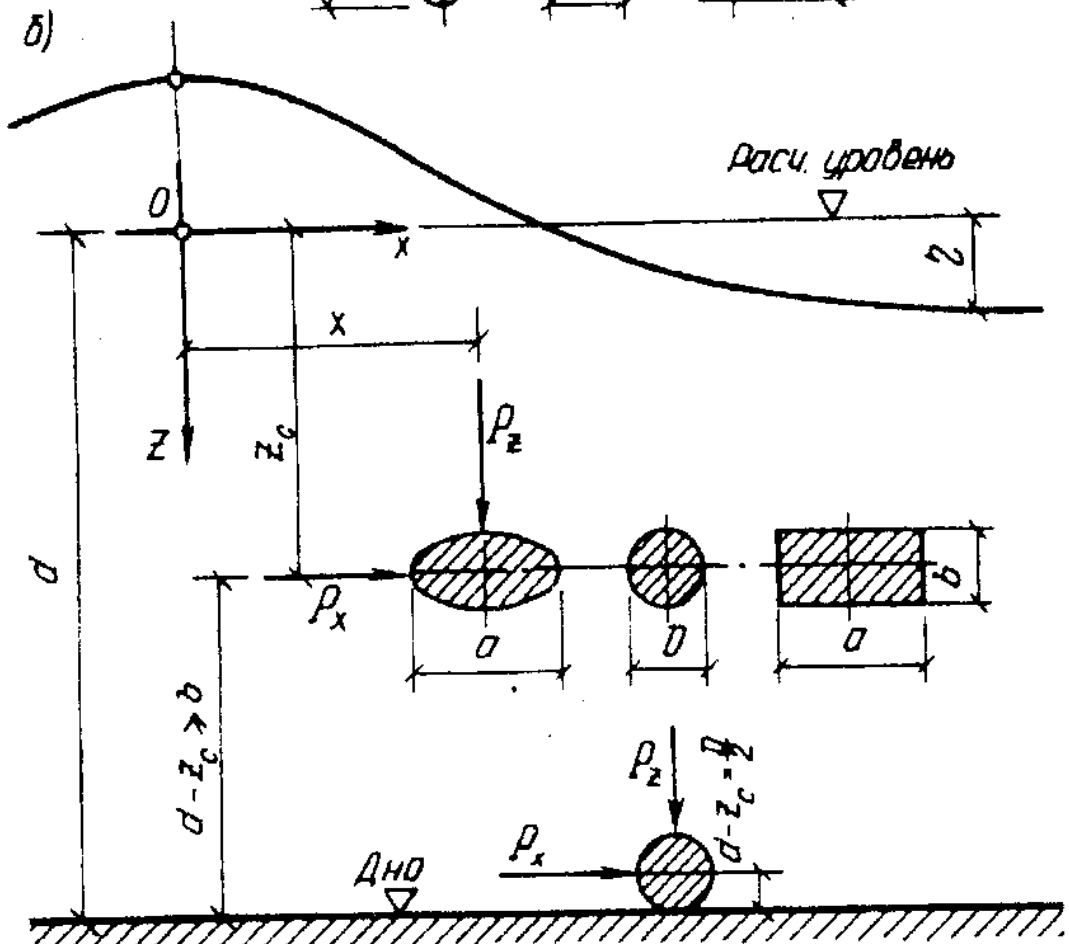

Расч. уровень
0
x
z
x
z
z_c
P_z
d
P_x
a
D
a
b
$d-z_c>b$
P_z
$d-z_c<b$
P_x
Дно

Рис. 14. Схемы к определению волновых нагрузок на обтекаемые преграды

а — вертикальные; *б* — горизонтальные

$$Q_{i,max} = \frac{1}{4}\rho g \pi b^2 h k_v \alpha_i \beta_i \quad ; (37)$$

$$Q_{v,max} = \frac{1}{12}\rho g b h^2 k_v^2 \alpha_v \beta_v \quad ; (38)$$

δ_i и δ_v - коэффициенты сочетания инерционного и скоростного компонентов максимальной силы от воздействия волн, принимаемые соответственно по графикам 1 и 2 рис. 15;

h и λ - высота и длина расчетной волны, принимаемые согласно п. 4 обязательного прил. 1;

a - размер преграды по лучу волны, м;

b - размер преграды по нормали к лучу волны, м;

k_v - коэффициент, принимаемый по табл. 13;

α_i и α_v - инерционный и скоростной коэффициенты глубины, принимаемые соответственно по графикам а и б рис. 16;

β_i и β_v - инерционный и скоростной коэффициенты формы преграды с поперечным сечением в виде круга, эллипса и прямоугольника, принимаемые по графикам рис. 17.

Таблица 13

Относительный размер преграды a/ламбда, b/ламбда, D/ламбда	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
Коэффициент k_v	1	0,97	0,93	0,86	0,79	0,7	0,52

Примечания: 1. Расчет сквозных сооружений или отдельно стоящих обтекаемых преград на нагрузки от волн должен производиться, как правило, с учетом шероховатости их поверхности. При наличии опытных данных по снижению влияния коррозии и морских обрастаний коэффициенты формы необходимо определять по формулам:

$$\beta_i = \frac{a}{2b} C_i \quad ; (39)$$

$$\beta_v = C_v \quad , (40)$$

где C_i и C_v - уточненные опытные значения коэффициентов инерционного и скоростного сопротивлений.

2. При подходе волн под углом к обтекаемой преграде (в виде эллипса или прямоугольника) допускается коэффициенты формы определять интерполяцией между их значениями по главным осям.

3. Максимальную силу от воздействия волн Q_{max} , кН, на вертикальную обтекаемую преграду при значении $\frac{Q_{i,max}}{Q_{v,max}} \geq 2$ допускается принимать $Q_{max} = Q_{i,max}$, а при значении $\frac{Q_{i,max}}{Q_{v,max}} \leq 0,2$ принимать $Q_{max} = Q_{v,max}$; в других случаях Q_{max} следует определять из ряда значений, полученных по формуле (36) при различных x.

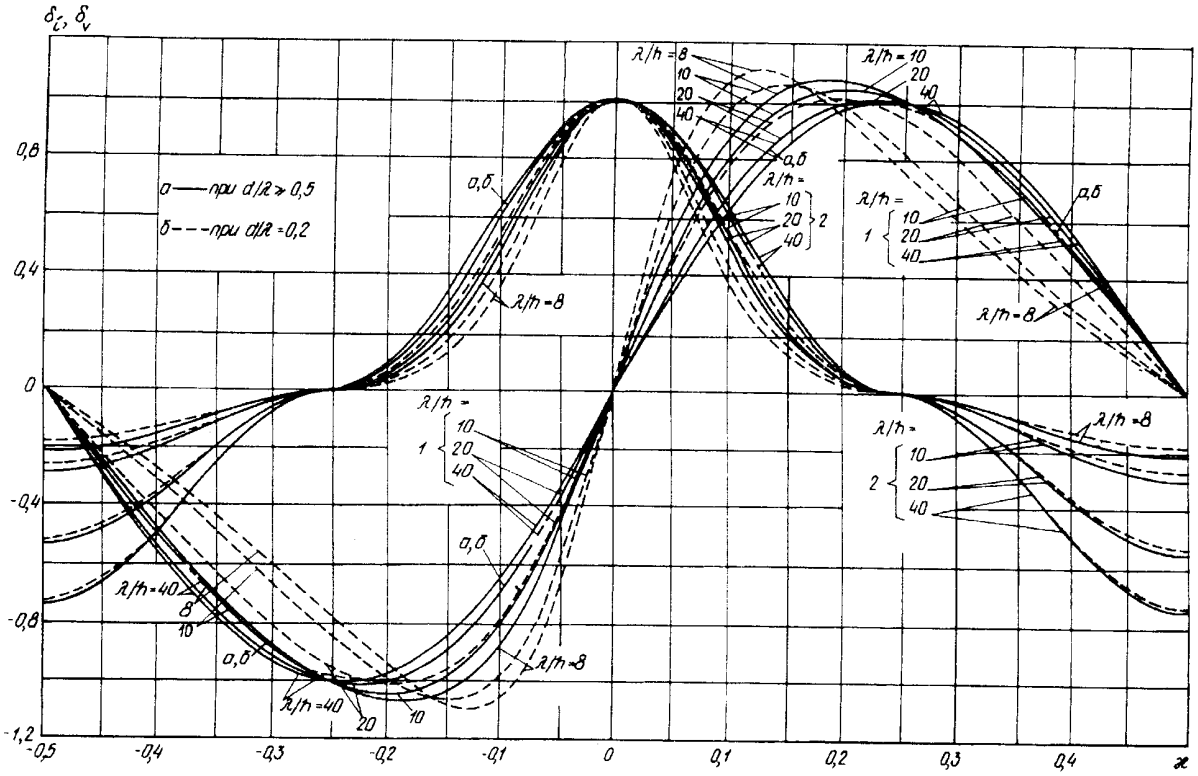


Рис. 15. Графики значений коэффициентов сочетания инерционного δ_i (графики 1) и скоростного δ_v (графики 2) компонентов силы от воздействия волн

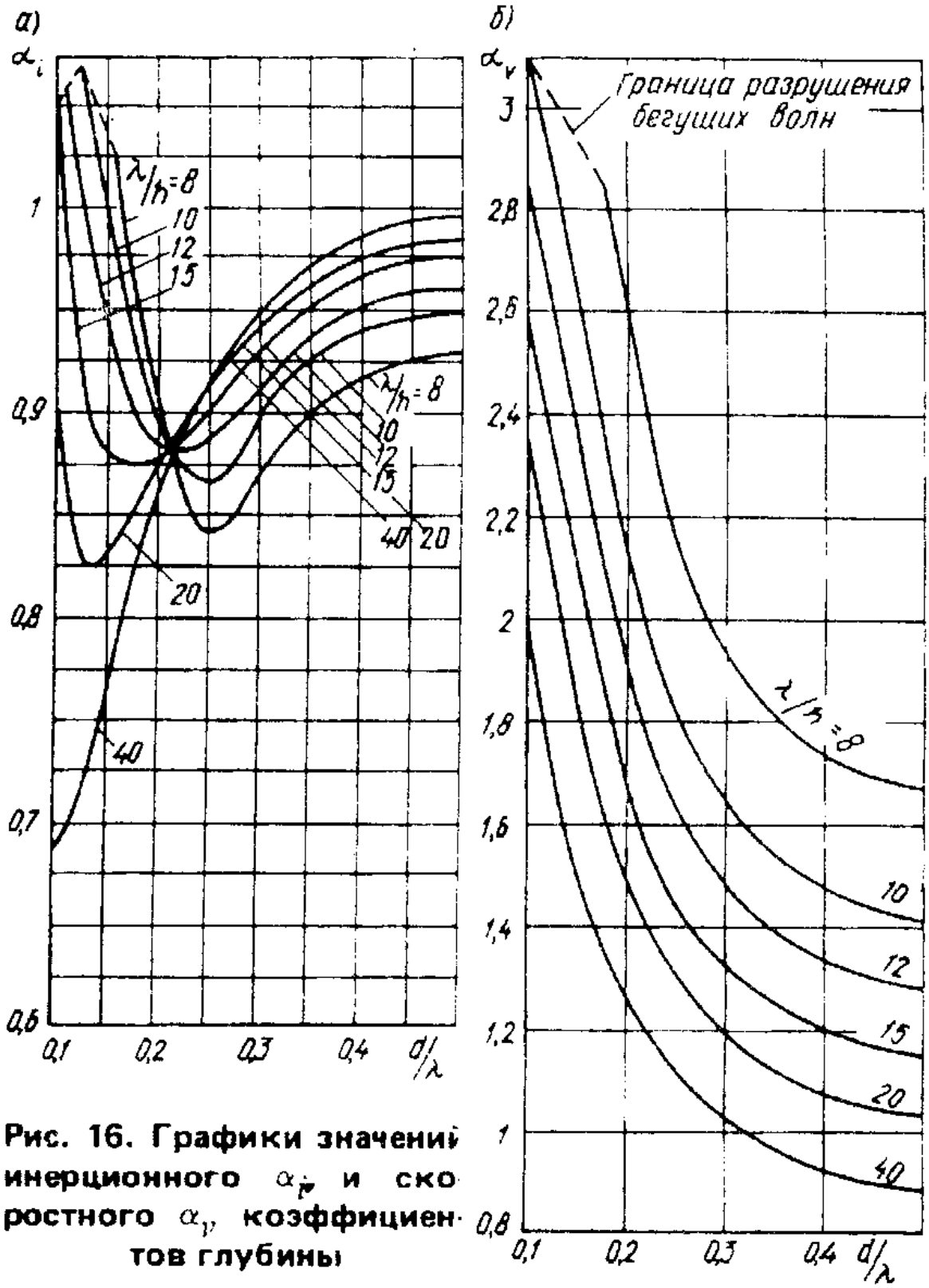


Рис. 16. Графики значений инерционного α_i и скоростного α_v коэффициентов глубины

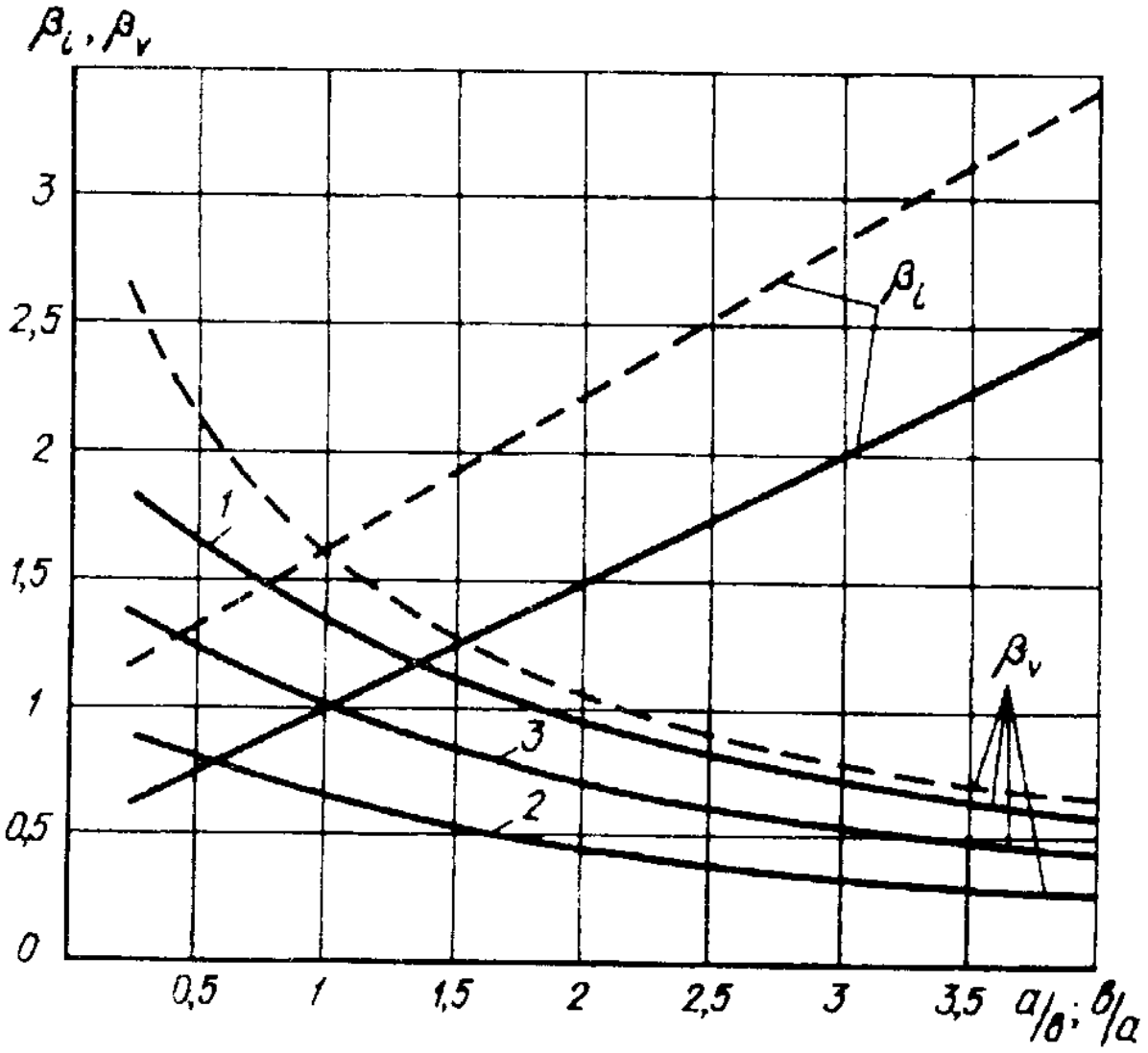


Рис. 17. Графики значений инерционного β_i и скоростного β_v коэффициентов формы (для эллиптических преград — сплошные линии, призматических — штриховые линии) в зависимости от a/b (для Q, q и P_x) или b/a (для P_z)

1 — для шероховатой эллиптической преграды; *2* — гладкой; *3* — шероховатой в подводной и гладкой в надводной частях вертикальной эллиптической преграды

2.2. Линейную нагрузку от волн q, кН/м, на вертикальную обтекаемую преграду на глубине z, м, при максимальной силе от воздействия волн Q_{max} (см. рис.14, а) необходимо определять по формуле

$$q = q_{i,max}\delta_{xi} + q_{v,max}\delta_{xv} \quad , (41)$$

где $q_{i,max}$ и $q_{v,max}$ - инерционный и скоростной компоненты максимальной линейной нагрузки от волн, кН/м, определяемые по формулам :

$$q_{i,max}=\frac{1}{2}\rho g\pi^2 b^2\frac{h}{\lambda}k_v\theta_{xi}\beta_i$$; (42)

$$q_{v,max}=\frac{2}{3}\rho g\pi b\frac{h^2}{\lambda}k_v^2\theta_{xv}\beta_v$$; (43)

δ_{xi} и δ_{xv} - коэффициенты сочетания инерционного и скоростного компонентов линейной нагрузки от волн, принимаемые соответственно по графикам 1 и 2 рис. 18 при значении χ согласно п. 2.1;

θ_{xi} и θ_{xv} - коэффициенты линейной нагрузки от волн, принимаемые по графикам а и б рис. 19 при значениях относительной глубины $z_{rel}=\frac{d-z}{d}$.

2.3. Превышение взволнованной поверхности η , м, над расчетным уровнем должно определяться по формуле

$$\eta=\eta_{rel}h$$, (44)

где η_{rel} - относительное превышение взволнованной поверхности, определяемое по рис. 20.

Превышение средней волновой линии над расчетным уровнем Δ_d , м, следует определять по формуле

$$\Delta d=\left(\eta_{c,rel}+0{,}5\right)h$$, (45)

где $\eta_{c,rel}$ - относительное превышение вершины волны, определяемое по рис. 20 при значении x = 0.

2.4. Нагрузки от волн Q и q на вертикальную обтекаемую преграду при любом ее расположении x, м, относительно вершины волны следует определять по формулам (36) и (41), при этом коэффициенты δ_i и δ_r должны приниматься по графикам 1 и 2 рис.15, а δ_{xi} и δ_v - по графикам 1 и 2 рис.18 для данного значения .

2.5. Расстояние $z_{Q,max}$, м, от расчетного уровня воды до точки приложения максимальной силы от воздействия волн на вертикальную обтекаемую преграду Q_{max} необходимо определять по формуле

$$z_{Q,max}=\frac{1}{Q_{max}}\left(Q_{i,max}\delta_i z_{Q,i}+Q_{v,max}\delta_v z_{Q,v}\right)$$

, (46)

где δ_i и δ_v - коэффициенты, принимаемые по графикам 1 и 2 рис. 15 при x,

соответствующем Q_{max} ;

$z_{Q,i}$ и $z_{Q,v}$ - ординаты точек приложения соответственно инерционного и скоростного компонентов сил, м, определяемые по формулам:

$$z_{Q,i}=\mu_i\zeta_{i,rel}\lambda \quad ; (47)$$

$$z_{Q,v}=\mu_v\zeta_{v,rel}\lambda \quad , (48)$$

где $\zeta_{i,rel}$ и $\zeta_{v,rel}$ - относительные ординаты точек приложения инерционного и скоростного компонентов сил, принимаемые по графикам рис. 21;

μ_i и μ_v - инерционный и скоростной коэффициенты фазы, принимаемые по графикам рис.22.

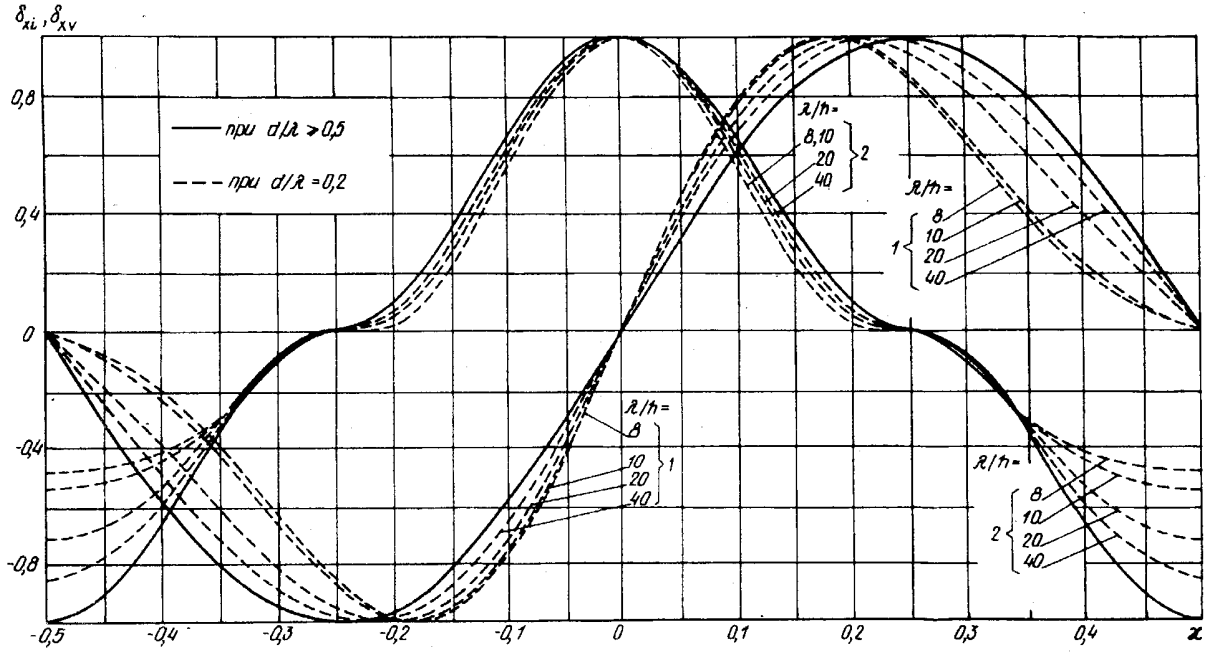


Рис. 18. Графики значений коэффициентов сочетания инерционного δ_{xi} (графики *1*) и скоростного δ_{xv} (графики *2*) компонентов горизонтальной линейной нагрузки от волн

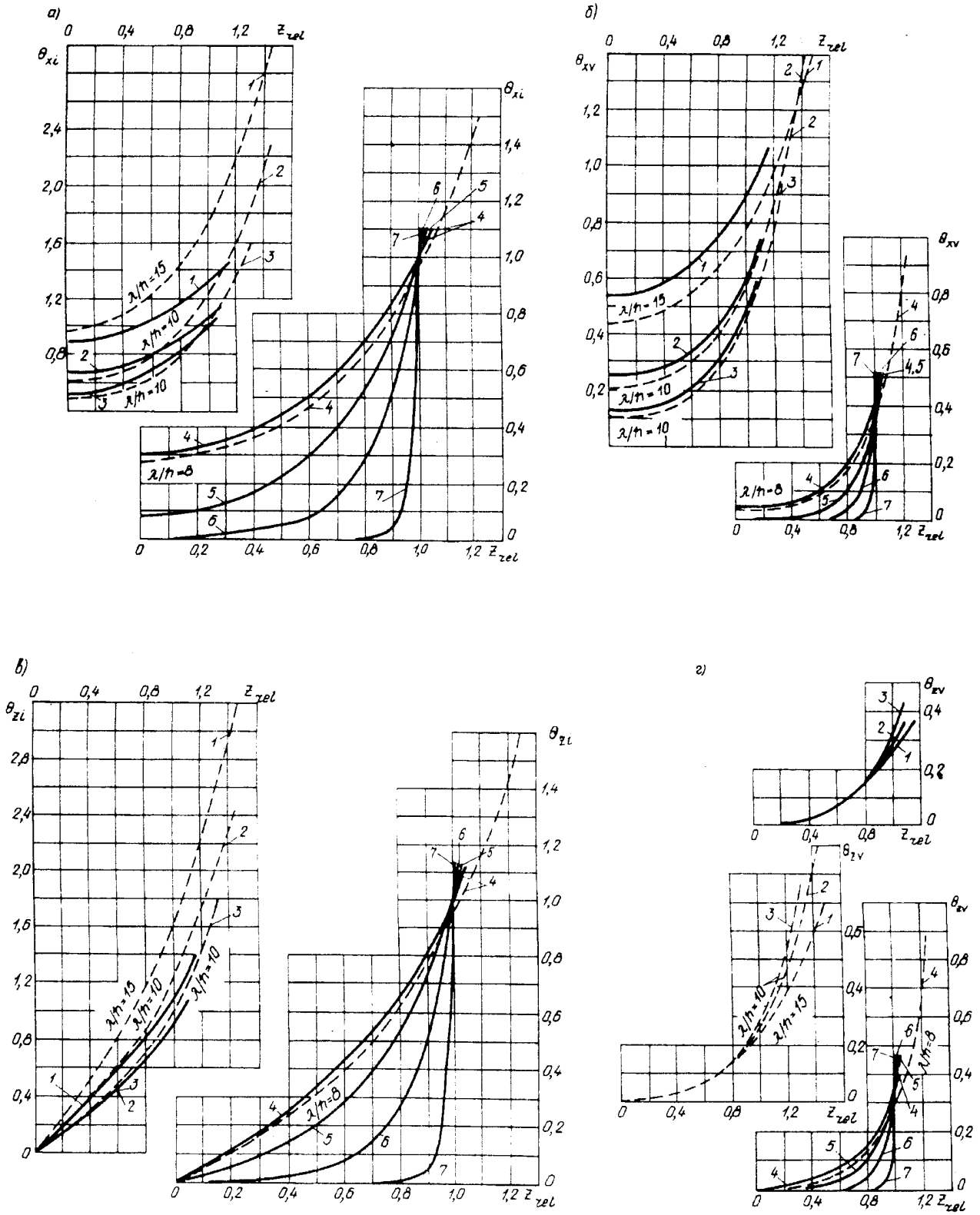


Рис. 19. Графики коэффициентов линейной нагрузки от волн θ_{xi}, θ_{xv}, θ_{zi}, θ_{zv} при d/λ:

1) 0,1; *2)* 0,15; *3)* 0,2; *4)* 0,3; *5)* 0,5; *6)* 1; *7)* 5 и $\lambda/h = 40$ — сплошные линии; $\lambda/h = 8 - 15$ — штриховые линии

Расстояние z_Q от расчетного уровня воды до точки приложения силы Q при любом удалении x от вершины волны до преграды следует определять по формуле (46), при этом коэффициенты δ_i и δ_v должны приниматься согласно

графикам 1 и 2 рис. 15 для данного значения $\kappa = x/\lambda$.

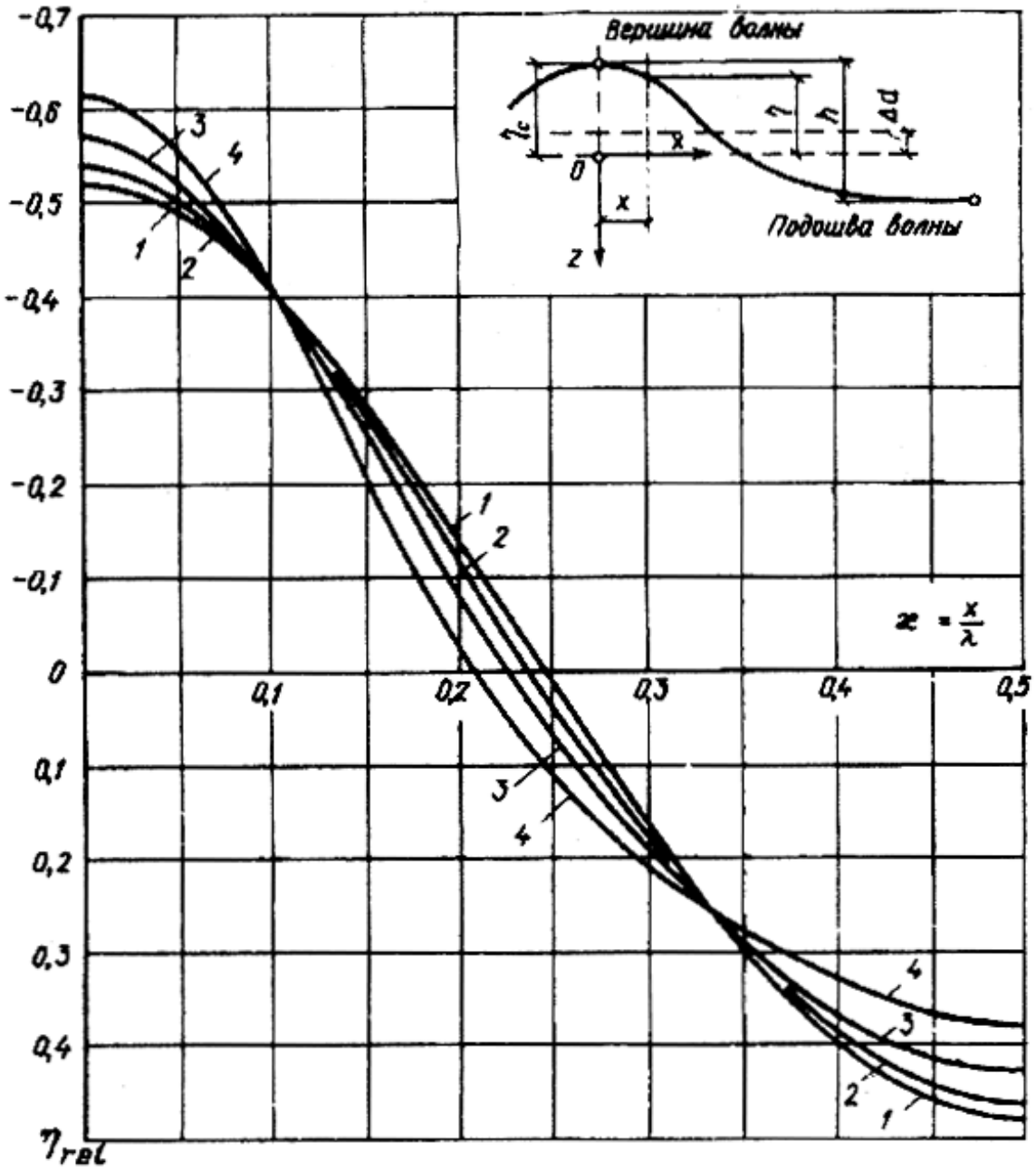


Рис. 20. Графики значений коэффициента η_{rel}

1 — при $d/\lambda = 0{,}5$ и $\lambda/h = 40$; *2* — при $d/\lambda = 0{,}5$ и $\lambda/h = 20$, а также при $d/\lambda = 0{,}2$ и $\lambda/h = 40$; *3* — при $d/\lambda = 0{,}5$ и $\lambda/h = 10$, а также при $d/\lambda = 0{,}2$ и $\lambda/h = 20$; *4* — при $d/\lambda = 0{,}2$ и $\lambda/h = 10$

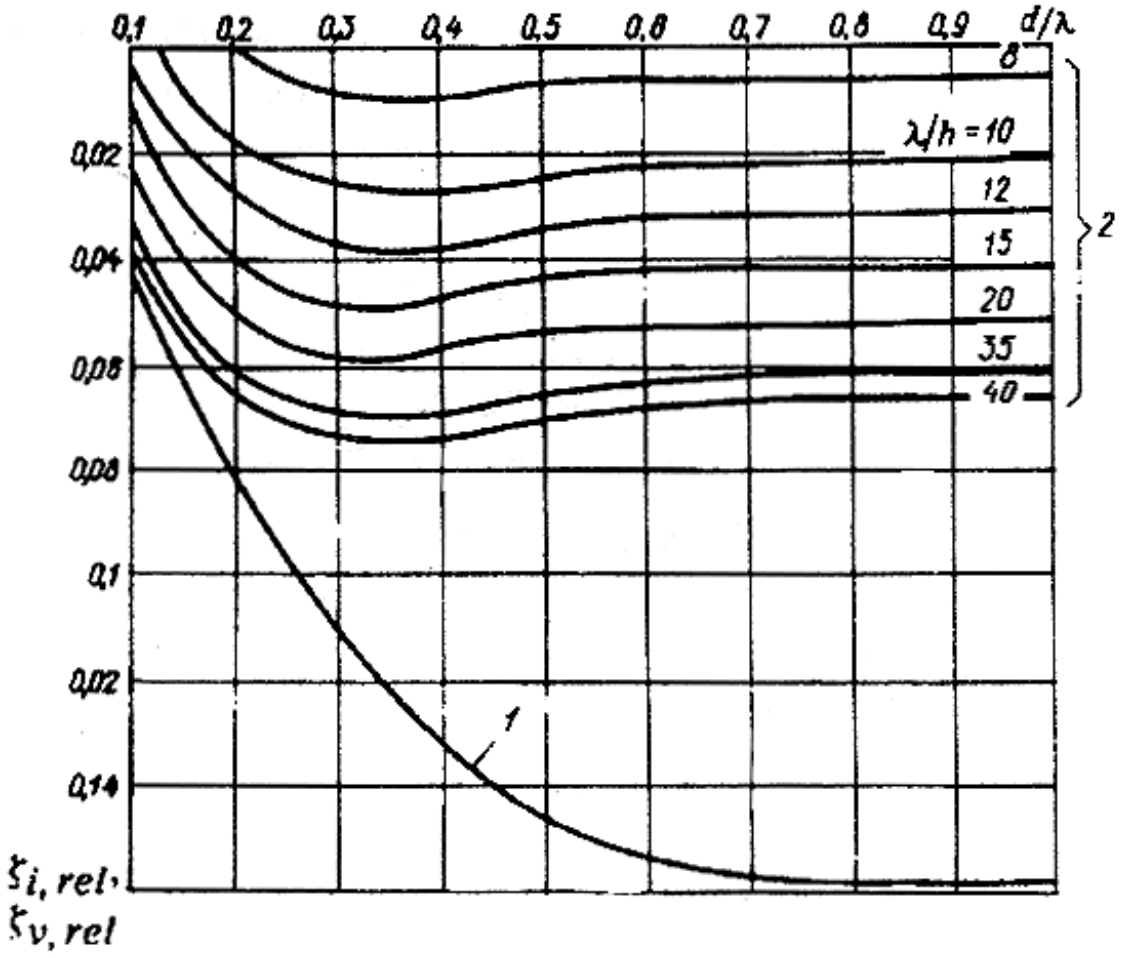
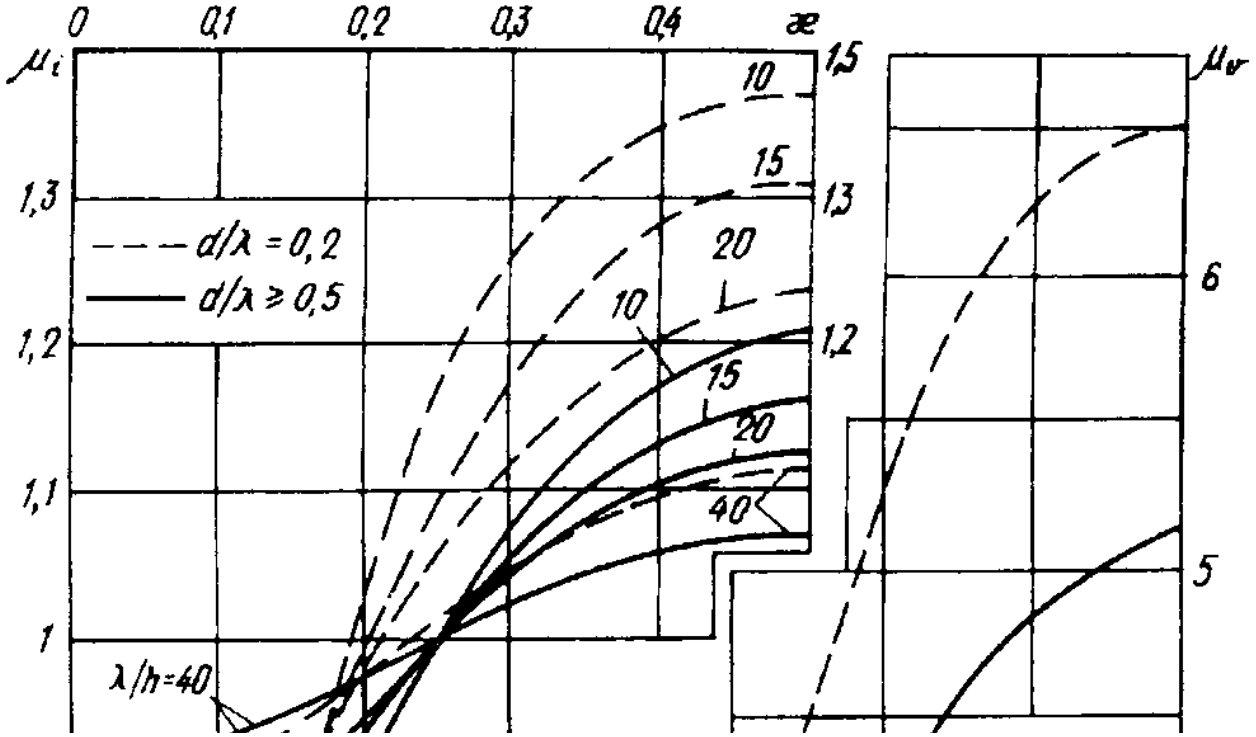


Рис. 21. Графики значений относительных ординат

$1 - \zeta_{i,rel}$; $2 - \zeta_{v,rel}$



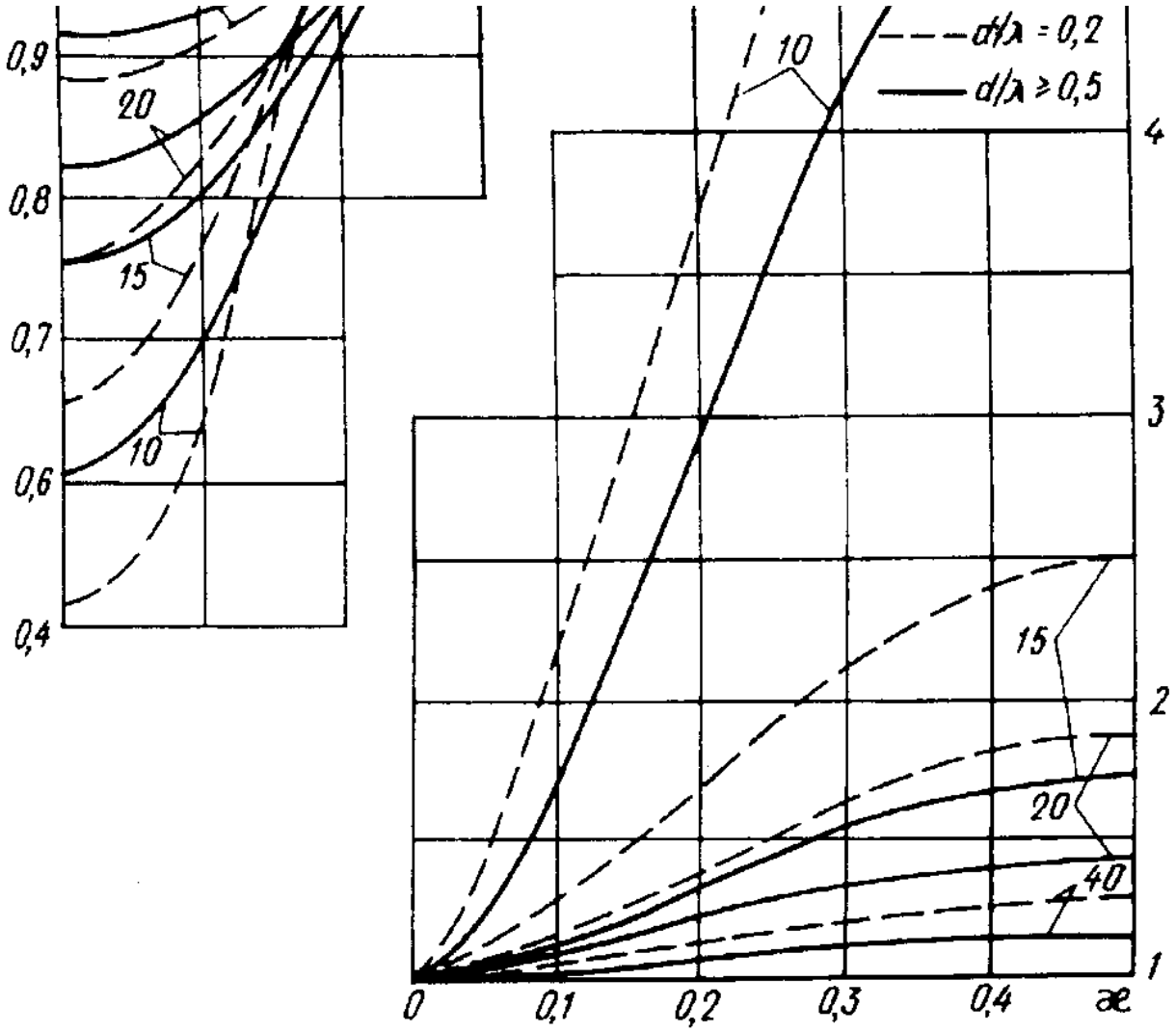


Рис. 22. Графики значений инерционного μ_i и скоростного μ_1, коэффициентов фазы

Нагрузки от волн на горизонтальную обтекаемую преграду

2.6. Максимальное значение равнодействующей линейной нагрузки от волн P_{max} , кН/м, на горизонтальную обтекаемую преграду (см. рис. 14, б) с поперечными размерами $a \le 0{,}1\lambda$, м, и $b \le 0{,}1\lambda$, м, при $z_c \ge b$, но $(z_c - b/2) > h/2$ и при $(d - z_c) \ge b$ должно определяться по формуле

$$P_{max} = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \quad (49)$$

для двух случаев:

с максимальной горизонтальной составляющей линейной нагрузки $P_{x,max}$, кН/м,

при соответствующем значении вертикальной составляющей линейной нагрузки P_z , кН/м;

с максимальной вертикальной составляющей линейной нагрузки $P_{z,max}$, кН/м, при соответствующем значении горизонтальной составляющей линейной нагрузки P_x , кН/м.

Расстояние x, м, от вершины волны до центра преграды при действии максимальных линейных нагрузок $P_{x,max}$ и $P_{z,max}$ должны определяться по относительной величине $\kappa = x/\lambda$, принимаемой согласно рис. 18 и 23.

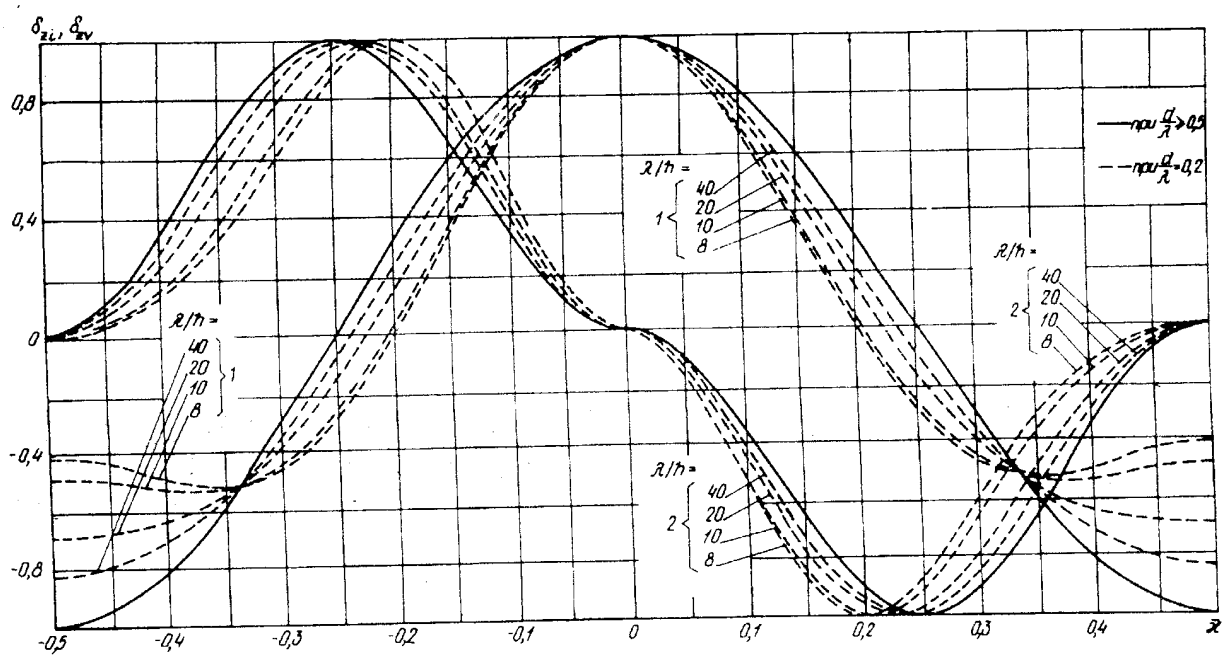


Рис. 23. Графики значений коэффициентов сочетания δ_{zi} инерционного (графики *1*) и δ_{zv} – скоростного (графики *2*) компонентов вертикальной линейной нагрузки от волн

2.7. Максимальное значение горизонтальной составляющей линейной нагрузки от волн $P_{x,max}$, кН/м, на горизонтальную обтекаемую преграду необходимо определять из ряда величин, получаемых при различных значениях χ , по формуле

$$P_{x,max} = P_{xi}\delta_{xi} + P_{xv}\delta_{xv} \quad , (50)$$

где P_{xi} и P_{xv} - инерционный и скоростной компоненты горизонтальной составляющей линейной нагрузки от волн, кН/м, определяемые по формулам:

$$P_{xi} = \frac{1}{2}\rho g \pi^2 b^2 \frac{h}{\lambda} k_v \theta_{xi} \beta_i \quad ; (51)$$

$$P_{xv} = \frac{2}{3}\rho g \pi b \frac{h^2}{\lambda} k_v^2 \theta_{xv} \beta_v \quad ; (52)$$

δ_{xi} и δ_{xv} - коэффициенты сочетания инерционного и скоростного компонентов линейной нагрузки от волн, принимаемые соответственно по графикам 1 и 2 рис. 18 при значениях x согласно п. 2.1.;

θ_{xi} и θ_{xv} - обозначения те же, что и в п. 2.2;

β_i и β_v - инерционный и скоростной коэффициенты формы преграды с поперечным сечением в виде круга, эллипса и прямоугольника, принимаемые по графикам рис. 17 при значениях a/b - для горизонтальной и b/a - вертикальной составляющих нагрузки.

2.8. Максимальную величину вертикальной составляющей линейной нагрузки от волн на горизонтальную обтекаемую преграду $P_{z,max}$, кН/м, необходимо определять из ряда величин, получаемых при разных значениях κ, по формуле

$$P_{z,max}=P_{zi}\delta_{zi}+P_{zv}\delta_{zv} \quad , (53)$$

где P_{zi} и P_{zv} - инерционный и скоростной компоненты вертикальной составляющей линейной нагрузки от волн, кН/м, определяемые по формулам:

$$P_{zi}=\frac{1}{2}\rho g\pi^2 a^2 \frac{h}{\lambda} k_v \theta_{zi}\beta_i \quad ; (54)$$

$$P_{zv}=\frac{2}{3}\rho g\pi a \frac{h^2}{\lambda} k_v^2 \theta_{zv}\beta_v \quad ; (55)$$

δ_{zi} и δ_{zv} - инерционный и скоростной коэффициенты сочетания, принимаемые по графикам 1 и 2 рис. 23 при значениях x согласно п. 2.1.;

θ_{zi} и θ_{zv} - коэффициенты линейной нагрузки от волн, принимаемые соответственно по графикам в и г рис. 19 при значениях относительной ординаты

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

β_i и β_v - обозначения те же, что и в п. 2.7

2.9. Значение горизонтальной P_x, кН/м, или вертикальной P_z, кН/м, составляющих линейной нагрузки от волн на горизонтальную обтекаемую преграду при любом ее расположении x относительно вершины волны следует определять соответственно по формуле (50) или (53), при этом коэффициенты сочетания δ_{xi}, δ_{xv} или δ_{zi}, δ_{zv} должны приниматься по графикам рис. 18 и 23 для заданного значения $\chi=x/\lambda$.

2.10. Максимальное значение равнодействующей линейной нагрузки от волн P_{max}, кН/м, на лежащую на дне цилиндрическую преграду (см. рис.14, б), диаметр которой $D \leq 0{,}1\lambda$, м, и $D \leq 0{,}1d$, м, должно определяться по формуле (49) для двух случаев:

с максимальной горизонтальной составляющей линейной нагрузки $P_{x,max}$, кН/м, при соответствующем значении вертикальной составляющей линейной нагрузки P_z, кН/м;

с максимальной вертикальной составляющей линейной нагрузки $P_{z,max}$, кН/м, при соответствующем значении горизонтальной составляющей линейной нагрузки P_x, кН/м.

2.11. Максимальную горизонтальную $P_{x,max}$, кН/м, и соответствующую вертикальную P_z, кН/м, проекции линейной нагрузки от волн, действующих на лежащую на дне цилиндрическую преграду, необходимо определять по формулам:

$$P_{x,max} = P_{xi}\delta_{xi} + P_{xv}\delta_{xv} \quad ; (56)$$

$$P_z = -\frac{9}{5} P_{xv}\delta_{xv} \quad , (57)$$

где P_{xi} и P_{xv} - соответственно инерционный и скоростной компоненты горизонтальной составляющей линейной нагрузки от волн, кН/м, определяемые по формулам:

$$P_{xi} = \frac{3}{4}\rho g \pi^2 D^2 \frac{h}{\lambda}\theta_{xi} \quad ; (58)$$

$$P_{xv} = \rho g \pi D \frac{h^2}{\lambda}\theta_{xv} \quad ; (59)$$

δ_{xi} и δ_{xv}, θ_{xi} и θ_{xv} - обозначения те же, что в п. 2.7.

Максимальную вертикальную $P_{z,max}$, кН/м, и соответствующую горизонтальную P_x, кН/м, проекции линейной нагрузки от волн необходимо принимать равными $P_{z,max} = -\frac{9}{5} P_{xv}$ и $P_x = P_{xv}$.

Нагрузки от разбивающихся волн на вертикальную обтекаемую преграду

2.12. Максимальную силу от воздействия разбивающихся (разрушающихся) волн $Q_{cr,max}$, кН, на вертикальную цилиндрическую преграду, диаметр которой $D \leq 0{,}4 d_{cr}$, м, необходимо определять по отдельным значениям силы от воздействий волн Q_{cr}, кН, полученным для ряда положений преграды относительно вершины волны (рис. 24, а) с интервалом $0{,}1\frac{x}{d_t}$, начиная с $\frac{x}{d_t}=0$ (где x - расстояние, м, от вершины разбивающейся волны до оси d_t вертикальной цилиндрической преграды).

Сила от воздействия волн Q_{cr}, кН, для любого положения цилиндрической преграды относительно вершины волны должна определяться по формуле

$$Q_{cr}=Q_{i,cr}+Q_{v,cr}, \quad (60)$$

где Q_{icr} и $Q_{v,cr}$ - инерционный и скоростной компоненты силы от воздействия разбивающихся волн, кН, определяемые по формулам:

$$Q_{i,cr}=\frac{1}{2}\rho g \pi D^2\left(d_{cr}+\eta_{c,sur}\right)\delta_{i,cr}, \quad (61)$$

$$Q_{v,cr}=\frac{2}{5}\rho g D\left(d_{cr}+\eta_{c,sur}\right)d_t\delta_{v,cr}, \quad (62)$$

где d_t - глубина воды под подошвой волны, м, принимаемая равной (см. рис. 24,а):

$$d_t=d_{cr}-\left(h_{sur}-\eta_{c,sur}\right); \quad (63)$$

h_{sur} - высота (трансформированной) волны, м, при первом обрушении в мелководной зоне с соблюдением условия $h_{sur} \leq 0{,}8 d_t$;

$\eta_{c,sur}$ - превышение над расчетным уровнем воды вершины (при первом обрушении) волны, м;

$\delta_{i,cr}$ и $\delta_{v,cr}$ - инерционный и скоростной коэффициенты, принимаемые по графикам рис. 24,б.

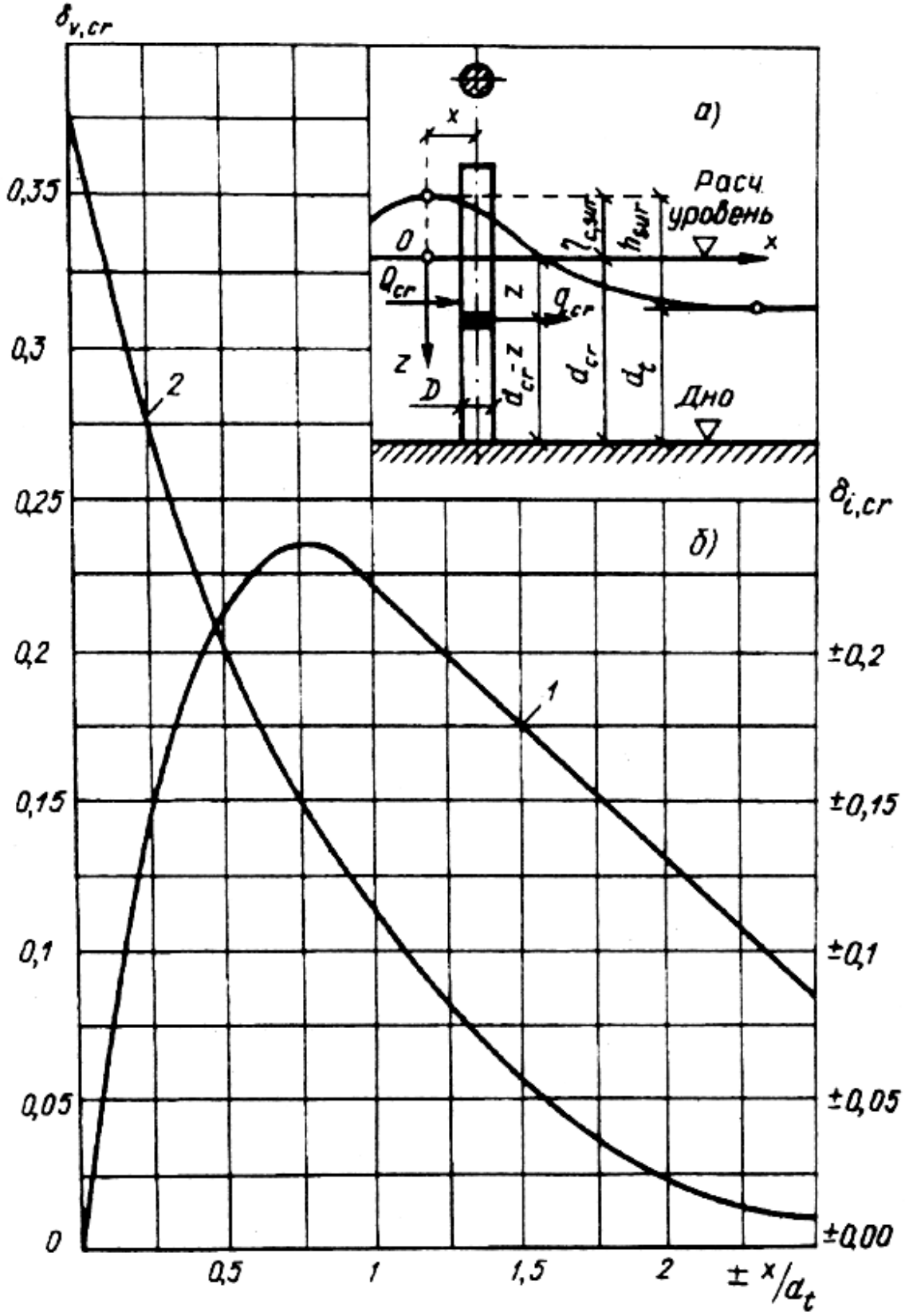


Рис. 24. Схема к определению нагрузок от разбивающихся волн и графики значений коэффициентов $\delta_{i,cr}$ — кривая *1* и $\delta_{v,cr}$ — кривая *2*

2.13. Линейную нагрузку от разбивающихся волн q_{cr} , кН/м, на вертикальную цилиндрическую преграду на глубине z, м, от расчетного уровня (см. рис.24, а) при относительном удалении оси преграды от вершины волны $\frac{x}{d_t}$ необходимо определять по формуле

$$q_{cr}=q_{i,cr}+q_{v,cr} \quad , (64)$$

где $q_{i,cr}$ и $q_{v,cr}$ - инерционный и скоростной компоненты линейной нагрузки от разбивающихся волн на вертикальную преграду, кН/м, определяемые по формулам:

$$q_{i,cr}=\frac{1}{2}\rho g\pi D^2\varepsilon_{i,cr} \quad , (65)$$

$$q_{v,cr}=\frac{2}{5}\rho gD\left(d_{cr}+\eta_{c,sur}\right)\varepsilon_{v,cr} \quad , (66)$$

где $\varepsilon_{i,cr}$ и $\varepsilon_{v,cr}$ - инерционный и скоростной коэффициенты, принимаемые соответственно по графикам а и б рис. 25 при значениях относительной глубины $z_{rel}=\frac{d_{cr}-z}{d_t}$.

Примечание. Коэффициенты $\delta_{i,cr}$ (рис. 24, б) и $\varepsilon_{i,cr}$ (рис. 25, а) следует принимать положительными при $x/d_t>0$ и отрицательными при $x/d_t<0$.

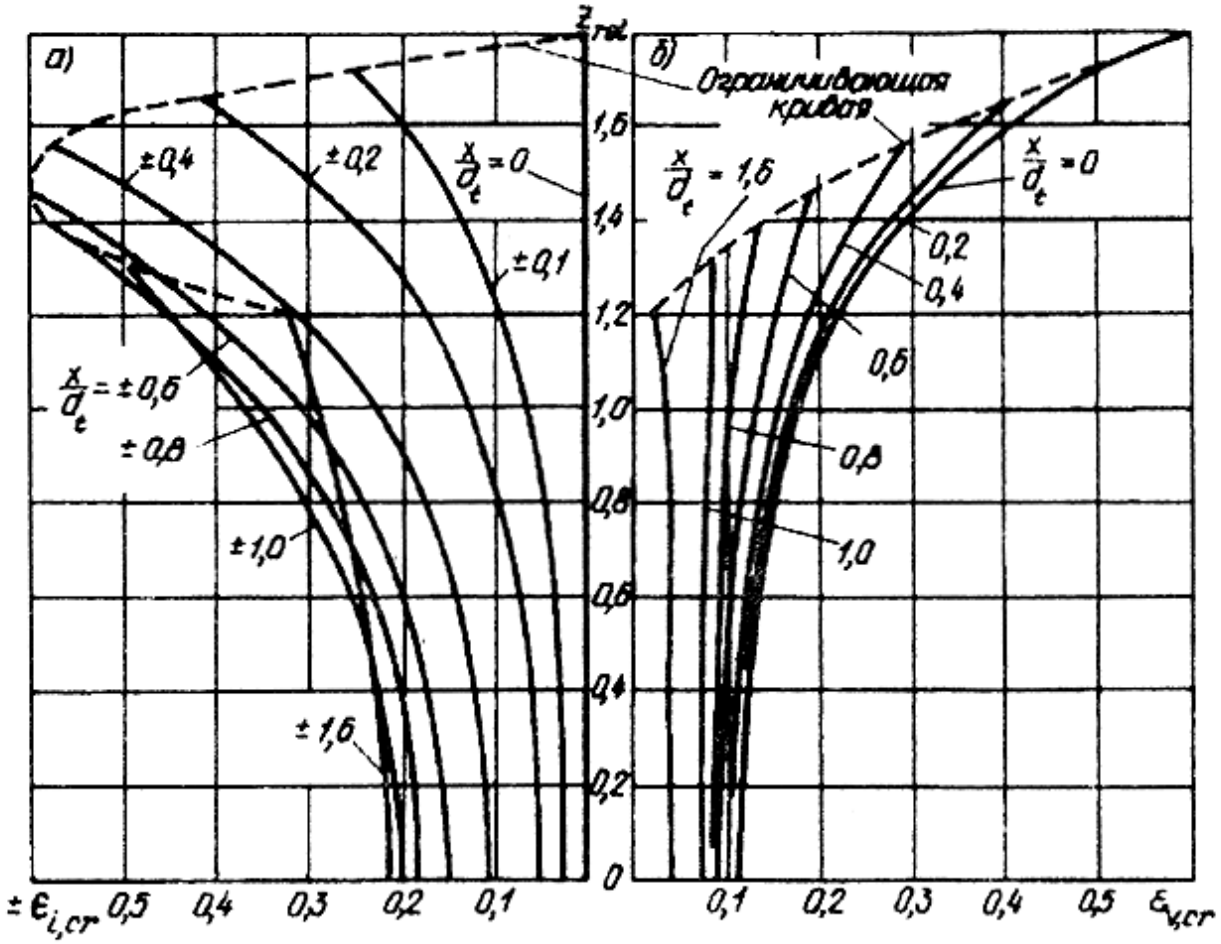


Рис. 25. Графики значений инерционного $\epsilon_{i,cr}$ и скоростного $\epsilon_{v,cr}$ коэффициентов

Нагрузки от волн на сквозное сооружение из обтекаемых элементов

2.14. Нагрузку от волн на сквозное сооружение в виде стержневой системы необходимо получать суммированием нагрузок, определенных согласно пп. 2.1 - 2.9 как на отдельно стоящие преграды с учетом положения каждого элемента относительно профиля расчетной волны. Элементы сооружения следует принимать как отдельно стоящие обтекаемые преграды при расстояниях между их осями l, м, равных и более трех диаметров D, м; при l , и лучу ψ_l волн, принимаемые по табл. 14.

Таблица 14

Относительное расстояние между осями преград l/D	Коэффициенты сближения пси_t и пси_l при значениях относительных диаметров D/ламбда	
	пси_t	пси_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

2.15. Нагрузки от волн на наклонный элемент сквозного сооружения необходимо получать по эпюрам горизонтальной и вертикальной составляющих нагрузки, ординаты которых должны определяться согласно п. 2.9 с учетом заглубления под расчетный уровень и удаления от вершины расчетной волны отдельных участков элемента.

Примечание. Нагрузку от волн на элементы сооружения, наклоненные к горизонтали или вертикали под углом менее 25°, допускается определять соответственно по пп. 2.4 и 2.9 как на вертикальную или горизонтальную обтекаемую преграду.

2.16. Динамическую нагрузку от воздействия нерегулярных ветровых волн на сквозное сооружение из обтекаемых элементов следует определять умножением значения статической нагрузки, полученный согласно пп.2.14 и 2.15 от волн с высотой заданной обеспеченности в системе и средней длиной, на коэффициент динамичности k_d , принимаемый по табл. 15.

При отношениях периодов $T_c/\overline{T} > 0{,}3$ необходимо выполнять динамический расчет сооружения.

Таблица 15

Отношение периодов $T_c/\overline{T}$	0,01	0,1	0,2	0,3
Коэффициент динамичности k_d	1	1,15	1,2	1,3
T_c - период собственных колебаний сооружения, с; $\overline{T}$ - средний период волны, с.				

Нагрузки от волн на вертикальные цилиндры больших диаметров (особые случаи)*

2.17*. Максимальный опрокидывающий момент $M_{z,por}$, кНм, от волнового давления на сплошное днище вертикальной круглоцилиндрической преграды, расположенной на гравийно-галечниковом или каменнонабросном основании,

относительно центра днища следует определять по формуле

$$M_{z,por} = \frac{1}{16}\rho g h D^3 \beta_{por}$$, (66а)*

где β_{por} - коэффициент опрокидывающего момента с учетом проницаемости основания, принимаемый по табл. 15а*.

Полный максимальный опрокидывающий момент, действующий на преграду, определяется как сумма двух моментов: момента от максимальной силы Q_{max} , равного произведению этой силы, определяемой по п. 2.1, на плечо, определяемое по п. 2.5, и максимального момента, определяемого по формуле (66а)* и совпадающего по фазе с максимальной силой Q_{max} .

Таблица 15а*

d/ламбда	Значение коэффициента бета_por при D/ламбда			
	0,2	0,25	0,3	0,4
0,12	0,67	0,76	0,82	0,81
0,15	0,59	0,68	0,73	0,73
0,2	0,46	0,52	0,57	0,56
0,25	0,35	0,42	0,44	0,42
0,3	0,26	0,29	0,32	0,32
0,4	0,14	0,15	0,17	0,17
0,5	0,07	0,08	0,09	0,09

2.18*. Волновое давление р, кПа, в точке поверхности вертикальной круглоцилиндрической преграды на глубине $z \geq 0$ в момент максимума горизонтальной силы Q_{max} необходимо определять по формуле

$$p = \rho g h \frac{ch\, k(d-z)}{ch\, kd}\chi$$, (66б)

где χ - коэффициент распределения давления, принимаемый по табл.15 б*.

Таблица 15б*

Тета, град	Значение коэффициента хи при D/ламбда		
	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

Тета - угол между лучом набегающей волны и направлением на рассматриваемую точку из центра преграды (для передней образующей цилиндра Тета = 0).

Давление p в точках, лежащих выше расчетного уровня воды (z принимается по линейному закону между p на уровне z = 0, определяемым по формуле (66б)*, и p = 0 на уровне $z=-\chi h$; а при $\chi<0$ для точек на глубине $0\leq z\leq -\chi_h$ - также по линейному закону между p = 0 при z = 0 и p, определяемым по формуле (66б)* при $z=-\chi_h$.

2.19*. Максимальную донную скорость $v_{b,max}$, м/с, в точках, расположенных на контуре преграды ($\theta=90°$ и 270°) и впереди преграды на расстоянии $0{,}25\lambda$ от контура преграды $(\theta=0°)$, следует определять по формуле

$$v_{b,max}=2\varphi_v\frac{\pi h}{T}\cdot\frac{1}{sh\ kd}$$, (66в)*

где коэффициент φ_v принимается по табл.15 в*.

Таблица 15в*

Положение расчетных точек	Значения коэффициента фи_ню при D/ламбда		
	0,2	0,3	0,4
На контуре преграды	0,98	0,87	0,77
Впереди преграды	0,67	0,75	0,75

3. Нагрузки от ветровых волн на берегоукрепительные сооружения и судовых волн на крепления берегов каналов

Нагрузки от ветровых волн на берегоукрепительные сооружения

3.1. Максимальные значения горизонтальной P_x , кН/м, и вертикальных P_z и P_c , кН/м, проекций равнодействующей линейной нагрузки от волн на подводный волнолом при ложбине волны необходимо принимать по эпюрам бокового и взвешивающего волнового давления (рис. 26), при этом p, кПа, должно определяться в зависимости от z с учетом уклона дна i по формулам:

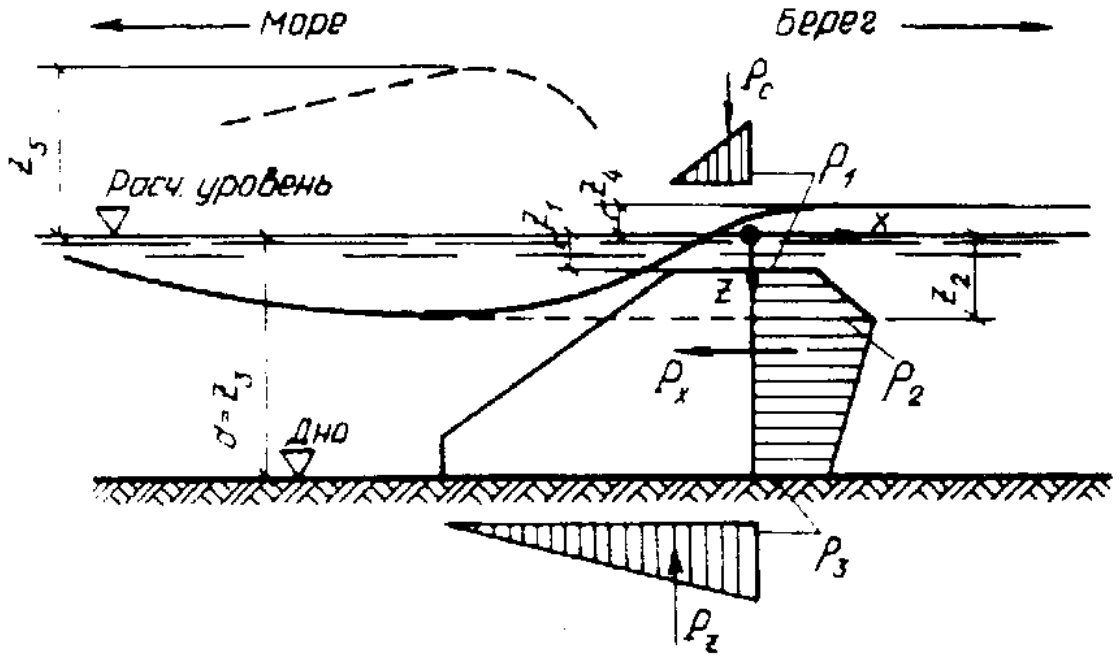


Рис. 26. Эпюры волнового давления на подводный волнолом

Таблица 16

Относительная высота волны h/d	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Относительное понижение подошвы волны z_2/d	0,14	0,17	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28
Относительное превышение гребня волны z_5/d	-0,13	-0,16	-0,2	-0,24	-0,28	-0,32	-0,37
Коэффициент k_rd	0,76	0,73	0,69	0,66	0,63	0,6	0,57

Таблица 17

Пологость волны _____ ламбда/h	8	10	15	20	25	30	35
Коэффициент k_w	0,73	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1

Таблица 18

Относительная длина волны ламбда/d	<=5	10	15	20 и более
Коэффициент k_sl	0,5	0,7	0,9	1,1

а) при уклоне дна $i \le 0{,}04$:

$$z = z_1 \text{ при } z_1 < z_2 \text{ , } p_1 = \rho g (z_1 - z_4) \text{ ; (67)}$$

$$\text{при } z_1 \ge z_2 \text{ , } p_1 = p_2 \text{ ; (68)}$$

$$z = z_2, \; p_2 = \rho g h \left(0{,}015 \frac{\bar{\lambda}}{d} + 0{,}23 \frac{d - z_1}{d} \right) - \rho g z_4 \text{ ; (69)}$$

$$z = z_3 = d \text{ , } p_3 = k_w p_2 \text{ ; (70)}$$

б) при уклоне дна $i > 0{,}04$:

$z = z_1$, p_1 определяется по формулам (67) и (68);

$$z = z_2 \text{ , } p_2 = \rho g (z_2 - z_4) \text{ ; (71)}$$

$$z = z_3 = d \text{ , } p_3 = p_2 \text{ , (72)}$$

где z_1 - ордината верха сооружения, м;

z_2 - ордината подошвы волны, м, по табл. 16;

k_w - коэффициент, принимаемый по табл. 17;

z_4 - ордината поверхности воды за подводным волокном, м, определяемая по формуле

$$z_4 = -k_{rd} (z_1 - z_5) + z_1 \text{ ; (73)}$$

k_{rd} - коэффициент, принимаемый по табл. 16;

z_5 - ордината гребня волны перед подводным волокном, м, принимаемая по табл. 16.

3.2. Максимальную донную скорость $v_{b,max}$, м/с, перед берегоукрепительным сооружением необходимо определять по формуле (12), где коэффициент k_{sl} принимается:

а) для вертикальной или круглонаклонной стены по табл.3;

б) для подводного волнолома по табл.18.

Максимальную донную скорость воды $v_{b,max}$, м/с, перед берегоукрепительным сооружением при разбивающихся и прибойных волнах надлежит определять соответственно по формулам (18) и (24).

Допускаемые значения неразмывающих донных скоростей должны приниматься согласно п.1.9.

3.3. Максимальные значения горизонтальной P_x , кН/м, и вертикальной P_z , кН/м, проекций равнодействующей линейной нагрузки от разбивающихся и разрушающихся волн на вертикальную волнозащитную стену (при отсутствии засыпки грунта со стороны берега) необходимо принимать по эпюрам бокового и взвешивающего волнового давлений (рис.27), при этом значения р, кПа, и η_c , м, должны определяться в зависимости от места расположения сооружения:

а) при расположении сооружения в створе последнего обрушения прибойных волн (рис.27, а) по формулам:

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

; (74)

$$\eta_c = -\frac{p_u}{\rho g}$$

; (75)

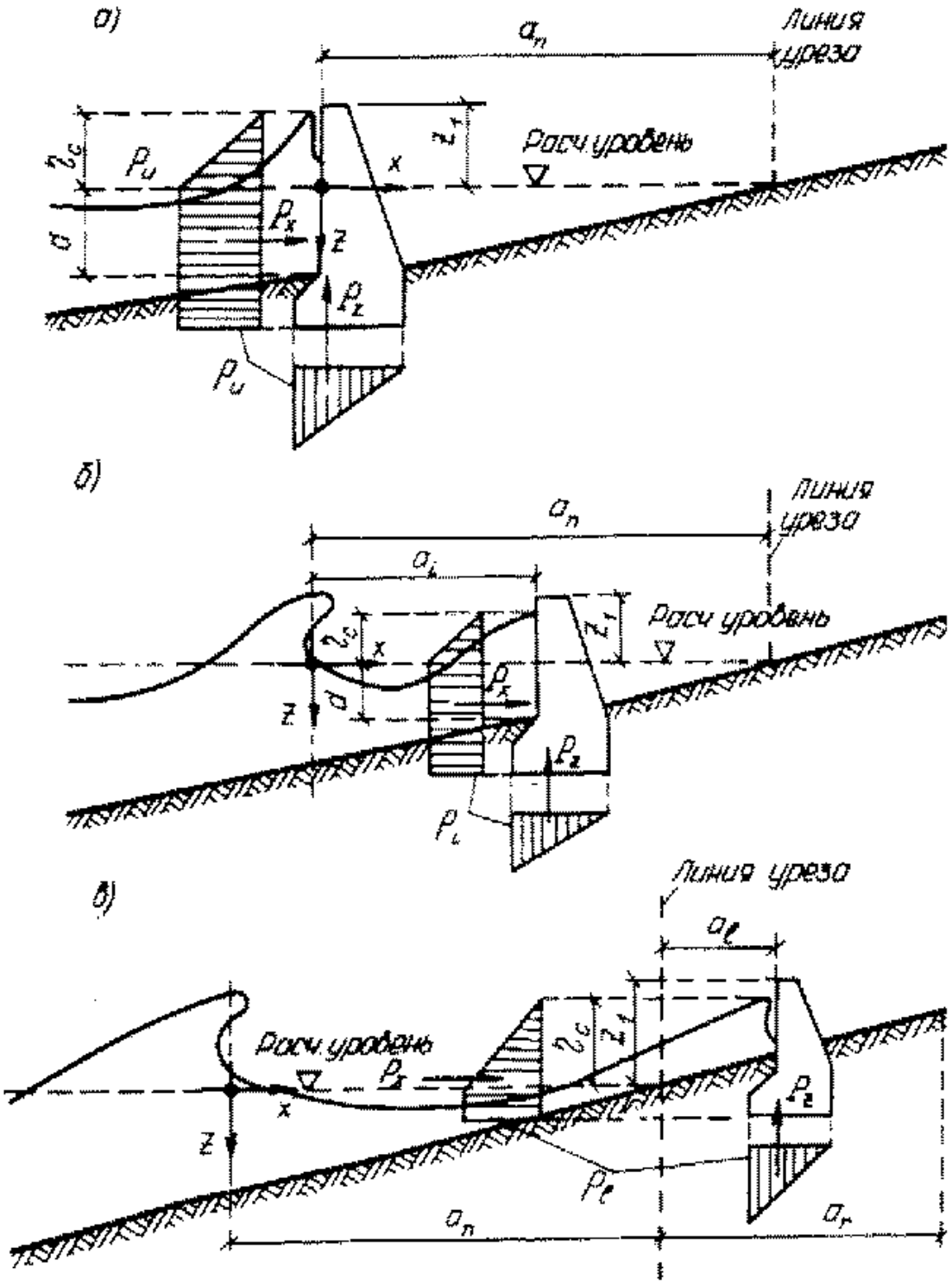


Рис. 27. Эпюры волнового давления на вертикальную волнозащитную стену при расположении сооружения:

б) при расположении сооружения в приурезовой зоне (рис.27, б) по формулам:

$$p = p_1 = \left(1 - 0{,}3\frac{a_1}{a_n}\right)p_u$$; (76)

$$\eta_c = -\frac{p_1}{\rho g}$$; (77)

в) при расположении сооружения на берегу за линией уреза в пределах наката волн (рис. 27, в) по формулам:

$$p = p_1 = 0{,}7\left(1 - \frac{a_1}{a_r}\right)p_u$$; (78)

$$\eta_c = \frac{p_1}{\rho g}$$; (79)

где η_c - превышение гребня волны над расчетным уровнем в створе волнозащитной стены, м;

h_{br} - высота разбивающихся (разрушающихся) волн, м;

a_n - расстояние от створа последнего обрушения волн до линии уреза (приурезовая зона), м;

a_1 - расстояние от створа последнего обрушения волн до сооружения, м;

a_1 - расстояние от линии уреза воды до сооружения, м;

a_r - расстояние от линии уреза воды до границы наката на берег разрушившихся волн (при отсутствии сооружения), м, определяемое по формуле

$$a_r = h_{run1\%} ctg\varphi$$; (80)

$h_{run1\%}$ - высота наката волн на берег, м, определяемая по п. 1.14*.

Примечания: 1. Если ордината верха сооружения $z_1 \geq -0{,}3h$, м, то величины волнового давления, определяемые по формулам (74), (76) и (78), необходимо умножать на коэффициент k_{zd}, принимаемый по табл. 19.

2. Нагрузки от прибойных волн на волнозащитные стены при расположении их в прибойной зоне следует определять согласно п. 1.12.

Таблица 19

Ордината верха сооружения z_1, м	-0,3h	0,0	+0,3h	+0,65h

Коэффициент k_zd	0,95	0,85	0,8	0,5

3.4. Максимальные значения горизонтальной P_x , кН/м, и вертикальной P_z , кН/м, проекций равнодействующей линейной нагрузки от разрушившихся волн на вертикальную волнозащитную стену (с засыпкой грунта со стороны берега) при откате волны необходимо принимать по эпюрам бокового и взвешивающего волнового давлений (рис.28), при этом значение p_r , кПа, должно определяться по формуле

$$p_r=\rho g\left(\Delta z_r-0{,}75h_{br}\right) \quad , (81)$$

где Δz_r - понижение поверхности воды от расчетного уровня перед вертикальной стеной при откате волны, м, принимаемое равным в зависимости от расстояния a_l от линии уреза воды до сооружения: при $a_l \geq 3h_{br}$ $\Delta z_r=0$ и при $a_l<3h_{br}$ $\Delta z_r=0{,}25h_{br}$.

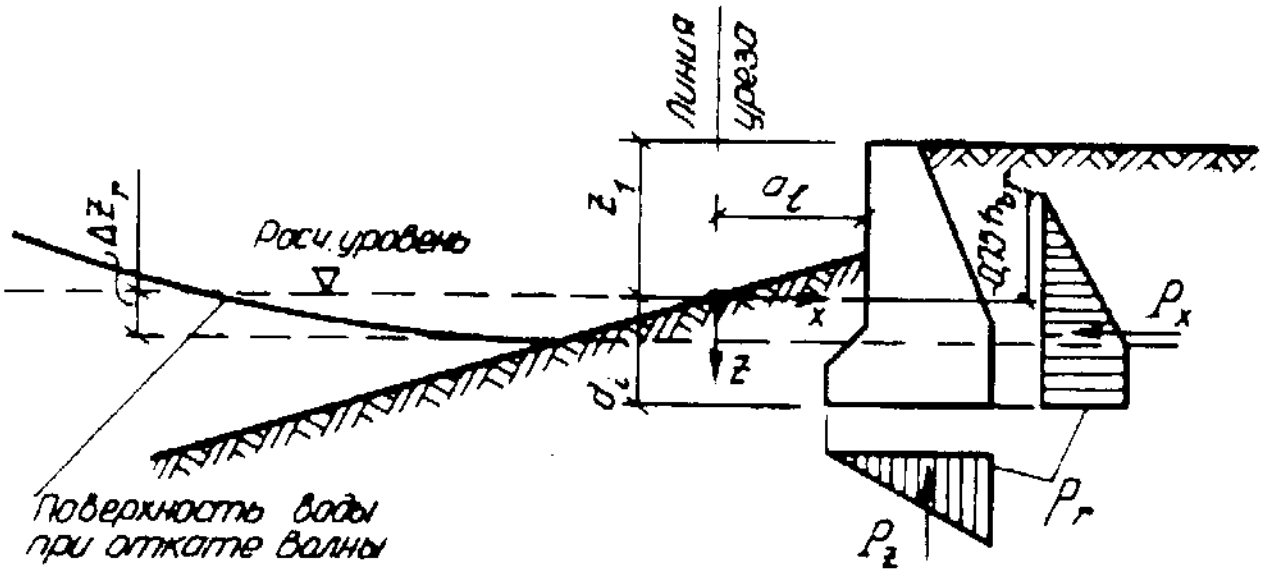


Рис. 28. Эпюры волнового давления на вертикальную волнозащитную стену при откате волны

3.5. Волновое давление p, кПа, на криволинейный участок стены необходимо принимать по эпюре волнового давления на вертикальную стену согласно п. 3.3 с ориентированием этой эпюры по нормали к криволинейной поверхности (рис. 29).

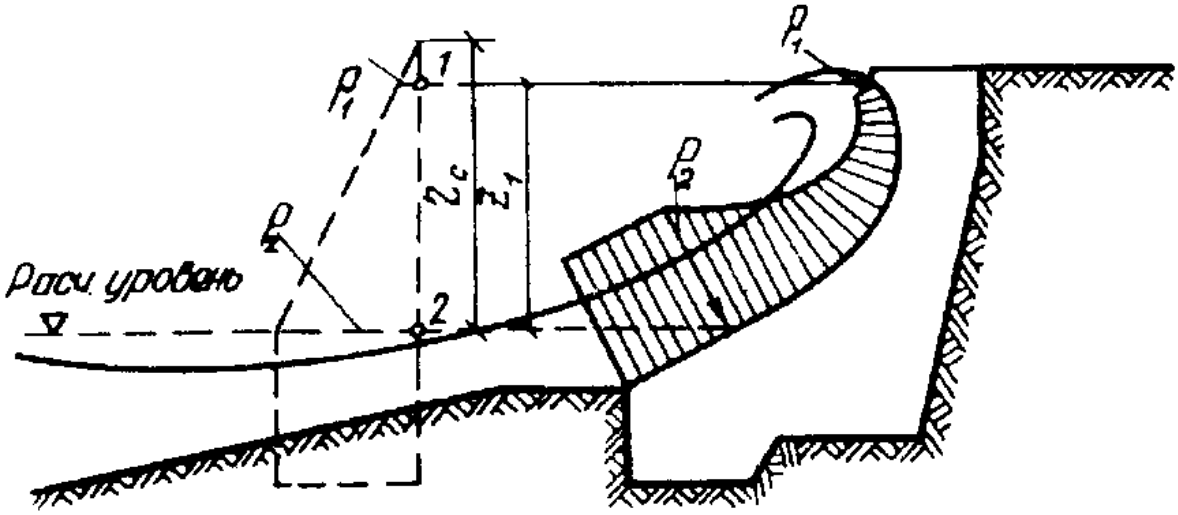


Рис. 29. Эпюра давления волн на криволинейный участок волнозащитной стены

3.6. Максимальные значения горизонтальных $P_{x,ext}$, $P_{x,int}$, кН, и вертикальной P_z , кН, проекций равнодействующей линейной нагрузки от волн на элемент буны необходимо принимать по эпюрам бокового и взвешивающего волнового давления (рис. 30), при этом значения волнового давления на внешнюю p_{ext} кПа, и теневую p_{int} , кПа, грани буны и соответствующие возвышения гребня волны η_{ext} , м, и η_{int} , м должны определяться по формулам:

$$p_{ext(int)} = \frac{3}{4} k_{\alpha} \rho g h \left(1 + cos^2 \alpha\right) \quad , (82)$$

$$\eta_{ext} = \frac{p_{ext}}{\rho g} \quad , \quad \eta_{int} = \frac{p_{int}}{\rho g} \quad , (83)$$

где k_{α} - коэффициент, принимаемый по табл. 20, в зависимости от угла α подхода фронта волны к буне.

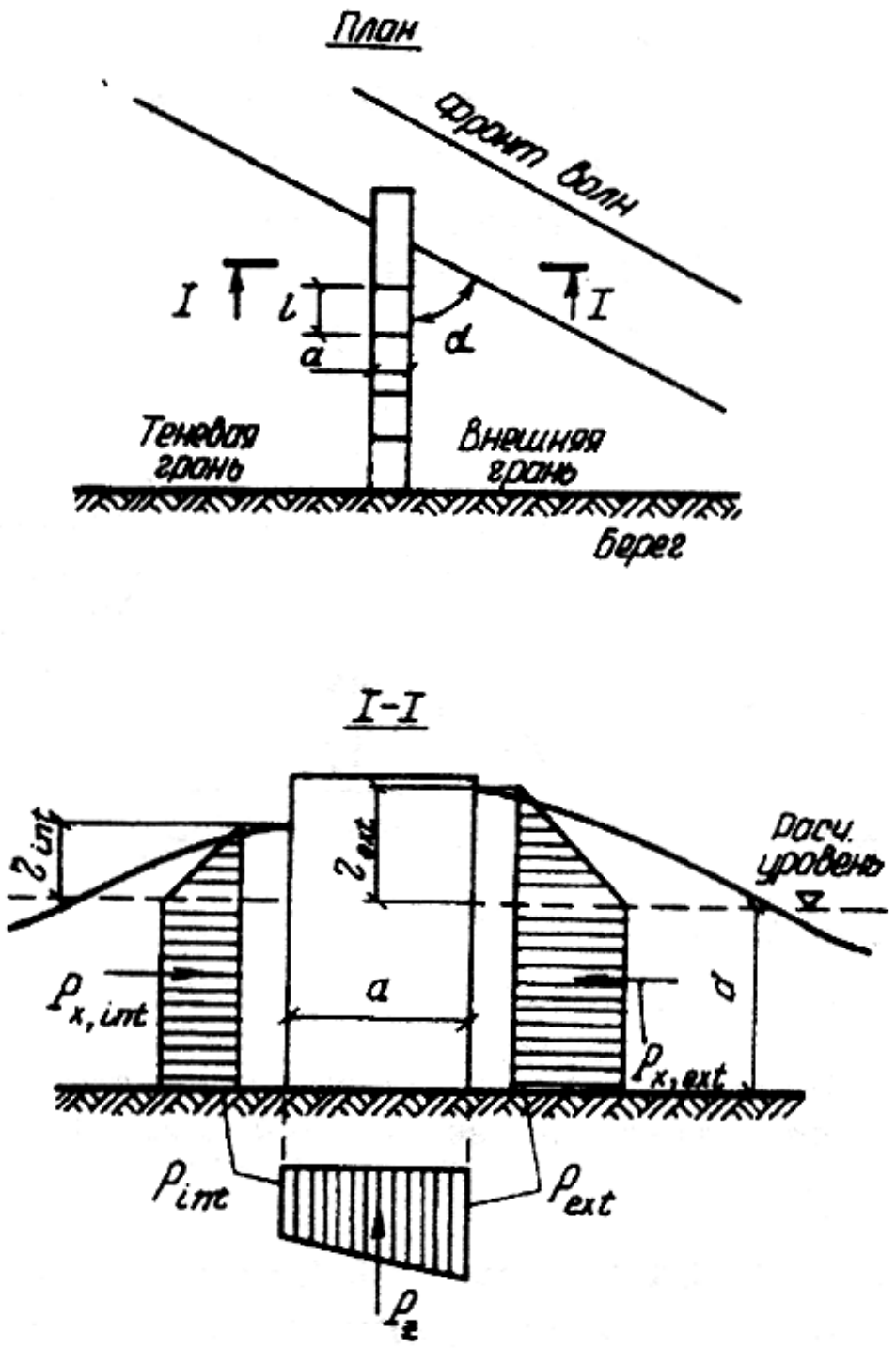


Рис. 30. Эпюры волнового давления на буну

Таблица 20

Грань буны	ctg альфа	Коэффициент k_альфа при значении l/ламбда			
		0,03 и менее	0,05	0,1	0,2 и более

Внешняя	-	1	0,75	0,65	0,6
Теневая	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

Нагрузки от судовых волн на крепления берегов каналов

3.7*. Высоту судовой волны h_{sh} , м, необходимо определять по формуле

$$h_{sh}=2\frac{v_{adm}^2}{g}\sqrt{\frac{\delta d_s}{l_u}}$$, (84)*

где d_s и l_u - осадка и длина судна, м;

δ - коэффициент полноты водоизмещения судна;

v_{adm} - допускаемая по эксплуатационным требованиям скорость судна, м/с, определяемая по формуле

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

; (85)*

k_a - отношение подводной площади поперечного сечения судна к площади живого сечения канала, А, $м^2$;

b - ширина канала, м, по урезу воды.

3.8. Высоту наката h_{rsh} , м, судовой волны на откос (рис. 31) следует определять по формуле

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

, (86)

где β_{sl} - коэффициент, принимаемый для откосов, облицованных сплошными плитами, равным 1,4, каменным мощением - 1,0, и каменной наброской - 0,8.

3.9. Максимальное значение линейной нагрузки от судовой волны на крепления берегов каналов P, кН/м, должно приниматься по эпюрам волнового

давления (см. рис. 31), при этом значения p, кПа, необходимо определять в зависимости от z по формулам:

а) при накате волны на откос, укрепленный плитами (см. рис. 31, а):

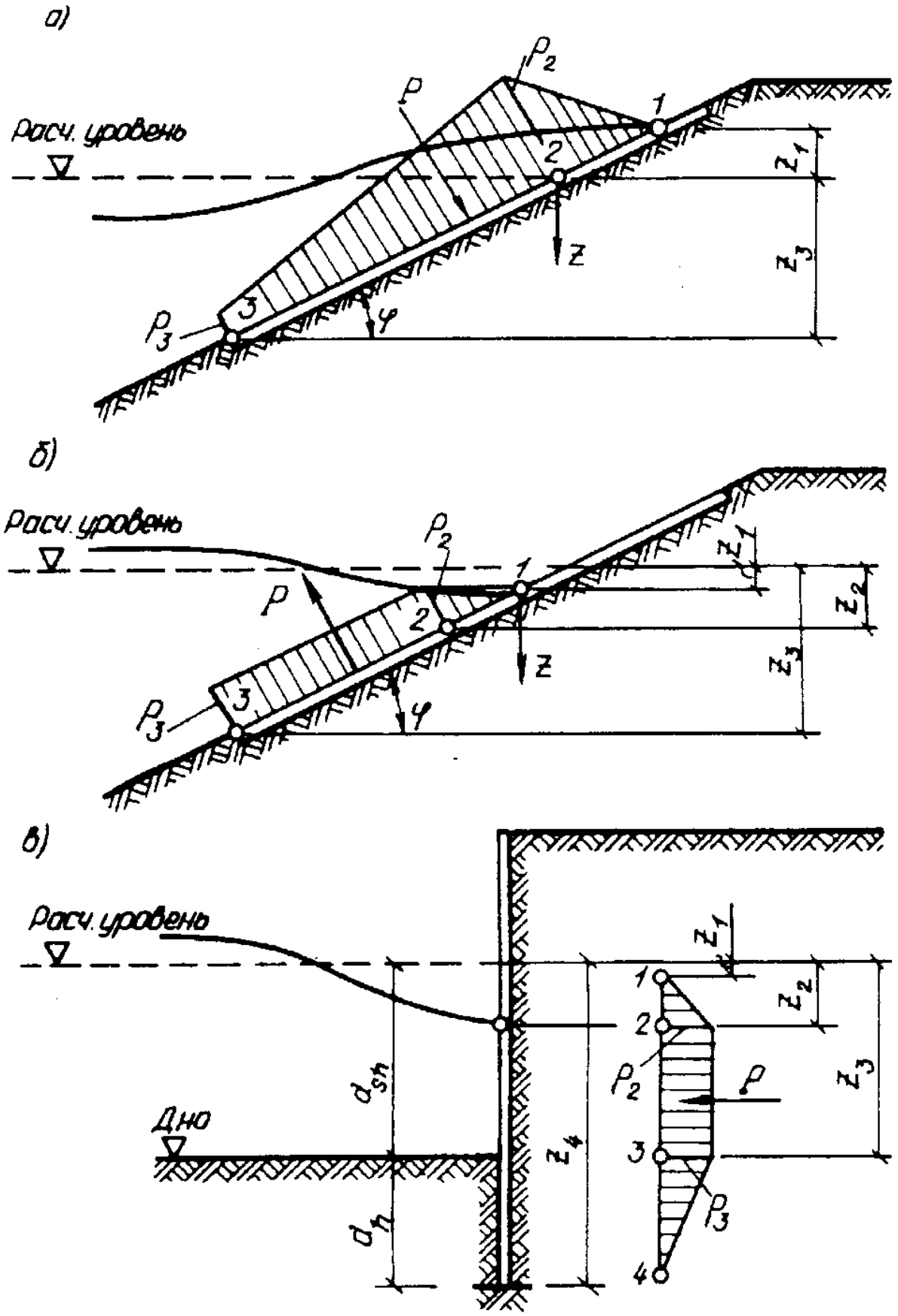


Рис. 31. Эпюры давления судовых волн на крепления берегов каналов

а — при накате волны на откос; *б* — при откате волны с откоса; *в* — при ложбине волны у вертикальной стены

$$z=z_1=-h_{ish}\ ,\ p_1=0\ ;\ (87)$$

$$z=z_2=0\ ,\ p_2=1{,}34\rho g h_{ish}\ ;\ (88)$$

$$z=z_3=1{,}5h_{ish}\sqrt{1+ctg^2\varphi}\ ,\ p_3=0{,}5\rho g h_{ish}\ ;\ (89)$$

б) при откате волны с откоса, укрепленного плитами (см. рис. 31, б):

$$z=z_1=\Delta_{zf}\ ,\ p_1=0\ ;\ (90)$$

$$z=z_2=0{,}5h_{ish}\ ,\ p_2=-\rho g\left(0{,}5y_{ish}-\Delta z_f\right)\ ;\ (91)$$

$$z=z_3=d_{inf}\ ,\ p_3=p_2\ ;\ (92)$$

в) при ложбине волны у вертикальной стены (см. рис. 31,в):

$$z=z_1=\Delta z_f\ ,\ p_1=0\ ;\ (93)$$

$$z=z_2=0{,}5h_{ish}\ ,\ p_2=-\rho g\left(0{,}5h_{ish}-\Delta z_f\right)\ ;\ (94)$$

$$z=z_3=d_{ish}\ ,\ p_3=p_2\ ;\ (95)$$

$$z=z_4=d_{ish}+d_h\ ,\ p_4=0\ ,\ (96)$$

где d_{inf} - глубина низа крепления откоса, м;

d_h - глубина забивки шпунта, м;

Δz_f - понижение уровня воды, м, за креплением берега канала вследствие фильтрации, принимаемое равным:

$0{,}25h_{ish}$ - для крепления протяженностью по откосу от расчетного уровня воды менее 4 м с водонепроницаемым упором;

$0{,}2h_{ish}$ - то же, с протяженностью более 4 м с упором в виде каменной призмы;

$0{,}1h_{ish}$ - для вертикальной шпунтовой стенки.

4. Нагрузки от судов (плавучих объектов) на гидротехнические сооружения

4.1*. При расчете гидротехнических сооружений на нагрузки от судов (плавучих объектов) необходимо определять:

нагрузки от ветра, течения и волн на плавучие объекты согласно пп. 4.2 - 4.4*;

нагрузки от навала на причальное сооружение пришвартованного судна при действии ветра, течения и волн согласно п. 4.7*;

нагрузки от навала судна при его подходе к портовому причальному сооружению согласно пп.4.8* - 4.10;

нагрузки от натяжения швартовов при действии на судно ветра и течения согласно пп. 4.11 и 4.12.

Нагрузки от ветра, течения и волн на плавучие объекты

4.2. Поперечную W_q , кН, и продольную W_n , кН, составляющие силы от воздействия ветра на плавучие объекты следует определять по формулам:

для судов и плавучих причалов с ошвартованными судами

$$W_q = 73{,}6 \cdot 10^{-5} A_q v_q^2 \zeta \quad ; (97)$$

$$W_n = 49 \cdot 10^{-5} A_n v_n^2 \zeta \quad ; (98)$$

для плавучих доков

$$W_q = 79{,}5 \cdot 10^{-5} A_q v_q^2 \quad ; (99)$$

$$W_n = 79{,}5 \cdot 10^{-5} A_n v_n^2 \quad ; (100)$$

где A_q и A_n - соответственно боковая и лобовая надводные площади парусности (силуэтов) плавучих объектов, $м^2$;

v_q и v_n - соответственно поперечная и продольная составляющие скорости ветра обеспеченностью 2% за навигационный период, м/с;

ξ - коэффициент, принимаемый по табл. 21, в которой a_h - наибольший горизонтальный размер поперечного или продольного силуэтов надводной

части плавучего объекта.

Примечание. Площади парусности следует определять с учетом площадей экранирующих преград, расположенных с наветренной стороны.

Таблица 21

Наибольший размер силуэта плавучего объекта a_h, м	до 25	50	100	200 и более
Коэффициент кси	1	0,8	0,65	0,5

4.3. Поперечную Q_w , кН, и продольную N_w , кН, составляющие силы от воздействия течения на плавучий объект следует определять по формулам:

$$Q_w = 0{,}59 A_l v_t^2 \text{ ; (101)}$$

$$N_w = 0{,}59 A_t v_l^2 \text{ , (102)}$$

где A_l и A_t - соответственно боковая и лобовая подводные площади парусности плавучих объектов, $м^2$;

v_t и v_l - поперечная и продольная составляющие скорости течения обеспеченностью 2% за навигационный период, м/с.

4.4*. Максимальные значения поперечной Q, кН, и продольной N, кН, горизонтальных сил от воздействия волн на плавучие объекты следует определять по формулам:

$$Q = x\gamma_1 \rho g h A_l \text{ ; (103)*}$$

$$N = x\rho g h A_t \text{ , (104)}$$

где χ - коэффициент, принимаемый по рис. 32, на котором d_s - осадка плавучего объекта, м;

γ_1 - коэффициент, принимаемый по табл. 21а*, в которой a_l - наибольший горизонтальный размер продольного силуэта подводной части плавучего объекта, м;

h - высота волн обеспеченностью 5% в системе, м;

A_l и A_t - обозначения те же, что и в п. 4.3.

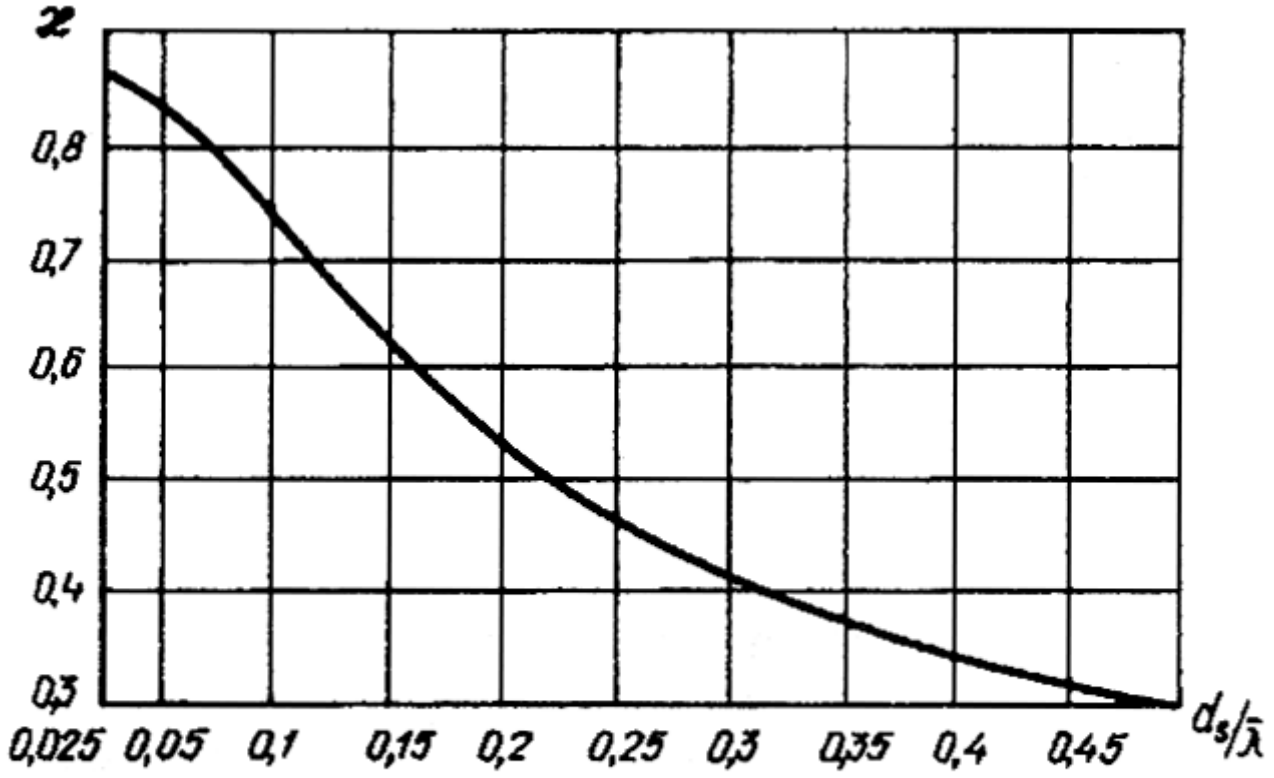


Рис. 32. График значений коэффициента ϰ

Таблица 21а*

a_l/ламбда	0,5 и менее	1	2	3	4 и более
Коэффициент гамма_1	1	0,73	0,5	0,42	0,4

Примечание. Период изменения волновой нагрузки следует принимать равным среднему периоду волн.

4.5. При расчете гидротехнических сооружений на действие нагрузок, передающихся от плавучих объектов на палы, корневые части причалов и анкерные опоры (для принятого количества, калибра и длины связей, значения натяжения связей в первоначальном состоянии, массы подвесных грузов и места их закрепления), необходимо определять:

горизонтальные и вертикальные нагрузки на сооружения и анкерные опоры;

наибольшие усилия в связях;

перемещения плавучих объектов.

Примечание. На морях с приливами и отливами определение усилий в элементах раскрепления следует производить при самом высоком и самом низком уровнях воды.

4.6. Нагрузки на анкерные опоры, усилия в связях и перемещения плавучих

объектов необходимо определять с учетом динамики действия волн, при этом соотношения периодов свободных и вынужденных колебаний плавучих объектов должны приниматься из условия недопущения резонансных явлений.

Нагрузки от навала пришвартованного судна на сооружение

4.7*. Линейную нагрузку от навала пришвартованного судна на сооружение q, кН/м, под действием ветра, течения и волн, высота которых превышает допускаемые значения по табл. 21б*, следует определять по формуле

$$q = 1{,}1 \frac{Q_{tot}}{l_d}$$, (105)

где Q_{tot} - поперечная сила от суммарного воздействия ветра, течения и волн, кН, определяемая согласно пп. 4.2, 4.3, 4.4* и 4.6;

l_d - длина участка контакта судна с сооружением, м, принимаемая в зависимости от соотношения длины причала L, м, и длины прямолинейной части борта судна (или обноса) l, м, соответственно:

при $L \geq l$ $l_d = l$;

при $L < l$ $l_d = L$.

Примечание. Для причального фронта, образованного несколькими опорами или палами, распределение нагрузки от пришвартованного судна следует принимать только на те из них, которые располагаются в пределах прямолинейной части борта судна.

Таблица 21б*

Угол подхода фронта волн к диаметральной плоскости судна альфа, град	Допускаемые высоты волн h_5%, м, для судна с расчетным водоизмещением D, тыс.т						
	до 2	5	10	20	40	100	200 и более
До 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

Нагрузки от навала судна при подходе к сооружению

4.8*. Кинетическую энергию навала судна E_q , кДж, при подходе его к

портовому причальному сооружению следует определять по формуле

$$E_q = \psi \frac{Dv^2}{2}, \quad (106)$$

где D - расчетное водоизмещение судна, т;

v - нормальная (к поверхности сооружения) составляющая скорости подхода судна, м/с, принимаемая по табл. 22;

ψ - коэффициент, принимаемый по табл. 23, при этом для судов, швартующихся в балласте или порожнем, табличные значения ψ необходимо уменьшать на 15%.

Примечание. При определении кинетической энергии навала морских судов водоизмещением до 5 тыс. т, швартующихся на незащищенной акватории, нормальную составляющую скорости подхода, принимаемую по табл. 22, следует увеличивать в 1,5 раза.

Таблица 22

Суда	Нормальная составляющая скорости подхода судна, м/с, с расчетным водоизмещением D, тыс. т						
	до 2	5	10	20	40	100	200 и более
Морские	0,22	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08
Речные	0,2	0,15	0,1	-	-	-	-

Таблица 23

Конструкции причальных сооружений	Коэффициент пси для судов	
	морских	речных
Набережные из обыкновенных или фасонных массивов, массивов-гигантов, оболочек большого диаметра и набережные уголкового типа; больверки, набережные на свайных опорах с передним шпунтом	0,5	0,3
Набережные эстакадного или мостового типа, набережные на свайных опорах с задним шпунтом	0,55	0,4
Пирсы эстакадного или мостового типа, палы причальные	0,65	0,45
Палы причальные головные или разворотные	1,6	-

4.9. Поперечную горизонтальную силу F_q, кН, от навала судна при подходе к

сооружению необходимо определять для заданного значения энергии навала судна E_q , кДж, по графикам, полученным согласно схеме рис. 33, следуя по направлению штриховой линии со стрелками.

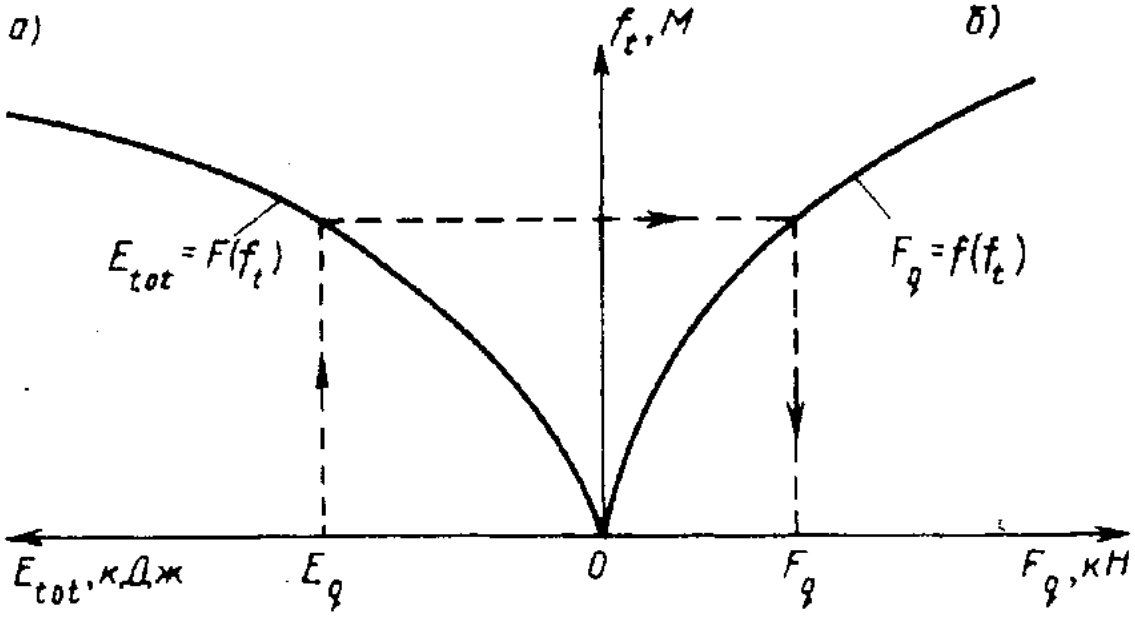


Рис. 33. Схема построения графиков зависимости деформаций отбойного устройства (и причального сооружения) f_t
а — от энергии E_{tot}; *б* — от нагрузки F_q

Суммарная энергия деформации E_{tot} , кДж, должна включать энергию деформации отбойных устройств E_s , кДж, и энергию деформации причального сооружения E_i , кДж; при $E_s \geq 10E_i$ величину E_i допускается не учитывать.

Энергию деформации причального сооружения E_i , кДж, следует определять по формуле

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_q^2}{k_i} \quad , (107)$$

где k_i - коэффициент жесткости причального сооружения в горизонтальном поперечном направлении, кН/м.

Продольная сила F_n , кН, от навала судна при подходе к сооружению должна определяться по формуле

$$F_n = \mu F_q \quad , (108)$$

где μ - коэффициент трения, принимаемый в зависимости от материала лицевой поверхности отбойного устройства: при поверхности из бетона или резины $\mu=0{,}5$; при деревянной поверхности $\mu=0{,}4$.

4.10. Допускаемое значение нормальной к поверхности сооружения составляющей скорости подхода судна v_{adm} , м/с, необходимо определять по формуле

$$v_{adm}=\sqrt{\frac{2E_q}{\psi D}} \quad , (109)$$

где E_q - энергия навала, кДж, принимаемая по графикам, полученным согласно схеме рис. 33 для случая наименьшей допускаемой силы F_q на причальное сооружение (или на борт судна);

ψ и D - обозначения те же, что и в п. 4.8*.

Нагрузки на сооружения от натяжения швартовов

4.11. Нагрузки от натяжения швартовов должны определяться с учетом распределения на швартовные тумбы (или рымы) поперечной составляющей суммарной силы Q_{tot} , кН, от действия на одно расчетное судно ветра и течения. Значения Q_{tot} , кН, принимаются согласно пп. 4.2 и 4.3.

Воспринимаемую одной тумбой (или рымом) силу S, кН, на уровне козырька (рис.34), независимо от количества судов, швартовы которых заведены за тумбу, а также ее поперечную S_q , кН, продольную S_n , кН, и вертикальную S_v , кН, проекции следует определять по формулам:

$$S=\frac{Q_{tot}}{n\ sin\alpha\ cos\beta} \quad ; (110)$$

$$S_q=\frac{Q_{tot}}{n} \quad ; (111)$$

$$S_n=S\ cos\alpha\ cos\beta \quad ; (112)$$

$$S_v=S\ sin\beta \quad , (113)$$

где n - число работающих тумб, принимаемое по табл. 24;

α , β - углы наклона швартова, град, принимаемые по табл. 25.

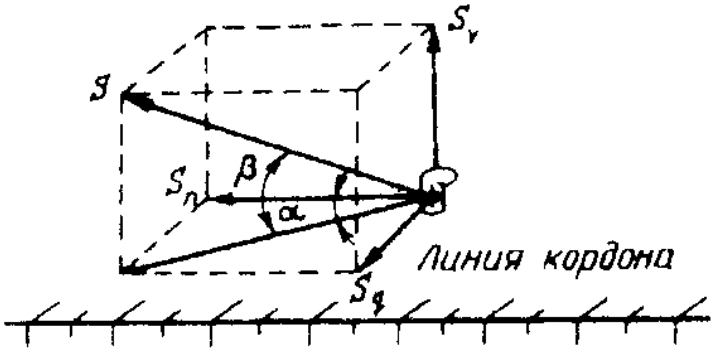


Рис. 34. Схема распределения усилия на тумбу от натяжения швартовов

Таблица 24

Наибольшая длина судна l_max, м	50 и менее	150	250 и более	300
Наибольшее расстояние между тумбами l_s, м	20	25	30	30
Число работающих тумб n	2	4	6	8

Значение силы от натяжения швартова S, кН, для судов речного флота должно приниматься по табл. 26.

Силу, передаваемую на каждую концевую тумбу носовыми или кормовыми продольными швартовами, для морских судов с расчетным водоизмещением более 50 тыс.т следует принимать равной продольной составляющей суммарной силы N_{tot}, кН, от действия ветра и течения на пришвартованное судно, определенной согласно требованиям пп.4.2 и 4.3.

4.12. Для специализированных причалов морских портов, состоящих из технологической площадки и отдельно стоящих палов, значения суммарных сил Q_{tot}, N_{tot} от действия ветра и течения, определенные согласно пп. 4.2 и 4.3, должны распределяться между группами швартовных канатов следующим образом:

а) на носовые, кормовые продольные и прижимные канаты - по $0{,}8Q_{tot}$, кН;

б) на шпринги - по $0{,}6Q_{tot}$, кН.

Если каждая группа швартовов заводится на несколько палов, то распределение усилий между ними допускается принимать равномерным. Значения углов α и β (см. рис. 34) и число работающих тумб следует

устанавливать по расположению швартовных палов.

Таблица 25

Суда	Положения тумб на причальном сооружении	Углы наклона швартова, град	
		альфа	бета
		судно в грузу	судно порожнее
Морские	На кордоне	30	20	40
	В тылу	40	10	20
Речные пассажирские и грузопассажирские	На кордоне	45	0	0
Речные грузовые	То же	30	0	0

Примечание. При расположении швартовных тумб на отдельно стоящих фундаментах значение угла бета следует принимать равным 30 град.

Таблица 26

Расчетное водоизмещение судна в грузу D, тыс. т.	Сила от натяжения швартова S, кН, для судов	
	пассажирских, грузопассажирских, технического флота со сплошной настройкой	грузовых и технического флота без сплошной надстройки
0,1 и менее	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
Более 10	-	295

5*. Ледовые нагрузки на гидротехнические сооружения

Основные положения

5.1. Нагрузки от льда на гидротехнические сооружения должны определяться на основе статистических данных о физико-механических свойствах льда, гидрометеорологических и ледовых условиях в районе сооружения для

периода времени с наибольшими ледовыми воздействиями.

5.2. Прочностные характеристики льда при сжатии R_c и изгибе R_f, МПа, основные прочностные характеристики, определяющие значение ледовой нагрузки, следует вычислять по формулам:

$$R_c = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(C_i+\Delta_i\right)^2} \quad ; (114)$$

$$R_f = 0{,}4\left(C_b+\Delta_b\right) \quad , (115)$$

где N - количество слоев одинаковой толщины, на которое разбивается (по толщине) рассматриваемое ледяное поле, при этом $N \geq 3$;

C_i - среднее (арифметическое) значение прочности льда на одноосное сжатие при переходе от пластического разрушения к хрупко-пластическому, МПа, в i-м слое при температуре t_i, определяемое по опытным данным (методика испытаний льда на одноосное сжатие дана в прил. 5);

Δ_i - доверительная граница случайной погрешности определений C_i, МПа, определяемая методами математической статистики при заданных значениях доверительной вероятности α и количестве параллельных измерений (числе испытанных образцов) n;

C_b и Δ_b - среднее (арифметическое) значение прочности льда на одноосное сжатие при переходе от пластического разрушения к хрупко-пластическому, МПа, в нижнем слое рассматриваемого ледяного поля при температуре t_b и доверительная граница случайной погрешности определений C_b, МПа, определяемые так же, как C_i и Δ_i .

При отсутствии опытных данных допускается принимать значения $\left(C_i+\Delta_i\right)$ по табл. 27 и 28.

5.3. Расчетная толщина ровного льда h_d, м, принимается равной:

для пресноводного льда европейской части России и в районах Сибири, расположенных южнее 65° северной широты, - 0,8 от максимальной за зимний период толщины льда 1%-ной обеспеченности;

для районов азиатской части России, расположенных между 65° и 70°северной широты, - 0,9 от максимальной толщины льда 1%-ной обеспеченности;

Таблица 27

Тип кристаллической	Температура льда в i-м слое ледяного поля t_i, °C

структуры пресновод-ного льда	0	-3	-15	-30
	Значения C_i +- Дельта_i, МПа, при альфа = 0,95, n = 5			
Зернистый (снежный)	1,2+-0,1	3,1+-0,2	4,8+-0,3	5,8+-0,4
Призматический (столбчатый)	1,5+-0,2	3,5+-0,3	5,3+-0,4	6,5+-0,5
Волокнистый (шестовато-игольчатый)	0,8+-0,1	2,0+-0,2	3,2+-0,3	3,8+-0,4

t_i - температура льда в i-м слое ледяного поля, °C, определяемая по опытным данным, а при их отсутствии - по формуле

$$t_i = t_u z_i, \qquad (116)$$

где t_u - температура льда на границе воздух (или снег) - лед, °C, определяемая методами тепло- и массообмена по данным о температуре воздуха, толщине снежного покрова и скорости ветра или принимаемая равной среднесуточной температуре воздуха до момента расчетного воздействия льда на сооружение при данной толщине льда: 0,5 м - за 5 сут.; 0,75 м - за 11 сут.; 1,0 м - за 19 сут.; 1,5 м - за 43 сут.; 2,0 м - за 77 сут.;

z_i - расстояние от границы лед - вода до середины i-го слоя в долях толщины ледяного поля.

Примечание. В период весеннего ледохода допускается принимать t_u = 0°C при переходе температуры воздуха через ноль до момента расчетного воздействия льда на сооружение при данной толщине льда: 0,5 м - за 1 сут.; 1,0 м - за 5 сут.; 1,5 м - за 11 сут.; 2,0 м - за 19 сут.

Таблица 28

Тип кристаллической структуры морского льда	Количество жидкой фазы в i-м слое ледяного поля ипсилон_i, %o					
	1	10	25	50	100	200
	Значения C_i +- Дельта_i, МПа, при альфа = 0,95, n = 5					
Зернистый	8,4+-0,5	6,0+-0,5	3,4+-0,4	1,6+-0,2	1,0+-0,2	0,8+-0,2
Волокнистый	6,0+-0,5	3,9+-0,4	1,9+-0,2	0,7+-0,1	0,4+-0,1	0,3+-0,1

ипсилон_i - количество жидкой фазы в i-м слое ледяного поля, %o, определяемое по "Океанографическим таблицам" при заданных значениях температуры и солености льда t_i и s_i;

t_i - температура льда в i-м слое ледяного поля, °C, определяемая по опытным данным, а при их отсутствии - по формуле

$$t_i = (t_u - t_i)z_i + t_i, \qquad (117)$$

```
│                i    u    b i    b                    │
│                                                      │
│   где t  - температура  льда  на  границе  лед  -  вода  (температура│
│       b  замерзания),  °C,  определяемая  по  "Океанографическим│
│          таблицам" при заданном значении солености воды s_w;       │
│   t , z  - обозначения те же, что в формуле (116) табл. 27;        │
│    u   i                                              │
│   s      - соленость льда в i-м  слое ледяного поля, определяемая  по│
│    i       опытным данным, а при их отсутствии принимаемая одинаковой│
│            по толщине  поля и  равной 0,2  s_w для  льда возрастом до│
│            двух месяцев или 0,15 s_w для льда возрастом два месяца  и│
│            более.                                     │
└──────────────────────────────────────────────────────────────────────┘
```

для районов азиатской части России, расположенных севернее 70° северной широты, - максимальной толщине льда 1%-ной обеспеченности;

для морского льда - максимальной толщине льда 1%-ной обеспеченности.

В зимний период в случае смерзания сооружения с ледяным полем за 3 сут. и более до момента расчетного воздействия льда на сооружение толщина льда на границе сооружение - лед принимается по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии допускается толщину примерзшего к сооружению льда считать равной 1,5 h_d .

5.4. Строение ледяного поля (по толщине) определяется по данным кристаллографического исследования, а при их отсутствии допускается принимать:

ледяной покров открытых озер, водохранилищ и крупных рек состоит из зернистого и призматического льдов;

ледяной покров морей и устьевых участков рек, впадающих в моря, состоит из зернистого и волокнистого льдов;

Примечания: 1. Толщина слоя зернистого льда, располагающегося в верхней части ледяного покрова, относится к толщине слоя призматического или волокнистого льда как 1:3.

2. Настоящие требования распространяются на пресноводный и морской однолетний лед.

3. Доверительная вероятность значений R_c и R_f при расчетах ледовых нагрузок на сооружения II и III классов принята $\alpha=0,95$, а для сооружений I класса при соответствующем обосновании следует назначать большую доверительную вероятность, но не выше $\alpha=0,99$.

4. При первой подвижке речного ледяного покрова значения R_c и R_f , определенные по формулам (114) и (115), необходимо уменьшать умножением их на коэффициент, принимаемый (при $\alpha=0,95$): для рек бассейна Среднего и Верхнего Амура и юга Забайкалья - 0,45; для рек бассейна Нижнего Амура, Средней Лены, Енисея до Енисейска, Оби до Октябрьского и севера европейской части России - 0,5; для рек бассейна Верхнего Днепра, Верхней Волги, Камы и Тобола, низовья Дона, Волги, Урала и Оби, междуречья Оби и

Енисея, Верхней Лены, Алдана и крайнего северо-востока России - 0,64; для нижних течений Енисея и Лены и рек их междуречья, рек бассейна Алтая, центра, северо-запада и юго-востока европейской части России - 0,83.

Нагрузки от ледяных полей на сооружения

5.5. Нагрузку от воздействия движущихся ледяных полей на сооружения с вертикальной передней гранью необходимо определять:

на отдельно стоящую опору (рис.35) с передней гранью в виде треугольника, многогранника или цилиндрического очертания $F_{c,p}$, МН, по формуле

$$F_{c,p}=0{,}04vh_d\sqrt{mAk_bk_vR_c tg\gamma} \quad ; (118)$$

на секцию протяженного сооружения (рис. 36) F_{cw} , МН, по формуле

$$F_{cw}=0{,}07vh_d\sqrt{Ak_vR_c} \quad , (119)$$

где v - скорость движения ледяного поля, м/с, определяемая по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии допускается принимать ее равной:

для рек и приливных участков морей - скорости течения воды; для водохранилищ и морей - 3% значения скорости ветра 1%-ной обеспеченности в расчетный период времени;

m - коэффициент формы опоры в плане, принимаемый по табл. 29;

A - максимальная площадь ледяного поля (или суммарная площадь нескольких ледяных полей, оказывающих давление друг на друга) 1%-ной обеспеченности, $м^2$, определяемая по натурным наблюдениям;

k_b - коэффициент, принимаемый по табл. 30;

k_v - коэффициент, принимаемый по табл. 31;

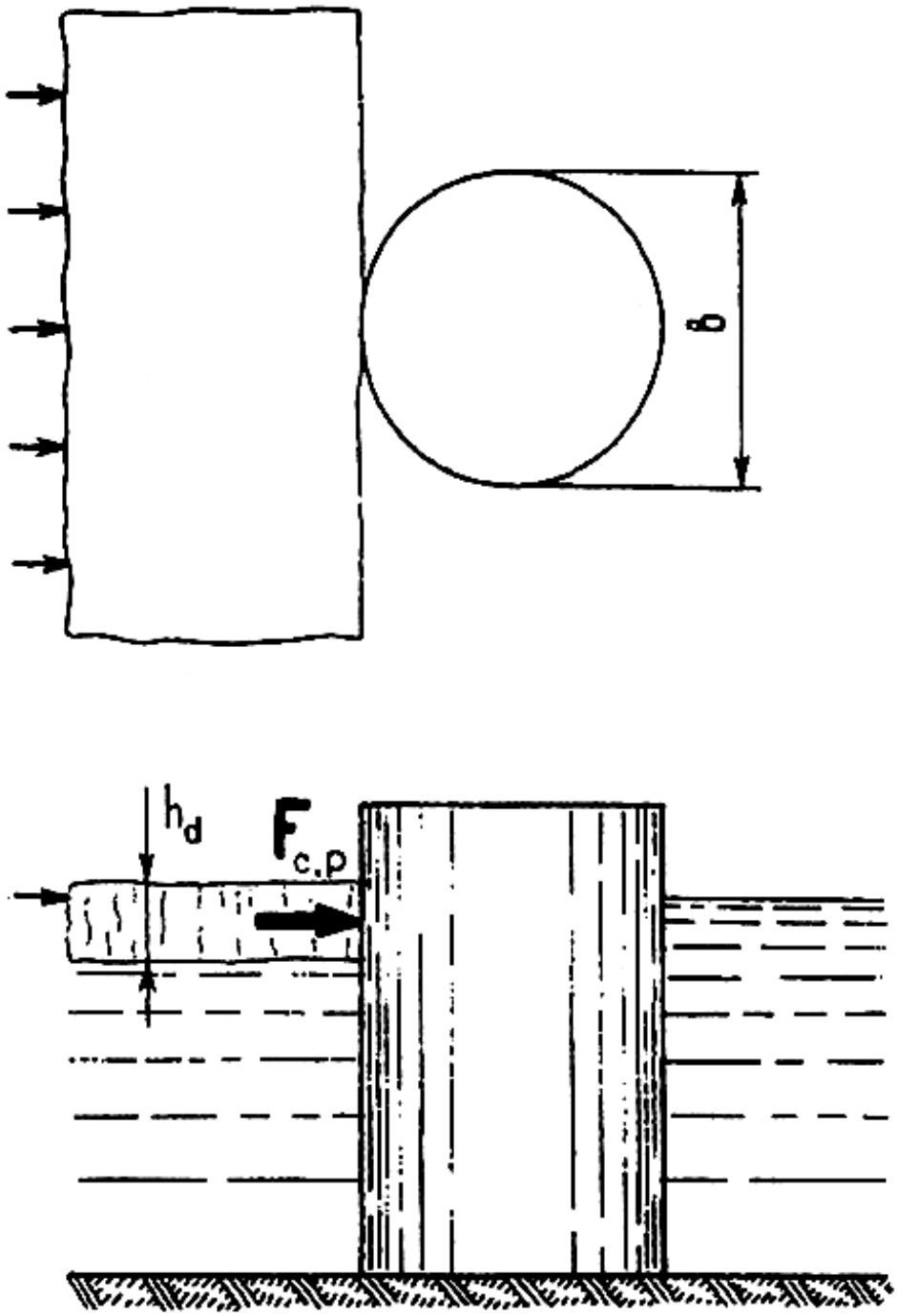
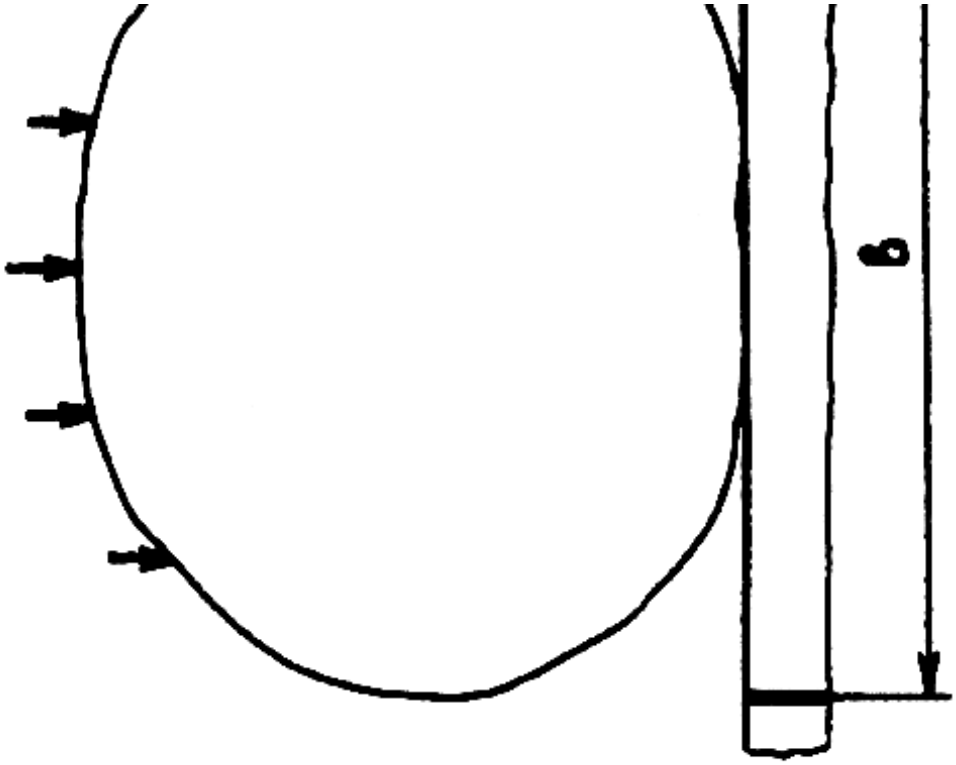


Рис. 35. Схема приложения нагрузки от движущегося ледяного поля на отдельно стоящую вертикальную опору



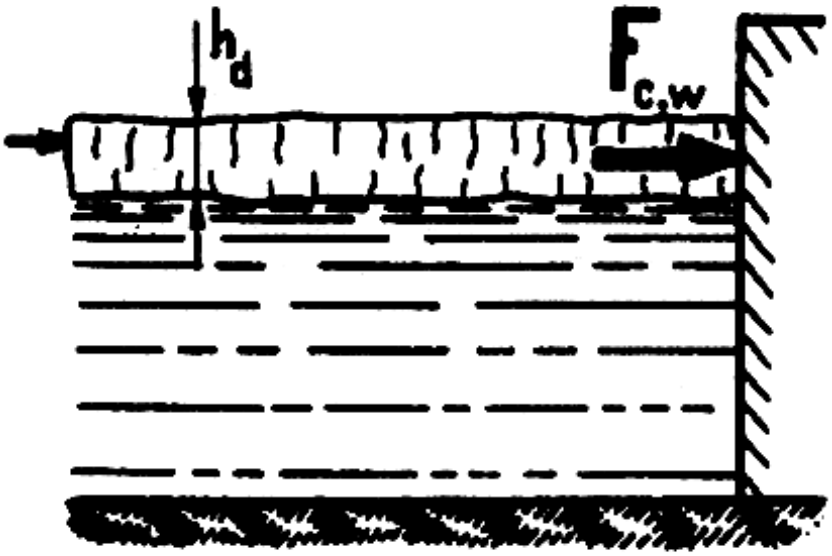


Рис. 36. Схема приложения нагрузки от движущегося ледяного поля на секцию сооружения

Таблица 29

Коэффициент формы опоры в плане	Для опор с передней гранью в виде		
	треугольника с углом заострения в плане 2 гамма, град	многогранника или	прямоугольника

	45	60	75	90	120	полуциркульного очертания	
m	0,41	0,47	0,52	0,58	0,71	0,83	1

Примечание. В случае внезапной подвижки смерзшегося с опорой ледяного поля для опоры с передней гранью в виде треугольника и прямоугольника принимается m = 1, для опор с передней гранью в виде многогранника или полуциркульного очертания - m = 1,26

А - максимальная площадь ледяного поля (или суммарная площадь нескольких ледяных полей, оказывающих давление друг на друга) 1 %-ной обеспеченности, $м^2$, определяемая по натурным наблюдениям;

k_b - коэффициент, принимаемый по табл. 30;

k_v - коэффициент, принимаемый по табл. 31;

Таблица 30

Значение b/h_d	0,3 и менее	1	3	10	20	30 и более
Коэффициент k_b для пресноводного льда	5,3	3,1	2,5	1,9	1,6	1,3
Коэффициент k_b для морского льда	5,7	3,6	3,0	2,3	1,9	1,5

b - ширина опоры или секции сооружения по фронту на уровне действия льда, м

Таблица 31

Значение эпсилон_в, с	-7	-5	-4	-4	-3	-3	-2
	-1 и менее	10	5 x 10	10 - 5 x 10	10	5 x 10	10 и более
Коэффициент k_v	0,1	0,9	1,0		0,8	0,5	0,3

$\varepsilon_в$ - эффективная скорость деформации льда в зоне его взаимодействия с опорой, $с^{-1}$, определяемая по формуле

$$\varepsilon = v / k_в b \quad , (120)$$

где $k_в$ - коэффициент, принимаемый при $b/h_d < 30$ равным 4, а при $b/h_d \geq 30$ - 2.

γ - половина угла заострения передней грани опоры в плане на уровне действия льда, град (для опоры с передней гранью в виде многогранника или полуциркульного очертания необходимо принимать $\gamma=70°$).

При этом, нагрузка $F_{c,p}$, определенная по формуле (118), не может быть больше нагрузки $F_{b,p}$, МН, определяемой по формуле

$$F_{bp}=mk_bk_vR_cbh_d \quad , (121)$$

а нагрузка $F_{c,w}$, определенная по формуле (119), не может быть больше нагрузки $F_{b,w}$, МН, определяемой по формуле

$$F_{bw}=kk_vR_cbh_d \quad , (122)$$

где k - коэффициент, принимаемый по табл. 32.

Таблица 32

Значение b/h_d (или n_f/h_d)	0,3 и менее	1	3	10	20	30 и более
Коэффициент k (или k_n)	1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4

Нагрузку от воздействия ледяного поля на опору с передней гранью в виде прямоугольника следует определять по формуле (121).

R_c и h_d обозначения те же, что в пп. 5.2 и 5.3.

5.6. Нагрузку от воздействия движущегося ледяного поля на отдельно стоящую коническую опору (рис. 37) или конический ледорез полуциркульного очертания при отсутствии смерзания со льдом необходимо определять по формулам:

а) горизонтальную составляющую нагрузки F_{hp} , МН,

$$F_{h,p}=\left[k_{h,1}R_fh_d^2+k_{h,2}\rho gh_dd^2+k_{h,3}\rho gh_d\left(d^2-d_t^2\right)\right]k_{h,4}$$

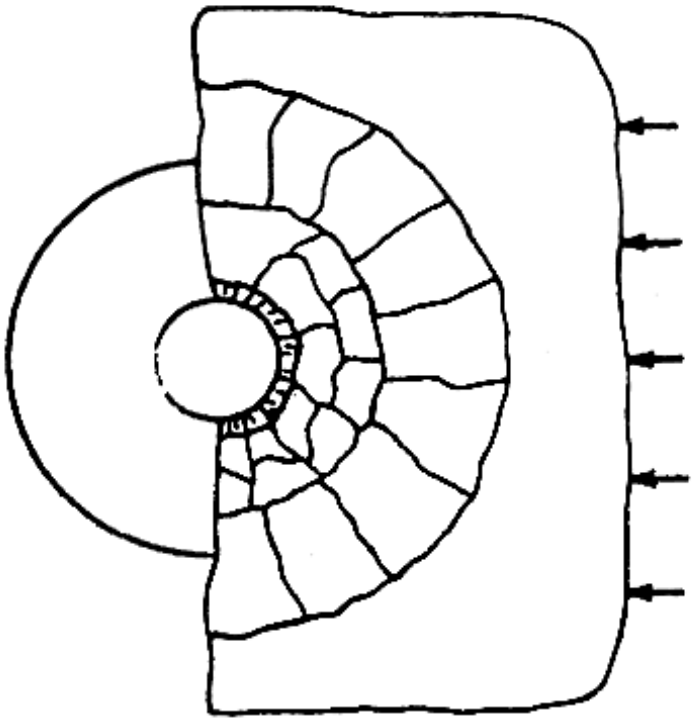
; (123)

б) вертикальную составляющую нагрузки $F_{v,p}$, МН,

$$F_{v,p}=k_{v,1}F_{h,p}+k_{v,2}\rho gh_d\left(d^2-d_t^2\right)$$

, (124)

а на секцию откосного профиля (рис.38) или отдельно стоящую опору прямоугольного сечения с наклонной передней гранью по формулам:



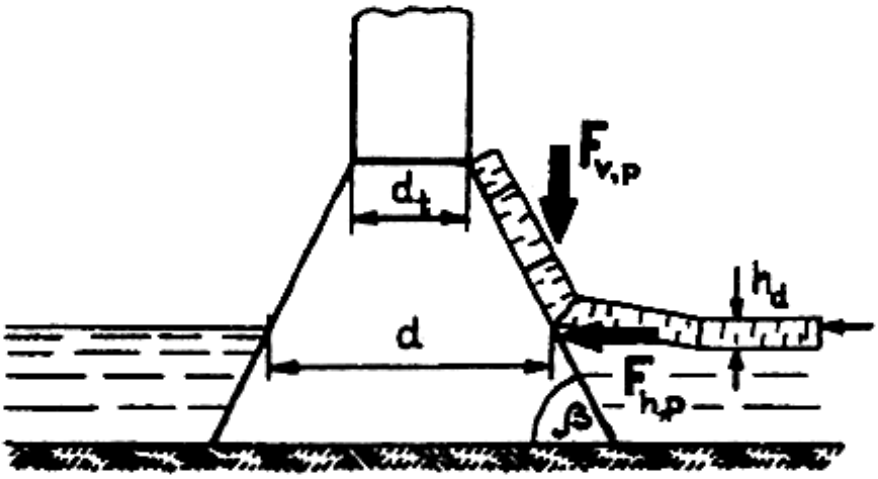


Рис. 37. Схема приложения нагрузок от движущегося ледяного поля на отдельно стоящую коническую опору

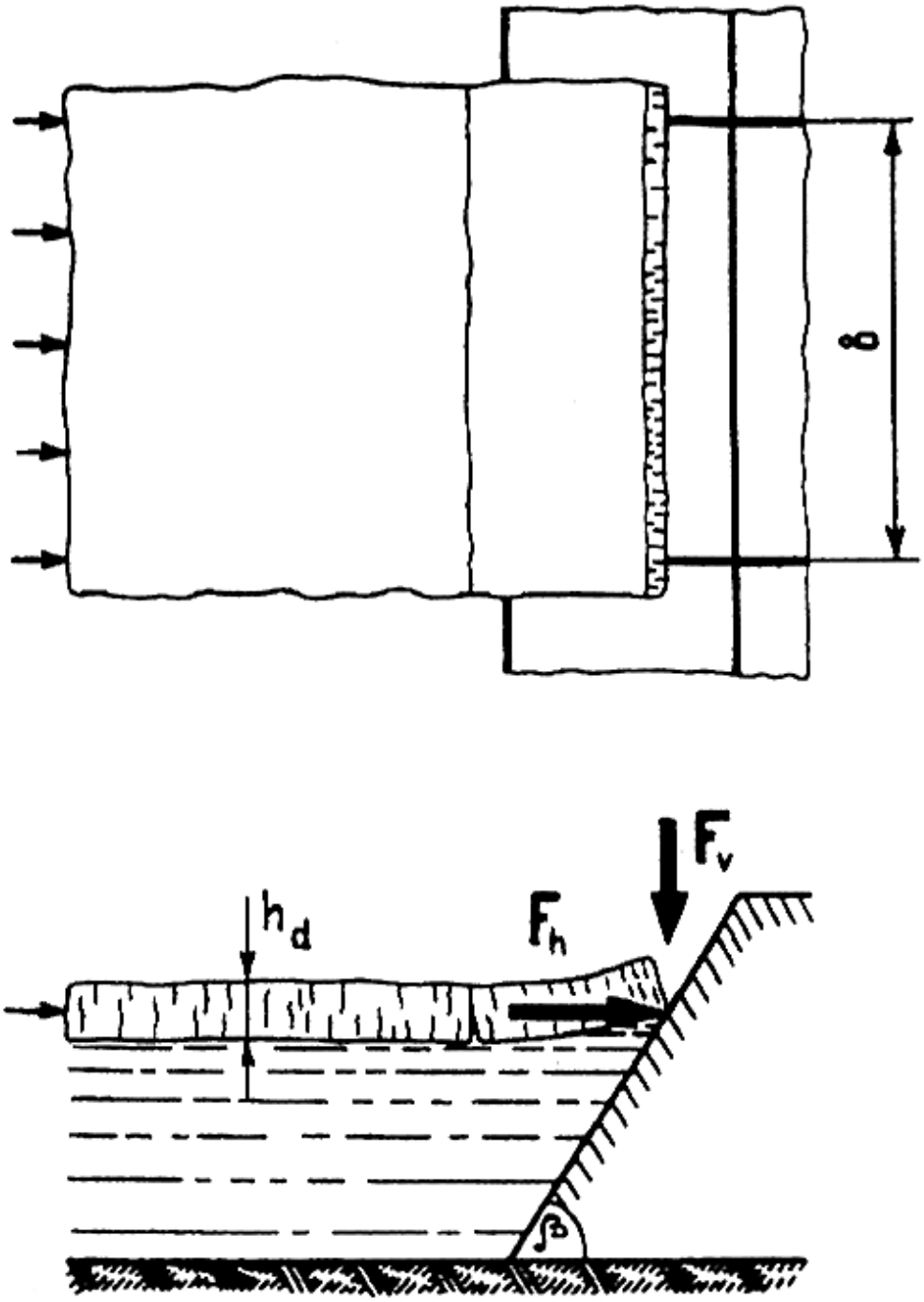


Рис. 38. Схема приложения нагрузок от движущегося ледяного поля на сооружение откосного профиля

а) горизонтальную составляющую нагрузки F_h , МН,

$$F_h = 0{,}1 R_f b h_d tg\beta \quad ; (125)$$

б) вертикальную составляющую нагрузки F_v , МН,

$$F_v = F_h ctg\beta \quad , (126)$$

где $k_{h,1}$, $k_{h,2}$ - коэффициенты, принимаемые по табл. 33;

$k_{h,3}$, $k_{h,4}$, $k_{v,1}$, $k_{v,2}$ - коэффициенты, принимаемые по табл. 34;

ρ - плотность воды, $кг/м^3$;

g - ускорение свободного падения, равное 9,81 $м/с^2$;

d - диаметр конуса по ватерлинии, м;

d_t - верхний диаметр конуса, м;

β - угол наклона образующей конуса (передней грани сооружения откосного профиля) к горизонту, град;

R_f , h_d и b - обозначения те же, что в пп. 5.2, 5.3 и 5.5.

Таблица 33

Значение $\frac{10^{-6} \rho g d}{R_f h_d}$	0,1	0,5	1	5	10	25	50	100
Коэффициенты:								
$k_{h,1}$	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

Таблица 34

Значение бета, град	20	30	40	50	60	70
Коэффициенты:						
$k_{h,3}$	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

Примечание. Данные этой таблицы соответствуют коэффициенту трения между льдом и сооружением, равному 0,15.

Примечание. В случае подвижки смерзшегося с коническим сооружением ледяного поля горизонтальная составляющая нагрузки $F_{h,f}$, МН, определяется как на цилиндрическую опору с расчетной шириной b, равной диаметру конуса на уровне действия льда, по формуле

$$F_{h,f}=k_{\beta}F_{b,p} \quad , (127)$$

где k_{β} - коэффициент, принимаемый по табл. 35;

$F_{b,p}$ - обозначение то же, что в п. 5.5.

Вертикальная составляющая нагрузки $F_{v,p}$ в этом случае отсутствует.

Таблица 35

Угол наклона образующей конуса бета, град	45	60	75	90
Коэффициент k бета	0,6	0,7	0,9	1

5.7. Нагрузку от воздействия движущегося ледяного поля на сооружение, состоящее из системы вертикальных колонн, F_p , МН (рис.39) необходимо определять по формуле

$$F_p=n_t K_1 K_2 F_{b,p} \quad , (128)$$

n_t - общее число колонн в сооружении;

K_1 - коэффициент, определяемый по формуле

$$K_1=0{,}83+0{,}17 n_t^{-1/2} \quad ; (129)$$

K_2 - коэффициент, принимаемый по табл. 36;

Таблица 36

Значение b/a	0,1 и менее	0,5	1
Коэффициент K_2	1	$0{,}55 + 0{,}45 \frac{k_n}{k}$	$\frac{k_n}{k}$

a - шаг колонн, м;
k_n - коэффициент, принимаемый по табл. 32 при (n_f b)/h_d;
n_f - число колонн в первом ряду по фронту сооружения.

Примечание. Значения коэффициента K_1 , определенные по формуле (129), соответствуют коэффициенту вариации предела прочности льда при одноосном сжатии, равному 0,2.

h_d , $F_{b,p}$, b и k - обозначения те же, что в пп. 5.3 и 5.5.

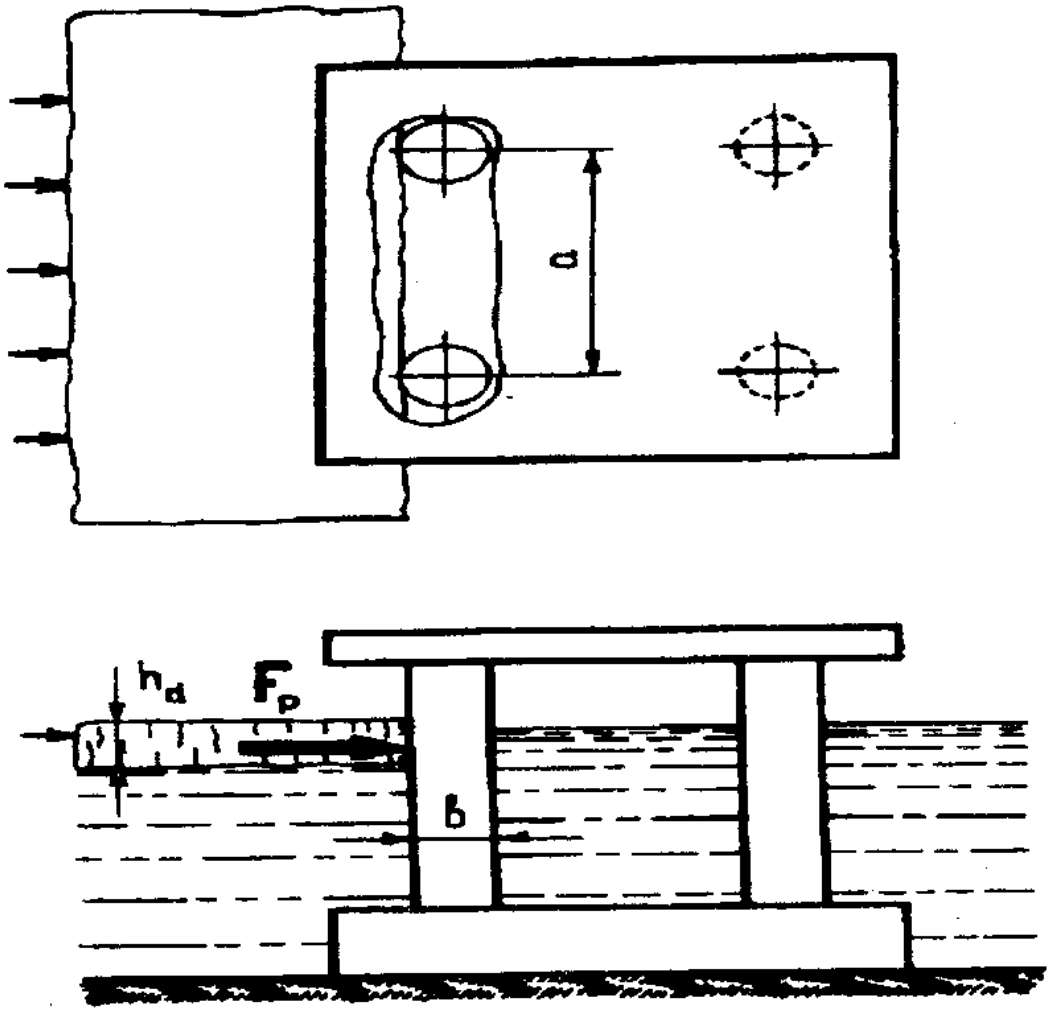


Рис. 39. Схема приложения нагрузки от движущегося ледяного поля на сооружение из системы вертикальных колонн

5.8. Нагрузку от воздействия остановившегося ледяного поля, наваливающегося на сооружение при действии течения воды и ветра F_s , МН, необходимо определять по формуле

$$F_s=\left(p_\mu+p_v+p_i+p_{\mu,a}\right)A \quad , (130)$$

в которой величины p_μ , p_v , p_i , $p_{\mu,a}$, мПа, определяются по формулам:

$$p_\mu=5\cdot 10^{-6}v_{max}^2 \quad , (131)$$

$$p_v = 5 \cdot 10^{-4} \frac{h_d v_{max}^2}{L_m}$$; (132)

$$p_i = 9{,}2 \cdot 10^{-3} h_d i$$; (133)

$$p_{\mu,a} = 2 \cdot 10^{-8} v_{w,max}^2$$, (134)

где v_{max} - максимальная скорость течения воды подо льдом 1%-ной обеспеченности в период ледохода, м/с;

$v_{w,max}$ - максимальная скорость ветра в период ледохода 1%-ной обеспеченности, м/с;

L_m - средняя длина ледяного поля по направлению потока, принимаемая по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии для рек допускается принимать L_m равной утроенной ширине реки, м;

i - уклон поверхности потока;

h_d и A - обозначения те же, что в пп. 5.3 и 5.5.

При этом нагрузка F_s , определенная по формуле (130), не может быть больше нагрузки $F_{b,w}$, определенной по формуле (122) при $k_v = 0{,}1$.

Примечание. Расчетная ширина ледяного поля принимается по данным натурных наблюдений, а для затворов или аналогичных сооружений - не более ширины пролета сооружения.

5.9. Точку приложения равнодействующей ледовой нагрузки, определенной согласно пп.5.1 - 5.4, необходимо принимать ниже расчетного уровня воды на $0{,}2h_d$ в зимний период, а в период весеннего ледохода на $0{,}4h_d$.

Нагрузки на сооружения от движущегося торосистого ледяного поля необходимо увеличивать умножением их на коэффициент торосистости k_r , принимаемый равным:

для Азовского, Балтийского, Каспийского, Черного и Японского морей - 1,3;

для Белого, Берингова, Арктических и Дальневосточных морей - 1,5.

Для морей Арктического и Дальневосточного бассейнов нагрузки на сооружения от торосистого льда уточняются по опытным данным.

При соответствующем обосновании допускается принимать для этих морей $k_r = 2$.

Нагрузки на сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении

5.10. Горизонтальную линейную нагрузку q, МН/м, (на 1 м длины по фронту протяженного сооружения) от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении необходимо принимать равной наибольшему значению из полученных за рассматриваемый ряд лет.

Значения q определяются по графикам (рис .40) при заданных значениях перепадов температуры воздуха $\Delta\theta$, °С, и соответствующих реальных и приведенных толщинах льда h_c , м, и h_{red} , м.

Значения $\Delta\theta$ следует выбирать из графика хода температуры воздуха по данным срочных наблюдений в ледоставный период для каждого года из рассматриваемого ряда лет (30 лет и более) при длительности перепадов от 5 часов до 20 суток.

Значения h_c принимаются равными средним толщинам льда за время перепада температуры.

Значения h_{red} , м, необходимо определять по формуле

$$h_{red}=h_c+1,43h_s+h_f \quad (135)$$

где h_s - средняя толщина снега за время перепада температуры, м;

h_f - добавочная толщина льда, м, принимаемая по табл. 37.

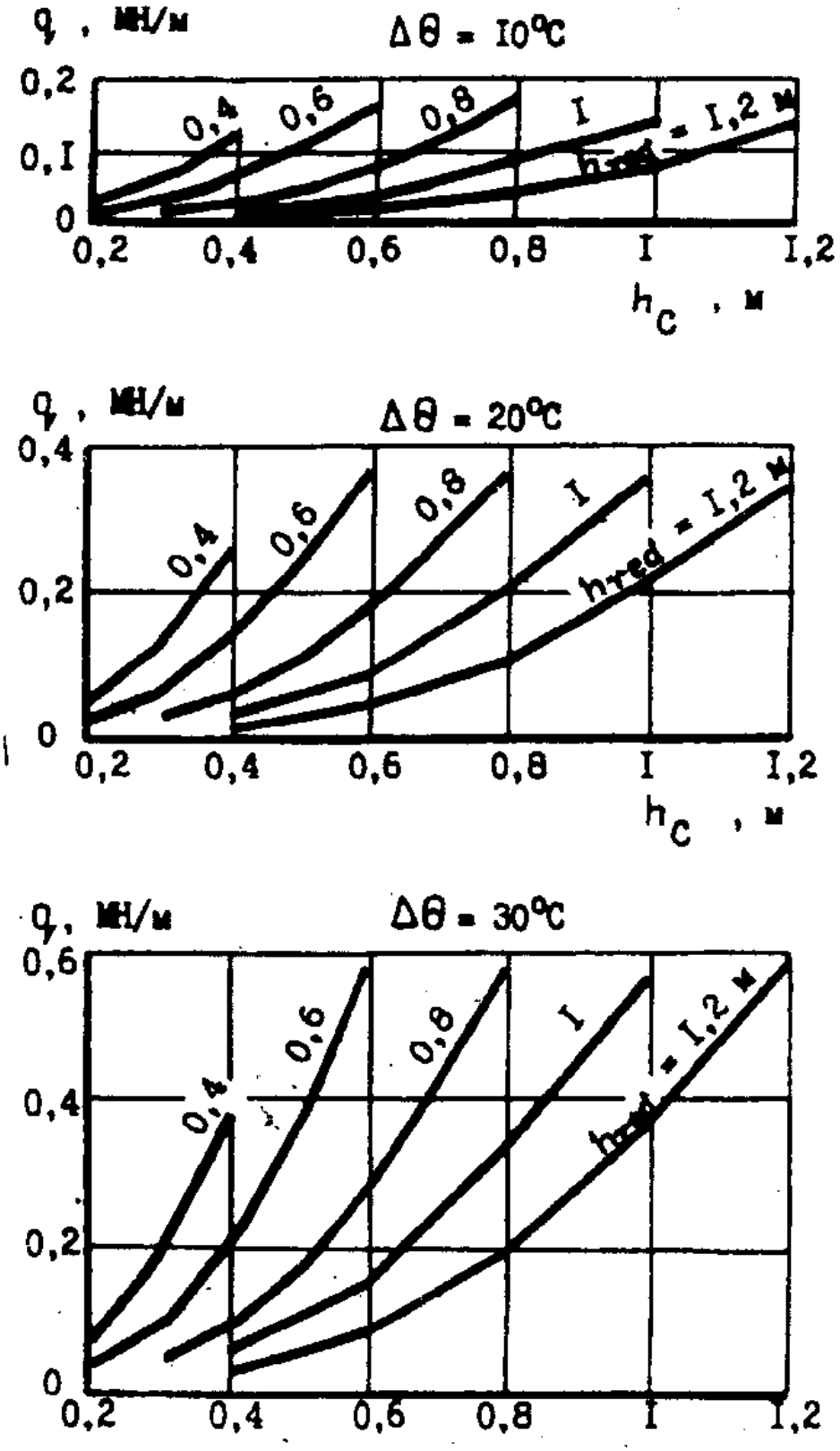


Рис. 40. График значений линейной нагрузки *q*

Таблица 37

Средняя скорость ветра за время перепада температуры V_w, м/с	Добавочная толщина льда h_r, м, при средней температуре воздуха за время перепада температуры Тета_альфа, °С		

	0	-10	-20
0	0,57	0,46	0,39
2,5	0,32	0,26	0,22
5	0,16	0,14	0,12
10	0,05	0,05	0,05
20	0,01	0,01	0,01

5.11. Нагрузку от воздействия ледяного покрова на отдельно стоящее сооружение F_t , МН, необходимо определять по формуле

$$F_t = k_q q b \quad , (136)$$

где k_q - коэффициент, принимаемый по табл. 38;

Таблица 38

Значение L/b	1	5	15	25	50	75	100
Коэффициент k_l	1	2	4	6	10	14	17

L - расстояние от отдельно стоящего сооружения до берега или протяженного сооружения, м.

b и q - обозначения те же, что в пп. 5.5 и 5.10.

При этом нагрузка F_t , определенная по формуле (136), не может быть больше нагрузки $F_{t,b}$, МН, определяемой по формуле

$$F_{t,b} = R_c b h_c \quad , (137)$$

где R_c - обозначение то же, что в п.5.2.

5.12. Точку приложения равнодействующей ледовой нагрузки, определенной согласно пп.5.10 и 5.11, необходимо принимать ниже расчетного уровня воды на 0,25 h_c .

Нагрузки на сооружения от заторных и зажорных масс льда

5.13. Нагрузку от движущейся заторной массы льда на отдельно стоящую опору $F_{b,i}$, МН, необходимо определять по формуле

$$F_{b,i}=0{,}5R_{b,i}bh_{b,i}$$, (138)

где $R_{b,i}$ - нормативное сопротивление заторной массы льда смятию, МПа, определяемое по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии допускается принимать равным: для участков рек севернее линии Воркута - Ханты-Мансийск - Красноярск - Улан-Удэ - Благовещенск - Николаевск на Амуре - 0,45 МПа; между линиями Воркута - Ханты-Мансийск - Красноярск Улан-Удэ - Благовещенск - Николаевск на Амуре и Архангельск - Киров - Уфа - Усть-Каменогорск - 0,35 МПа; южнее линии Архангельск - Киров - Уфа - Усть-Каменогорск - 0,25 МПа;

$h_{b,i}$ - расчетная толщина заторной массы, м, определяемая по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии по формуле

$$h_{b,i}=a_iH_{b,i}$$, (139)

где a_i - коэффициент, принимаемый по табл. 39;

$H_{b,i}$ - средняя глубина реки выше затора при максимальном расходе воды заторного периода, м;

Таблица 39

Значение H_b,i	3	5	10	15	20	25
Коэффициент a_i	0,85	0,75	0,45	0,40	0,35	0,28

m,b - обозначения те же, что в п. 5.5.

5.14. Нагрузку от движущейся зажорной массы на отдельно стоящую опору $F_{b,j}$, МН, необходимо определять по формуле

$$F_{b,j}=mR_{b,j}bh_j$$, (140)

где $R_{b,j}$ - нормативное сопротивление зажорной массы смятию, МПа, определяемое по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии допускается принимать равным 0,12 МПа;

h_j - расчетная толщина зажора, м, определяемая по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии допускается принимать равной 0,8 от средней глубины потока при расходе воды зажорного периода;

m,b - обозначения те же, что в п. 5.5.

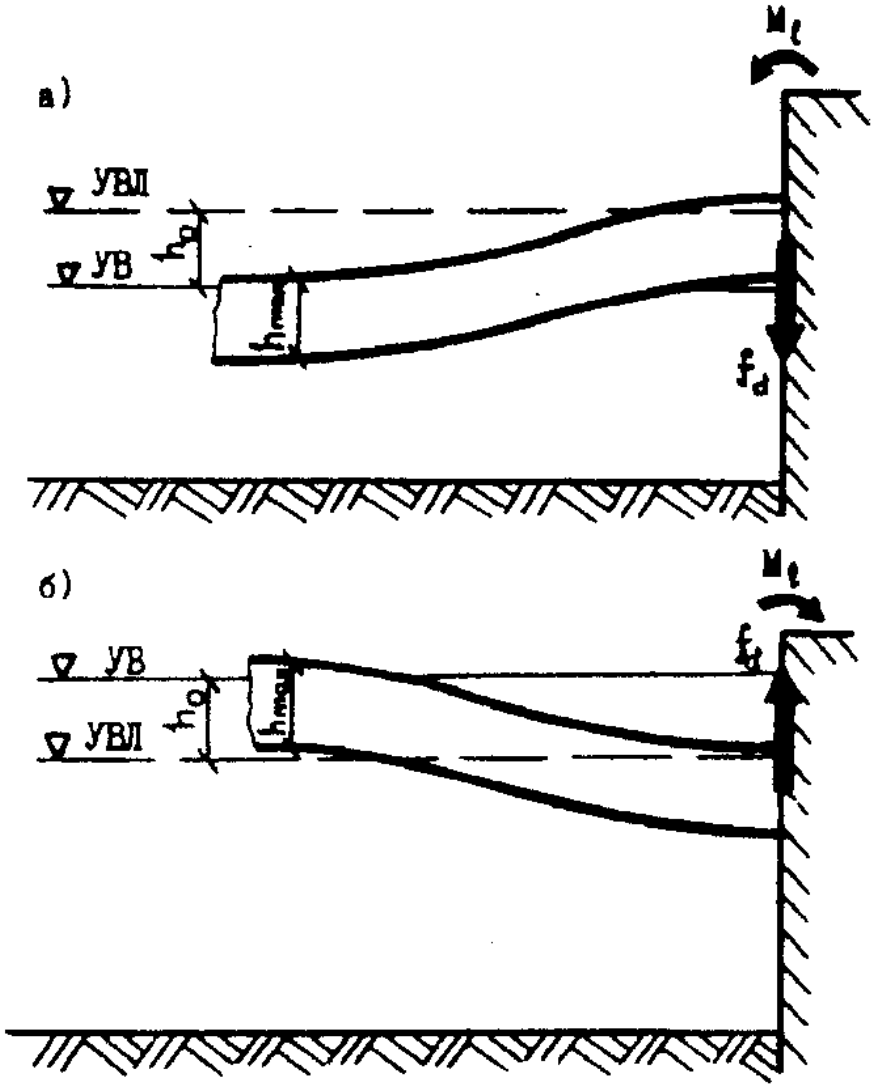


Рис. 41. Схемы приложения нагрузок от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды (УВ)

а — при понижении УВ; б — при повышении УВ;
УВЛ — уровень воды при ледоставе

Нагрузки от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды

5.15. Вертикальную линейную нагрузку (на 1 м длины по фронту сооружения) от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды f_d, МН/м (рис. 41), необходимо определять по формуле

$$f_d = 0{,}2 h_0 \sqrt[4]{h_{max}^3} \quad , (141)$$

где h_0 - изменение уровн воды, м; при этом $h_0 \le h_{max}$;

h_{max} - максимальная толщина ледяного покрова, м, обеспеченностью 1%.

При этом нагрузка f_d ,определенная по формуле (141), не может быть больше нагрузки $f_{d,lim}$, МН/м, определяемой по формуле

$$f_{d,lim}=0{,}007\sqrt[4]{h_{max}^3}\left(\sigma_{c,lim}+\sigma_{t,lim}\right)$$
, (142)

где $\sigma_{c,lim}$ - предельное напряжение в сжатом слое изгибаемого ледяного покрова, МПа, определяемое как ($c_i+\Delta_i$) для нижнего слоя ледяного покрова при температуре t_b , в случае понижения уровня воды или для верхнего слоя ледяного покрова при температуре t_u и в случае повышения уровня воды;

$\sigma_{t,lim}$ - предельное напряжение в растянутом слое изгибаемого ледяного покрова, МПа, определяемое как $0{,}3\left(c_i+\Delta_i\right)$ для верхнего слоя ледяного покрова при температуре t_u в случае понижения уровня воды или для нижнего слоя ледяного покрова при температуре t_b в случае повышения уровня воды;

c_i , Δ_i , t_u , t_b - обозначения те же, что в п. 5.2.

5.16. Момент силы, воспринимаемый 1 м протяженного сооружения от примерзшего ледяного покрова, M_l , $\text{МН}\cdot\text{м/м}$, при изменении уровня воды (см. рис. 41), необходимо определять по формуле

$$M_l=2{,}6h_0\sqrt{h_{max}^3}$$
, (143)

где h_0 , h_{max} - обозначения те же, что в п. 5.15.

При этом момент силы M_l , определенный по формуле (143), не может быть больше момента $M_{l,lim}$, $\text{МН}\cdot\text{м/м}$, определяемого по формуле

$$M_{l,lim}=\frac{h_{max}^2\left(\sigma_{c,lim}+\sigma_{t,lim}\right)}{12}$$
, (144)

где $\sigma_{c,lim}$, $\sigma_{t,lim}$ - обозначения те же, что в п. 5.15.

5.17. Вертикальную нагрузку на отдельно стоящую опору или свайный куст от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды $F_{d,p}$, МН (рис. 42), необходимо определять по формуле

$$F_{dp}=k_f R_f h_{max}^2 \quad , (145)$$

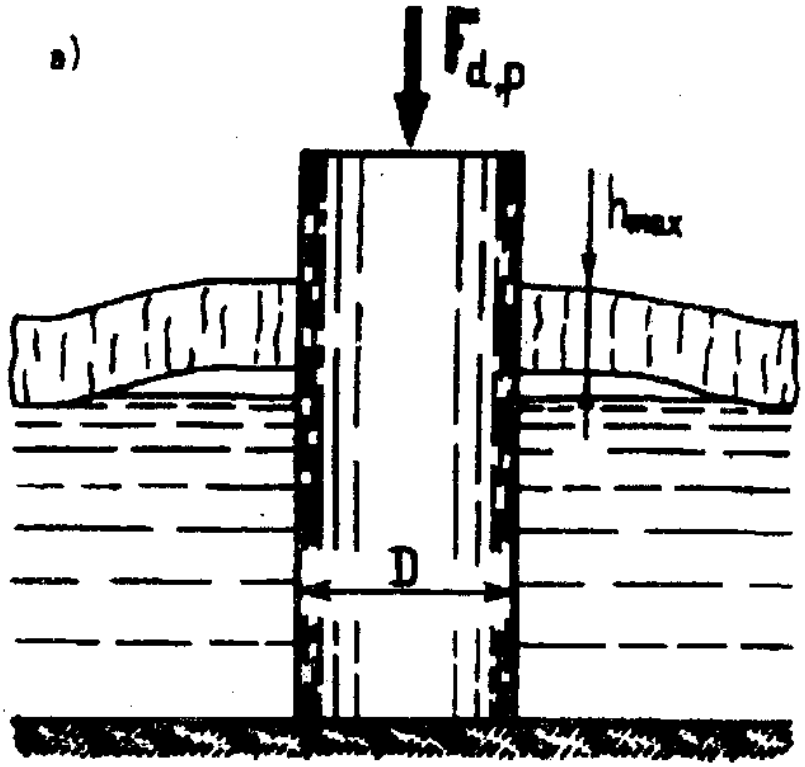
где k_f - коэффициент, определяемый по формуле

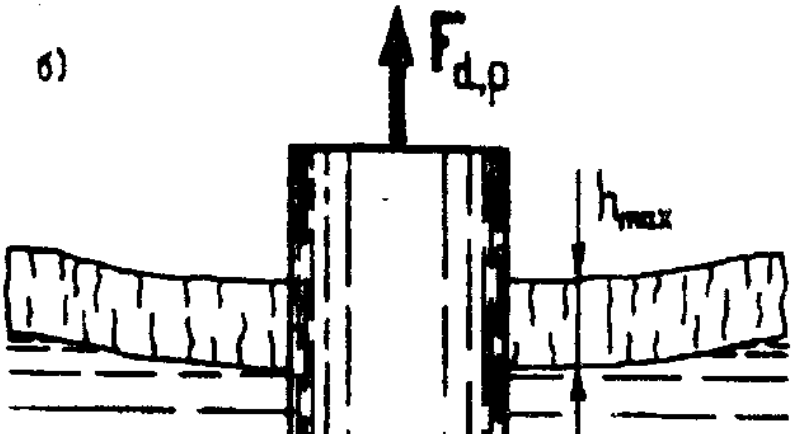
$$k_f=0{,}6+\frac{0{,}15D}{h_{max}} \quad , (146)$$

где D - поперечный размер (диаметр) опоры или свайного куста, м;

R_f и h_{max} - обозначения те же, что в пп. 5.2 и 5.15.

Примечание. При прямоугольной форме опоры в плане со сторонами b и c, м, или для сооружения, состоящего из системы колонн или куста свай с внешними габаритами опорной части на уровне действия льда b и c, м, допускается принимать $D=\sqrt{bc}$, м.





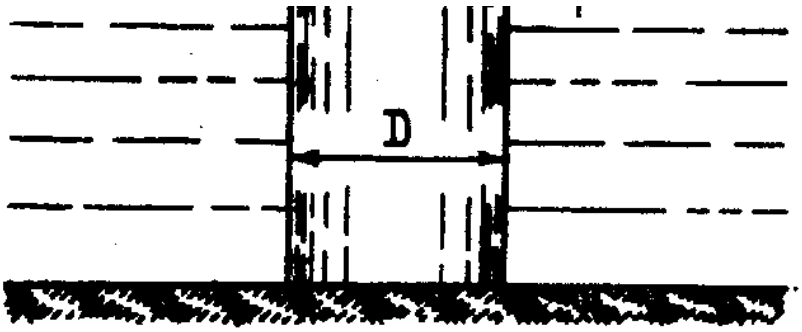
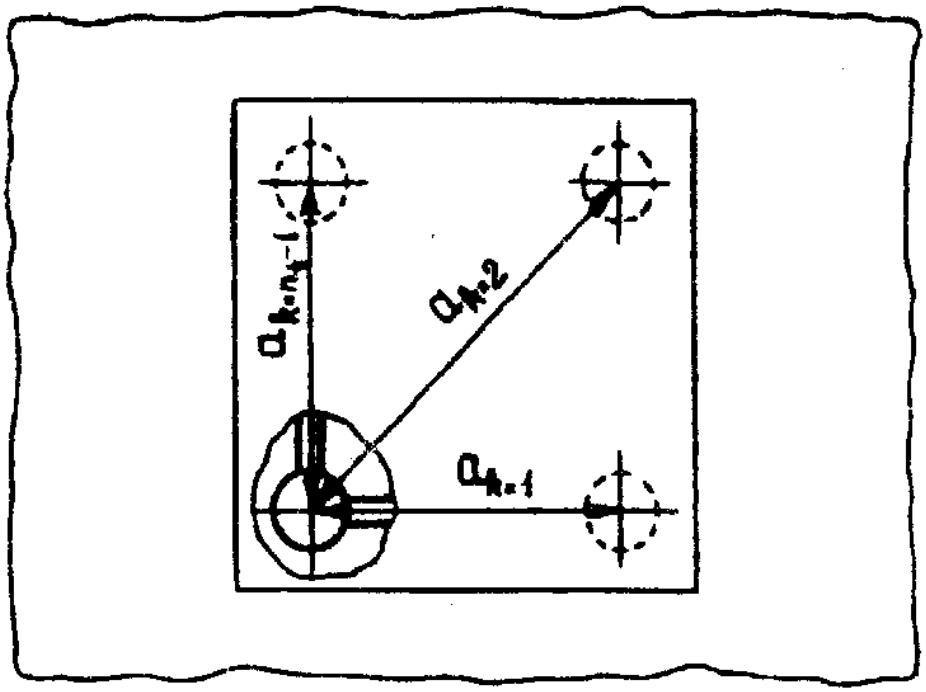


Рис.42. Схемы приложения нагрузки от примерзшего к отдельно стоящей опоре ледяного покрова при изменении уровня воды (УВ)

а — при понижении УВ; б — при повышении УВ



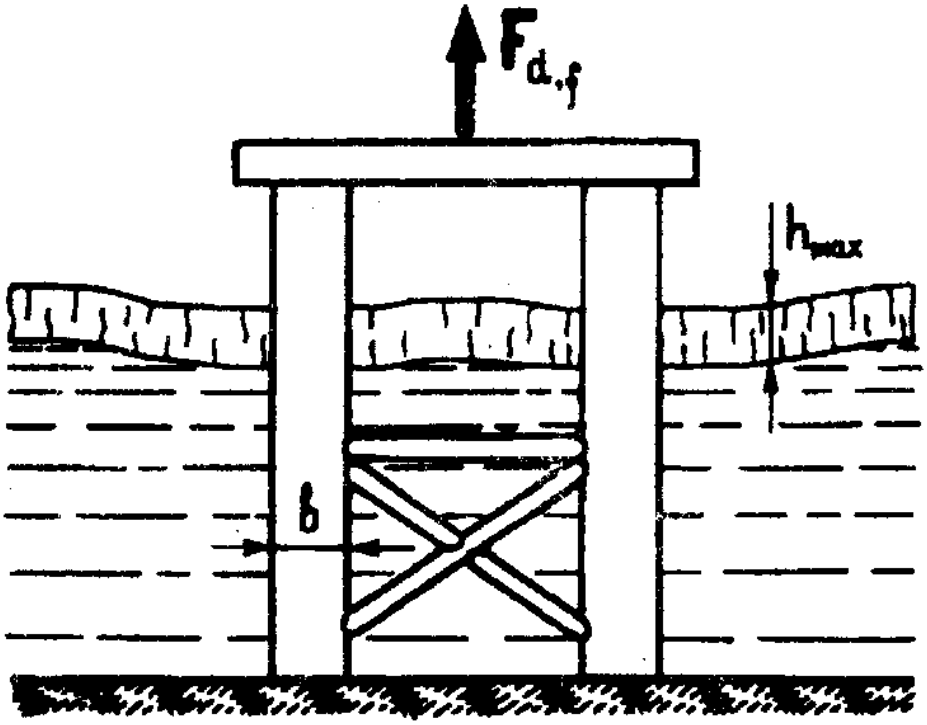


Рис. 43. Схема приложения нагрузки от примерзшего к сооружению из системы вертикальных колонн ледяного покрова при повышении уровня воды

(при понижении уровня воды сила $F_{d,f}$ направлена вниз)

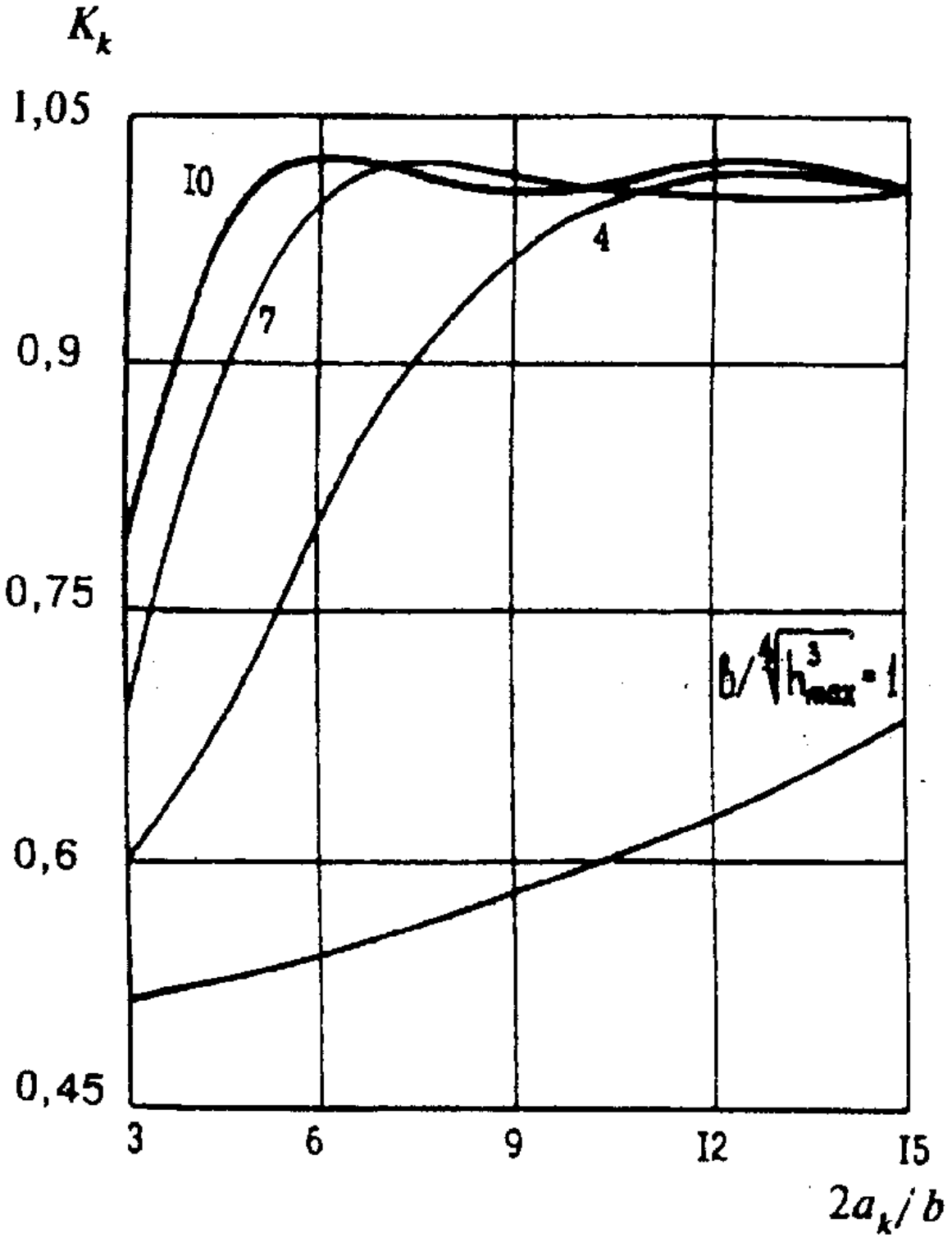


Рис.44. Графики значений коэффициента K_k

5.18. Вертикальную нагрузку на сооружение, состоящее из системы

вертикальных колонн, от примерзшего к опорам ледяного покрова при изменении уровня воды $F_{d,f}$, МН (рис. 43), необходимо определять по формуле

$$F_{d,f}=KF_{d,p} \quad (147)$$

где K - коэффициент, определяемый как произведение коэффициентов K_k для k-х колонн (принимаемых по графикам рис.44 при заданных значениях a_k , b и h_{max});

$$K=\prod_{k=1}^{n-1} K_k \quad ,$$

a_k - расстояние от оси произвольно выбранной основной колонны до оси k-й колонны (см. рис. 43), м;

b, η_t , h_{max} и $F_{d,p}$ - обозначения те же, что в пп. 5.5, 5.7, 5.15 и 5.17.

Приложение 1

Обязательное

Элементы волн на открытых и огражденных акваториях

1. При определении элементов волн на открытых и огражденных акваториях необходимо учитывать следующие волнообразующие факторы: скорость ветра (ее величину и направление), продолжительность непрерывного действия ветра над водной поверхностью, размеры и конфигурацию охваченной ветром акватории, рельеф дна и глубину водоема с учетом колебаний уровня воды.

2. Расчетные уровни воды и характеристики ветра необходимо определять по результатам статистической обработки данных многолетних (не менее 25 лет) рядов наблюдений в безледные сезоны, при этом расчетные уровни воды должны определяться с учетом приливо-отливных, сгонно-нагонных, сезонных и годовых колебаний уровней.

3. Расчеты элементов волн необходимо производить с учетом деления водоема на следующие зоны по глубине:

глубоководная - с глубиной $d>0,5\bar{\lambda}_d$, где дно не влияет на основные характеристики волн;

мелководная - с глубиной $0,5\bar{\lambda}_d \geq d>d_{cr}$, где дно оказывает влияние на развитие волн и на основные их характеристики;

прибойная - с глубиной от d_{cr} до $d_{cr,u}$, в пределах которой начинается и

завершается разрушение волн;

приурезовая - с глубиной менее $d_{cr,u}$, в пределах которой поток от разрушенных волн периодически накатывается на берег.

4. При определении устойчивости и прочности гидротехнических сооружений и их элементов расчетную обеспеченность высот волн в системе необходимо принимать по табл. 1.

Расчетные уровни воды

5*. Максимальный расчетный уровень воды необходимо принимать согласно требованиям СНиП на проектируемые сооружения (объекты). При определении нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения обеспеченности расчетных уровней должны быть не более: для сооружений I класса - 1% (1 раз в 100 лет), II и III классов - 5% (1 раз в 20 лет), а для IV класса - 10% (1 раз в 10 лет) по наивысшим годовым уровням в безледный период.

Таблица 1

Гидротехнические сооружения	Расчетная обеспеченность высот волн в системе, %
Сооружения вертикального профиля	1
Сквозные сооружения и обтекаемые преграды класса:	
I	1
II	5
III, IV	13
Берегоукрепительные сооружения класса:	
I, II	1
III, IV	5
Оградительные сооружения откосного профиля с креплением:	
бетонными плитами	1
каменной наброской, обыкновенными или фасонными массивами	2

Примечания: 1. При определении нагрузок на сооружения необходимо принимать высоту волны заданной обеспеченности в системе h_i и среднюю длину волны ламбда; для сквозных конструкций следует определять максимальное воздействие волн при изменении длины расчетной волны в пределах от 0,8 до 1,4 ламбда.

2. Расчетную обеспеченность высот волн в системе необходимо принимать:

при определении защищенности портовых акваторий 5%

при определении наката волн 1%

3. При назначении высотных отметок сквозных сооружений, возводимых на открытых акваториях, допускается расчетную обеспеченность высот волн в системе принимать 0,1% при надлежащем обосновании.

Примечание. Для берегоукрепительных сооружений в безливных морях обеспеченности расчетных уровней необходимо принимать:

по наивысшим годовым уровням - для подпорных гравитационных стен (волнозащитных) II класса - 1%; III класса - 25%; для искусственных пляжей без сооружений (IV класс) - 1%;

по среднегодовым уровням - для подпорных (волнозащитных) стен IV класса, бун и подводных волноломов IV класса - 50%; для искусственных пляжей с защитными сооружениями (буны, подводные волноломы - IV класс) - 50%.

6*. Высоту ветрового нагона Δh_{set}, м следует принимать по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии (без учета конфигурации береговой линии и при постоянной глубине дна d) допускается определять по формуле

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

, (148)*

где α_w - угол между продольной осью водоема и направлением ветра, град;

V_w - расчетная скорость ветра, определяемая по п. 9*;

L - разгон, м;

K_w - коэффициент, принимаемый по табл. 2*.

Таблица 2*

V_w, м/с	20	30	40	50
k_w x 10(6)	2,1	3	3,9	4,8

Расчетные характеристики ветра

7. При определении элементов ветровых волн и ветрового нагона должны приниматься обеспеченности расчетного шторма для сооружений I, II классов - 2% (1 раз в 50 лет) и III, IV классов - 4% (1 раз в 25 лет).

Для сооружений I и II классов допускается обеспеченность расчетного шторма принимать 1% (1 раз в 100 лет) при надлежащем обосновании.

8*. Сочетание обеспеченности скорости ветра с обеспеченностью уровня воды следует принимать для сооружений I и II классов, в том числе для условий водохранилищ при нормальном подпорном уровне (НПУ), согласно пп. 5* и 7 и

уточнять по данным натурных наблюдений.

9*. Расчетную скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью водоема V_w , м/с, следует определять по формуле

$$V_w = k_{fl} k_l V_l \quad , (149)*$$

где V_l - скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью земли (водоема), соответствующая 10-минутному интервалу осреднения и обеспеченности, принимаемой по п. 7;

k_{fl} - коэффициент пересчета данных по скоростям ветра, измеренным по флюгеру, принимаемый по формуле $k_{fl} = 0{,}675 + \frac{4{,}5}{V_l}$, но не более 1;

k_l - коэффициент приведения скорости ветра к условиям водной поверхности для водоемов (в том числе проектируемых) с характерной протяженностью до 20 км, принимаемый: равным единице при измерении скорости ветра V_l над водной поверхностью, над ровной песчаной (пляжи, дюны и прочее) или покрытой снегом местностью; по табл. 3* - при измерении скорости ветра над местностью типа А, В или С, устанавливаемого в соответствии с требованиями СНиП на ветровые нагрузки и дополнениями к нему.

Таблица 3*

Скорость ветра V_l, м/с	Значения коэффициента k_l при типе местности		
	A	B	C
10	1,1	1,3	1,47
15	1,1	1,28	1,44
20	1,09	1,26	1,42
25	1,09	1,25	1,39
30	1,09	1,24	1,38
35	1,09	1,22	1,36
40	1,08	1,21	1,34

10. При предварительном определении элементов волн среднее значение разгона, м, для заданной расчетной скорости ветра V_w , м/с, допускается определять по формуле

$$L = k_{vis} \frac{\nu}{V_w} \quad , (150)$$

где k_{vis} - коэффициент, принимаемый равным $5 \cdot 10^{11}$;

ν - коэффициент кинематической вязкости воздуха, принимаемый равным

10^{-5} м^2/с .

Значения предельного разгона L_u , м, допускается принимать по табл. 4 для заданной расчетной скорости ветра V_w , м/с.

Таблица 4

Скорость ветра V_w, м/с	20	25	30	40	50
Значения предельного разгона L_u x 10(-3), м	1600	1200	600	200	100

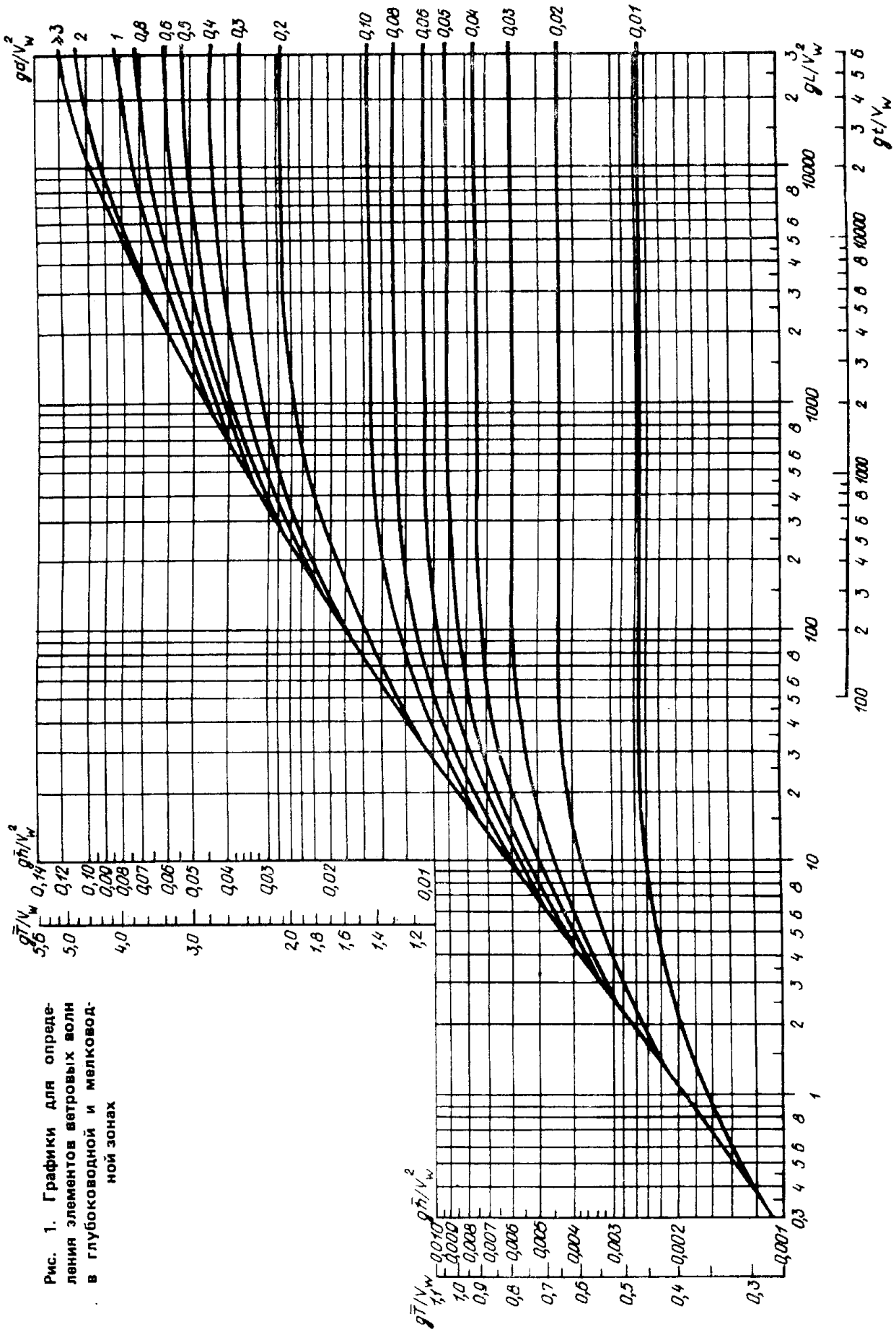


Рис. 1. Графики для определения элементов ветровых волн в глубоководной и мелководной зонах

11. Расчетные скорости ветра при разгонах менее 100 км допускается определять по данным натурных наблюдений над максимальными

ежегодными значениями скоростей ветра без учета их продолжительности.

12*. Расчетные скорости ветра при разгонах более 100 км следует определять с учетом их пространственного распределения (см. рекомендуемое прил. 3*).

Элементы волн в глубоководной зоне

13. Среднюю высоту $\bar{h}_d$, м, и средний период волн $\bar{T}$, с, в глубоководной зоне необходимо определять по верхней огибающей кривой рис. 1. По значениям безразмерных величин gt/V_w и gL/V_w^2 и верхней огибающей кривой необходимо определять значения $g\bar{h}_d/V_w^2$ и $g\bar{T}/V_w$ и по меньшим их величинам принять среднюю высоту и средний период волн.

Среднюю длину волн $\bar{\lambda}_d$, м, при известном значении $\bar{T}$ следует определять по формуле

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g\overline{T^2}}{2\pi} \quad . (151)$$

Примечание. При переменных скоростях ветра вдоль разгона волн допускается принимать $\bar{h}_d$ по результатам последовательного определения высоты волны для участков с постоянными значениями скорости ветра.

14*. При сложной конфигурации береговой черты среднюю высоту волн $\bar{h}_d$, м, необходимо определять по формуле

$$\bar{h}_d = 0{,}1\sqrt{25\bar{h}_1^2 + 21\left(\bar{h}_2^2 + \bar{h}_{-2}^2\right) + 13\left(\bar{h}_3^2 + \bar{h}_{-3}^2\right) + 3{,}5\left(\bar{h}_4^2 + \bar{h}_{-4}^2\right)} \quad , (152)$$

где $\bar{h}_n$, м, (при n = 1, ± 2 ; ± 3 ; ± 4) - средние высоты волн, которые должны приниматься согласно рис. 1, по расчетной скорости ветра и проекциям лучей L_n , м, на направление главного луча, совпадающего с направлением ветра. Лучи проводятся из расчетной точки до пересечения с линией берега с интервалом $\pm 22{,}5$ град от главного луча.

При наличии перед расчетным створом большого количества препятствий в виде островов с угловыми размерами менее 22,5 град и суммой угловых размеров более 22,5 град среднюю высоту волн $\bar{h}_n$, м, в секторе n необходимо определять по формуле

$$\bar{h}_n = \sqrt{\sum_{i=1}^{k_e} x_{ni}\bar{h}_{ni}^2 + \sum_{j=1}^{k} \nu_{nj}\bar{h}_{nj}^2} \quad , (152а)*$$

где x_{ni} , v_{nj} - соответственно угловые размеры i-го препятствия и j-го промежутка между соседними препятствиями, отнесенные к углу 22,5 град ($i=1,2,3,\ldots,k_n$; j= $1,2,3,\ldots,l_n$) в пределах n-го сектора, назначаемого в интервале $\pm 11{,}25$ град от направления луча.

Средние высоты волн $\bar{h}_{ni}$, $\bar{h}_{nj}$, м, следует определять по рис. 1 по расчетной скорости ветра и разгону L, равному проекциям лучей L_{ni} и L_{nj} , м, на направление ветра. Лучи L_{ni} и L_{nj} равны соответственно расстоянию от расчетной точки до пересечения с i-м препятствием или подветренным берегом в j-м промежутке.

Средний период волн определяется по безразмерной величине $g\bar{T}/V_w$, которая принимается согласно рис. 1 при известной безразмерной величине $g\bar{h}_d/V_w^2$. Среднюю длину волн следует определять по формуле (151).

Примечание. Конфигурация береговой черты принимается сложной, если величина $L_{max}/L_{min} \geq 2$, где L_{max} и L_{min} - наибольший и наименьший лучи, проведенные из расчетной точки в секторе +45 град от направления ветра до пересечения с подветренным берегом.

15*. Высоту волны i%-ной обеспеченности в системе $h_{d,i}$, м, следует определять умножением средней высоты волн на коэффициент k_i , принимаемый по графикам рис. 2 для безразмерной величины g_L/V_w^2 . При сложной конфигурации береговой черты значение gL/V_w^2 должно приниматься по величине gh_d/V_w^2 и верхней огибающей кривой рис.1.

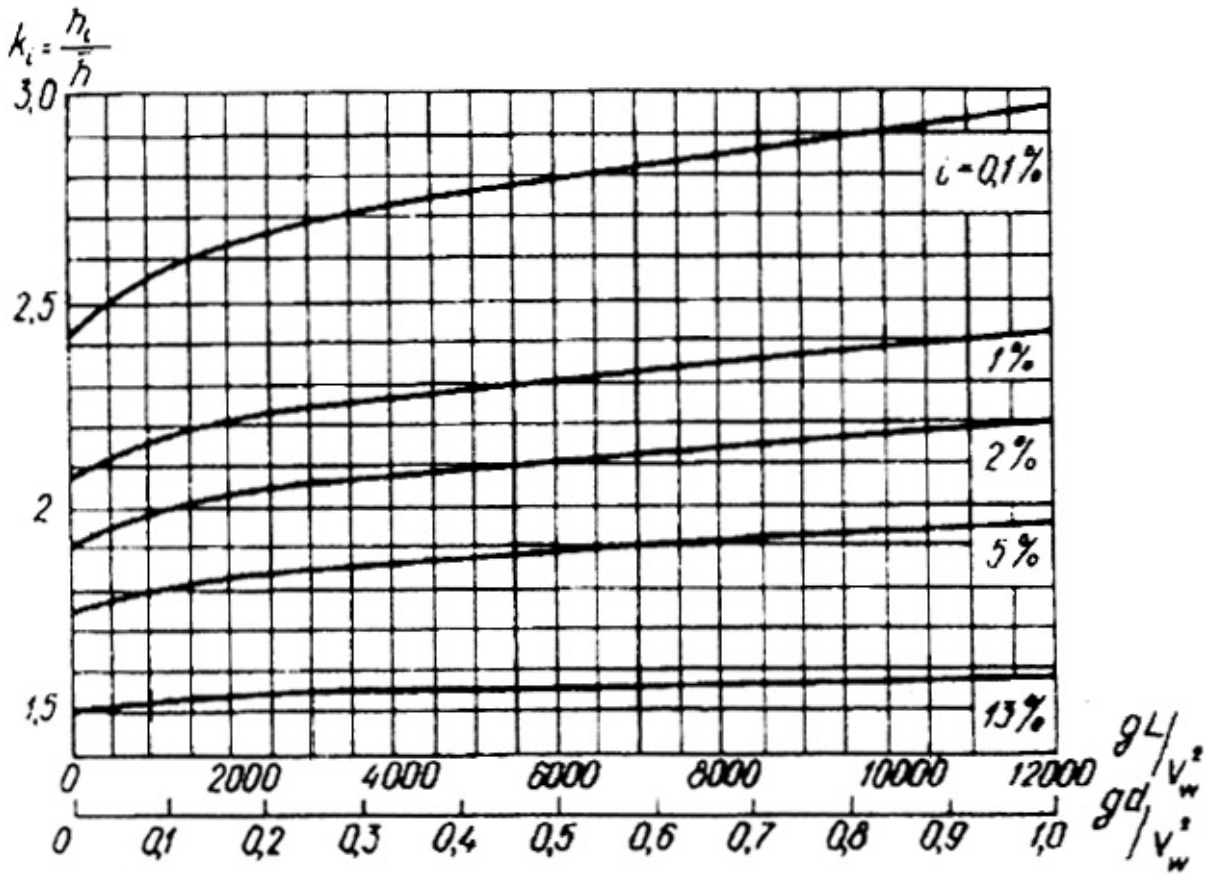


Рис. 2. Графики значений коэффициента k_i

Элементы волн с обеспеченностью по режиму 1; 2; 4 % необходимо принимать по функциям распределения, определяемым по натурным данным, а при их отсутствии или недостаточности — по результатам обработки синоптических карт (см. рекомендуемое прил. 3*).

16. Превышение вершины волны над расчетным уровнем η_c , м, следует определять по безразмерной величине η_c / h_i (рис.3) для данного значения $h_i / g\overline{T}^2$, принимая $d/\bar{\lambda}_d = 0,5$.

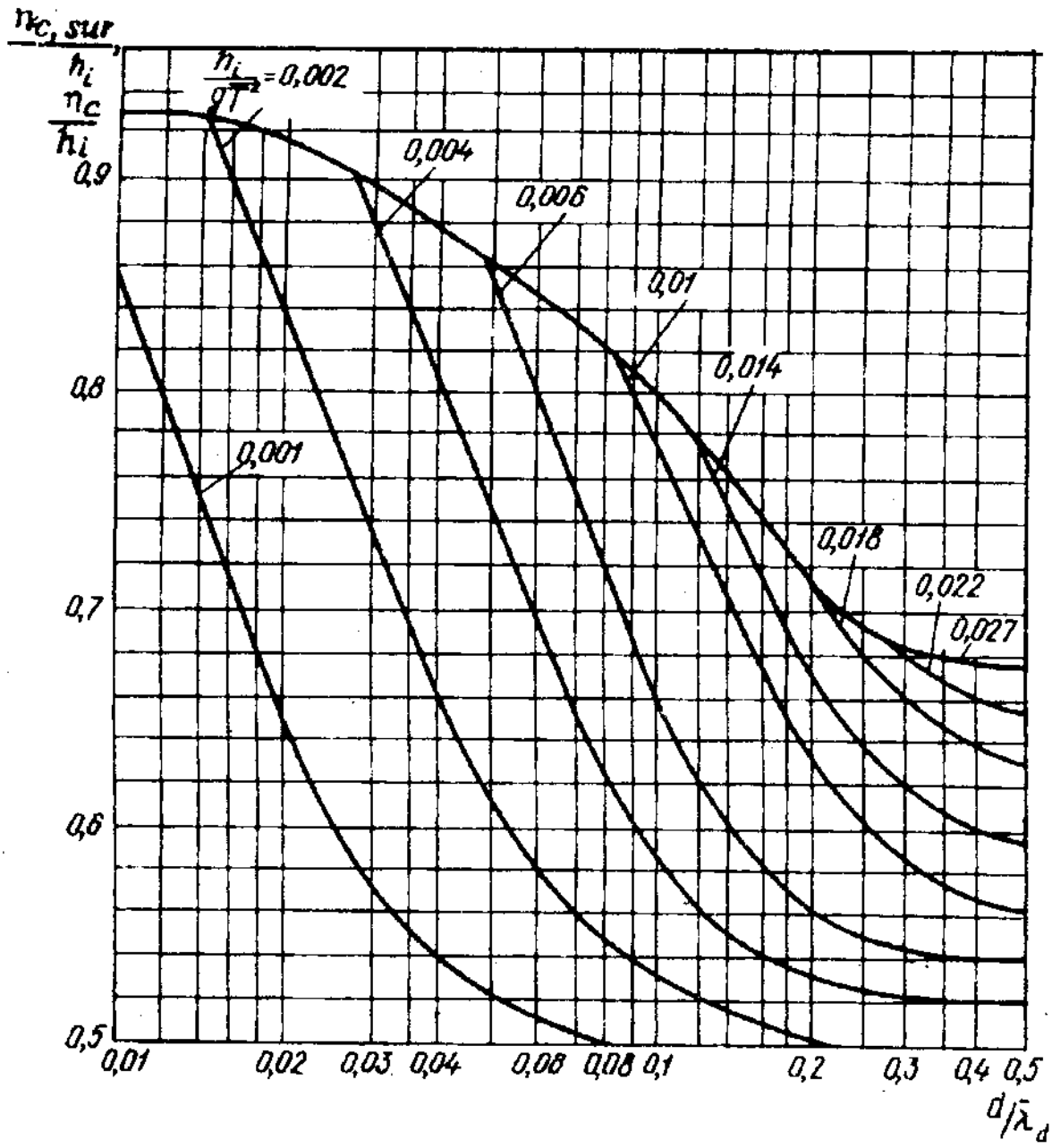


Рис. 3. Графики для определения значений η_c/h_i в мелководной и $\eta_{c,sur}/h_i$ в прибойной зонах

Элементы волн в мелководной зоне

17. Высоту волн i%-ной обеспеченности h_i , м, в мелководной зоне с уклонами дна 0,002 и более следует определять по формуле

$$h_i = k_t k_r k_q k_i \bar{h}_d \quad , (153)$$

где k_t - коэффициент трансформации;

k_r - коэффициент рефракции;

k_q - обобщенный коэффициент потерь.

Коэффициенты k_t , k_r и k_q следует определять по п. 18.

Длину волн, перемещающихся из глубоководной в мелководную зону, необходимо определять по рис. 4 при заданных безразмерных величинах $d/\bar{\lambda}_d$ и $h_{1\%}/g\bar{T}^2$, при этом период волн принимается равным периоду волн в глубоководной зоне.

Превышение вершины волны над расчетным уровнем η_c , м, следует определять по рис.3 для данных безразмерных величин $d/\bar{\lambda}_d$ и $h_i/g\bar{T}^2$.

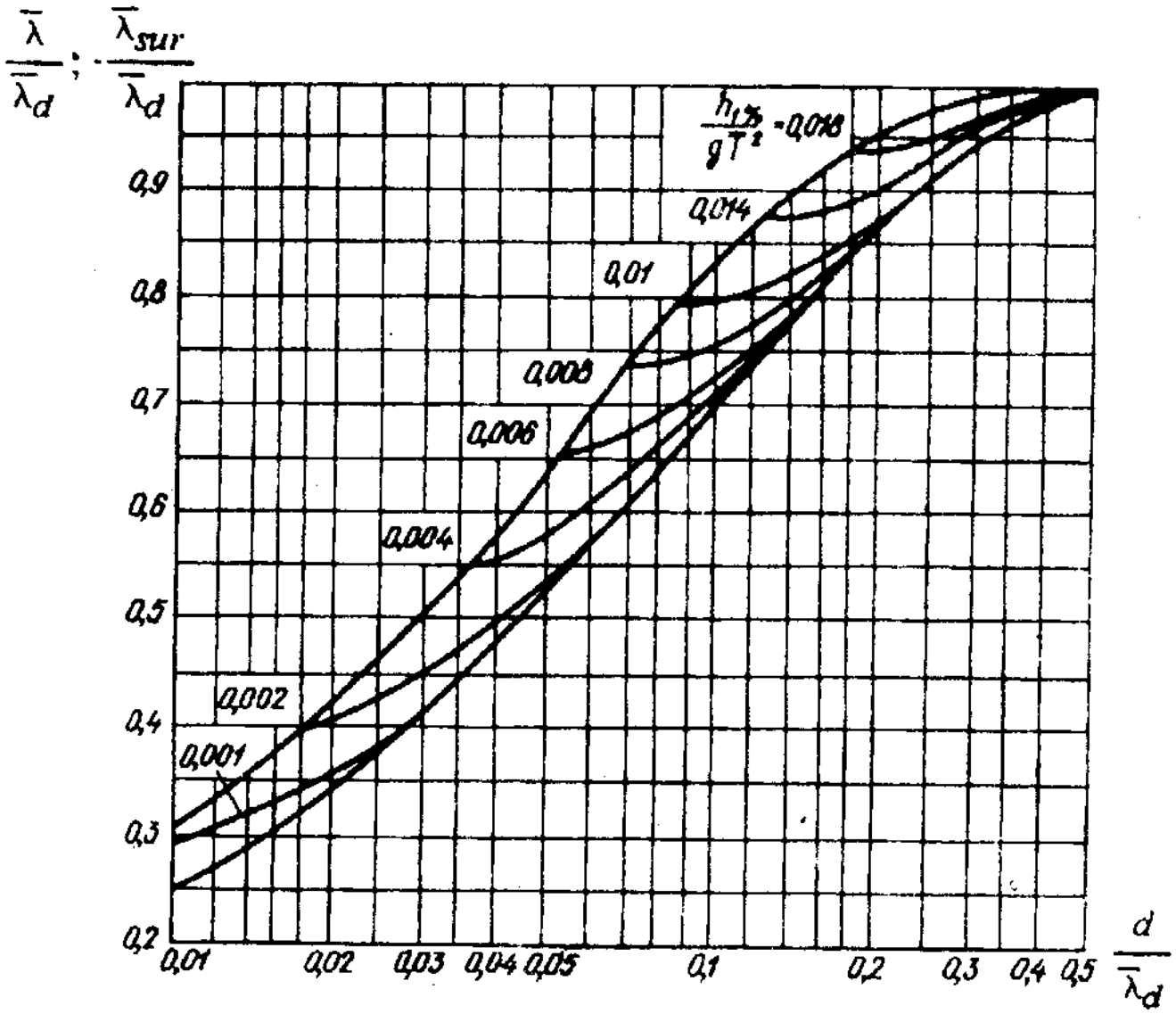


Рис. 4. Графики для определения значений $\bar{\lambda}/\bar{\lambda}_d$ в мелководной и $\bar{\lambda}_{sur}/\bar{\lambda}_d$ в прибойной зонах

18. Коэффициент трансформации необходимо принимать по графику 1 рис. 5. Коэффициент рефракции должен определяться по формуле

$$k_r = \sqrt{\frac{a_d}{a}}$$, (154)

где a_d - расстояние между смежными волновыми лучами в глубоководной зоне, м;

a - расстояние между теми же лучами по линии, проходящей через заданную точку мелководной зоны, м.

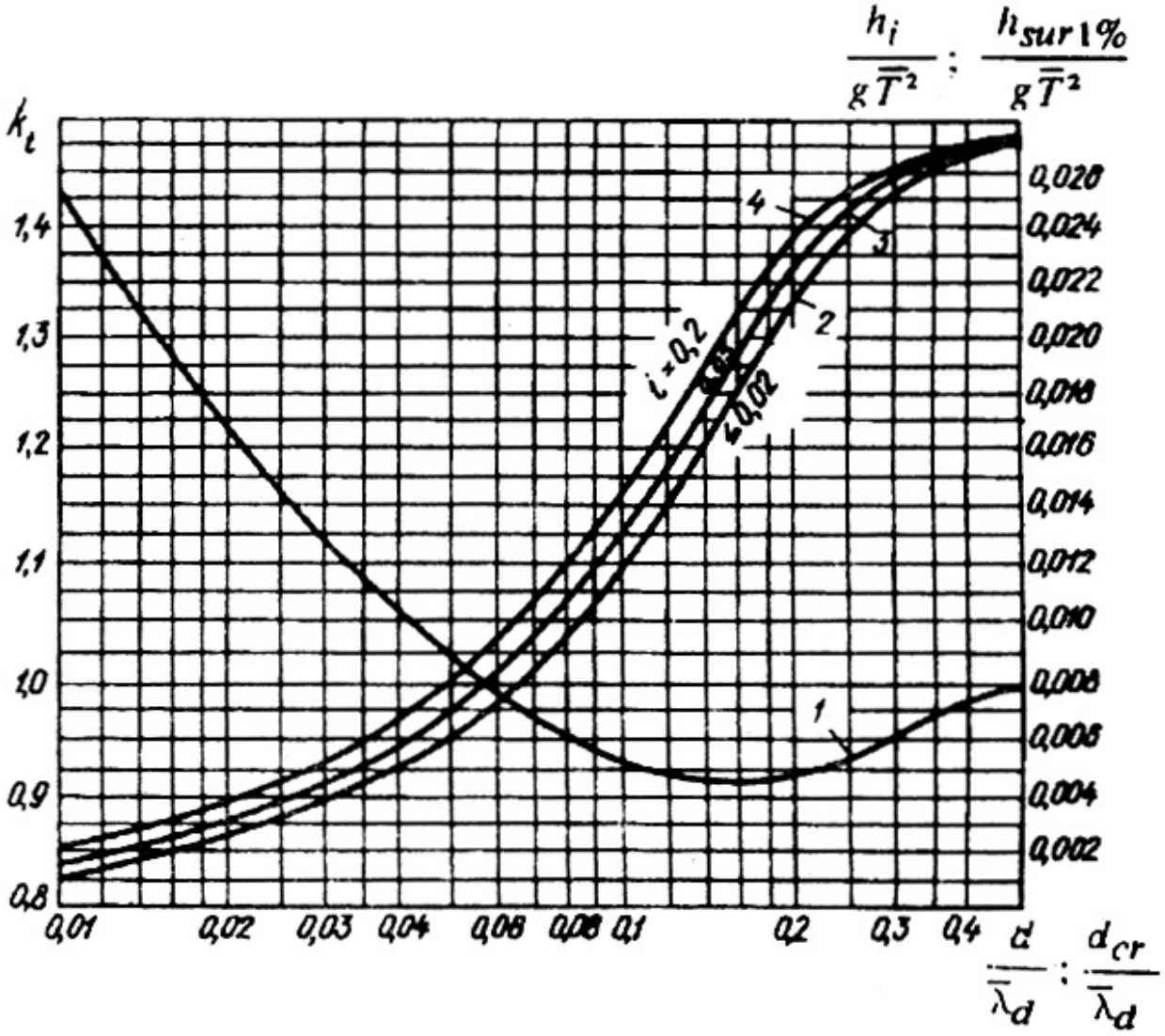


Рис. 5. Графики для определения
1 — коэффициента k_t; 2, 3 и 4 — величины $d_{cr}/\bar{\lambda}_d$

Лучи волн на плане рефракции в глубоководной зоне необходимо принимать по заданному направлению распространения волн, а в мелководной зоне их следует продолжать в соответствии со схемой и графиками рис. 6.

Обобщенный коэффициент потерь k_q должен определяться по заданным значениям величины $d/\bar{\lambda}_d$ и уклону дна i (табл. 5); при уклонах дна 0,03 и более следует принимать значение обобщенного коэффициента потерь равным

единице.

Примечание. Значение коэффициента k_l допускается принимать по результатам определения коэффициентов рефракции для волновых лучей, проводимых из расчетной точки в направлениях через 22,5 град от главного луча.

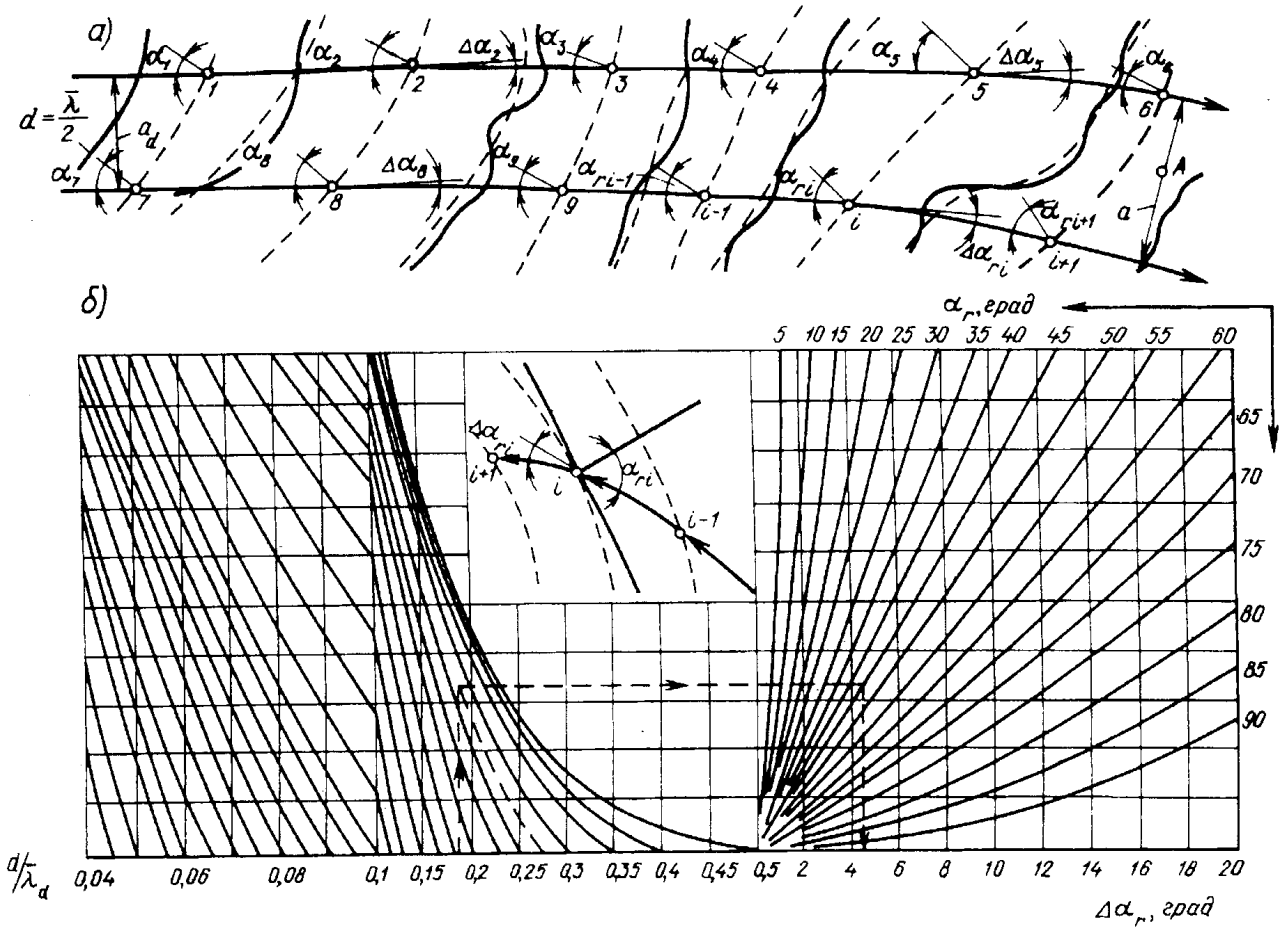


Рис. 6. Схема (*а*) и графики (*б*) для построения плана рефракции

Таблица 5

Относительная глубина d/ламбда_d	Значения коэффициента k_l при уклонах дна 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 и более	1	1

19. Среднюю высоту и средний период волн в мелководной зоне с уклонами

дна 0,001 и менее необходимо определять по графикам рис. 1. По безразмерным величинам gL/V_w^2 и gd/V_w^2 принимаются значения $g\bar{h}/V_w^2$ и $g\bar{T}/V_w$ и по ним определяются $\bar{h}$ и $\bar{T}$.

Высоту волны i%-ной обеспеченности в системе следует определять умножением средней высоты волн на коэффициент k_i , принимаемый по графикам рис. 2. По безразмерным величинам gd/V_w^2 и gL/V_w^2 определяются значения коэффициента k_i , из которых принимается наименьший.

Среднюю длину волн при известном значении среднего периода следует определять в соответствии с п. 13.

Превышение вершины волны над расчетным уровнем должно определяться по рис. 3.

Примечание. Элементы волн, перемещающихся из мелководной зоны с уклонами дна 0,001 и менее в зону с уклонами дна 0,002 и более, необходимо определять согласно пп. 17 и 18, при этом принимается значение исходной средней высоты $\bar{h}=\bar{h}_d$.

Элементы волн в прибойной зоне

20. Высоту волн в прибойной зоне $h_{sur1\%}$, м, необходимо определять для заданных уклонов дна i по графикам 2, 3 и 4 рис. 5; при этом по безразмерной величине $d/\bar{\lambda}_d$ принимается значение $h_{sur1\%}/g\bar{T}^2$ и соответственно определяется $h_{sur1\%}$.

Длину волны в прибойной зоне $\bar{\lambda}_{sur}$, м, следует определять по верхней огибающей кривой рис.4, превышение вершины волны над расчетным уровнем $\eta_{c,sur}$, м - по верхней огибающей кривой рис.3.

21. Критическая глубина d_{cr} , м, при первом обрушении волн должна определяться для заданных уклонов дна i по графикам 2, 3 и 4 рис.5 методом последовательных приближений. По ряду задаваемых значений глубин d в соответствии с пп.17 и 18 определяются величины $h_i/g\bar{T}^2$ по графикам 2, 3 и 4 рис.5 - соответствующие им значения $d_{cr}/\bar{\lambda}_d$, из которых принимается d_{cr} , численно и совпадающее с одной из задаваемых глубин d.

22. Критическую глубину, соответствующую последнему обрушению волн $d_{cr,u}$ при постоянном уклоне дна, следует определять по формуле

$$d_{cr,u}=k_u^{n-1}d_{cr} \quad , (155)$$

где k_u - коэффициент, принимаемый по табл. 6;

n - число обрушений (включая первое), принимаемое из ряда n = 2, 3 и 4 при выполнении неравенств

$$k_u^{n-2} \geq 0{,}43 \text{ и } k_u^{n-1} < 0{,}43 .$$

При определении глубины последнего обрушения $d_{cr,u}$ коэффициент k_u или произведение коэффициентов не должны приниматься менее 0,35.

При уклонах дна более 0,05 следует принимать значение критической глубины $d_{cr} = d_{cr,u}$.

Примечание. При переменных уклонах дна допускаются принимать $d_{cr,u}$ по результатам последовательного определения критических глубин для участков дна с постоянными уклонами.

Элементы волн на огражденной акватории

23. Высоту дифрагированной волны h_{dif} , м, на огражденной акватории необходимо определять по формуле

$$h_{dif} = k_{dif} h_i \text{ , (156)}$$

где k_{dif} - коэффициент дифракции волн, определяемый согласно пп.24, 25 и 26;

h_i - высота исходной волны i%-ной обеспеченности.

В качестве расчетной длины принимается исходная длина $\bar{\lambda}$ на входе в акваторию.

24. Коэффициент дифракции волн $k_{dif,s}$ для акватории, огражденной одиночным молом (при заданном значении угла β , град, относительном расстоянии от головы мола до точки в расчетном створе $r/\bar{\lambda}$ и значении угла φ , град), следует принимать в соответствии со схемой и графиками рис.7 согласно штриховой линии со стрелками.

Таблица 6

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

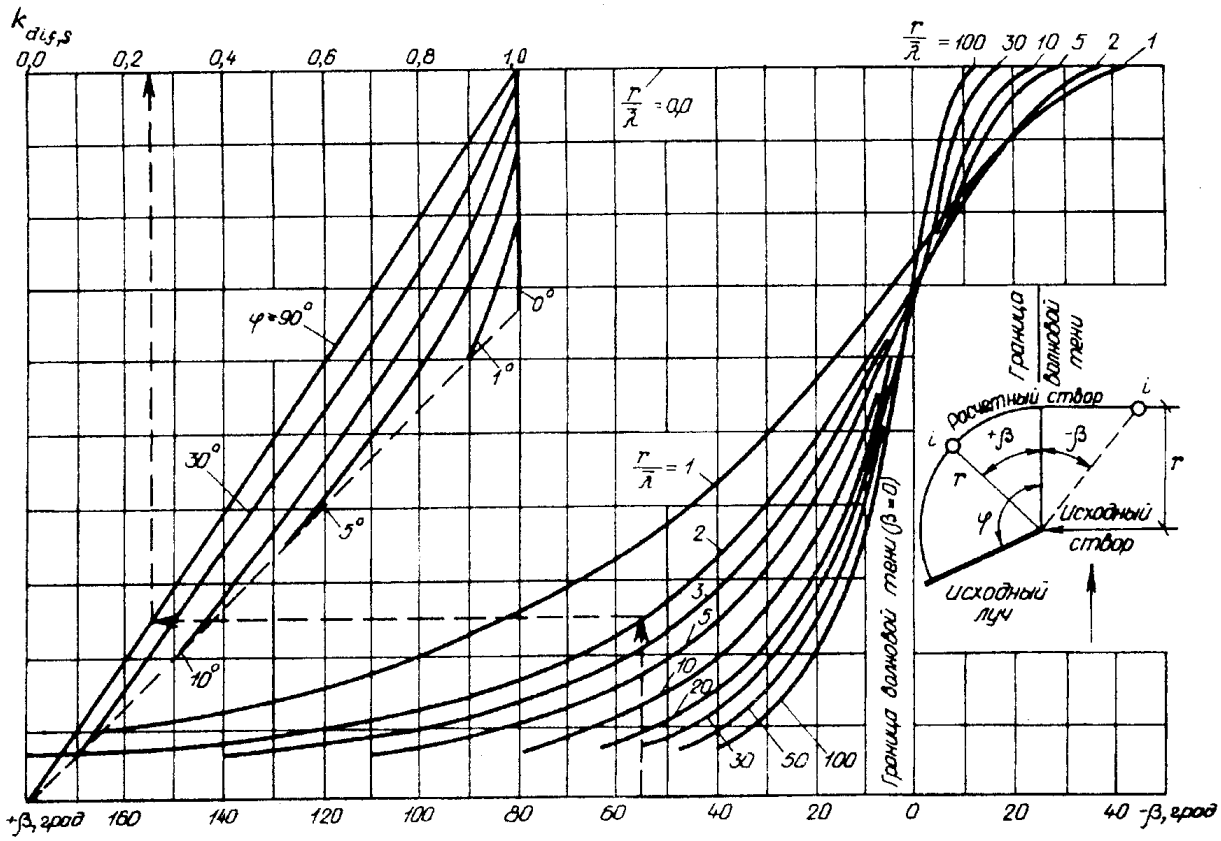


Рис. 7. Графики для определения значений коэффициента $k_{dif,s}$

25. Коэффициент дифракции волн $k_{dif,c}$ на акватории, огражденной сходящимися молами, необходимо определять по формуле

$$k_{dif,c} = k_{dif,s}\Psi_c \quad , (157)$$

где Ψ_c - коэффициент, принимаемый по рис. 8 для данных значений d_c и $k_{dif,cp}$.

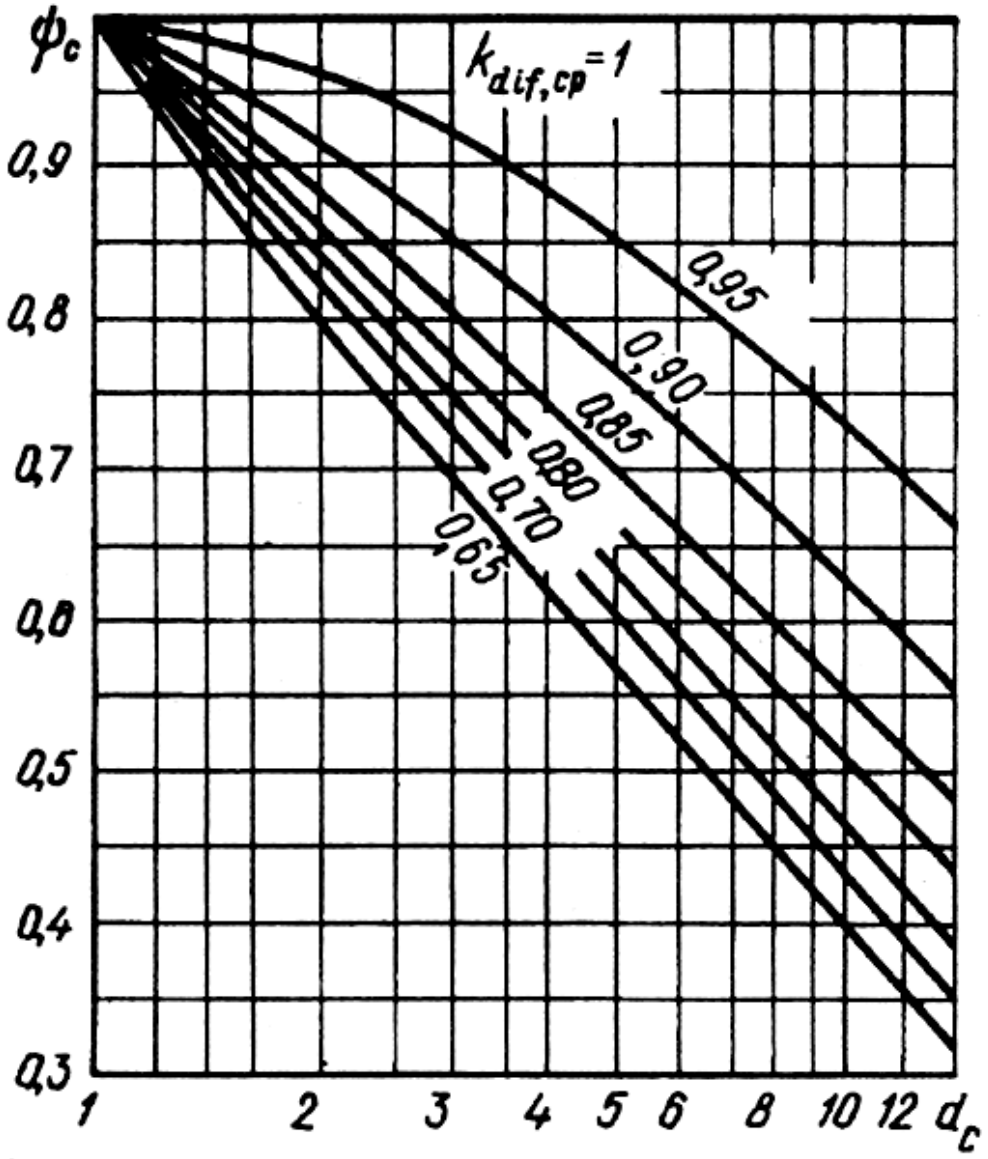


Рис. 8. Графики значений коэффициента ψ_c

Величина d_c определяется по формуле

$$d_c = \frac{l_1 + l_2 + b}{2b}, \quad (158)$$

где l_1 и l_2 - расстояния от границ волновой тени (ГВТ) до границ дифракции волн (ГВД), принимаемые в соответствии со схемой и графиками рис. 9 согласно штриховой линии со стрелками;

b - ширина входа в порт, м, принимаемая равной проекции расстояния между головами молов на фронт исходной волны.

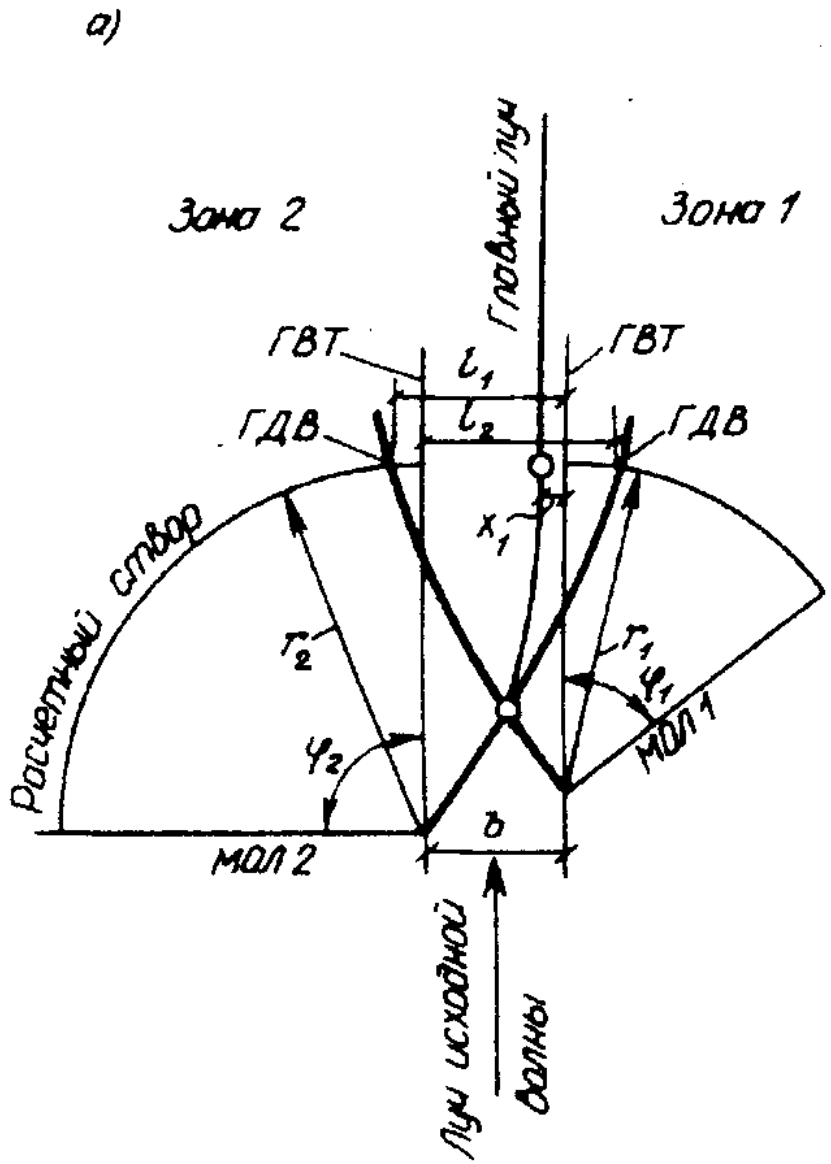
Значение коэффициента $k_{dif,cp}$ определяется так же, как и $k_{dif,s}$ согласно п. 24

для точки пересечения главного луча с фронтом волн в расчетном створе.

Положение главного луча на схеме рис.9, а необходимо принимать по точкам, расположенным от границы волновой тени (ГВТ) мола с меньшим углом φ_i , град, на расстояниях x, м, определяемых по формуле

$$x=\frac{l_1 l_{2a}-l_{1a}\left(l_2-b\right)}{l_{1a}+l_{2a}} \quad , (159)$$

где l_{a1} и l_{a2} - величины, принимаемые в соответствии со схемой и графиками рис.9.



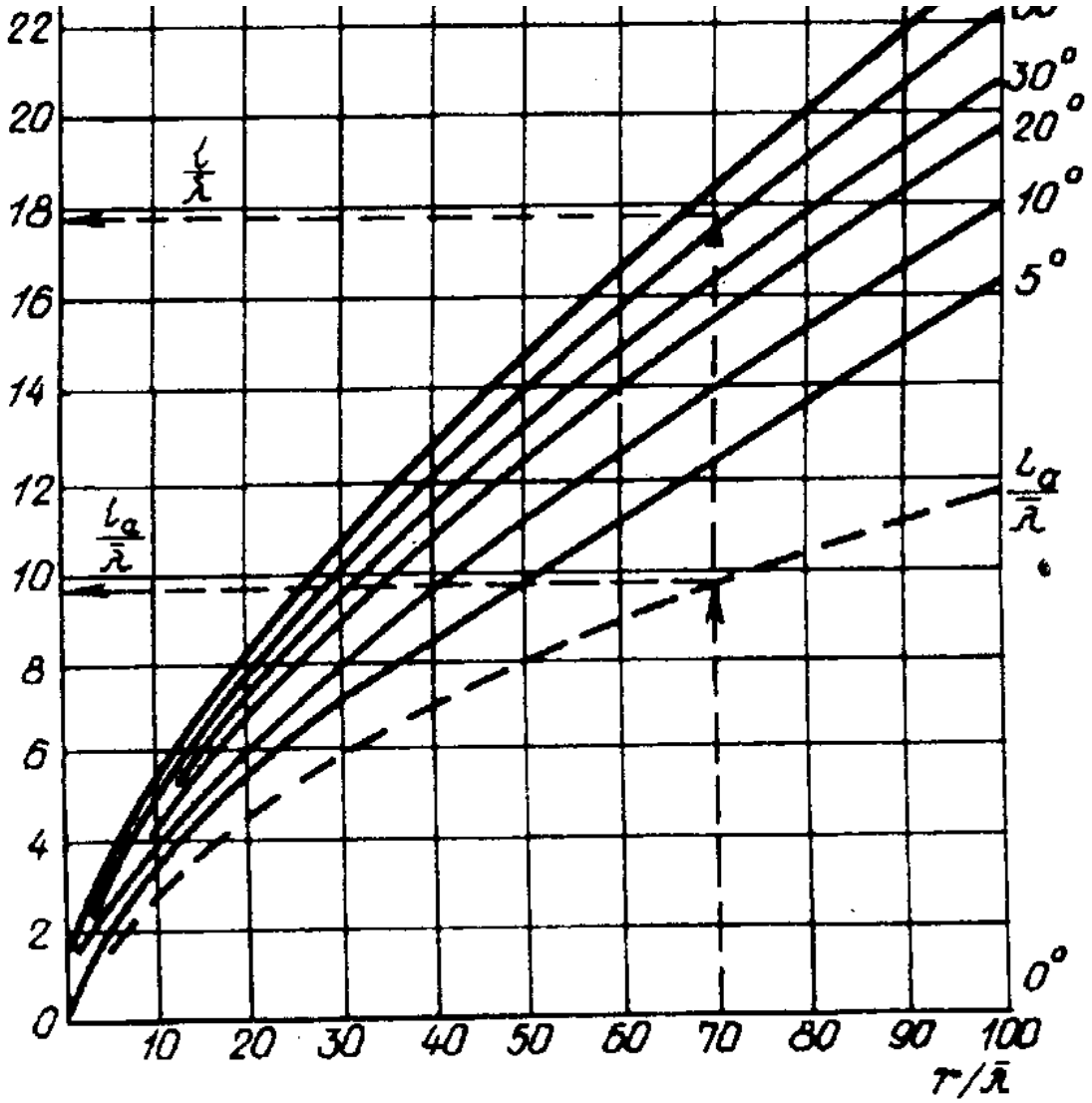


Рис. 9. Схема (*а*) и графики (*б*) для определения величин l и l_a

26. Коэффициент дифракции волн $k_{dif,b}$ для акватории, огражденной волноломом, должен определяться по формуле

$$k_{dif,b}=\sqrt{k_{dif,s1}^2+k_{dif,s2}^2}\quad, (160)$$

где $k_{dif,s1}$ - коэффициенты дифракции волн,

$k_{dif,s2}$ - определяемые для головных участков волнолома согласно п. 24.

27. Высоту дифрагированной волны с учетом отражения ее от сооружений и преград $h_{dif,r}$, м, в данной точке огражденной акватории необходимо определять по формуле

$$h_{dif,r}=\left(k_{dif}+k_{ref}\right)h_i\quad, (161)$$

где

$$k_{ref} = k_{dif,s} k_r k_p k_{ref,i} e^{-0,08 r/\bar{\lambda}} \sqrt{\cos\theta_r}$$

; (162)

$k_{dif,s}$ - коэффициент дифракции в створе отражающей поверхности, определяемый согласно пп. 24, 25 и 26;

k_r и k_p - коэффициенты, определяемые согласно п. 1.14* ;

θ_r - угол между фронтом волны и отражающей поверхностью, град;

$r/\bar{\lambda}$ - относительное расстояние от отражающей поверхности до расчетной точки по лучу отраженной волны, при этом направление луча отраженной волны должно приниматься из условия равенства углов подхода и отражения волн;

$k_{ref,i}$ - коэффициент отражения, принимаемый по табл. 7; при угле наклона отражающей поверхности к горизонту более 45 град следует принимать коэффициент отражения $k_{ref,i} = 1$.

Таблица 7

Пологость волны ламбда/h_dif	Значения k ref,i при уклонах отражающей поверхности i		
	1	0,5	0,25
10	0,5	0,02	0,0
15	0,8	0,15	0,0
20	1	0,5	0,0
30	1	0,7	0,05
40	1	0,9	0,18

Приложение 2

Справочное

Терминология и основные буквенные обозначения

Терминология

Гравитационные ветровые волны - вызванные ветром волны, в формировании которых основную роль играет сила тяжести.

Элементы волны (основные) - высота, длина и период волны.

Нерегулярные волны - волны, элементы которых изменяются случайным

образом.

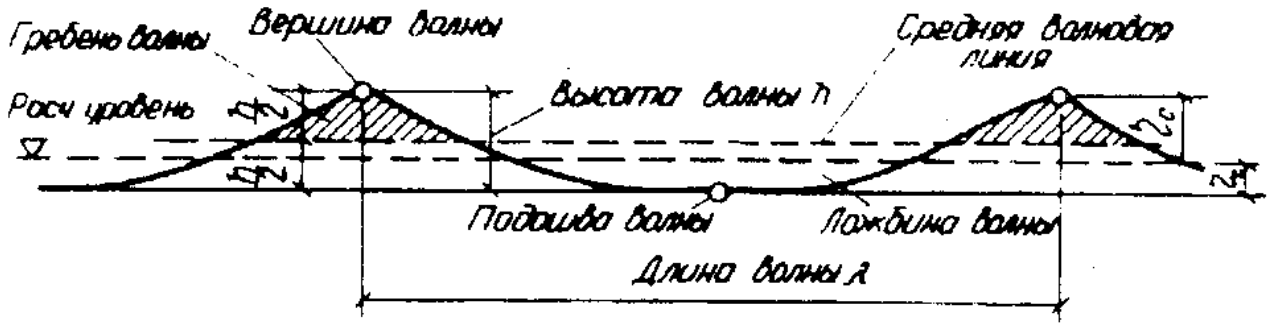
Регулярные волны - волны, высота и период которых остаются неизменными в данной точке пространства, занятого жидкостью.

Поступательные (бегущие) волны - волны, видимая форма которых перемещается в пространстве.

Стоячие волны - волны, видимая форма которых в пространстве не перемещается.

Система волн - ряд последовательных волн, имеющих одно происхождение.

Профиль волны (главный) - линия пересечения взволнованной поверхности с вертикальной плоскостью в направлении луча волны (рис. 1) .



Профиль и элементы волны

Средняя волновая линия - линия, пересекающая запись волновых колебаний так, что суммарные площади выше и ниже этой линии одинаковы. Для регулярной волны - горизонтальная линия, проведенная на уровне полусуммы отметок ее вершины и подошвы.

Гребень волны - часть волны, расположенная выше средней волновой линии.

Вершина волны - наивысшая точка гребня волны.

Ложбина волны - часть волны, расположенная ниже средней волновой линии.

Подошва волны - наинизшая точка ложбины волны.

Высота волны - превышение вершины волны над соседней подошвой на волновом профиле.

Длина волны - горизонтальное расстояние между вершинами двух смежных гребней на волновом профиле.

Период волны - интервал времени между прохождением двух смежных вершин волн через фиксированную вертикаль.

Фронт волны - линия на плане взволнованной поверхности, проходящая по вершинам гребня данной волны.

Луч волны - линия, перпендикулярная фронту волны в данной точке.

Скорость волны - скорость перемещения гребня волны в направлении ее распространения.

Расчетный шторм - шторм, наблюдающийся один раз в течение заданного ряда лет (25, 50 и 100) с такой скоростью, направлением, разгоном и продолжительностью действия ветра, при которых в расчетной точке формируются волны с максимальными за этот ряд элементами.

Расчетная скорость ветра (при определении элементов волн) - скорость ветра на высоте 10 м над уровнем воды.

Расчетный уровень воды - уровень, назначаемый с учетом сезонных и годовых колебаний, ветрового нагона воды, приливов и отливов.

Разгон волн - протяженность охваченной ветром акватории, измеренная по направлению ветра до расчетной точки.

Волновое давление - доля (составляющая) гидродинамического давления, обусловленная волнением на свободной поверхности жидкости. Волновое давление определяется как разность значений гидродинамического давления в данной точке пространства, занятого жидкостью, при наличии волн и при их отсутствии.

Основные буквенные обозначения

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

V_w — скорость ветра;

η_c — превышение вершины волны над расчетным уровнем;

η_t — понижение подошвы волны от расчетного уровня;

h — высота волны;

λ — длина волны;

k — волновое число;

T — период волны;

ω — круговая частота волны;

c — скорость волны;

h/λ — крутизна волны;

λ/h — пологость волны;

h_i, λ_i, T_i — соответственно высота, длина и период волн i %-ной обеспеченности в сис-

теме;

$\bar{h}, \bar{\lambda}, \bar{T}$ — соответственно средние высота, длина и период волн;

d — глубина воды при расчетном уровне;

d_{cr} — критическая глубина воды, при которой происходит первое обрушение волн;

$d_{cr,u}$ — глубина воды, при которой происходит последнее обрушение волн;

Q — сила от воздействия волн на сооружение, преграду;

P — линейная нагрузка (линейная распределенная нагрузка на единицу длины сооружения, преграды);

p — волновое давление;

ρ — плотность воды;

g — ускорение свободного падения;

φ — угол наклона откоса (или дна) к горизонту;

i — уклон дна.

V_w - скорость ветра;

η_c - превышение вершины волны над расчетным уровнем;

η_t - понижение подошвы волны от расчетного уровня;

h - высота волны;

λ - длина волны;

k - волновое число;

T - период волны;

ω - круговая частота волны;

c - скорость волны;

h/λ - крутизна волны;

λ/h - пологость волны;

h_i , λ_i , T_i - соответственно высота, длина и период волн i%-ной обеспеченности в системе;

$\bar{h}$, $\bar{\lambda}$, $\bar{T}$ - соответственно средние высота, длина и период волн;

d - глубина воды при расчетном уровне;

d_{cr} - критическая глубина воды, при которой происходит первое обрушение волн;

$d_{cr,u}$ - глубина воды, при которой происходит последнее обрушение волн;

Q - сила от воздействия волн на сооружение, преграду;

P - линейная нагрузка (линейная распределенная нагрузка на единицу длины сооружения, преграды);

p - волновое давление;

ρ - плотность воды;

g - ускорение свободного падения;

φ - угол наклона откоса (или дна) к горизонту;

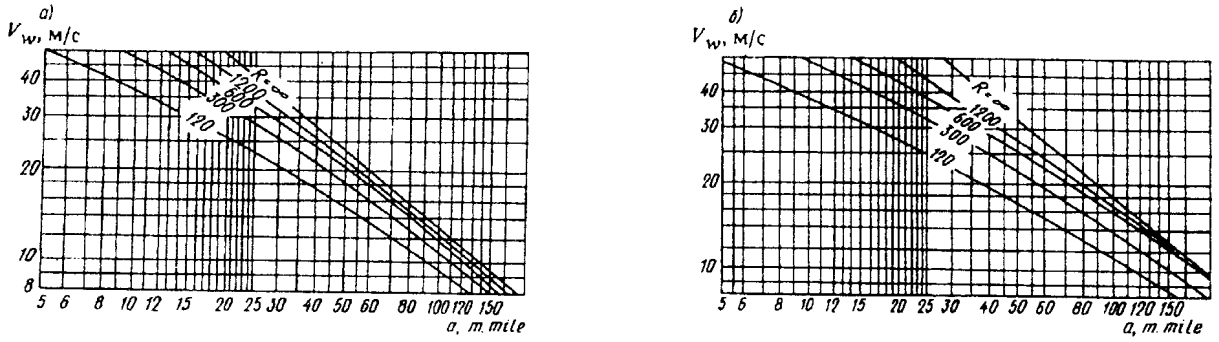
i - уклон дна.

Приложение 3*

Рекомендуемое

Определение пространственных характеристик ветра по данным синоптических карт

Пространственное распределение скорости ветра необходимо учитывать путем построения полей ветра, определяемых по данным синоптических карт. Расчетные скорости ветра допускается определять в соответствии с графиком (см. рисунок) для заданной географической широты φ , используя расстояние между изобарами a, m.mile, и радиус кривизны изобар R, m.mile. Направление ветра необходимо отклонять на угол 15 град от изобары в сторону низкого давления.



Графики для определения расчетной скорости ветра V_w, м/с, по данным синоптических карт при циклонических изобарах, проведенных через 0,5 кПа

а – $\varphi \geq 50^\circ$ с.ш.; *б* – $\varphi = 35 - 49^\circ$ с. ш.

Приложение 4*

Рекомендуемое

Испытание льда на одноосное сжатие

Отбор, изготовление и подготовка образцов к испытанию

Образцы льда отбираются из N слоев ледяного поля так, чтобы их длинные оси были перпендикулярны направлению роста кристаллов; при этом $N \geq 3$.

Образцы льда изготовляются в виде призм квадратного сечения или цилиндров круглого сечения с отношением высоты к ширине (диаметру), равным 2,5. Ширина образца должна не менее чем в 10 раз превышать средний поперечный размер кристалла, определяемый по данным кристаллографического исследования.

Отклонение размеров образцов от средних в серии не должно превышать $\pm 1\%$. Образцы должны иметь гладкую ровную поверхность без трещин, скопов, раковин, заусенцев и других дефектов.

Цилиндрические образцы следует изготовлять на токарном станке, а призматические - на горизонтально-фрезерном станке.

Грани призматических образцов рекомендуется обрабатывать попарно двумя фрезами, установленными на одном валу с расстоянием между ними, равным ширине образца при обработке боковых граней, и с расстоянием, равным высоте образца при обработке опорных граней.

Перед испытанием образцы исследуемого слоя выдерживаются не менее чем 1 ч при температуре слоя t_i , определяемой по опытным данным, а при их отсутствии - по формулам (116) и (117).

Оборудование

Испытательные машины должны быть устроены по типу машин с управляемой скоростью деформации. Наибольшая создаваемая машиной нагрузка должна не менее чем в два раза превышать разрушающую нагрузку для испытываемых образцов.

Испытательные машины должны иметь автоматическую запись кривой "нагрузка - деформация" и обеспечивать измерение нагрузки с погрешностью не более $\pm 5\%$.

Проведение испытаний

Образцы сжимаются вдоль длинных осей. Образцы исследуемого слоя испытываются при температуре t_i и постоянной скорости деформации, принимаемой для пресноводного льда равной $\varepsilon_c = 3 \cdot 10^{-4}$, c^{-1} , а для морского льда - по табл. 1.

Таблица 1

Температура льда в i-м слое t_i, °C	-2	-10	-15	-23 и ниже
Значение эпсилон_с x 10(4), с(-1)	0,5	1,5	2,0	3,0

Обработка результатов

Разрушающее напряжение (прочность на одноосное сжатие) для каждого образца C_j , МПа, вычисляется по формуле

$$C_j = \frac{\left(P_{max}\right)_j}{f} \quad , (163)$$

где $\left(P_{max}\right)_j$ - разрушающая (пиковая) нагрузка для j-го образца, определяемая по диаграмме "нагрузка - деформация", МН;

f - площадь первоначального поперечного сечения образца, $м^2$.

За результат испытания серии образцов исследуемого слоя принимается величина

$$C_i \pm \Delta_i \quad ,$$

где C_i - среднее (арифметическое) значение параллельных определений

прочности льда на одноосное сжатие, МПа, вычисляемое по формуле

$$C_i = \frac{1}{n} \sum_{j-i}^{n} C_j \quad ; (164)$$

Δ_i и n - обозначения те же, что в п. 5.2.

Графически результат испытания серии образцов исследуемого слоя изображается точкой и двумя равными отрезками, отложенными вверх и вниз от этой точки; точка соответствует среднему (арифметическому) значению предела прочности льда, а отрезок - среднему квадратическому отклонению случайной погрешности измерений. Указание количества испытанных образцов обязательно.

Примеры графического представления результатов испытаний нескольких серий образцов показаны на рис.1 и 2.

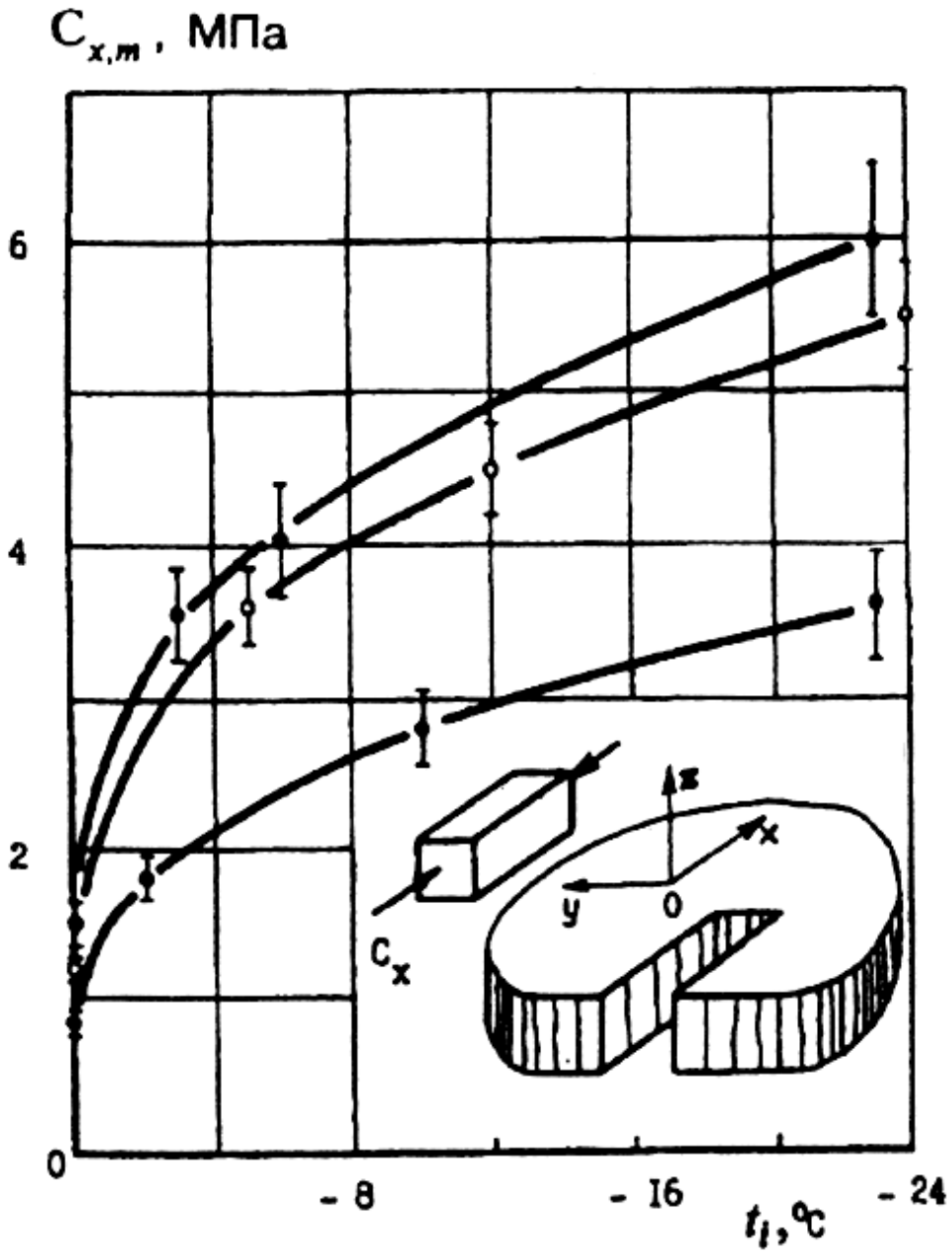


Рис. 1. Зависимость прочности пресноводного льда на одноосное сжатие (при переходе от пластического разрушения к хрупко-пластическому) от температуры (n = 5)

- ⊖ — призматический лед (размеры образцов 25 x 25 x 50 см);
- ○ — зернистый (снежный) лед (15 x 15 x 30 см);
- ● — волокнистый (шестовато-игольчатый) лед (22 x 22 x 45 см), n = 5.

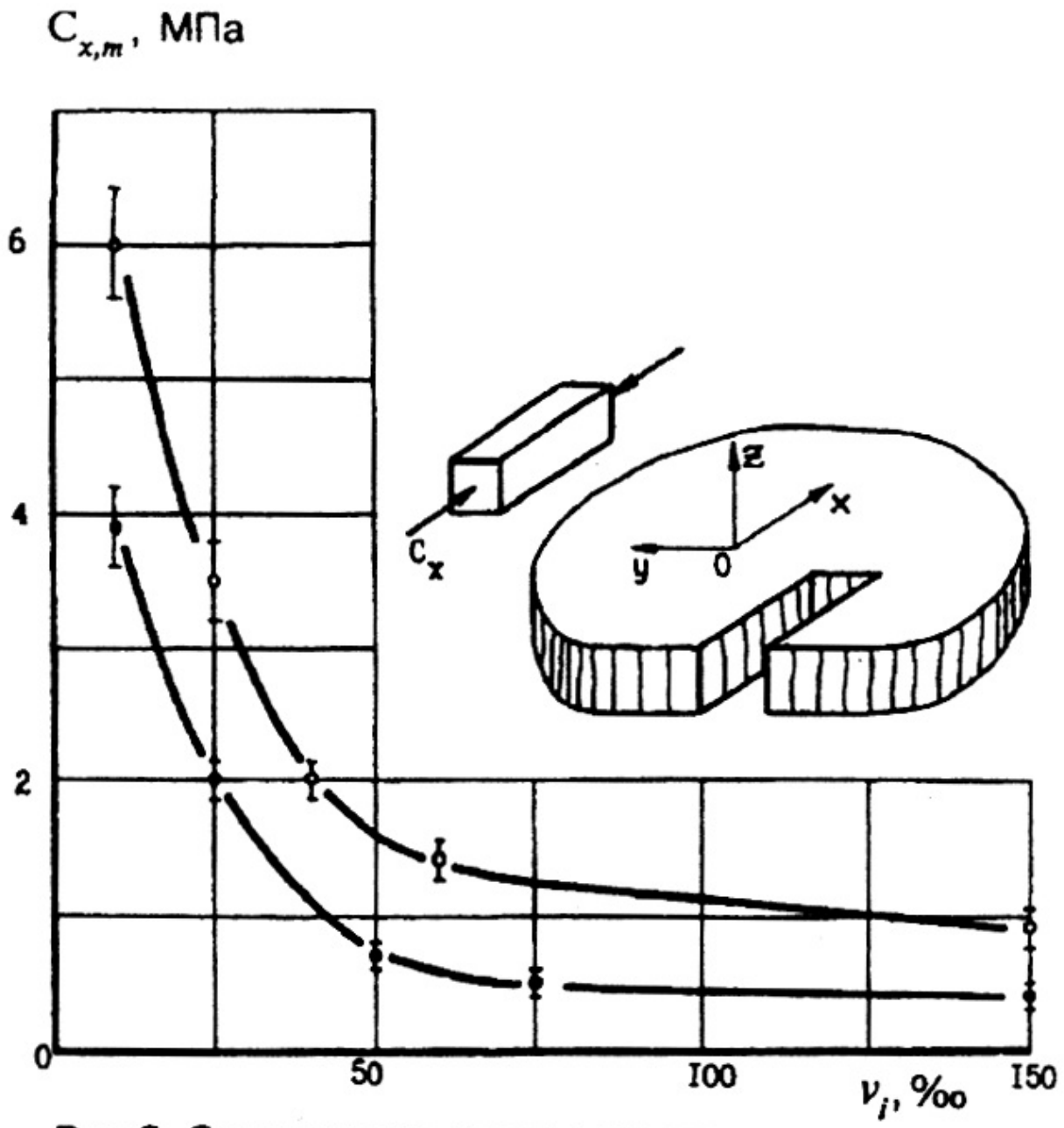


Рис.2. Зависимость прочности морского льда на одноосное сжатие (при переходе от пластического разрушения к хрупко-пластическому) от количества жидкой фазы (n = 5)

○ — зернистый лед;

● — волокнистый лед.

Размеры образцов 4 x 4 x 10 см, n = 5.