

Государственные нормативы в области архитектуры,
градостроительства и строительства
СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА РК

НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ
(ВОЛНОВЫЕ, ЛЕДОВЫЕ И ОТ СУДОВ) НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

СНиП РК 3.04-40-2006

Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства
Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан

Астана 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

- 1 РАЗРАБОТАНЫ ТОО «Казгидро»
2 ПРЕДСТАВЛЕНЫ Управлением технического нормирования и развития стройиндустрии
Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан (МИТ РК)
3 ПРИНЯТЫ И ВВЕДЕННЫ Приказом Комитета по делам строительства и ЖКХ МИТ РК
от 13.12.2006 г. № 450
В ДЕЙСТВИЕ с 1.06.2007 г.
4 ВЗАМЕН СНиП 2.06.04-82*

Проектная академия «KAZGOR» подготовила к изданию в соответствии с п. 6.7 РДС РК 1.01-02-2001 представленный контрольный экземпляр Государственного норматива согласно письма Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства МИТ РК от 27.12.06 № 04-05-1-4547 в редакции ответственного исполнителя - ТОО «Казгидро».

Реализация вопросов, касающихся содержания требований Государственного норматива, осуществляется согласно п. 6.1 РДС РК 1.01-01-2001.

Настоящий государственный норматив не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Уполномоченного органа по делам архитектуры, градостроительства и строительства РК.

ISBN

СОДЕРЖАНИЕ

- 1 Область применения
- 2 Нормативные ссылки
- 3 Термины и определения, основные буквенные обозначения
- 4 Общие требования
- 5 Нагрузки и воздействия волн на гидротехнические сооружения вертикального и откосного профилей
 - Нагрузки от стоячих волн на сооружения вертикального профиля
 - Нагрузки и воздействия волн на сооружения вертикального профиля и их элементы (особые случаи)
 - Нагрузки от разбивающихся и прибойных волн на сооружения вертикального профиля
 - Нагрузки и воздействия волн на сооружения откосного профиля
- 6 Нагрузки от волн на обтекаемые преграды и сквозные сооружения
 - Нагрузки от волн на вертикальную обтекаемую преграду
 - Нагрузки от волн на горизонтальную обтекаемую преграду
 - Нагрузки от разбивающихся волн на вертикальную обтекаемую преграду
 - Нагрузки от волн на сквозное сооружение из обтекаемых элементов
 - Нагрузки от волн на вертикальные цилиндры больших диаметров (особые случаи)
- 7 Нагрузки от ветровых волн на берегоукрепительные сооружения и судовых волн на крепления берегов каналов

Нагрузки от ветровых волн на берегоукрепительные сооружения
Нагрузки от судовых волн на крепления берегов каналов
8 Нагрузки от судов (плавучих объектов) на гидротехнические сооружения
Нагрузки от ветра, течения и волн на плавучие объекты
Нагрузки от навала пришвартованного судна на сооружение
Нагрузки от навала судна при подходе к сооружению
Нагрузки на сооружения от натяжения швартовов
9 Нагрузки и воздействия льда на гидротехнические сооружения
Нагрузки от ледяных полей на сооружения
Нагрузки и воздействия на сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении
Нагрузки на сооружения от зажорных масс льда
Нагрузки от примёрзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды
Нагрузки на сооружения от заторных масс льда
Приложение 1 (обязательное) Элементы волн на открытых и ограждённых акваториях
Приложение 2 (справочное) Формулы и таблицы настоящих норм в системе измерений МКГСС
Приложение 3 (рекомендуемое) Определение пространственных характеристик ветра по данным синоптических карт

СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА

НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ (ВОЛНОВЫЕ, ЛЕДОВЫЕ И ОТ СУДОВ)

Дата введения 2007.06.01

1 Область применения

Настоящие нормы и правила распространяются на проектирование вновь строящихся, расширяемых и реконструируемых гидротехнических сооружений.

2 Нормативные ссылки

2.1 В настоящих нормах и правилах приведены ссылки на следующие нормативно-технические документы:

СНиП 2.06.01-86 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования

СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия

СНиП РК 2.03-30-2006 Строительство в сейсмических районах

ГОСТ 19185-73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения

РД 31.31.55-93 Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений

П-44-89 ВНИИГ им. Веденеева. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения

3 Термины и определения, сновные буквенные обозначения

В настоящих нормах использованы термины по ГОСТ 19185, а также приведенные ниже:

3.1 гидротехнические сооружения: Сооружения, подвергающиеся воздействию водной среды, предназначенные для использования и охраны водных ресурсов, предотвращения вредного воздействия вод, в том числе загрязнённых жидкими отходами, включая плотины, здания гидроэлектростанций, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъёмники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений и разрушений берегов водохранилищ, берегов и дна русел рек; сооружения (дамбы), ограждающие золошлакоотвалы и хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций; устройства от размывов на каналах, сооружения морских нефтегазопромыслов, сооружения морских и речных портов (причальные и оградительные).

3.2 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.

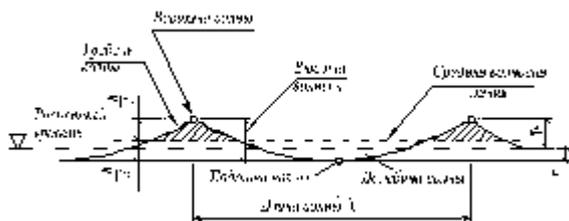
Регулярные волны - волны, высота и период которых остаются неизменными в данной точке пространства, занятого жидкостью.

Поступательные (бежущие) 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, проведённая на уровне полусуммы отметок её 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 её распространения.

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

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

Расчётный уровень воды - уровень, назначаемый с учётом сезонных и годовых колебаний, ветрового нагона воды, приливов и отливов.

Разгон волн - протяжённость охваченной ветром акватории, измеренная по направлению ветра до расчётной 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

V_w - скорость ветра;

η_c - превышение вершины волны над расчётным уровнем;

η_t - понижение подошвы волны расчётного 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 расчётном уровне;
 d_{cr} - критическая глубина воды, при которой происходит первое обрушение волн;
 d_{cru} - глубина воды, при которой происходит последнее обрушение волн;
 Q - сила от воздействия волн на сооружение, преграду;
 P - линейная нагрузка (линейная распределённая 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.

4 Общие требования

4.1 Настоящие нормы устанавливают нормативные значения нагрузок и воздействий от волн, льда и судов на гидротехнические сооружения. Расчётная нагрузка должна определяться как произведение нормативной нагрузки на коэффициент надёжности по нагрузкам γ_f , учитывающий возможное отклонение нагрузки в неблагоприятную сторону от её нормативного значения.

Основные расчётные положения, коэффициенты надёжности по нагрузкам γ_f , сочетания нагрузок γ_{lc} должны приниматься в соответствии с требованиями, приведенными в СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования».

Нагрузки от волн и льда на гидротехнические сооружения 1 класса, а также расчётные элементы волн на открытых и ограждённых акваториях необходимо уточнять на основе натурных наблюдений и лабораторных исследований.

Класс гидротехнических сооружений приведен в СНиП 2.06.01-86.

4.2 При проектировании гидротехнических сооружений в районах с сейсмичностью 7 и более баллов необходимо соблюдать требования СНиП РК 2.03-30-2006.

5 Нагрузки и воздействия волн на гидротехнические сооружения вертикального и откосного профилей

Нагрузки от стоячих волн на сооружения вертикального профиля

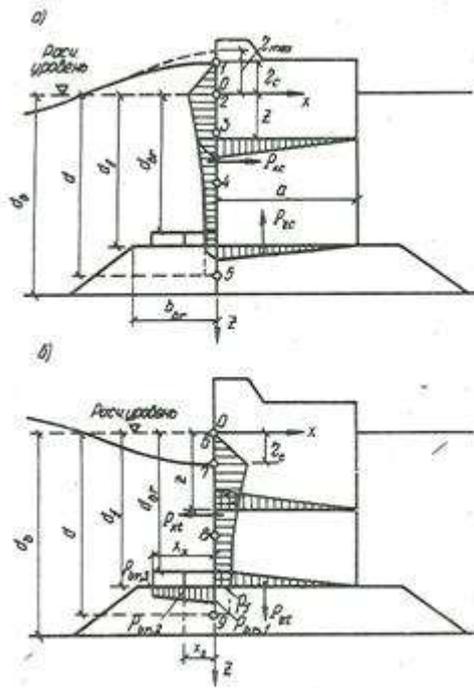
5.1 Расчёт сооружений на воздействие стоячих волн со стороны открытой акватории (рис. 1) должен производиться при глубинах $d_b > 1.5h$ и глубине над бермой $d_{br} \geq 1.25h$; при этом в формулах для свободной волновой поверхности и волнового давления вместо глубины до дна d_b , м, необходимо применять условную расчётную глубину d , м, определяемую по формуле:

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

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.



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

Рисунок 1 - Эпюры давления стоячих волн на вертикальную стену со стороны открытой акватории

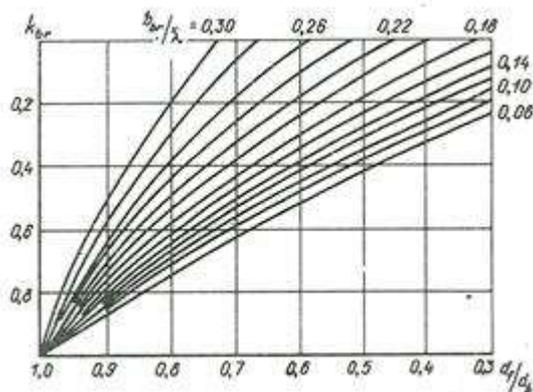


Рисунок 2 - Графики значений коэффициента k_{br} .

5.2 Возвышение или понижение свободной волновой поверхности η , м, у вертикальной стены, отсчитываемое от расчётного уровня воды, должно определяться по формуле:

$$\eta = -h \cos \omega t - \frac{kh^2}{2} \operatorname{cth} kd \cos^2 \omega t, \quad (2)$$

где $\omega = \frac{2\pi}{T}$ - круговая частота волны;
 T - средний период волны, с;
 t - время, с;

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

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

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

а) $\cos \omega t = 1$ - при подходе к стене вершины волны, возвышающейся над расчётным 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 расчётным уровнем на η_c , в этом случае значение $\cos \omega t$ должно определяться по формуле:

$$\cos \omega t = \frac{\bar{\lambda}}{\pi d (4kd - 3)}, \quad (3)$$

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

П р и м е ч а н и е - При $d/\bar{\lambda} \leq 0.2$ и во всех других случаях, когда по формуле (3) значение $\cos \omega t > 1$, необходимо в дальнейших расчётах принимать $\cos \omega t = 1$.

5.3 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 (4):

$$p = \rho g h e^{-kz} \cos \omega t - \rho g \frac{kh^2}{2} e^{-2kz} \cos^2 \omega t - \rho g \frac{kh^2}{2} (1 - e^{-2kz}) \cos 2\omega t - \rho g \frac{k^2 h^3}{2} e^{-3kz} \cdot \cos 2\omega t \cos \omega t, \quad (4)$$

где p - плотность воды, т/м³;

g - ускорение свободного падения, равное 9.81 м/с²;

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

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

5.4 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.

Т а б л и ц а 1

№ точек	Заглубление точек z , м	Значение волнового давления p , кПа
при гребне		
1	η_c	$p_1 = 0$
2	0	$p_2 = k_2 \rho g h$
3	$0.25 d$	$p_3 = k_3 \rho g h$
4	$0.5 d$	$p_4 = k_4 \rho g h$
5	d	$p_5 = k_5 \rho g h$
при ложбине		
6	0	$p_6 = 0$
7	η_t	$p_7 = -\rho g \eta_t$
8	$0.5 d$	$p_8 = -k_8 \rho g h$
9	d	$p_9 = -k_9 \rho g h$

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

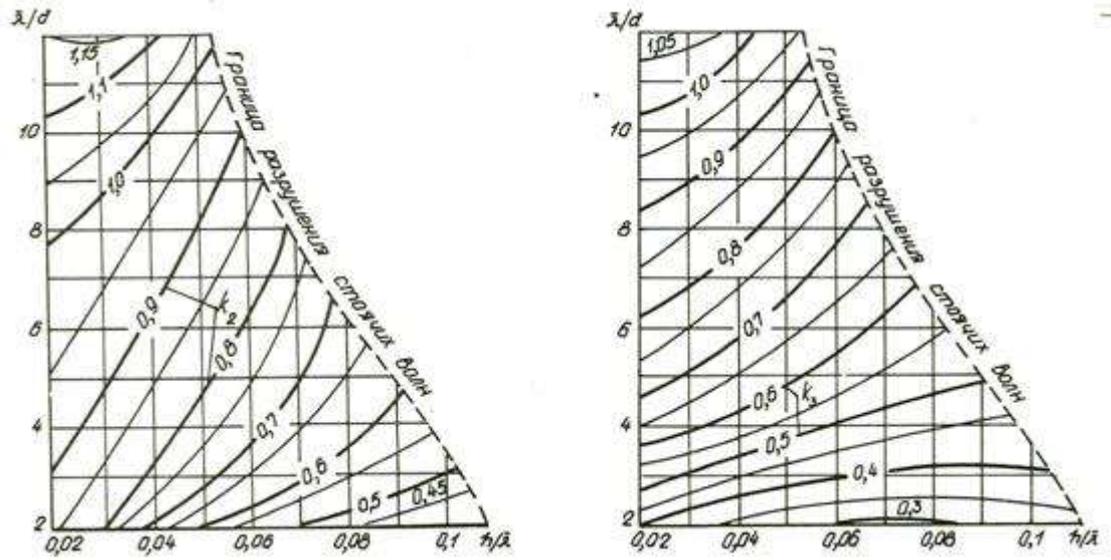


Рисунок 3 - Графики значений коэффициентов k_2 и

k_3

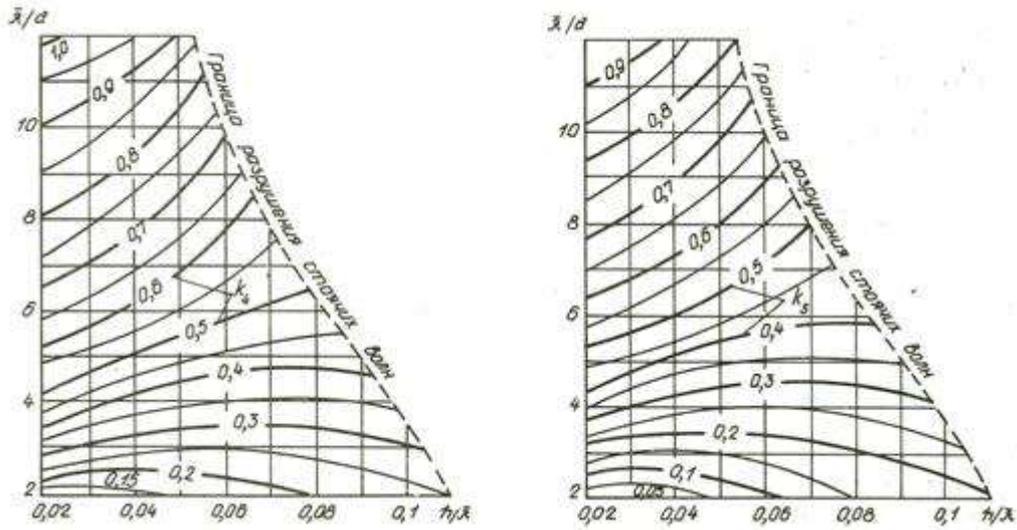


Рисунок 4 - Графики значений коэффициентов k_4 и k_5

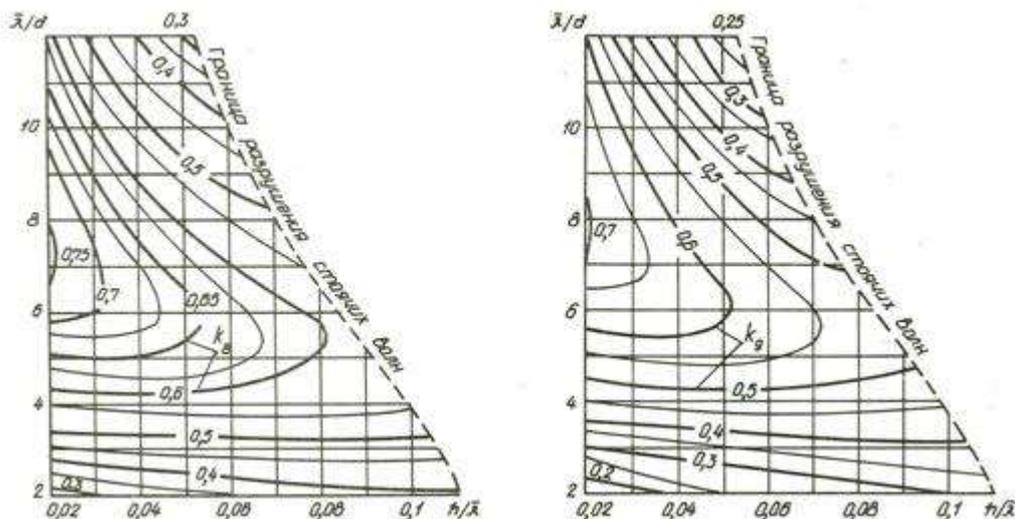


Рисунок 5 - Графики значений коэффициентов k_8 и k_9

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

5.5 Волновое давление p , кПа, на вертикальную стену с возвышением над расчётным уровнем верха сооружения z_{sup} , м, на величину менее η_{max} , м, следует определять согласно пп. 5.3 и 5.4 с последующим умножением полученных значений давления на коэффициент k_c , определяемый по формуле:

$$k_c = 0.76 \pm 0.19 \frac{z_{sup}}{h} \quad (5)$$

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

Возвышение или понижение свободной волновой поверхности η , определённое по п. 5.2 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.

5.6 При подходе фронта волны к сооружению под углом α , град, со стороны открытой акватории (в расчётах устойчивости сооружения и прочности грунтов основания) линейную волновую нагрузку на вертикальную стену, определённую согласно пп. 5.3 и 5.4, необходимо уменьшать путём умножения её на коэффициент k_{cs} , принимаемый равным:

α , 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° , волновую нагрузку на секцию сооружения следует определять согласно п. 5.7.

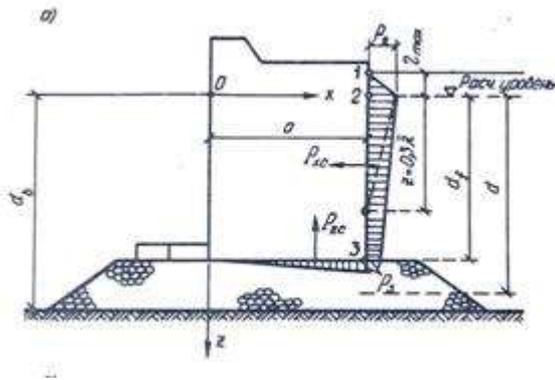
5.7 Горизонтальную нагрузку от дифрагированных волн со стороны ограждённой акватории следует определять при относительной длине секции сооружения $l/\bar{\lambda} \leq 0.8$; при этом расчётную эпюру волнового давления со значениями p , кПа, допускается выполнять по трём точкам, рассматривая следующие случаи:

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

$$z_1 = \eta_{\max} = -\frac{h_{dif}}{2} - \frac{kh^2_{dif}}{8} cthkd, \quad p_1 = 0, \quad (6)$$

$$z_2 = 0, \quad p_2 = k_1 p g \left(\frac{h_{dif}}{2} - \frac{kh^2_{dif}}{8} cthkd \right), \quad (7)$$

$$z_3 = d_f, \quad p_3 = k_1 p g \left(\frac{h_{dif}}{2chkd} - \frac{kh^2_{dif}}{4sh2kd} \right), \quad (8)$$



а) при гребне волны

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

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

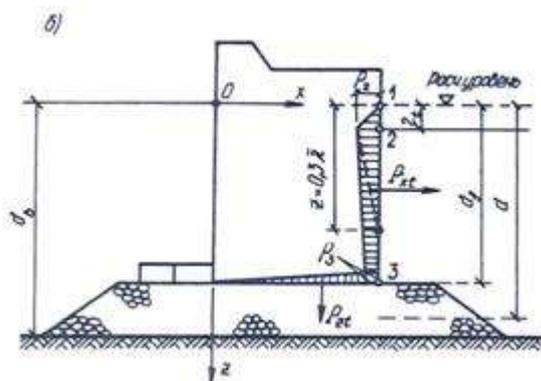
$$z_2 = \eta_t = \frac{h_{dif}}{2} - \frac{kh^2_{dif}}{8} cthkd, \quad p_2 = -k_1 p g \eta_t, \quad (10)$$

$$z_3 = d_f, \quad p_3 = -k_1 p g \left(\frac{h_{dif}}{2chkd} + \frac{kh^2_{dif}}{4sh2kd} \right), \quad (11)$$

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

k_1 - коэффициент, принимаемый по табл. 2.

5.8 Взвешивающее волновое давление в горизонтальных швах массивной 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.



б) при ложбине волны

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

Т а б л и ц а 2

Относительная длина секции $l/\bar{\lambda}$	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

П р и м е ч а н и е - При глубине со стороны ограждённой акватории $d \geq 0.3\bar{\lambda}$ следует строить треугольную эпюру волнового давления, принимая на глубине $z_T = 0.3\bar{\lambda}$ волновое давление равным нулю (см. рис. 6).

5.9 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:

$$v_{b,max} = \frac{2k_{sl}\bar{H}}{\sqrt{\frac{\pi - \lambda \operatorname{sh} 2kd_0}{g}}}, \quad (12)$$

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

Т а б л и ц а 3

Пологость волны, $\bar{\lambda}/h$	8	10	15	20	30
Коэффициент, k_{sl}	0.6	0.7	0.75	0.8	1

Допускаемые значения неразрывающихся 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.

5.10 Эпюра взвешивающего волнового давления на берменные массивы должна приниматься трапециевидальной, согласно рис. 16, с ординатами $P_{br,i}$, кПа, определяемыми (при $I = 1, 2$ или 3) по формуле:

$$P_{br,i} = k_{br} p g h \frac{c h k (d - d_f)}{c h k d} \cos k x_i \leq p_f, \quad (13)$$

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.

Нагрузки от разбивающихся и прибойных волн на сооружения вертикального профиля

5.11 Расчёт сооружений на воздействие разбивающихся волн со стороны открытой акватории должен производиться при глубине над бермой $d_{br} < 1.25 h$ и глубине до дна $d_b \leq 1.5 h$ (рис. 8).

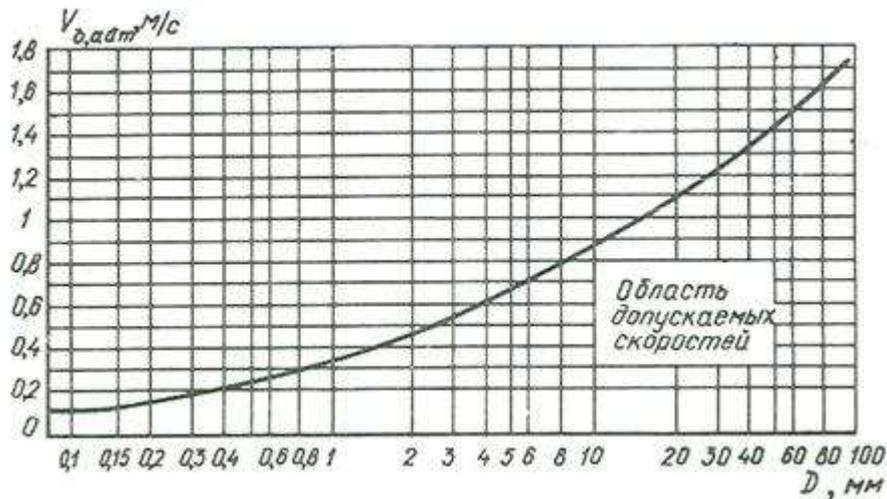


Рисунок 7 - График допустимых значений неразмывающих донных скоростей

Т а б л и ц а 4

Относительная глубина $d/\bar{\lambda}$	Коэффициент k_{br} при пологостях волн $\bar{\lambda}/h$	
	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

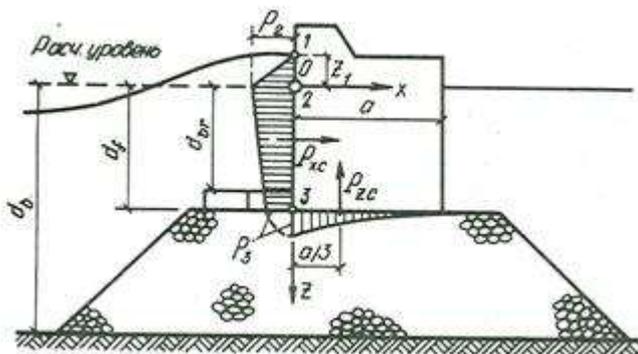


Рисунок 8 - Эпюры давления разбивающихся волн на вертикальную стену

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:

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

$$z_2 = 0, \quad p_2 = 1,5 pgh, \quad (15)$$

$$z_3 = df, \quad p_3 = \frac{pgh}{chkd_f} \quad (16)$$

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.

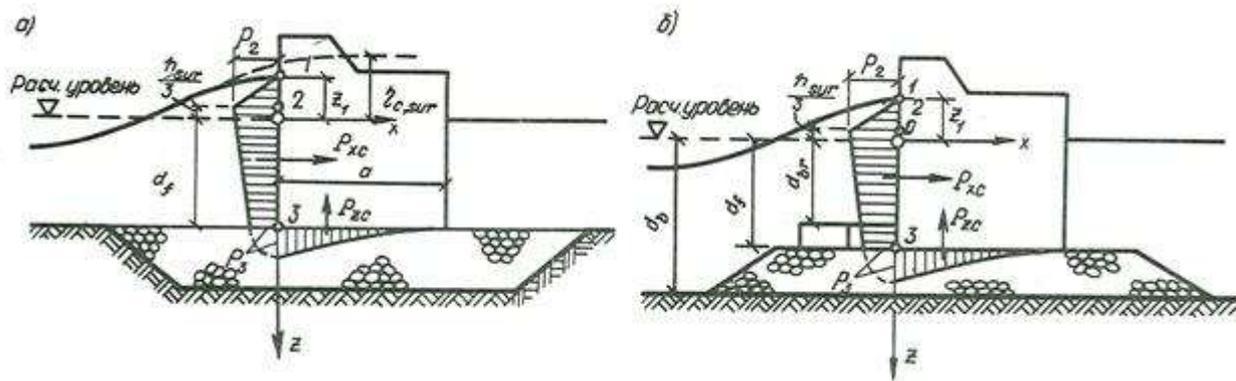
Т а б л и ц а 5

$\frac{a}{d_b - d_f}$	≤ 3	5	7	9
Коэффициент μ	0.7	0.8	0.9	1.0

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

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

5.12 Расчёт сооружений на воздействие прибойных волн со стороны открытой акватории должен производиться при глубине $d_b \leq d_{cr}$ на примыкающем к стене участке дна протяжённостью не менее $0.5 \bar{\lambda}$, м (рис. 9).



а) с верхом постели на уровне дна

б) с возвышающейся над дном постелью

Рисунок 9 - Эпюры давления прибойных волн на вертикальную стену.

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

$$z_1 = -h_{sur}, \quad p_1 = 0, \quad (20)$$

$$z_2 = -\frac{1}{3}h_{sur}, \quad p_2 = 1.5 \rho g h_{sur}, \quad (21)$$

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

где $\bar{\lambda}_{sur}$ - средняя длина прибойной 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 $v_{b,max}$, перед вертикальной стеной со стороны открытой акватории должна определяться по формуле:

$$V_{d,max} = \sqrt{\frac{gh_{sur}}{ch \frac{2\pi}{\lambda_{sur}} d_f}}, \quad (24)$$

5.13 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

5.14 Высоту наката на откос волн обеспеченностью 1 % по накату ($h_{run\ 1\%}$, м) для фронтально подходящих волн при глубине перед сооружением $d \geq 2 h_{1\%}$ 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 $d < 2 h_{1\%}$ коэффициент k_{run} необходимо принимать для значений пологости волны, указанной на рис. 10 в скобках и определяемой при глубине $d = 2 h_{1\%}$.

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.

Т а б л и ц а 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

П р и м е ч а н и е - Характерный размер шероховатости r , м, следует принимать равным среднему размеру зёрен материала крепления откоса или среднему размеру бетонных (железобетонных) блоков.

Т а б л и ц а 7

Значение $ctg \varphi$	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	0.8	0.6

П р и м е ч а н и е - φ - угол наклона откоса к горизонту, град.

Т а б л и ц а 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

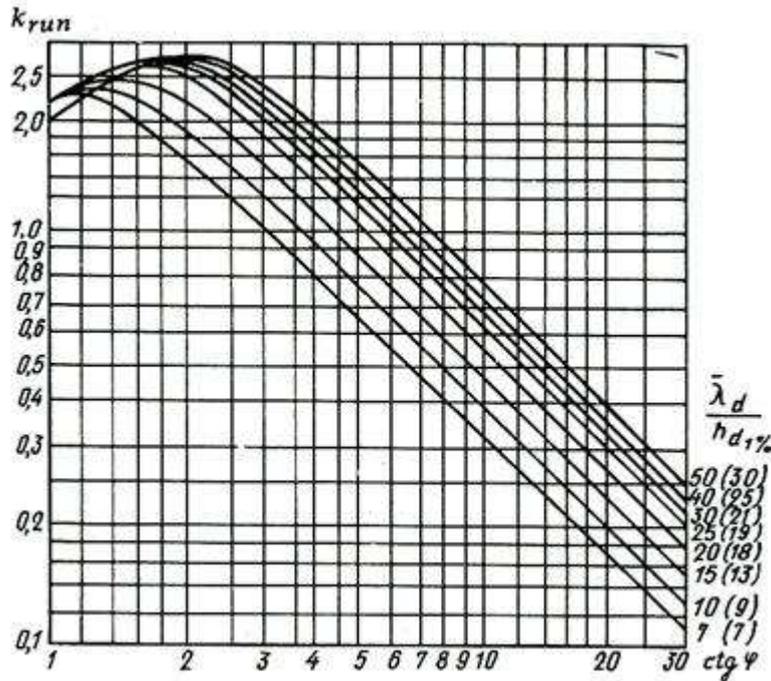


Рисунок 10 - Графики значений коэффициентов k_{run}

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.

Т а б л и ц а 9

Значение угла α , град.	0	10	20	30	40	50	60
Коэффициент k_α	1	0.98	0.96	0.92	0.87	0.82	0.76

П р и м е ч а н и е - 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 $0.3 h$, 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 $d = d_{cr,uz}$ м, - для неразмываемых грунтов (где h , d_{cr} и $d_{cr,uz}$ - соответственно высота волны и глубина воды в створах первого и последнего обрушений, м).

5.15 Эпюра волнового давления на откос при $1.5 \leq ctg\varphi \leq 5$, укрепленный монолитными плитами, должна приниматься по рис. 11, при этом максимальное расчетное волновое давление p_d , кПа, необходимо определять по формуле:

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

где k_s - коэффициент, определяемый по формуле:

$$k_s = 0.85 + 4.8 \frac{h}{\lambda} + ctg\varphi (0.028 - 1.15 \frac{h}{\lambda}), \quad (27)$$

k_f - коэффициент, принимаемый по табл. 10.

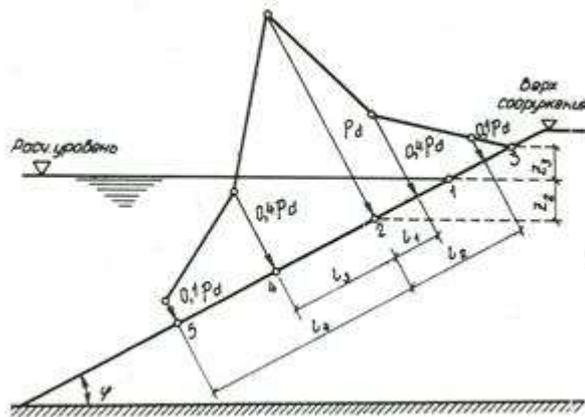


Рисунок 11 - Эпюра максимального расчетного волнового давления на откос, укрепленный плитами Т а б л и ц а 10

Пологость волны $\bar{\lambda} / h$	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.

Т а б л и ц а 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 точки z_2 , м, точки 2 приложения максимального расчётного волнового давления p_d должна определяться по формуле:

$$z_2 = A + \frac{1}{ctg^2\varphi} (1 - \sqrt{2ctg^2\varphi + 1})(A + B), \quad (28)$$

где A и B - величины, м, определяемые по формулам:

$$A = h \left(0,47 + 0,023 \frac{\bar{\lambda}}{h} \right) \frac{1 + ctg^2\varphi}{ctg^2\varphi}, \quad (29)$$

$$B = h \left[0,95 - (0,84ctg\varphi - 0,25) \frac{h}{\bar{\lambda}} \right] \quad (30)$$

Ордината z_3 , м, соответствующая высоте наката волн на откос, должна определяться согласно п. 5.14.

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

$$\begin{aligned} \text{при } l_1 = 0.0125 L_\varphi, \text{ и } l_3 = 0.0265 L_\varphi, \quad p = 0.4 p_d, \\ \text{при } l_2 = 0.0325 L_\varphi, \text{ и } l_4 = 0.0675 L_\varphi, \quad p = 0.1 p_d, \end{aligned}$$

где $L_\varphi = \frac{\bar{\lambda} ctg\varphi}{\sqrt{ctg^2\varphi - 1}}, \quad (31)$

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

$$p_c = k_f k_p p_{c,rel} \rho g h \quad (32)$$

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

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

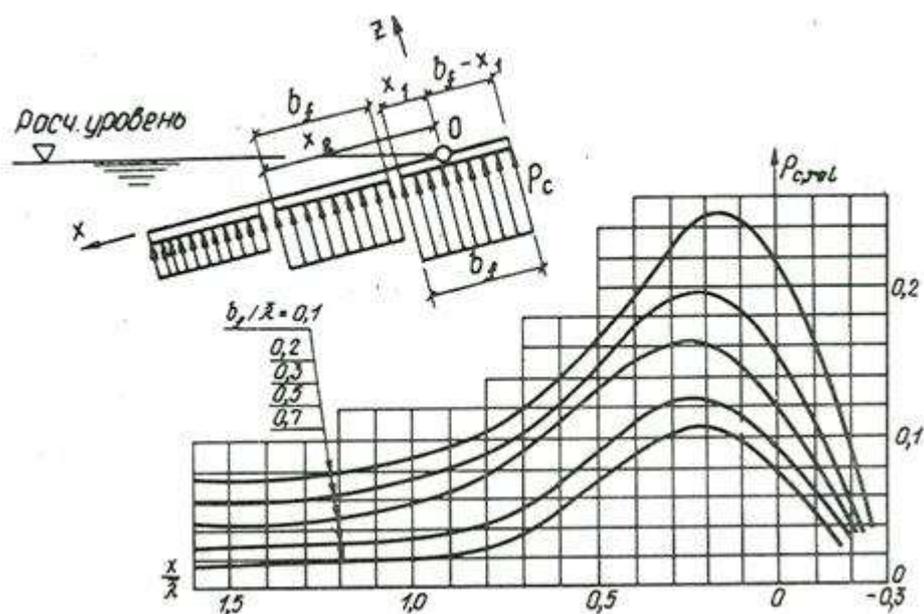


Рисунок 12 - Графики для определения относительного волнового противодействия

5.17 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:

$$m = \frac{3,16 k_p p_m h^3}{\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)^3 \sqrt{1 + ctg^3 \varphi}} \sqrt{\frac{\lambda}{h}} \quad (33)$$

то же, при $z > 0.7h$ по формуле:

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

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

p_m - плотность камня, т/м³;

К массе камня, определённой по формулам (33) и (34), должен вводиться коэффициент надёжности по ответственности сооружения γ_n , определяемый по СНиП 2.06.01-86 в зависимости от класса сооружения.

Т а б л и ц а 12

Элементы крепления	Коэффициент k_{fr}	
	при наброске	при укладке
Камень	0.025	-
Обыкновенные бетонные блоки	0.021	-
Массивы с прорезями	0.016	-
Тетраподы	0.008	0.006
Гексалеги	0.007	0.004
Гексабиты и пентаподы	0.005	0.004
Долосы	0.004	0.003

5.18 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.5.17, т;

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

$D_{ba,i}$ и D_{ba} - диаметры 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 $3 \leq \text{ctg } \varphi \leq 5$, а высота расчётной волны - 3 м и менее.

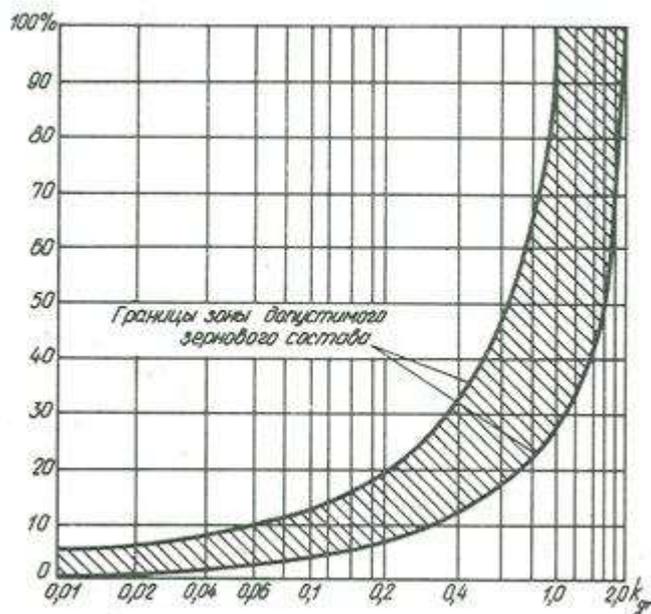


Рисунок 13 - График для определения допустимого зернового состава несортированной каменной наброски для крепления откосов

5.19 При пологости откосов $ctg\varphi > 5$, укрепляемых несортированной разнозернистой каменной наброской, расчётную 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.12 а*.

Т а б л и ц а 12а*

$ctg \varphi$	6	8	10	12	15
Коэффициент k_φ при $\bar{\lambda}/h \geq 10$	0.78	0.52	0.43	0.25	0.2

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

Т а б л и ц а 12 б*

Коэффициент разнозернистости D_{60}/D_{10}	5	10	20	40 ÷ 100
Минимальное содержание фракций диаметром D_{ba} , % (по весу)	50	30	25	20

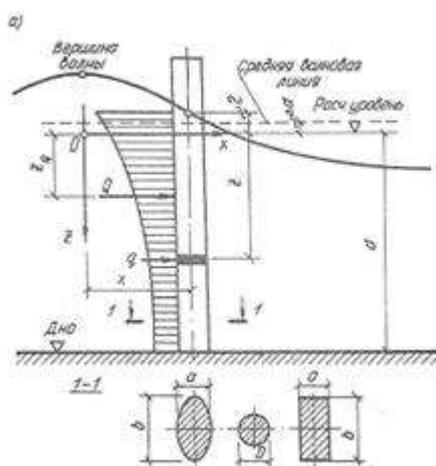
6 Нагрузки от волн на обтекаемые преграды и сквозные сооружения

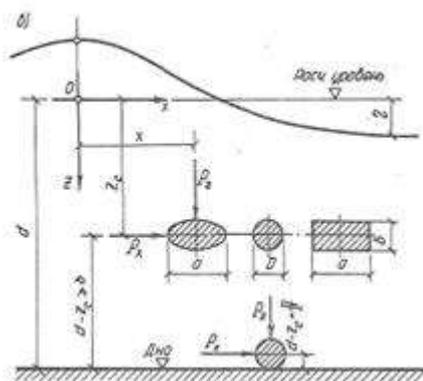
Нагрузки от волн на вертикальную обтекаемую преграду

6.1 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 $\alpha = x/\lambda$, 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) вертикальные
б) горизонтальные

Рисунок 14 - Схемы к определению волновых нагрузок на обтекаемые преграды

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

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

где 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 расчётной волны, принимаемые согласно п.4 обязательного Приложения 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.

Т а б л и ц а 13

Относительный размер преграды $a/\lambda, b/\lambda, D/\lambda$	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

П р и м е ч а н и я

1) Расчёт сквозных сооружений или отдельно стоящих обтекаемых преград на нагрузки от волн должен производиться, как правило, с учётом 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 - уточнённые 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

$$\frac{Q_{i,max}}{Q_{v,max}} \geq 2$$

преграду при значении $Q_{v,max}$ 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 α .

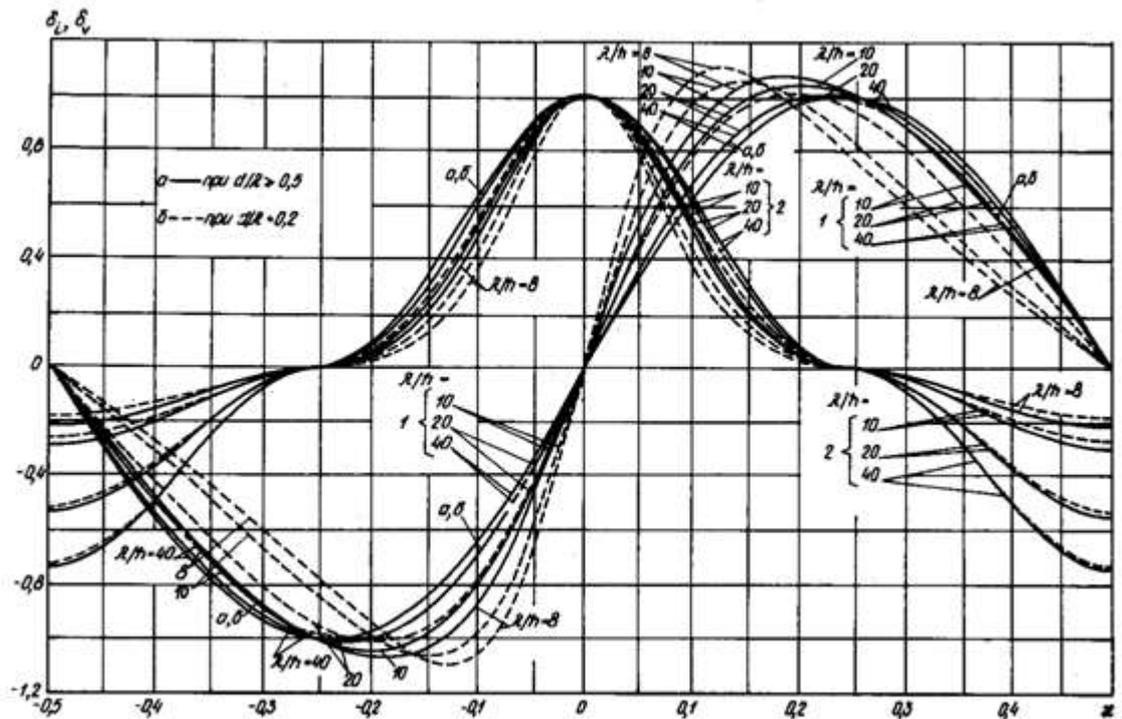


Рисунок 15 - Графики значений коэффициентов сочетания инерционного δ_i (графики 1) и скоростного δ_v (графики 2) компонентов силы от воздействия волн

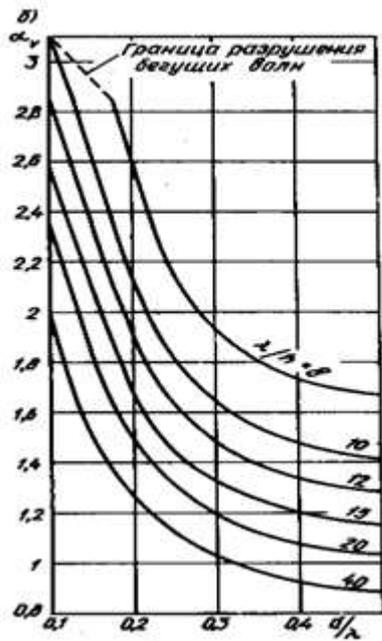
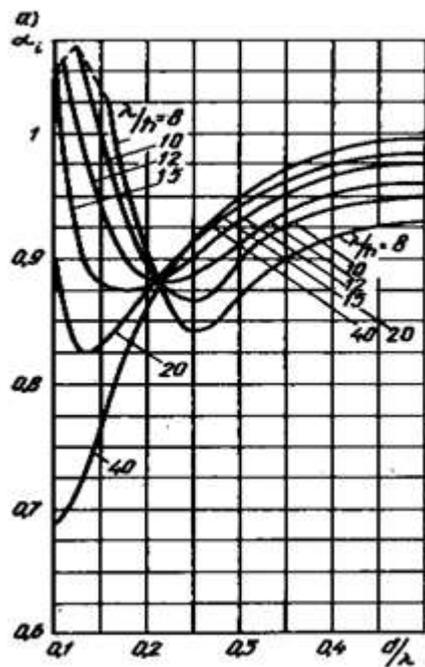
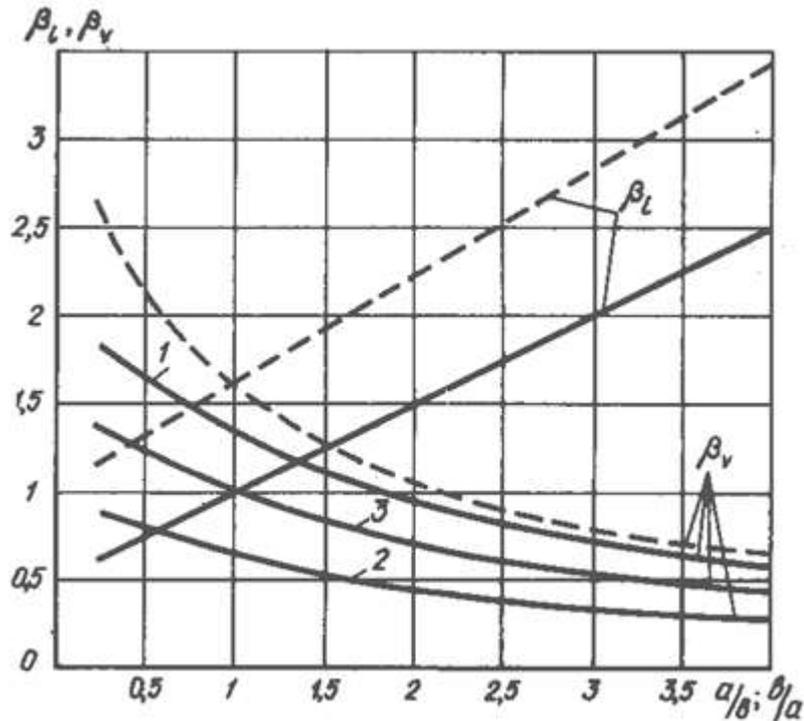


Рисунок 16 - Графики значений инерционного α_i и скоростного α_v коэффициентов глубины



1 - для шероховатой эллиптической преграды; 2 - гладкой;
3 - шероховатой в подводной и гладкой в надводной частях вертикальной эллиптической преграды.

Рисунок 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)

6.2 Линейную нагрузку от волн q , кН/м, на вертикально 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:

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

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

где 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 a согласно п. 6.1;

θ_{xi} и θ_{xv} - коэффициенты линейной нагрузки от волн, принимаемые по графикам а и б

рис. 19 при значениях относительной глубины $z_{rel} = \frac{d-z}{d}$;

6.3 Превышение взволнованной поверхности η , м, над расчётным уровнем должно определяться по формуле:

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

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

Превышение средней волновой линии над расчётным уровнем Δd , м, следует определять по формуле:

$$\Delta d = (\eta_{c,rel} + 0.5)h, \quad (45)$$

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

6.4 Нагрузки от волн Q и q на вертикальную обтекаемую преграду при любом её расположении x , м, относительно вершины волны, следует определять по формулам (36) и (41). При этом коэффициенты δ_i и δ_v должны приниматься по графикам 1 и 2 рис. 15; а δ_{xi} и δ_{xv} - по графикам 1 и 2 рис. 18 для данного значения $\alpha = x/\lambda$.

6.5 Расстояние $z_{Q,max}$, м, от расчётного уровня воды до точки приложения максимальной силы от действия волн на вертикальную обтекаемую преграду Q_{max} необходимо определять по формуле:

$$z_{Q,max} = \frac{1}{Q_{max}} (Q_{max} \delta_i z_{Q,i} + Q_{v,max} \delta_v z_{Q,v}), \quad (46)$$

где δ_i и δ_v - коэффициенты, принимаемые по графикам 1 и 2 рис.15 при α , соответствующем Q_{max} ;

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

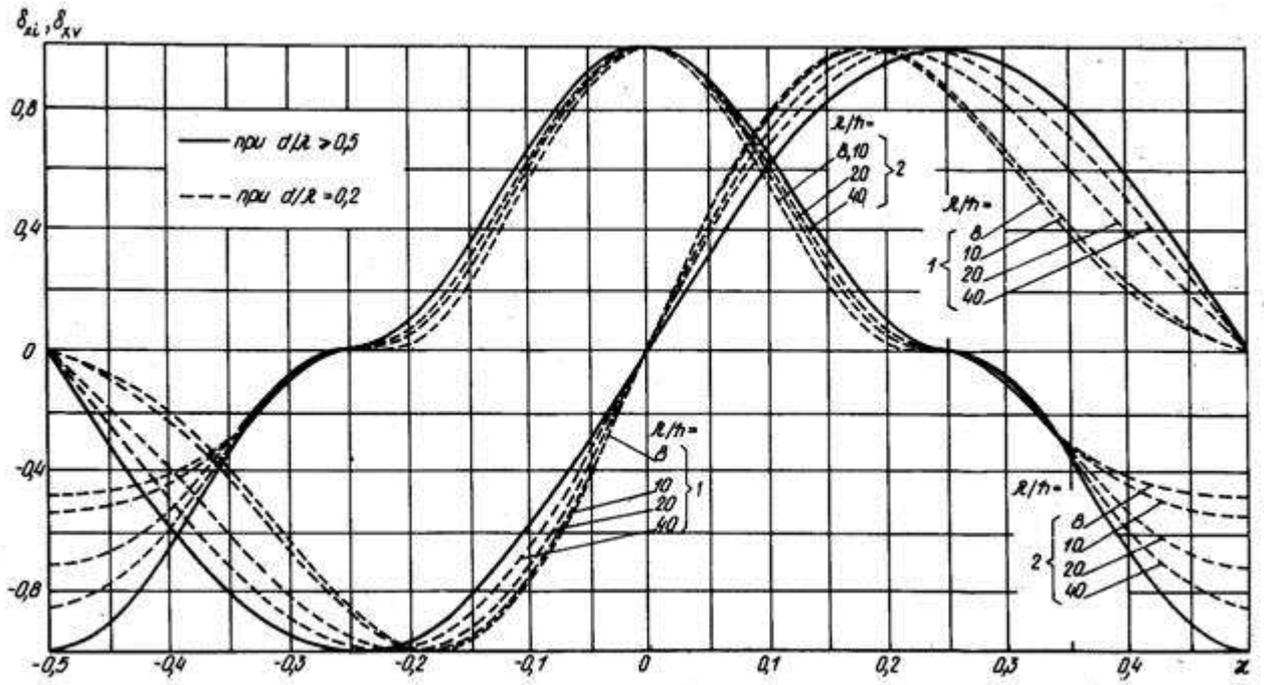
$$z_{Q,i} = \mu_i \xi_{i,rel} \lambda, \quad (47)$$

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

где $\xi_{i,rel}$ и $\xi_{v,rel}$ - 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.

Расстояние z_Q расчётного 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 $\alpha = x/\lambda$.



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

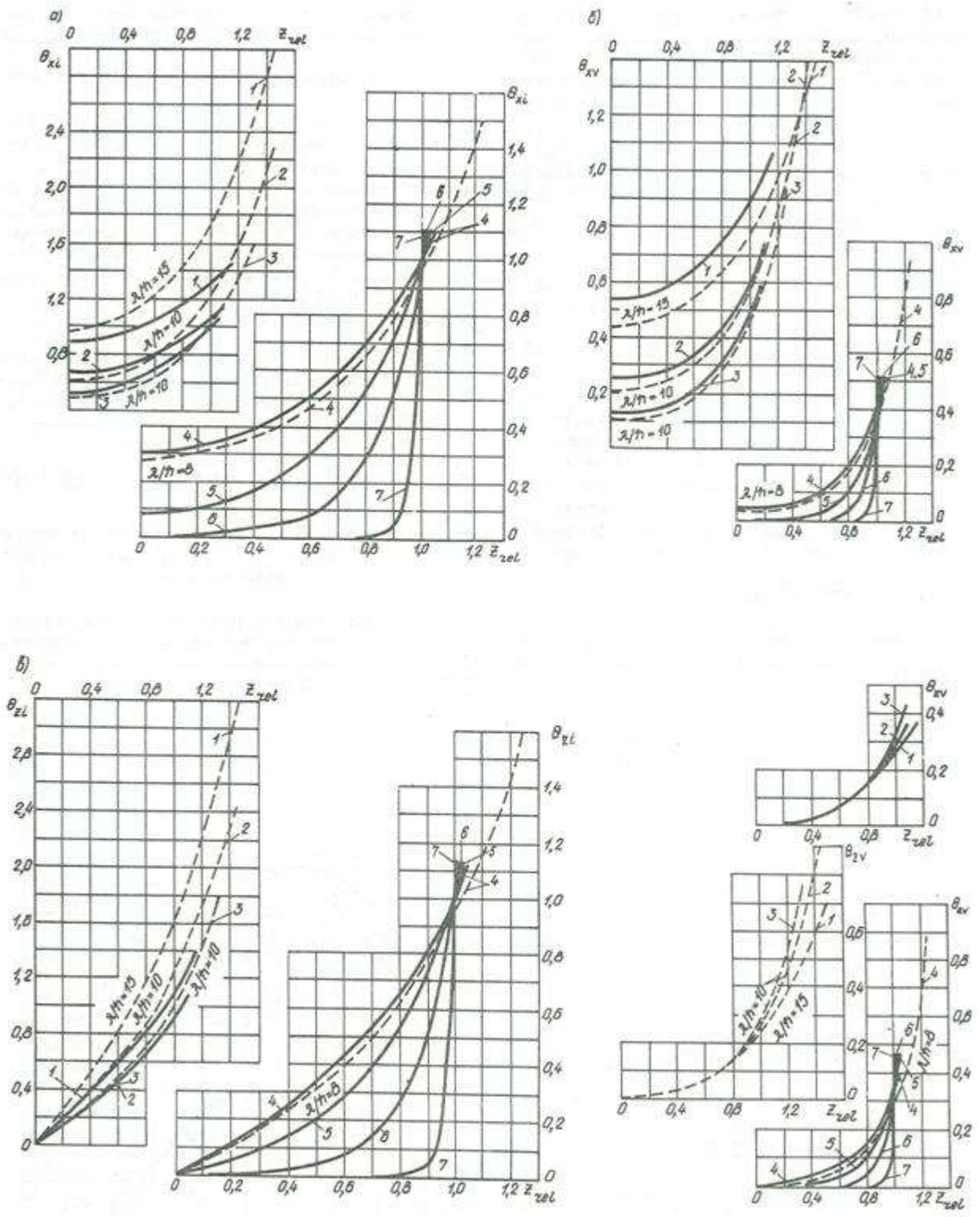


Рисунок 19 - Графики коэффициентов линейной нагрузки от волн θ_{xi} , θ_{xv} , θ_{zi} , θ_{zv} при d/λ : 1) 0.1; 2) 0.15; 3) 0.2; 4) 0.3; 5) 0.5; 6) 1; 7) 5 и $\lambda/h = 40$ - сплошные линии; $\lambda/h = 8 \div 15$ - штриховые

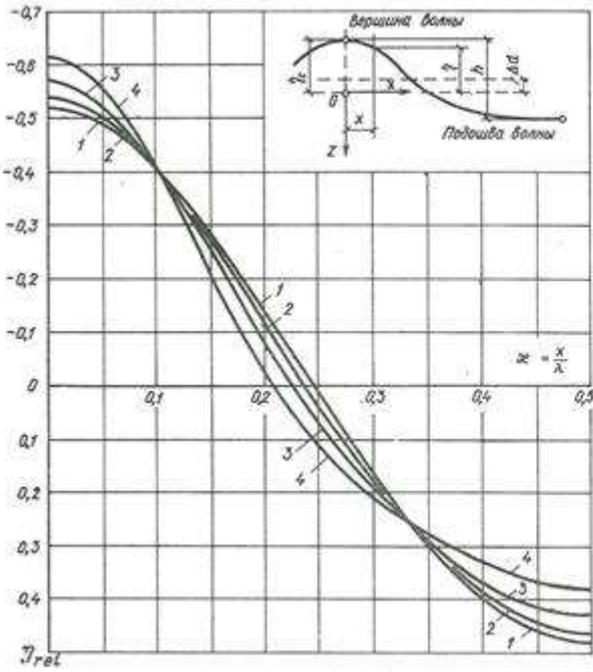


Рисунок 20 - Графики значений коэффициента η_{rel}

- 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 $\lambda/h = 10$

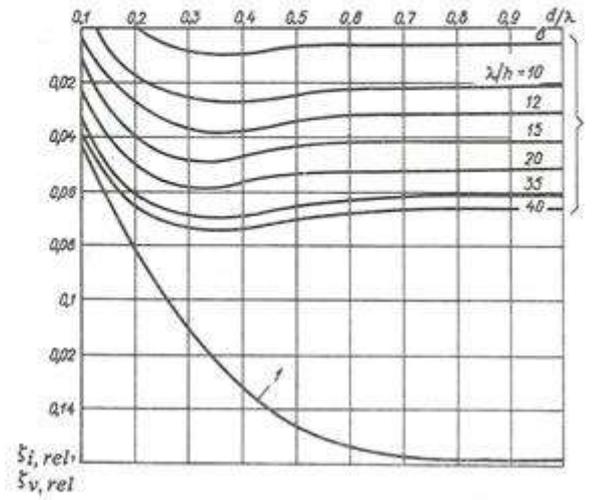


Рисунок 21 - Графики значений относительных ординат:

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

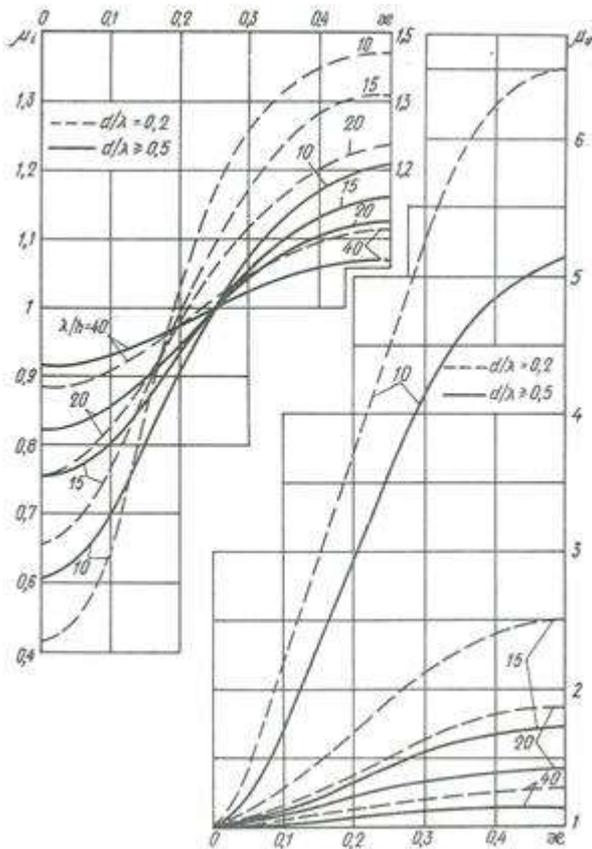


Рисунок 22 - Графики значений инерционного μ_i и скоростного μ_v коэффициента фазы

Нагрузки от волн на горизонтальную обтекаемую преграду

6.6 Максимальное значение равнодействующей линейной нагрузки от волн P_{max} , кН/м, на горизонтальную обтекаемую преграду (см. рис.14,б) с поперечными размерами $a \leq 0.1 \lambda$, м, и $b \leq 0.1 \lambda$, м, при $z \geq b$, но $(z_c - b/2) > h/2$ и при $(d - z_c) \geq b$ 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 $\alpha = x/\lambda$, принимаемой согласно рис. 18 и 23.

6.7 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 α , 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, определяемое 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 значении α согласно п. 6.1;

θ_{xi} и θ_{xv} - обозначения те же, что и в п. 6.2;

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 составляющей нагрузки.

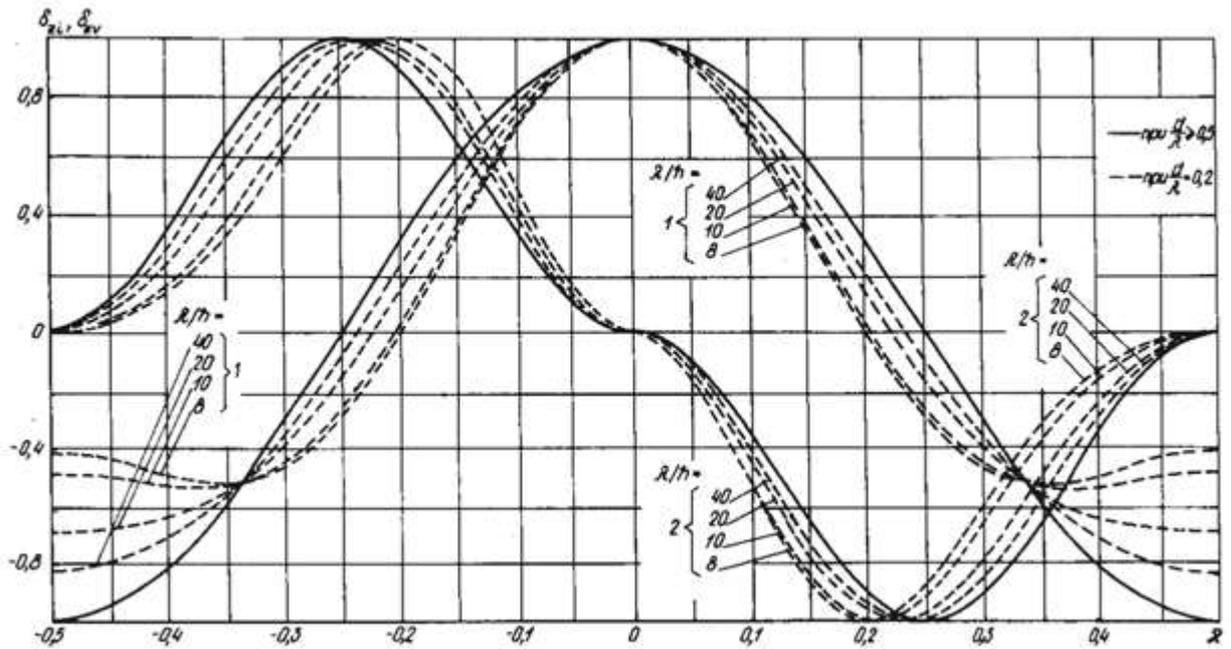


Рисунок 23 - Графики значений коэффициентов сочетания δ_{zi} инерционного (графики 1) и δ_{zv} - скоростного (графики 2) компонентов вертикальной линейной нагрузки от волн

6.8 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 α , 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 значении α согласно п. 6.1;

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

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

β_i и β_v - обозначения те же, что и в п. 6.7.

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

6.10 Максимальное значение равнодействующей линейной нагрузки от волн P_{max} , кН/м, на лежащую на дне цилиндрическую преграду (см. рис.146), диаметр которой $D \leq 0.1 \lambda$, м, и $D \leq 0.1 d$, 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.

6.11 Максимальную горизонтальную $P_{x,max}$ кН/м, и соответствующую вертикальную $P_{z,max}$ 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 инерционная и скоростная 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. 6.7.

Максимальную вертикальную $P_{z,max}$ кН/м, и соответствующую горизонтальную $P_{x,max}$ кН/м, проекции линейной нагрузки от волн необходимо принимать равными:

$$P_{z,max} = -\frac{9}{5} P_{xv}, \quad \text{и} \quad P_x = P_{xv},$$

Нагрузки от разбивающихся волн на вертикальную обтекаемую преграду

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

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

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

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

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

где h_{sur} - высота (трансформированной) волны, м, при первом обрушении в мелководной зоне с соблюдением условия $h_{sur} \leq 0.8 d_t$;

$\eta_{c,sw}$ - превышение над расчётным 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.

6.13 Линейную нагрузку от разбивающихся волн q_{cr} , кН/м, на вертикальную цилиндрическую преграду на глубине z , м, от расчётного 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:

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

$$q_{v,cr} = \frac{2}{5} \rho g D (d_{cr} + \eta_{c,sw}) \varepsilon_{v,cr}, \quad (66)$$

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

П р и м е ч а н и е - Коэффициенты $\delta_{i,cr}$ (рис. 24б) и $\varepsilon_{i,cr}$ (рис. 25а) следует принимать положительными при $x/d_t > 0$ и отрицательными при $x/d_t < 0$.

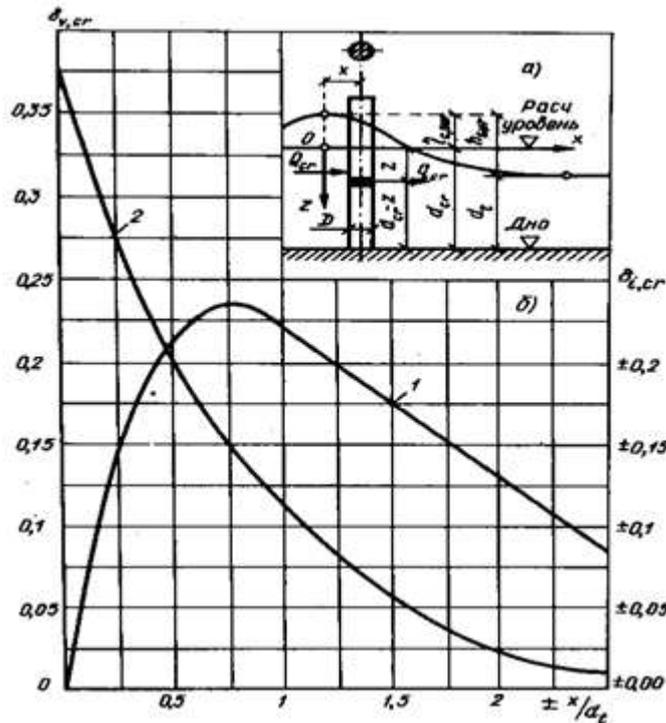


Рисунок 24 - Схема к определению нагрузок от разбивающихся волн и графики значений

коэффициентов $\delta_{i,cr}$ - кривая 1 и $\delta_{v,cr}$ - кривая 2

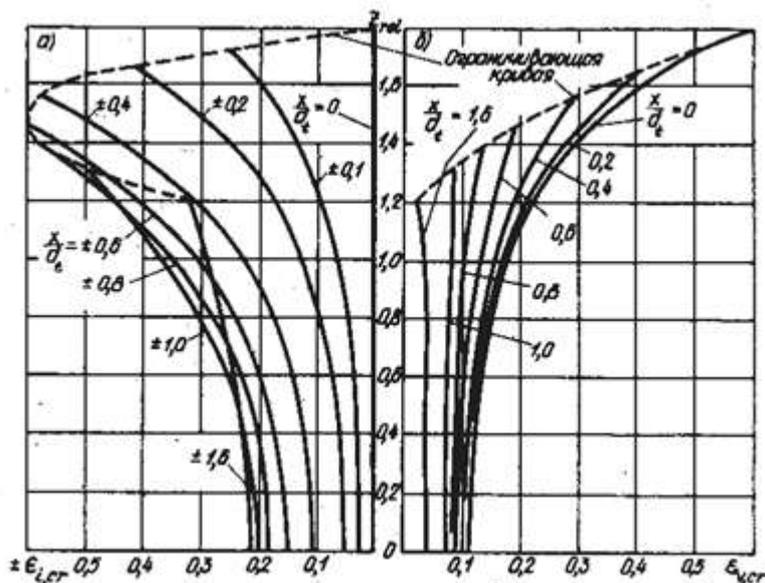


Рисунок 25 - Графики значений инерционного $\varepsilon_{i,cr}$ и скоростного $\varepsilon_{v,cr}$ коэффициентов

Нагрузки от волн на сквозное сооружение из обтекаемых элементов

6.14 Нагрузку от волн на сквозное сооружение в виде стержневой системы необходимо получать суммированием нагрузок, определённых согласно пп. 6.1 ÷ 6.9 как на отдельно стоящие преграды с учётом положения каждого элемента относительно профиля расчётной волны. Элементы сооружения следует принимать, как отдельно стоящие обтекаемые преграды при расстояниях между их осями $l \geq 3 D$ (м). При $l < 3 D$ (где D - наибольший диаметр элемента) волновую нагрузку, полученную на отдельно стоящий элемент сооружения, необходимо умножать на коэффициенты сближения по фронту ψ_f и лучу ψ_l волн, принимаемые по табл. 14.

6.15 Нагрузки от волн на наклонный элемент сквозного сооружения необходимо получать по эпюрам горизонтальной и вертикальной составляющих нагрузки, ординаты которых должны определяться согласно п. 6.9 с учётом заглубления под расчётный уровень и удаления от вершины расчётной волны отдельных участков элемента.

Примечание - Нагрузку от волн на элементы сооружения, наклонённые к горизонтали или вертикали под углом менее 25° , допускается определять соответственно по пп. 6.4 и 6.9 как на вертикальную или горизонтальную обтекаемую преграду.

6.16 Динамическую нагрузку от воздействия нерегулярных ветровых волн на сквозное сооружение из обтекаемых элементов следует определять умножением значения статической нагрузки, полученной согласно пп. 6.14 и 6.15 от волн с высотой заданной обеспеченности в системе и средней длиной, на коэффициент динамичности k_d , принимаемый по табл. 15.

При отношениях периодов $T_e/\bar{D} > 0.3$ необходимо выполнять динамический расчёт сооружения.

Т а б л и ц а 14

Относительное расстояние между осями преград l/D	Коэффициенты сближения ψ_f и ψ_l при значениях относительных диаметров D/λ			
	ψ_f		ψ_l	
	0.1	0.05	0.1	0.05
3.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2.5	1.0	1.05	1.0	0.98
2.0	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
------	-----	------	------	------

Т а б л и ц а 15

Отношение периодов $\dot{\sigma}_k / \bar{\sigma}$	0.01	0.1	0.2	0.3
Коэффициент динамичности k_d	1.0	1.15	1.2	1.3

T_c - период собственных колебаний сооружения, с; $\bar{\sigma}$ - средний период волны, с;

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

6.17 Максимальный опрокидывающий момент $M_{z, por}$, кН·м, от волнового давления на сплошное днище вертикальной круглоцилиндрической преграды, расположенной на гравийно-галечниковом или каменнонабросном основании, относительно центра днища следует определять по формуле:

$$M_{z, por} = \frac{1}{16} \rho g h D^3 \beta_{por}, \quad (66.1)$$

где β_{por} - коэффициент опрокидывающего момента с учётом проницаемости основания, принимаемый по табл.15.1.

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. 6.1, на плечо, определяемое по п. 6.5, и максимального момента, определяемого по формуле (66.1) и совпадающего по фазе с максимальной силой Q_{max} .

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

$$p = \rho g h \frac{chk(d-z)}{chkd} \chi, \quad (66.2)$$

где χ - коэффициент распределения давления, принимаемый по табл. 15.2.

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

Давление p в точках, лежащих выше расчётного уровня воды ($z < 0$), при $\chi > 0$, принимается по линейному закону между p на уровне $z = 0$, определяемым по формуле (66.2), 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 (66 б) при $z = -\chi h$.

6.19 Максимальную донную скорость $v_{b, max}$, м/с, в точках, расположенных на контуре преграды ($\theta = 90^\circ$ и 270°) и впереди преграды на расстоянии 0.25λ от контура преграды ($\theta = 0^\circ$), следует определять по формуле:

$$v_{b, max} = 2 \varphi_v \frac{\pi h}{T} \cdot \frac{1}{shkd}, \quad (66.3)$$

где коэффициент φ_v , принимается по табл.15.3.

Т а б л и ц а 15.1

d/λ	Значение коэффициента β_{por} при D/λ			
	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

Т а б л и ц а 15.2

θ , град.	Значение коэффициента χ при D/λ		
	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

Т а б л и ц а 15.3

Положение расчётных точек	Значение коэффициента φ_v при D/λ		
	0.2	0.3	0.4
На контуре преграды	0.98	0.87	0.77
Впереди преграды	0.67	0.75	0.75

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

Нагрузки от ветровых волн на берегоукрепительные сооружения

7.1 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 учётом уклона дна i по формулам:

а) при уклоне дна $i < 0.04$:

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

$$\text{при } z_1 \geq z_2; \quad p_1 = \rho_2, \quad (68)$$

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

$$z = z_3 = d$$

$$P_3 = k_w P_2, \quad (70)$$

б) при уклоне дна $i > 0.04$:

$$z = z_1$$

p_1 определяется по формулам (67) и (68);

$$z = z_2 \quad p_2 = \rho g(z_2 - z_4), \quad (71)$$

$$z = z_3 = d \quad p_3 = p_2, \quad (72)$$

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 волноломом, м, определяемая по формуле:

$$z_4 = -k_{rd}(z_1 - z_5) + z_1, \quad (73)$$

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

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

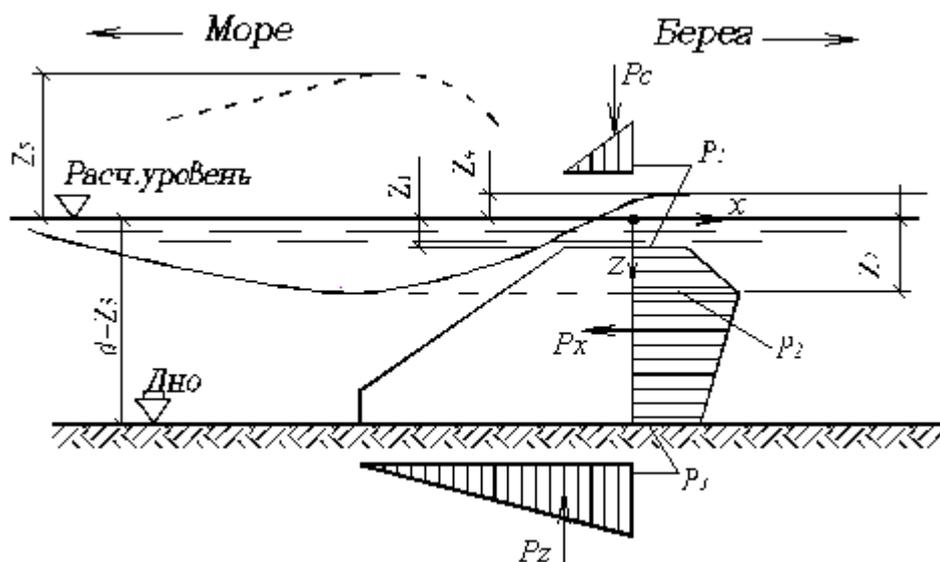


Рисунок 26 - Эпюры волнового давления на подводный волнолом

Т а б л и ц а 16

Относительная высота волны h/d	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Относительное понижение гребня 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

Т а б л и ц а 17

Пологость волны $\bar{\lambda}/h$	8	10	15	20	25	30	35
Коэффициент k_w	0.73	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0

Т а б л и ц а 18

Относительная длина волны $\bar{\lambda}/h$	≤ 5	10	15	20 и более
Коэффициент k_{sl}	0.5	0.7	0.9	1.1

7.2 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. 5.9.

7.3 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 p , 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:

$$p = p_u = \rho g h_{br} \left(0,033 \frac{\bar{\lambda}}{d} + 0,75 \right), \quad (74)$$

$$\eta_c = - \frac{P_u}{\rho g}, \quad (75)$$

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

$$p = p_i = \left(1 - 0,3 \frac{a_i}{a_r} \right) p_u, \quad (76)$$

$$\eta_c = - \frac{P_i}{\rho g}, \quad (77)$$

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

$$p = p_l = 0,7 \left(1 - \frac{a_l}{a_r} \right) p_u, \quad (78)$$

$$\eta_c = \frac{P_l}{\rho g}, \quad (79)$$

Примечания

1) Если ордината верха сооружения $z_1 > -0.3 h$, м, то величины волнового давления, определяемые по формулам (74), (76) и (78), необходимо умножить 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. 5.12.

Таблица 19

Ордината верха сооружения z_1 , м	-0.3 h	0.0	+0.3 h	+0.65 h
Коэффициент k_{zd}	0.95	0.85	0.8	0.5

7.4 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:

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

где Δz_r - понижение поверхности воды от расчётного уровня перед вертикальной стеной при откате волны, м, принимаемое равным в зависимости от расстояния al от линии уреза воды до сооружения:

при $a_l \geq 3h_{br}$; $\Delta z_r = 0$ и при $a_l < 3h_{br}$ $\Delta z_r = 0.25h_{br}$.

7.5 Волновое давление p , кПа, на криволинейный участок стены необходимо принимать по эпюре волнового давления на вертикальную стену согласно п. 7.3 с ориентированием этой эпюры по нормали к криволинейной поверхности (рис. 29).

7.6 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 теньевую p_{int} , кПа, грани буны и соответствующие возвышения гребня волны η_{ext} , м, и η_{int} , м, должны определяться по формулам:

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

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

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

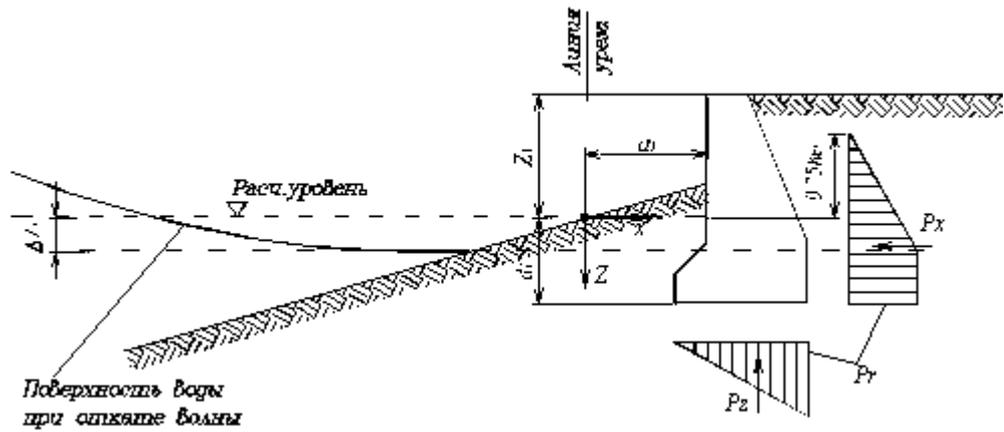


Рисунок 28 - Эпюры волнового давления на вертикальную волнозащитную стену при откате волны

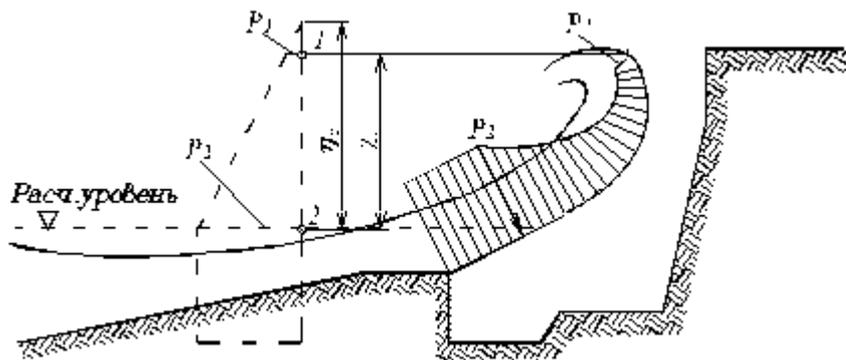


Рисунок 29 - Эпюры давления волн на криволинейный участок волнозащитной стены

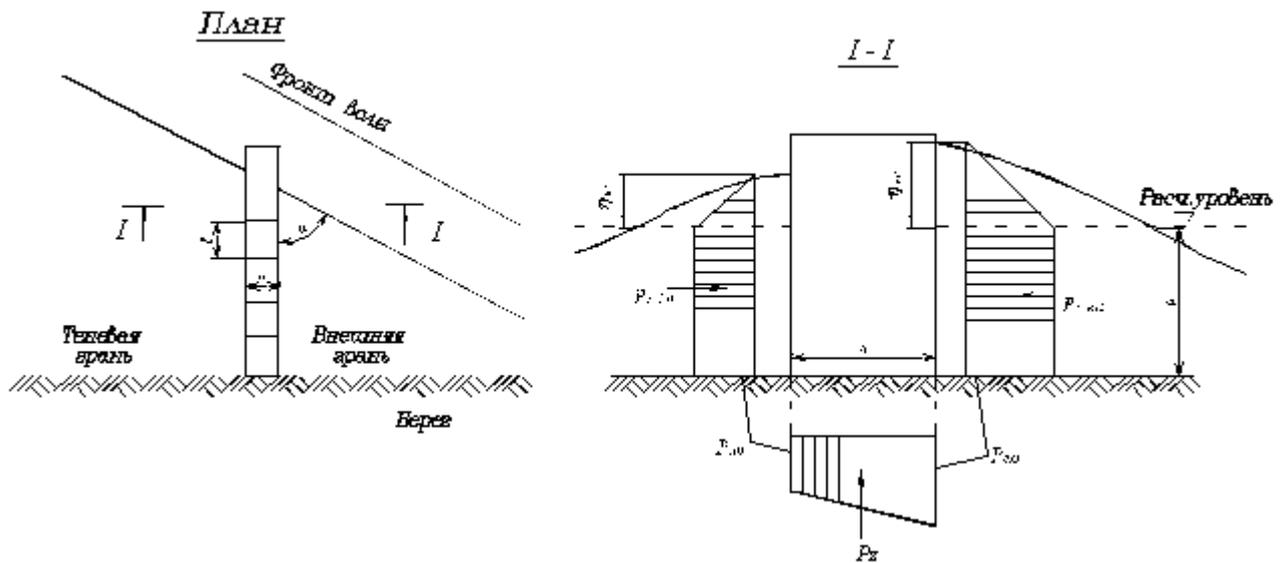


Рисунок 30 - Эпюры волнового давления на буну

Т а б л и ц а 20

Грань бунты	$\text{ctg } \alpha$	Коэффициент k_a при значении $1/\bar{\lambda}$
-------------	----------------------	--

		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

7.7 Высоту судовой волны h_{sh} , м, необходимо определять по формуле:

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

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

δ - коэффициент полноты водоизмещения судна;

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

$$v_{adm} = 0,9 \sqrt{\left[6 \cos \frac{\pi + \arccos(1 - k_a)}{3} - 2(1 - k_a) \right] g \frac{A}{b}} \quad (85)^*$$

k_a - отношение подводной площади поперечного сечения судна к площади живого сечения канала A , м²;

b - ширина канала, м, по урезу воды;

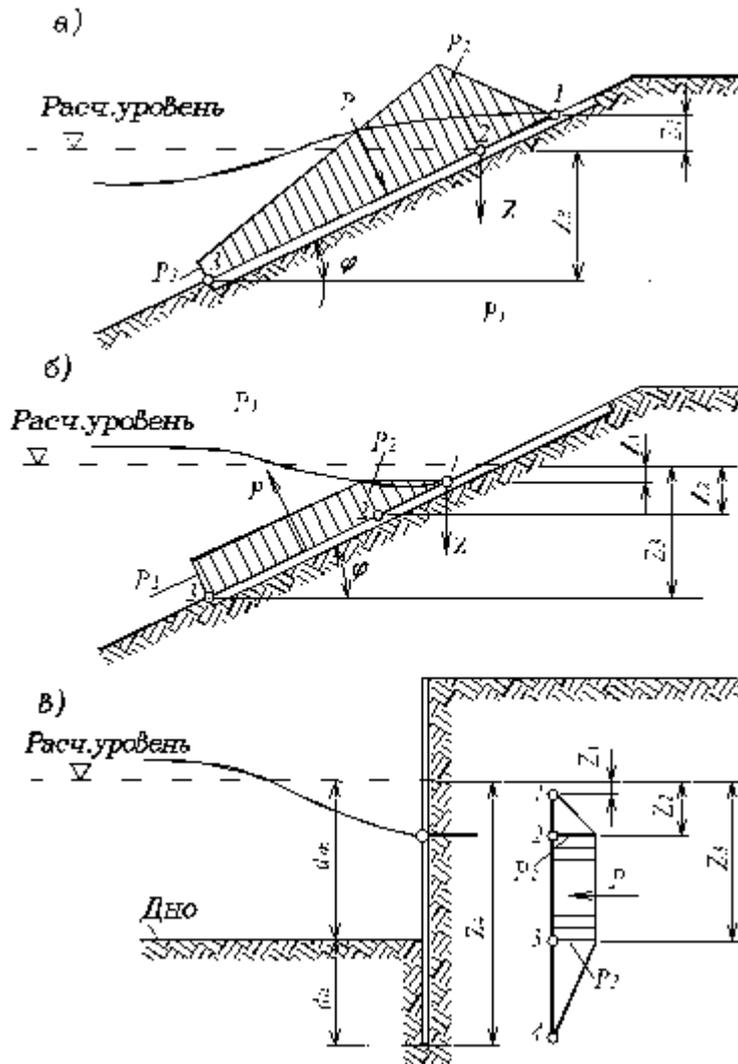
7.8 Высоту наката h_{rsh} , м, судовой волны на откос (рис.31) следует определять по формуле:

$$h_{rsk} = \beta_{sl} \frac{0,5h_{sl} + 0,05ctg\varphi \frac{v_{adm}^2}{g}}{1 - 0,05ctg\varphi}, \quad (86)$$

β_{sl} - коэффициент, принимаемый для откосов, облицованных сплошными плитами, равным 1.4; каменным мощением - 1.0 и каменной наброской - 0.8.

7.9 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):



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

Рисунок 31 - Эпюры давления судовых волн на крепления берегов каналов

$$z = z_1 = -h_{rsh}, \quad p_1 = 0, \quad (87)$$

$$z = z_2 = 0, \quad p_2 = 1,34\rho gh_{sh}, \quad (88)$$

$$z = z_3 = 1,5h_{sk}\sqrt{1 + ctg^2\varphi}, \quad p_3 = 0,5\rho gh_{sh} \quad (89)$$

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

$$z = z_1 = \Delta z_f, \quad p_1 = 0, \quad (90)$$

$$z = z_2 = 0,5h_{sk}, \quad p_2 = -\rho g(0,5h_{sk} - \Delta z_f), \quad (91)$$

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

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

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

$$z = z_2 = 0,5h_{sk}, \quad p_2 = -\rho g(0,5h_{sk} - \Delta z_f), \quad (94)$$

$$z = z_3 = d_{sk}, \quad p_3 = p_2, \quad (95)$$

$$z = z_4 = d_{sk} + d_k, \quad p_4 = 0, \quad (96)$$

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:

0.25 h_{sh} - для крепления протяжённостью по откосу от расчётного уровня воды менее 4 м с водонепроницаемым упором;

0.2 h_{sh} - то же, с протяжённостью более 4 м с упором в виде каменной призмы;

0.1 h_{sh} - для вертикальной шпунтовой стенки.

8 Нагрузки от судов (плавучих объектов) на гидротехнические сооружения

8.1 При расчёте гидротехнических сооружений на нагрузки от судов (плавучих объектов) необходимо определять:

- нагрузки от ветра, течения и волн на плавучие объекты согласно пп. 8.2÷8.4;

- нагрузки от навала на причальное сооружение пришвартованного судна при действии ветра, течения и волн согласно п. 8.7;

- нагрузки от навала судна при его подходе к портовому причальному сооружению согласно пп. 8.8÷8.10;

- нагрузки от натяжения швартовов при действии на судно ветра и течения согласно пп. 8.11÷8.12.

Нагрузки от ветра, течения и волн на плавучие объекты

8.2 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:

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

$$W_n = 49,0 \cdot 10^{-5} A_n v_n^2 \xi, \quad (98)$$

- 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, м²;

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 учётом 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 ζ	1	0.8	0.65	0.5

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

$$Q_w = 0,59 A_s v_t^2, \quad (101)$$

$$N_w = 0,59 A_l v_t^2, \quad (102)$$

A_l и A_s - соответственно боковая и лобовая подводные площади парусности плавучих объектов, м²;

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

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

$$Q = \alpha \gamma_l \rho g h A_s, \quad (103)$$

$$N = \alpha \rho g h A_l, \quad (104)$$

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

γ_l - коэффициент, принимаемый по табл. 21 а, 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_s - обозначения те же, что и в п. 4.3.

8.5 При расчёте 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.

8.6 Нагрузки на анкерные опоры, усилия в связях и перемещения плавучих объектов необходимо определять с учётом динамики действия волн, при этом соотношения периодов свободных и вынужденных колебаний плавучих объектов должны приниматься из условия недопущения резонансных явлений.

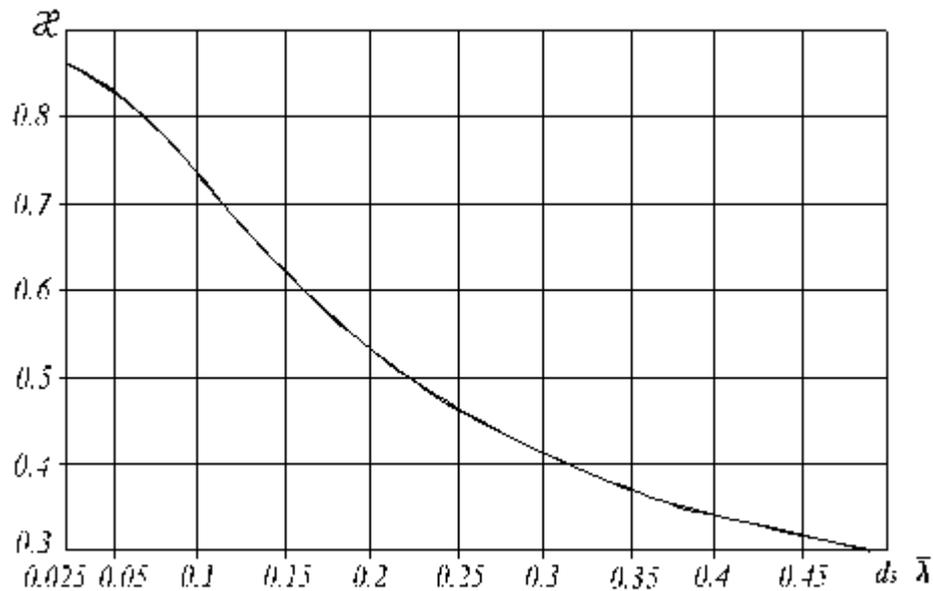


Рисунок 32 - График значений коэффициента α

Т а б л и ц а 21 а

$\alpha_i/\bar{\lambda}$	0.5 и менее	1	2	3	4 и более
Коэффициент γ_I	1	0.73	0.5	0.42	0.4

П р и м е ч а н и е - Период изменения волновой нагрузки следует принимать равным среднему периоду волн.

Нагрузки от навала пришвартованного судна на сооружение

8.7 Линейную нагрузку от навала пришвартованного судна на сооружение q , кН/м, под действием ветра, течения и волн, высота которых превышает допускаемые значения по формуле:

$$q = 1.1 \frac{Q_{tot}}{l_d}, \quad (105)$$

где Q_{tot} - поперечная сила от суммарного воздействия ветра, течения и волн, кН, согласно пп. 8.2, 8.3, 8.4, 8.6;

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:

$$\begin{aligned} \text{при } L \geq l, & \quad l_d = l, \\ \text{при } L < l, & \quad l_d = L, \end{aligned}$$

П р и м е ч а н и е - Для причального фронта, образованного несколькими опорами, распределение нагрузки от пришвартованного судна следует принимать только на те из них, которые располагаются в пределах прямолинейной части борта судна.

Нагрузки от навала судна при подходе к сооружению

8.8 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 - расчётное 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 %.

П р и м е ч а н и е - При определении кинетической энергии навала морских судов водоизмещением до 5 тыс.т, швартующихся на незащищённой акватории, нормальную составляющую скорости подхода, принимаемую по табл. 22, следует увеличивать в полтора раза.

Т а б л и ц а 21б

Угол подхода фронта волн к диаметральной плоскости судна α , град.	Допускаемые высоты волн $h_{5\%}$, м, для судна с расчётным 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

Т а б л и ц а 22

Суда	Нормальная составляющая скорости подхода судна v , м/с, с расчётным 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	-	-	-	-

Т а б л и ц а 23

Конструкции причальных сооружений	Коэффициент ψ для судов	
	морских	речных
Набережные из обыкновенных или фасонных массивов, массивов-гигантов, оболочек большого диаметра и набережные уголкового типа; бoulderки, 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	-

8.9 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.

Суммарная энергия деформации E_{tot} , кДж, должна включать энергию деформации отбойных устройств E_e , кДж, и энергию причального сооружения E_i , кДж; при $E_e \geq 10 E_i$ 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 жёсткости 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 $\mu = 0.4$;

8.10 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 пп. 8.8.

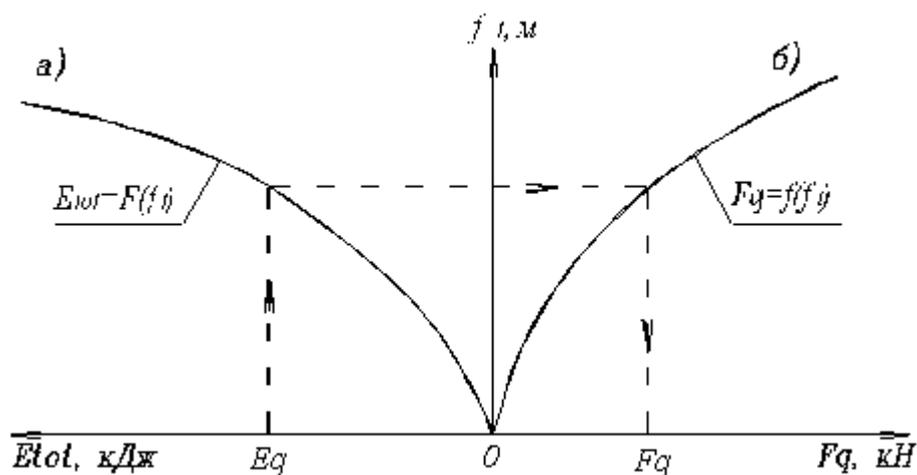


Рисунок 33 - Схема построения графиков зависимости деформаций отбойного устройства

(и причального сооружения) f_i : а) - от энергии E_{tot} ; б) - от нагрузки F_q

Нагрузки на сооружения от натяжения швартовов

8.11 Нагрузки от натяжения швартовов должны определяться с учётом распределения на швартовые тумбы (или рымы) поперечной составляющей суммарной силы Q_{tot} , кН, от действия на одно расчётное судно ветра и течения. Значения Q_{tot} , кН, принимаются согласно пп. 8.2. и 8.3.

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

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

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

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

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

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

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

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 расчётным водоизмещением более 50 тыс.т, следует принимать равной продольной составляющей суммарной силы N_{tot} кН, от действия ветра и течения на пришвартованное судно, определённой согласно требованиям пп. 8.2. и 8.3.

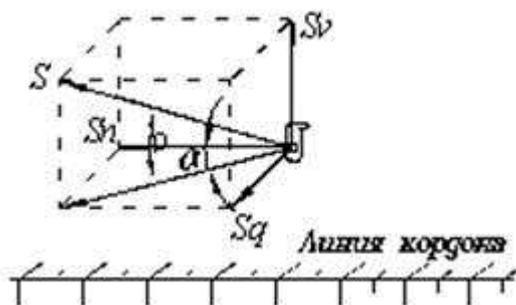


Рисунок 34 - Схема распределения усилия на тумбу от натяжения швартовов

Т а б л и ц а 24

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

8.12 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, определённые согласно пп. 8.2 и 8.3, должны распределяться между группами швартовных канатов следующим образом:

- а) на носовые, кормовые продольные и прижимные канаты - по $0.8 Q_{tot}$, кН;
- б) на шпринги - по $0.6 Q_{tot}$, 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.

Т а б л и ц а 25

Суда	Положения тумб на причальном сооружении	Углы наклона швартова, град.		
		α	β	
			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

П р и м е ч а н и е - При расположении швартовых тумб на отдельно стоящих фундаментах значение угла β следует принимать равным 30° .

Т а б л и ц а 26

Расчётное водоизмещение судна в грузу D , тыс.т	Сила от натяжения швартова S , кН, для судов	
	пассажирских, грузопассажирских, технического флота со сплошной надстройкой	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

9 Нагрузки и воздействия льда на гидротехнические сооружения

9.1 Нагрузки от льда на гидротехнические сооружения, принимаемые по предельным разрушающим усилиям для льда, должны определяться на основе исходных данных по ледовой обстановке в районе сооружения для периода времени с наибольшими ледовыми воздействиями.

Нормативные сопротивления льда сжатию R_c , МПа, изгибу R_f , МПа, и смятию R_b , МПа, должны определяться по опытным данным, а при их отсутствии допускается:

а) принимать R_c по табл.27;

Т а б л и ц а 27

Солёность льда S_i , ‰	Нормативное сопротивление льда сжатию R_c , МПа, при среднесуточной температуре воздуха t_a , °С			
	0	-3	-15	-30
Менее 1 (пресный лед)	0.45	0.75	1.2	1.5
1÷2	0.4	0.65	1.05	1.35
3÷6	0.3	0.5	0.85	1.05

t_a , °С - средняя температура воздуха трёхдневного периода, предшествующего действию льда на сооружение при толщине льда 0.5м и менее, или за шестидневный период при толщине льда более 0.5м;

S_i - солёность льда, ‰, принимаемая равной 20 ‰ солёности воды для льда с возрастом до двух месяцев или 15 ‰ солёности воды - для льда с возрастом два месяца и более.

б) определять R_f по формулам:

для пресноводного льда:

$$R_f = 0.75 R_c, \quad (114)$$

для морского льда:

$$R_f = 0.5 R_c, \quad (115)$$

в) определять R_b по формуле:

$$R_b = k_b R_c, \quad (116)$$

где k_b - коэффициент, принимаемый по табл. 28.

Т а б л и ц а 28

Значение b/h_d	1	3	10	20	30 и более
Коэффициент k_b	2.5	2	1.5	1.2	1

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

h_d - расчётная толщина льда, м, принимаемая равной: для речного льда 0.8 от максимальной за зимний период толщины льда обеспеченностью 1 %, для морского - максимальной толщине льда 1 % - ной обеспеченности.

Примечания

1) Для водохранилищ и озёр, а также участков рек южнее линии Кустанай - Караганда - Усть-Каменогорск допускается принимать нормативные сопротивления льда сжатию в период ледохода $R_c = 0.3$ МПа, а для начальной его стадии, на реках этого района, $R_c = 0.45$ МПа, нормативные сопротивления смятию льда - по формуле (116), но не выше $R_b = 0.45$ МПа в период ледохода и $R_b = 0.75$ МПа - в начальной стадии ледохода.

2) Настоящие требования распространяются на пресноводный и однолетний морской лёд.

3) Данные таблиц 27 и 28 допускается принимать при скорости движения льда 0.5 м/с и более.

9.2 Точку приложения равнодействующей ледовой нагрузки необходимо принимать ниже расчётного уровня воды на $0.3 h_d$ м.

Нагрузки на сооружения от движущегося торосистого ледяного поля, определённые согласно пп. 9.3÷9.6, необходимо увеличивать умножением их на коэффициент, принимаемый для Каспийского моря равным 1.3.

Нагрузки от ледяных полей на сооружения

9.3 Силу от воздействия движущихся ледяных полей на сооружения с вертикальной передней гранью необходимо определять:

- от воздействия ледяного поля на отдельно стоящую опору с передней гранью треугольного очертания при прорезании ею льда $F_{b,p}$, МН, или при остановке ледяного поля опорой $F_{c,p}$, МН, по меньшему значению, из определённых по формулам:

$$F_{b,p} = mR_b b h_d, \quad (117)$$

$$F_{c,p} = 0,04 v h_d \sqrt{m A R_b t g \gamma}, \quad (118)$$

- от воздействия движущихся ледяных полей на отдельно стоящие опоры любого другого очертания при прорезании ими льда $F_{b,p}$ МН, по формуле (117);

- от воздействия движущихся ледяных полей на протяжённые сооружения ($b/h_d \geq 50$) при ударе отдельных льдин $F_{c,w}$, МН, или при разрушении льда $F_{b,w}$, МН, по наименьшему значению, из определённых по формулам:

$$F_{c,w} = 0,07 v h_d \sqrt{A R_c}, \quad (119)$$

$$F_{b,w} = 0,5 R_c b h_d, \quad (120)$$

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

v - скорость движения ледяного поля, м/с, определяемая по данным натурных наблюдений. При их отсутствии допускается принимать её равной: для рек и приливных участков морей - скорости течения воды; для водохранилищ и морей - 3 % от значения скорости ветра 1 %-ной обеспеченности в период движения льда;

A - площадь ледяного поля, м², определяемая по натурным наблюдениям в данном или смежных пунктах;

γ - половина угла заострения передней грани опоры в плане, град.;
 R_b, R_c, b, h_d - обозначения те же, что в п. 9.1.

П р и м е ч а н и е - В морских условиях при подвижках ледяного поля со скоростью меньше 0.5м/с нагрузки для отдельно стоящих опор и протяжённых сооружений уточняются по опытным данным.

9.4 Силу от воздействия ледяного поля на сооружения откосного профиля или на отдельно стоящую опору, имеющую в зоне действия льда наклонную поверхность, необходимо определять:

на сооружение откосного профиля:

а) горизонтальную составляющую силы F_h , МН - как наименьшее из значений, полученных по формуле (120) и по формуле:

$$F_h = k_p m_2 R_f h_d^2, \quad (121)$$

б) вертикальную составляющую силы F_v , МН - по формуле:

$$F_v = \frac{F_h}{m_2}, \quad (122)$$

на отдельно стоящую опору с наклонной передней гранью:

а) горизонтальную составляющую силы F_h , МН - как наименьшее из значений, полученных по формулам (117) и (121);

б) вертикальную составляющую силы $F_{v,p}$, МН - по формуле (122),

где k_β - коэффициент, принимаемый по табл. 30;

m_2 - коэффициент, принимаемый по табл. 31;

R_f, h_d, b - обозначения те же, что в п. 9.1;

Т а б л и ц а 29

Коэффициент формы опоры в плане	Для опор с передней гранью в виде:						прямо-уголь-ника	многогранника или полуциркуль-ного очертания
	треугольника с углом заострения в плане 2γ , град.							
	45	60	75	90	120			
m	0.54	0.59	0.64	0.69	0.77	1	0.9	

Т а б л и ц а 30

Вид преграды или сооружения	Опора прямоугольного сечения при значении b/h_d		Конусообразная опора	Сооружение откосного профиля
	5 и менее	более 5		
Коэффициент k_β	1	$\frac{0,2b}{h_d}$	$1 + \frac{0,05b}{h_d}$	$0.1b$

Т а б л и ц а 31

Угол наклона режущей грани сооружения к горизонту β , град.	15	30	45	60	75	80	85
Коэффициент m_2	0.27	0.58	1	1.73	3.73	5.67	11.43
<p>П р и м е ч а н и е - Значение расчётного угла наклона режущей грани сооружения при её обледенении допускается увеличивать с учётом опыта эксплуатации существующих в данном районе сооружений, но не более чем на 20 градусов.</p>							

9.5 Силу от воздействия движущихся ледяных полей F_p , МН, на опору сооружения из ряда вертикальных опор, расположенных на расстоянии l , м, при значениях b/l от 0.1 до 0.9 необходимо принимать как наименьшее из значений, определённых по формулам (117), (118) и по формуле:

$$F_p = \left[\frac{b}{l} (1 - 2mk_b) + 2mk_b \right] F_{\delta, w}, \quad (123)$$

Силу от воздействия движущихся ледяных полей F_b , МН, на упругоподатливую опору с треугольным очертанием передней грани необходимо принимать как наименьшее из значений, определённых по формуле (117) и по формуле:

$$F_b = 0.03 h_d \sqrt{\frac{A}{\delta h_d + \frac{0.2}{R_c m t g \gamma}}}, \quad (124)$$

где δ - коэффициент упругой податливости опоры сооружения, м/МН, определяемый методами строительной механики;

$R_c, m, v, b, h_d, A, \gamma, k_b$ - обозначения те же, что в пп. 9.1. и 9.3.

9.6 Силу от воздействия остановившегося ледяного поля, наваливающегося на сооружение при действии течения воды и ветра F_s , МН, необходимо определять по формуле:

$$F_s = (p_{\mu} + p_v + p_i + p_{\mu a}) A, \quad (125)$$

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

$$p_{\mu} = 5 \cdot 10^{-6} v_{\max}^2, \quad (126)$$

$$p_v = 5 \cdot 10^{-4} \frac{h_d v_{\max}^2}{L_m}, \quad (127)$$

$$p_i = 9.2 \cdot 10^{-3} h_d i, \quad (128)$$

$$p_{\mu a} = 2 \cdot 10^{-8} v_{w, \max}^2, \quad (129)$$

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. 9.1 и 9.3;

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

Нагрузки и воздействия на сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении

9.7 Линейную нагрузку q , МН/м, на сооружение от воздействия сплошного ледяного покрова солёностью менее 2 ‰, при его температурном расширении необходимо определять по формуле:

$$q = h_{\max} k_l p_t, \quad (130)$$

где h_{\max} - максимальная толщина ледяного покрова, м, обеспеченностью 1 %;
 k_l - коэффициент, принимаемый по табл. 32.

Т а б л и ц а 32

Протяженность ледяного покрова L , м	50 и менее	70	90	120	150 и более
Коэффициент k_l	1	0.9	0.8	0.7	0.6

p_t - давление за счёт упругой и пластической деформаций, МПа, при температурном расширении льда, определяемое по формуле:

$$p_t = 0.05 + 11 \cdot 10^{-5} v_{t,a} \eta_i \varphi, \quad (131)$$

$v_{t,a}$ - максимальная скорость повышения температуры воздуха, °С/ч, за время t , ч (6ч при 4 срочных наблюдениях);

η_i - коэффициент вязкости льда, МПа·ч, определяемый по формулам:
 при $t_i \geq -20^\circ\text{C}$

$$\eta_i = (3.3 - 0.28 t_i + 0.083 t_i^2) 10^2, \quad (132)$$

при $t_i < -20^\circ\text{C}$

$$\eta_i = (3.3 - 1.85 t_i) 10^2, \quad (133)$$

где t_i - температура льда, °С, определяемая по формуле:

$$t_i = t_b h_{rel} + \frac{v_{t,a} t}{2} \psi, \quad (134)$$

t_b - начальная температура воздуха, °С, от которой начинается ее повышение;

h_{rel} - относительная толщина ледяного покрова с учётом влияния снега, определяемая по формуле:

$$h_{rel} = \frac{h_{\max}}{h_{red}}, \quad (135)$$

h_{red} - приведенная толщина ледяного покрова, м, определяется по формуле:

$$h_{red} = h_{\max} + 1.43 h_{s,min} + \frac{2.3}{\alpha}, \quad (136)$$

$h_{s,min}$ - наименьшая толщина снежного покрова за расчётный период, м, определяемая по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии необходимо принимать $h_{s,min} = 0$;

α - коэффициент теплоотдачи от воздуха и поверхности снежного покрова, Вт/м²,

принимаемый равным $23 \sqrt{v_{w,m} + 0.3}$ - при наличии снега, или $6 \sqrt{v_{w,m} + 0.3}$ - при отсутствии снега;

$v_{w,m}$ - средняя скорость ветра, м/с;

ψ, φ - безразмерные коэффициенты, принимаемые по графикам рис. 35, 36 при заданных значениях относительной толщины ледяного покрова h_{rel} и безразмерной величины

$$F_o = \frac{4 \cdot 10^{-3} t}{h_{red}^2};$$

где t - интервал времени, ч, между двумя измерениями температуры воздуха.

9.8 При определении линейной нагрузки q , МН/м, на сооружение от воздействия сплошного ледяного покрова при его температурном расширении необходимо учитывать следующие требования: за расчетную линейную нагрузку должно приниматься наибольшее из значений q , определенных согласно п. 9.7 для случаев, когда из имеющегося ряда наблюдений за температурой воздуха приняты расчётные периоды либо с минимальной температурой и соответствующим ей градиентом, либо с максимальным градиентом и соответствующей ему температурой воздуха. Линейную нагрузку q , МН/м, при солёности льда $S_i \geq 2\%$ необходимо определять по формуле:

$$q = p_t h_{max} k_i, \quad (137)$$

где $p_t = 0.1$ МПа;

h_{max} и k_i - обозначения те же, что в п. 9.7;

Линейную нагрузку q , МН/м, при наклоне грани сооружения к горизонту менее 40° не учитывать.

Нагрузки на сооружения от зажорных масс льда

9.9 Силу от прорезания опорой зажорной массы льда $F_{b,j}$, МН, необходимо определять по формуле:

$$F_{b,j} = m R_{b,j} b h_j, \quad (138)$$

где $R_{b,j}$ - нормативное сопротивление зажорной массы льда смятию, МПа, которое определяется по опытным данным, а при их отсутствии допускается принимать $R_{b,j} = 0.12$ МПа;

h_j - расчётная толщина зазора, м, принимается по данным натурных наблюдений.

Допускается принимать h_j по данным о толщине слоя шуги на прилегающих участках реки, но не более 80 % средней глубины потока при расходе воды зажорного периода;

m, b - обозначения те же, что в пп. 9.1 и 9.3.

9.10 Силу от навала зажорных масс льда на сооружение перпендикулярно его фронту $F_{s,j}$, МН, необходимо определять по формуле:

$$F_{s,j} = l L_j (4 p_{\mu} + p_v + p_i + p_{\mu,a}), \quad (139)$$

где l - длина участка сооружения на уровне воздействия зажорных масс, м;

L_j - длина участка зазора, принимаемая равной полуторной ширине реки в створе сооружения, м;

p_{μ}, p_v, p_i и $p_{\mu,a}$ - значения давлений льда, определяемые по формулам (126)-(129), при этом толщину зазора необходимо принимать согласно п. 9.9. Скорость течения воды и уклон водной поверхности в месте образования зазора должны приниматься по данным натурных наблюдений, а при отсутствии их - по аналогии с данными натурных наблюдений для смежных районов.

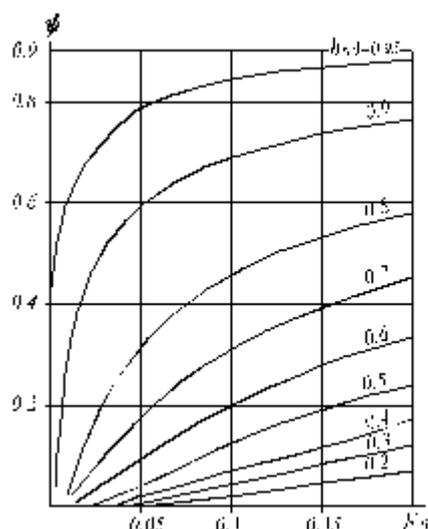


Рисунок 35 - Графики значений коэффициента Ψ

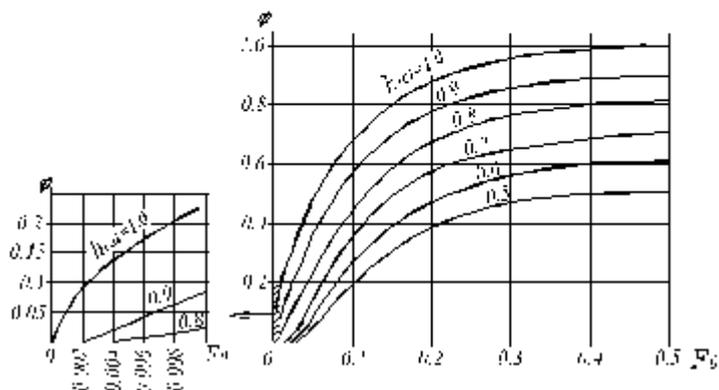


Рисунок 36 - Графики значений коэффициента ϕ

9.11 Линейную нагрузку от навала загорных масс льда на сооружение, расположенное параллельно направлению течения (а также на берега) q_j , МН/м, необходимо определять по формуле:

$$q_j = \xi \frac{F_{s,j}}{l}, \quad (140)$$

где ξ - коэффициент, принимаемый равным для песчаных берегов - 0.7; глинистых - 0.8; скальных и вертикальных стен - 0.9;

$F_{s,j}$ и l - обозначения те же, что в п. 9.10.

Нагрузки от примёрзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды

9.12 Вертикальную силу от примёрзшего грунта к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды (рис. 37) F_d , МН, необходимо определять по формуле:

$$F_d = 0,2l v_d t_d^4 \sqrt{\frac{h_{max}^3}{\Phi}}, \quad (141)$$

где l - длина участка на уровне действия льда, м;

v_d - скорость понижения или повышения уровня воды, м/ч;

t_d - время, ч, в течение которого происходит деформация ледяного покрова при понижении или повышении уровня воды;

Φ - безразмерная функция времени, определяемая по формуле:

$$\Phi = 1 + \frac{3 \cdot 10^2}{\eta_i} [t_d^2 + 50(1 - e^{-0,4t_d^2})], \quad (142)$$

h_{max} и η_i - обозначения те же, что в п. 9.7;

Примечание - Время t_d , в течение которого происходит деформация ледяного покрова, принимается по данным натурных измерений, но не более t_{cal} , определяемого по п. 9.13.

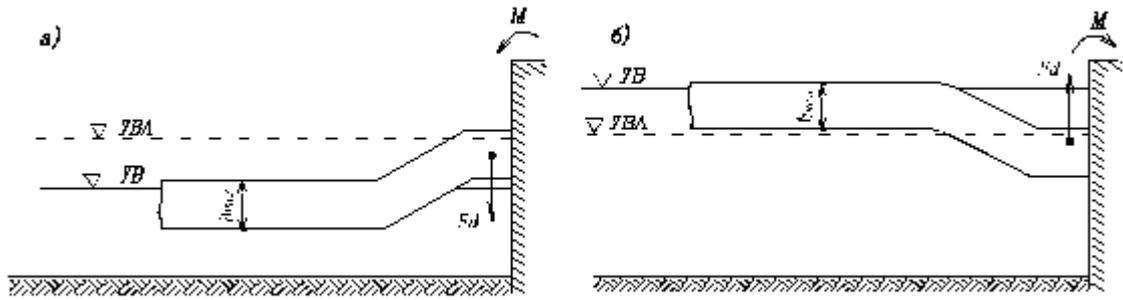


Рисунок 37 - Схемы к определению нагрузок от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды (VB): а) - при понижении VB; б) - при повышении VB; VBA - уровень воды при ледоставе

9.13 Момент силы, воспринимаемый сооружением от примерзшего ледяного покрова при понижении или повышении уровня воды (см. рис. 37), M , МН·м, необходимо определять по формуле:

$$\dot{l} = 2l v_d t_d \sqrt{\frac{h_{max}^3}{\Phi}}, \quad (143)$$

где l , v_d , t_d , h_{max} , Φ - обозначения те же, что в п. 9.12;

При этом предельное значение момента силы M_{lim} , МН·м, не должно быть более определяемого по формуле:

$$M_{lim} = \frac{lh_{max}^2 R_t R_c (1 + 2k_e)}{6(R_t + R_c)}, \quad (144)$$

где R_t и R_c - нормативные сопротивления растяжению и сжатию деформирующегося ледяного покрова, МПа, определяемые по формулам:

$$R_t = R_{t,y} e^{\frac{-4t_{cal}}{\eta}}, \quad (145)$$

$$R_c = R_{c,y} e^{\frac{-4t_{cal}}{\eta}}, \quad (146)$$

где $R_{c,y}$, $R_{t,y}$ - средние значения пределов текучести льда соответственно на растяжение и сжатие, МПа, определяемые по опытным данным, при их отсутствии допускается принимать по табл. 33;

t_{cal} - время, ч, в течение которого уровень воды изменяется на величину, равную толщине льда;

k_e - коэффициент, принимаемый в зависимости от величины $\frac{-4t_{cal}}{\eta}$:

$\frac{-4t_{cal}}{\eta}$	0.8 и менее	0.85	0.9 и более
k_e	1	1.5	2

h_{max} , η , l - обозначения те же, что в пп. 9.7 и 9.12.

9.14 Вертикальную силу на отдельно стоящую опору (или свайный куст) от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды $F_{d,p}$, МН, следует определять по формуле:

$$F_{д,р} = k_f R_f h_{max}^2, \quad (147)$$

где R_f, h_{max} - обозначения те же, что в пп. 9.1 и 9.7;

k_f - безразмерный коэффициент, принимаемый по табл. 34.

При расстоянии между опорами менее $20 h_{max}$ силу от примёрзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды необходимо определять согласно пп.9.12 и 9.13.

Примечание - Величина нагрузки на цилиндрические опоры морских гидротехнических сооружений от смёрзшегося с ними ледяного поля при изменении уровня моря уточняется по опытным данным.

Т а б л и ц а 33

Температура льда t_i , °С	Пределы текучести льда, МПа	
	на растяжение $R_{т,л}$	на сжатие $R_{с,л}$
	Верхняя часть ледяного покрова	
от 0 до -2	0.7	1.8
от -3 до -10	0.8	2.5
от -11 до -20	1	2.8
	Нижняя часть ледяного покрова	
от 0 до -2	0.5	1.2

t_i - то же, что и в п. 9.7.

Т а б л и ц а 34

Значение D/h_{max}	0.1	0.2	0.5	1	2	3	5	10	20
Коэффициент k_f	0.16	0.18	0.22	0.26	0.31	0.36	0.43	0.63	1.11
<p>D - диаметр опоры (или свайного куста), м;</p> <p>Примечание - При прямоугольной форме опоры в плане со сторонами a и b, м, допускается её "диаметр" принимать равным $D = \sqrt{ab}$, м.</p>									

Нагрузка на сооружения от заторных масс льда

9.15 Силу $F_{b,i}$, МН, от прорезания опорой заторной массы льда необходимо определять по формуле:

$$F_{b,i} = 0.5 m R_{b,i} b h_{b,i}, \quad (147 а)$$

где $R_{b,i}$ - нормативное сопротивление льда смятию, принимаемое для заторных масс льда по опытным данным, а при их отсутствии - 0.45 МПа, а южнее линии Кустанай - Караганда - Усть-Каменогорск - 0.25 МПа;

$h_{b,i}$ - расчётная толщина заторных масс льда, м, принимаемая по данным натуральных наблюдений, а при их отсутствии допускается принимать $h_{b,i} = a H_{b,i}$, где a - коэффициент, принимаемый по табл. 34 а;

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

m, b - обозначения те же, что в пп. 9.1 и 9.3.

Т а б л и ц а 34 а

$H_{b,i}$ м	3	5	10	15	20	25
Коэффициент a	0.85	0.75	0.45	0.4	0.35	0.28

Приложение 1 (обязательное)

Элементы волн на открытых и ограждённых акваториях

П1.1 При определении элементов волн на открытых и ограждённых акваториях необходимо учитывать следующие волнообразующие факторы: скорость ветра (её величину и направление), продолжительность непрерывного действия ветра над водной поверхностью, размеры и конфигурацию охваченной ветром акватории, рельеф дна и глубину водоёма с учётом колебаний уровня воды.

П1.2 Расчётные уровни воды и характеристики ветра необходимо определять по результатам статистической обработки данных многолетних (не менее 25 лет) рядов наблюдений в безлёдные сезоны, при этом расчётные уровни воды должны определяться с учётом приливо-отливных, сгонно-нагонных, сезонных и годовых колебаний уровней.

П1.3 Расчёты элементов волн необходимо производить с учётом деления водоёма на следующие зоны по глубине:

- глубоководная - с глубиной $d > 0.5 \overline{\lambda_d}$, где дно не влияет на основные характеристики волн;
- мелководная - с глубиной $0.5 \overline{\lambda_d} \geq d > d_{cr}$, 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.

П1.4 При определении устойчивости и прочности гидротехнических сооружений и их элементов расчётную обеспеченность высот волн в системе необходимо принимать по табл. 1.1.

Расчётные уровни воды

П1.5 Максимальный расчётный уровень воды необходимо принимать согласно требованиям СНиП на проектируемые сооружения (объекты). При определении нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения, обеспеченности расчётных 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 безлёдный период.

П р и м е ч а н и е - Для берегоукрепительных сооружений в безливных морях обеспеченности расчётных 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 %.

П1.6 Высоту ветрового нагона Δh_{set} м, следует принимать по данным натуральных наблюдений, а при их отсутствии (без учёта конфигурации береговой линии и при постоянной глубине дна d) необходимо определять по формуле:

$$\Delta h_{set} = k_w \frac{V_w^2 L}{gd} \cos \alpha_w, \quad (1.1)$$

Т а б л и ц а 1.1

Гидротехнические сооружения	Расчётная 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
<p>Примечания</p> <p>1) При определении нагрузок на сооружения необходимо принимать высоту заданной обеспеченности в системе h_i и среднюю длину волны $\bar{\lambda}$; Для сквозных конструкций следует определять максимальное воздействие волн при изменении длины расчётной волны в пределах от 0.8 до 1.4 $\bar{\lambda}$;</p> <p>2) Расчётную обеспеченность высот волн в системе необходимо принимать: - при определении защищённости портовых акваторий 5 %; - при определении наката волн 1 %.</p> <p>3) При назначении высотных отметок сквозных сооружений, возводимых на открытых акваториях, допускается расчётную обеспеченность высот волн в системе принимать 0.1 % при надлежащем обосновании.</p>	

где α_w - угол между продольной осью водоёма и направлением ветра, град;
 V_w - расчётная скорость ветра, определяемая по п. 1.9;
 L - разгон, м;
 K_w - коэффициент, принимаемый по табл. 1.2.

Расчётные характеристики ветра

П1.7 При определении элементов ветровых волн и ветрового нагона должны приниматься обеспеченности расчётного 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 расчётного шторма принимать 1 % (1 раз в 100 лет) при надлежащем обосновании.

П1.8 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 П1.5 и П1.7 и уточнять по данным натурных наблюдений.

П1.9 Расчётную скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью водоёма V_w , м/с, следует определять по формуле:

$$V_w = k_R k_L V_l, \quad (1.2)$$

где V_l - скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью земли (водоёма), соответствующая 10-минутному интервалу осреднения и обеспеченности, принимаемой по П1.7;

k_R - коэффициент пересчёта данных по скоростям ветра, измеренным по флюгеру, принимаемый по формуле

$$k_R = 0,675 + \frac{4,5}{V_l},$$

но не более 1;

k_L - коэффициент приведения скорости ветра к условиям водной поверхности для водоёмов (в том числе проектируемых) с характерной протяжённостью 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. 1.3 - при измерении скорости ветра над местностью типа А, В или С, устанавливаемого в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85*.

П1.10 При предварительном определении элементов волн среднее значение разгона, м, для заданной скорости ветра V_w , м/с, допускается определять по формуле:

$$L = k_{vis} \frac{V}{V_w}, \quad (1.3)$$

где k_{vis} - коэффициент, принимаемый равным 5×10^{11} ;

ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, принимаемый равным $10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

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

П1.11 Расчётные скорости ветра при разгонах менее 100 км допускается определять по данным натурных наблюдений над максимальными ежегодными значениями скоростей ветра без учёта их продолжительности.

П1.12 Расчётные скорости ветра при разгонах более 100 км следует определять с учётом их пространственного распределения (см. рекомендуемое Приложение 3).

Элементы волн в глубоководной зоне

П1.13 Среднюю высоту \bar{h}_d , м, и средний период волн \bar{T} , с, в глубоководной зоне необходимо определять по верхней огибающей кривой рис.1.1. 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.

Т а б л и ц а 1.2

V_w , м/с	20	30	40	50
$k_w \cdot 10^6$	2.1	3	3.9	4.8

Т а б л и ц а 1.3

Скорость ветра V_l , м/с	Значения коэффициента k_l при типе местности		
	А	В	С
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

Т а б л и ц а 1.4

Скорость ветра V_w , м/с	20	25	30	40	50
Значения предельного разгона, $L_u \cdot 10^{-3}$, м	1600	1200	600	200	100

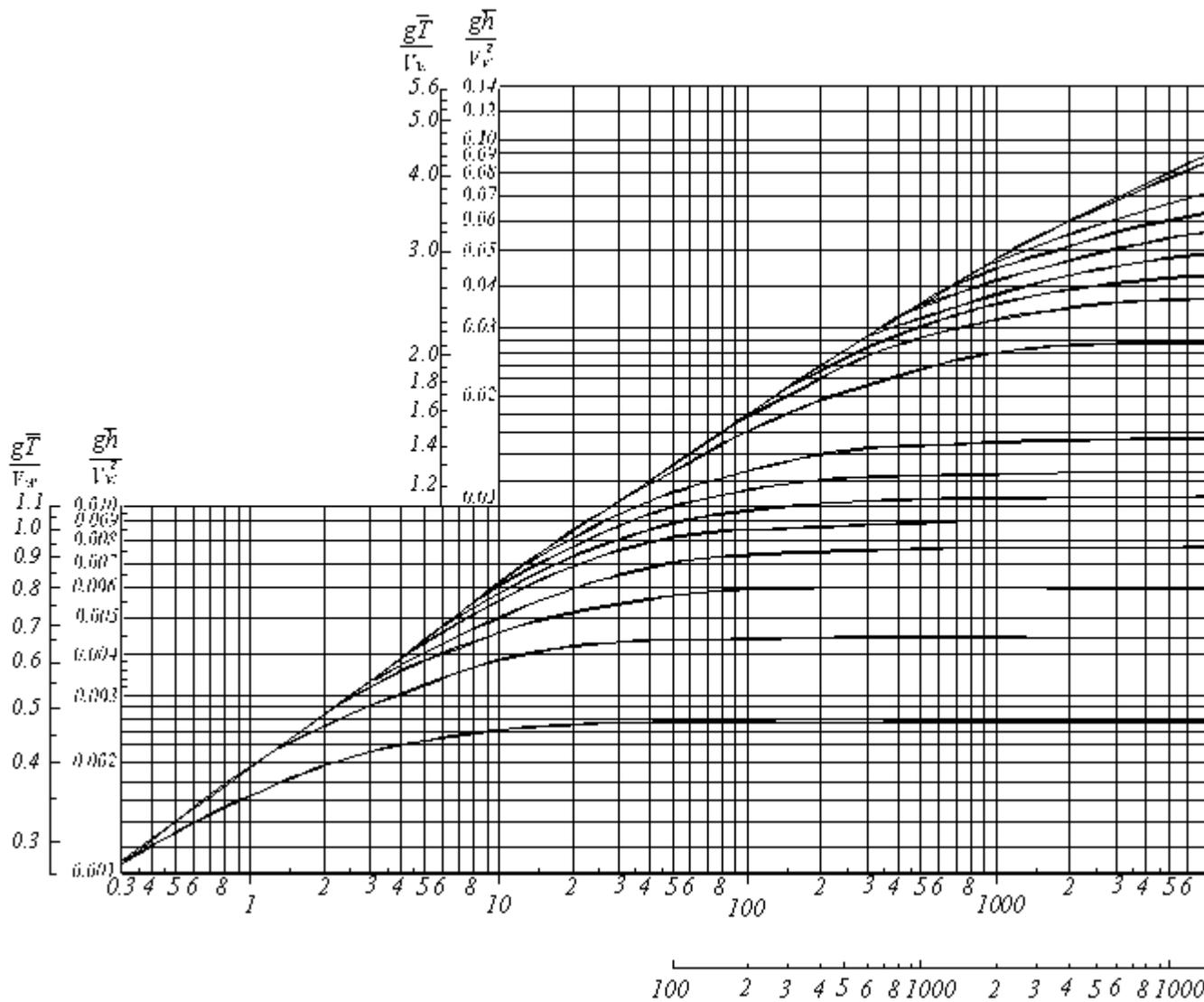


Рисунок 1.1 - Графики для определения элементов ветровых волн в глубоководной и мелководной зонах

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

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi}, \quad (1.4)$$

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.

П1.14 При сложной конфигурации береговой черты среднюю высоту волн \bar{h}_d , м, необходимо определять по формуле:

$$\bar{h}_d = 0,1 \sqrt{25\bar{h}_1^2 + 21(\bar{h}_2^2 + \bar{h}_2^2) + 13(\bar{h}_3^2 + \bar{h}_3^2) + 3,5(\bar{h}_4^2 + \bar{h}_4^2)} \quad (1.5)$$

где \bar{h}_n , м, (при $n = 1; \pm 2; \pm 3; \pm 4$) - средние высоты волн, которые должны приниматься согласно рис.1.1 по расчётной скорости ветра и проекциям лучей L_n , на направление главного луча, совпадающего с направлением ветра. Лучи проводятся из расчётной точки до пересечения с линией берега с интервалом ± 22.5 град. от главного луча.

При наличии перед расчётным 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:

$$\bar{h}_n = \sqrt{\sum_{i=1}^{k_n} \alpha_{ni} \bar{h}_{ni}^{-2} + \sum_{j=1}^{l_n} \nu_{nj} \bar{h}_{nj}^{-2}}; \quad (1.5a)$$

где α_{ni} , ν_{nj} - соответственно угловые размеры i -го препятствия и j -го промежутка между соседними препятствиями, отнесённые к углу 22.5 град. ($i = 1, 2, 3 \dots k_n$; $j = 1, 2, 3 \dots l_n$) в пределах n -го сектора, назначаемого в интервале ± 11.25 град. от направления луча.

Средние высоты волн \bar{h}_{ni} , \bar{h}_{nj} , м, следует определять по рис.1.1 по расчётной 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 расчётной точки до пересечения с i -м препятствием или подветренным берегом в j -м промежутке.

Средний период волн определяется по безразмерной величине $\frac{g\bar{T}}{V_w}$, которая принимается согласно рис.1.1 при известной безразмерной величине $\frac{g\bar{h}_d}{V_w^2}$. Среднюю длину волн следует определять по формуле (1.4).

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

П.1.15 Средняя высота ветровых волн на глубокой воде \bar{h}_d может быть определена по формуле:

$$\frac{g\bar{h}_d}{V_w^2} = 0.16 \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + 6 \cdot 10^3 (gL/V_w)^{0.5}} \right]^2 \right\}, \quad (1.6)$$

где L - длина разгона волн, м;

V_w - расчётная скорость ветра, определяемая по п. 1.9.

Средний период волн рассчитывается по формуле:

$$\frac{g\bar{T}}{V_w} = 2\pi \cdot 3.1 \left(\frac{g\bar{h}}{V_w^2} \right)^{0.625}, \quad (1.7)$$

где \bar{h} - средняя высота волн, м;

П.1.16 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 gL/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. 1.2.

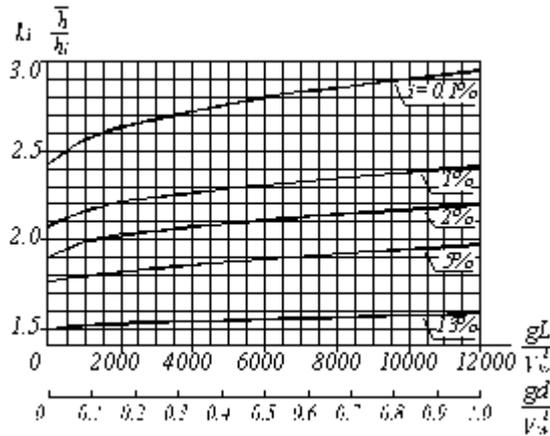


Рисунок 1.2 - Графики значений коэффициента k_i

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 Приложение 3).

П.17 Превышение вершины волны над расчётным уровнем η_c , следует определять по безразмерной величине η_c/h_i (рис. 1.3) для данного значения h_i/gT^2 , принимая $d/\lambda_d = 0.5$.

Элементы волн в мелководной зоне

П.18 Высоту волн i % - ной обеспеченности h_i м, в мелководной зоне с уклонами дна 0.002 и более следует определять по формуле:

$$h_i = k_r k_i k_l k_s \bar{h}_d, \quad (1.8)$$

где k_l - коэффициент трансформации;
 k_r - коэффициент рефракции;
 k_i - обобщённый коэффициент потерь.

Коэффициенты k_l , k_r и k_i следует определять по П.19.

Длину волн, перемещающихся из глубоководной в мелководную зону, необходимо определять по рис. 1.4 при заданных безразмерных величинах d/λ_d и $h_{1\%}/gT^2$, при этом период волн принимается равным периоду волн в глубоководной зоне.

Превышение вершины волны над расчётным уровнем η_c м, следует определять по рис.

1.3 для данных безразмерных величин d/λ_d и h_i/gT^2 .

П.19 Коэффициент трансформации необходимо принимать по графику 1 рис. 1.5.

Коэффициент рефракции должен определяться по формуле:

$$k_r = \sqrt{\frac{a_d}{a}}, \quad (1.9)$$

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

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

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. 1.6.

Обобщённый коэффициент потерь k_l должен определяться по заданным значениям величины $d = \frac{\lambda_d}{h_1}$ и уклону дна i (табл. 1.5); при уклонах дна 0.03 и более следует принимать значение обобщённого коэффициента потерь равным единице.

Примечание - Значение коэффициента k_r допускается принимать по результатам определения коэффициентов рефракции для волновых лучей, проводимых из расчётной точки в направлениях через 22.5 град. от главного луча.

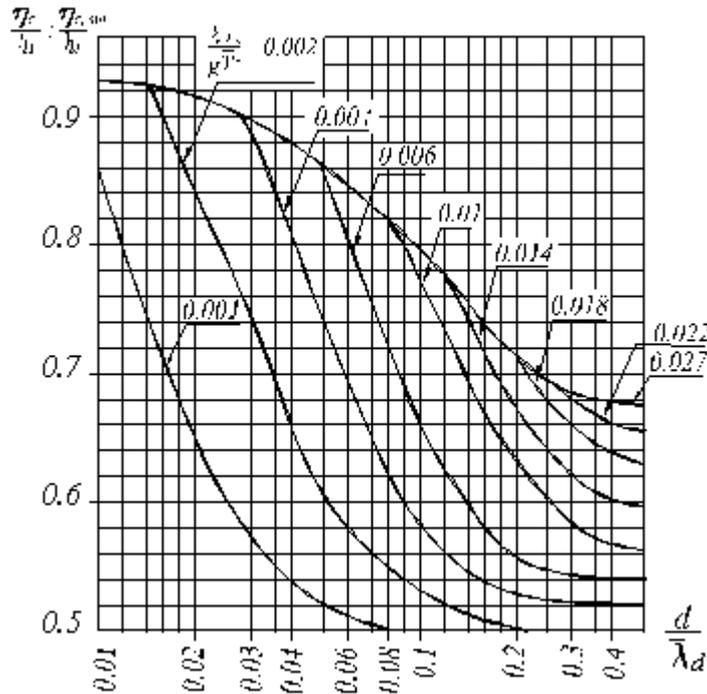


Рисунок 1.3 - Графики для определения значений $\frac{\eta_k}{\eta_{k,sm}}$ в мелководной и $\frac{\eta_{c,smr}}{h_2}$ в прибойной зонах

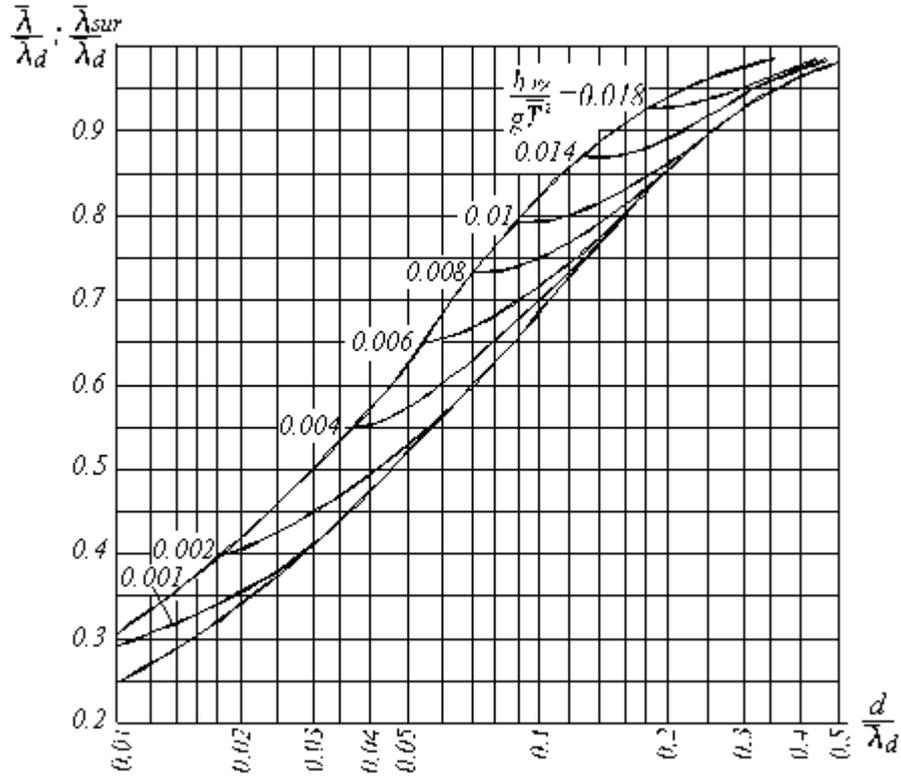


Рисунок 1.4 - Графики для определения значений $\frac{\bar{\lambda}}{\lambda_d}$ в мелководной и $\frac{\bar{\lambda}_{sur}}{\lambda_d}$ прибойной зонах

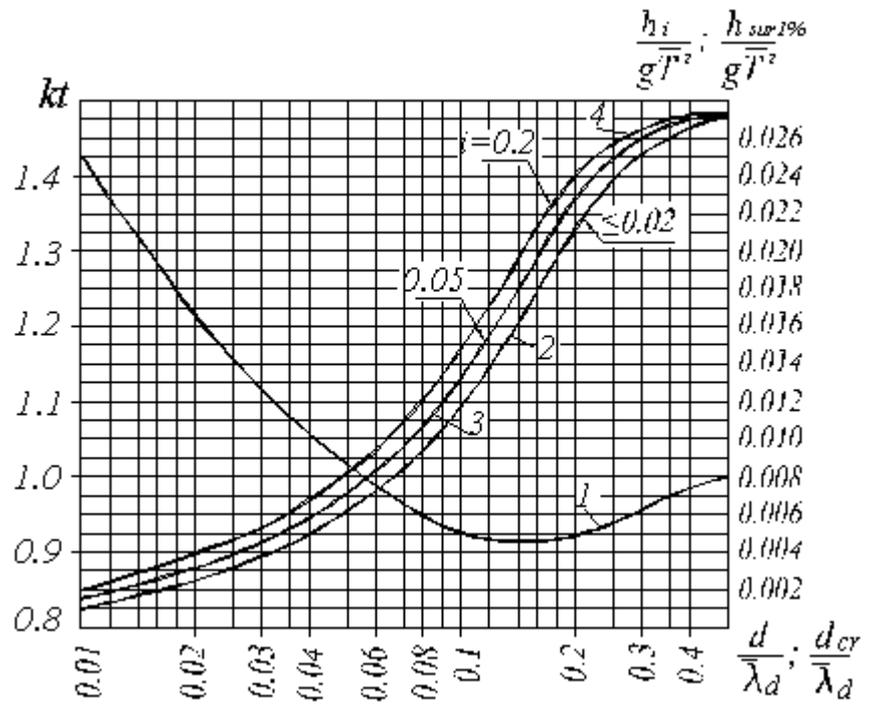


Рисунок 1.5 - Графики для определения: 1) - коэффициента k_i ; 2, 3, 4) - величины $\frac{d_{cr}}{\lambda_d}$

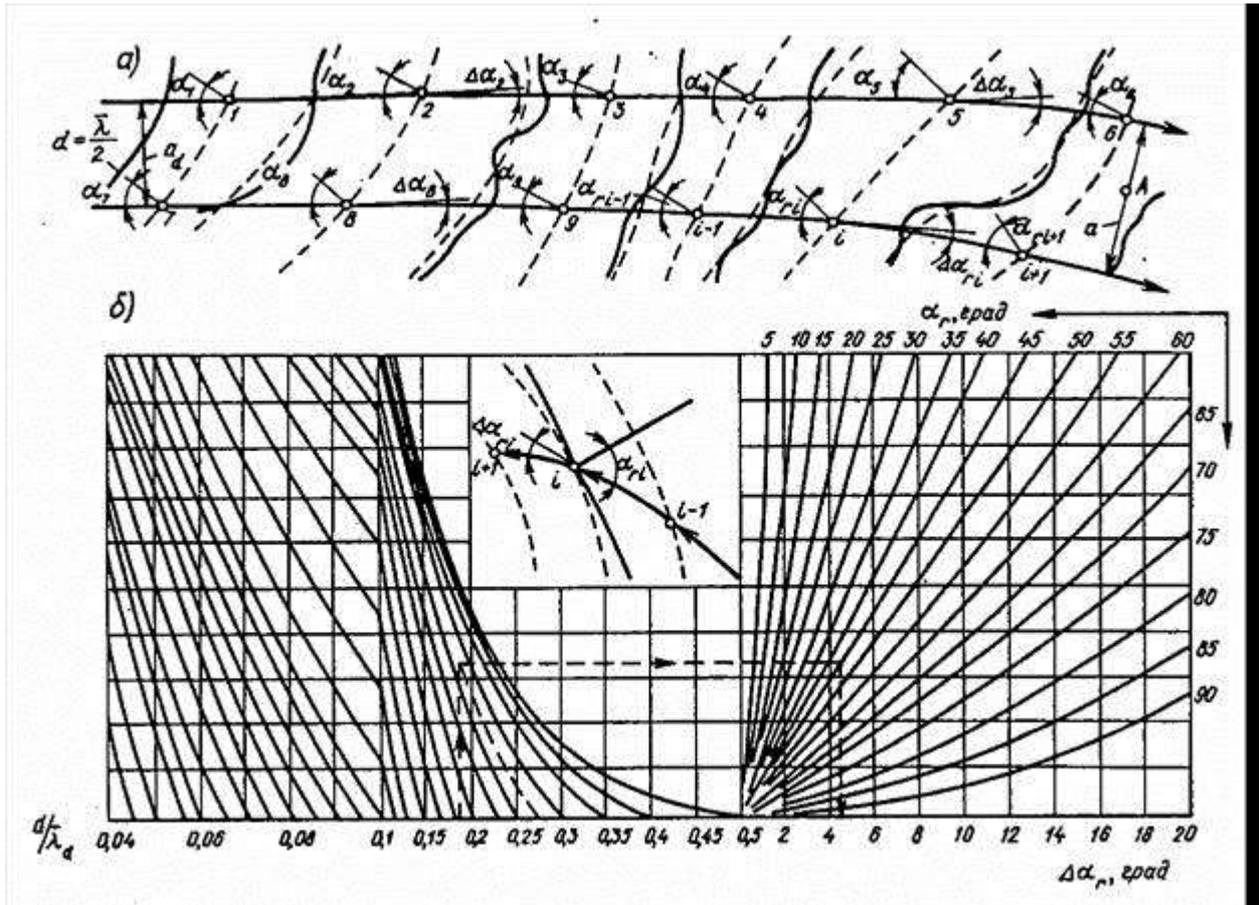


Рисунок 1.6 - Схема (а) и графики (б) для построения плана рефракции

Т а б л и ц а 1.5

Относительная глубина $d/\bar{\lambda}_d$	Значения коэффициента k_i 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
0.10	0.93	0.86
0.20	0.96	0.92
0.30	0.98	0.95
0.40	0.99	0.98
0.50 и более	1.00	1.00

П1.20 Среднюю высоту и средний период волн в мелководной зоне с уклонами дна 0.001 и менее необходимо определять по графикам рис. 1.1. 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} .

П1.21 Средняя высота волн в мелководных водоёмах (зонах) может быть рассчитана по формуле:

$$\frac{g\bar{h}}{V_w^2} = 0,1 \left(\frac{gd}{V_w^2} \right)^{0,8}, \quad (1.10)$$

где d - глубина водоёма (зоны), м;

Средний период волн \bar{T} в мелководных водоёмах (зонах) принимается также как и на глубокой воде по формуле (1.7).

Средняя трансформированная высота волн в мелководных водоёмах (зонах) может быть рассчитана по формуле:

$$\bar{h} = k_x k_r k_d, \quad (1.11)$$

где k_i - коэффициент трансформации, определяется по формуле:

$$k_t = \left\{ C_N \left[1 + \frac{4\pi}{C_N} \frac{d}{\lambda_d} \left(sh \left[\frac{4\pi}{C_N} \frac{d}{\lambda_d} \right] \right)^{-1} \right] \right\}^{-0.5}, \quad (1.12)$$

$$\bar{N}_N = \frac{\bar{\lambda}}{\lambda_d} \quad (1.13)$$

где k_r - коэффициент рефракции при прямолинейных изобатах, определяется по формуле:

$$k_r = \left[\frac{1 - C_N \sin \alpha_d}{cjs^2 \alpha_d} \right]^{-0.25}, \quad (1.14)$$

где α_d - угол между лучом волны и нормалью к изобате;

Высоту волны i %-ной обеспеченности в системе следует определять умножением средней высоты волн на коэффициент k_i , принимаемый по графикам рис. 1.2. По безразмерным величинам $gd/V^2 w$ 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. 1.13.

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

П р и м е ч а н и е - 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 П1.18 и П1.19, при этом принимается значение исходной средней высоты $\bar{h} = \bar{h}_d$.

Элементы волн в прибойной зоне

П1.22 Высоту волн в прибойной зоне $h_{sur1\%}$, м, необходимо определять для заданных уклонов дна i по графикам 2, 3 и 4 рис. 1.5; при этом по безразмерной величине $d / \bar{\lambda}_d$ принимается значение $h_{sur1\%}/g\bar{O}^{-2}$ и соответственно определяется $h_{sur1\%}$.

Длину волны в прибойной зоне $\bar{\lambda}_{sur}$ м, следует определять по верхней огибающей кривой рис. 1.4, превышение вершины волны над расчётным уровнем $\eta_{c, sur}$ м, - по верхней огибающей кривой рис. 1.3.

П1.23 Критическая глубина d_{cr} , м, при первом обрушении волн должна определяться для заданных уклонов дна i по графикам 2, 3 и 4 рис. 1.5 методом последовательных приближений. По ряду задаваемых значений глубин d в соответствии с П1.18 и П1.19 определяются величины $h_i / g\bar{T}^2$ и по графикам 2, 3 и 4 рис. 1.5 - соответствующие им значения $d_{cr} / \bar{\lambda}_{cr}$, из которых принимается d_{cr} , численно совпадающее с одной из задаваемых глубин d .

П1.24 Критическую глубину, соответствующую последнему обрушению волн $d_{cr,u}$ при постоянном уклоне дна, следует определять по формуле:

$$d_{cr,u} = k_u^{n-1} d_{cr}, \quad (1.15)$$

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 допускается принимать $d_{cr,u}$ по результатам последовательного определения критических глубин для участков дна с постоянными уклонами.

Элементы волн на огражденной акватории

П1.25 Высоту дифрагированной волны h_{dif} м, на огражденной акватории необходимо определять по формуле:

$$h_{dif} = k_{dif} h_i, \quad (1.16)$$

где k_{dif} - коэффициент дифракции волн, определяемый согласно П 1.26, П1.27 и П1.28;
 h_i - высота исходной волны i %-ной обеспеченности.

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

П1.26 Коэффициент дифракции волн $k_{dif,s}$ для акватории, огражденной одиночным молотом (при заданном значении угла β , град, относительном расстоянии от головы мола до точки в расчётном створе $r / \bar{\lambda}$ и значении угла φ , град.), следует принимать в соответствии со схемой и графиками рис. 1.7 согласно штриховой линии со стрелками.

П1.27 Коэффициент дифракции волн $k_{dif,c}$ на акватории, огражденной сходящимися молами, необходимо определять по формуле:

$$k_{dif,c} = k_{dif,s} \psi_c, \quad (1.17)$$

где ψ_c - коэффициент, принимаемый по рис. 1.8 для данных значений d_c и $k_{dif,cr}$.

Т а б л и ц а 1.6

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

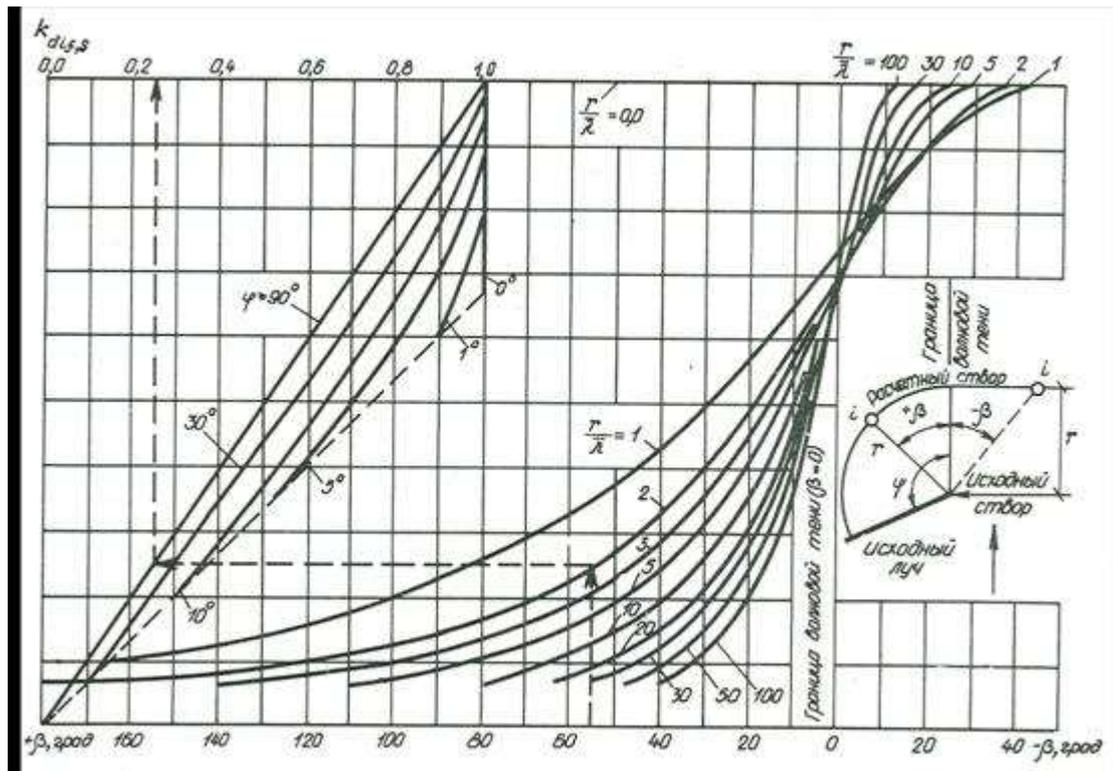


Рисунок 1.7 - Графики для определения значений коэффициента $k_{dif,c}$

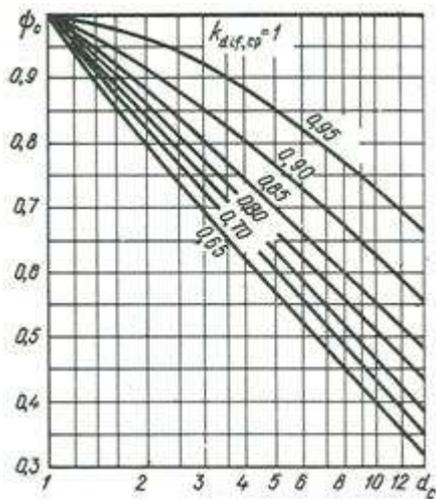


Рисунок 1.8 - Графики значений коэффициента Ψ_c . Величина d_c определяется по формуле:

$$d_c = \frac{l_1 + l_2 + b}{2b}, \quad (1.18)$$

где l_1 и l_2 - расстояния от границ волновой тени (ГВТ) до границ дифракции волн (ГДВ), принимаемые в соответствии со схемой и графиками рис. 1.9 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 1.26 для точки пересечения главного луча с фронтом волн в расчётном створе.

Положение главного луча на схеме рис. 1.9 а необходимо принимать по точкам, расположенным от границы волновой тени (ГВТ) мола с меньшим углом φ_i , град., на расстоянии x , м, определяемых по формуле:

$$x = \frac{l_{a1}l_{a2} - l_{a1}(l_2 - b)}{l_{a1} + l_{a2}}, \quad (1.19)$$

где l_{a1} и l_{a2} - величины, принимаемые в соответствии со схемой и графиками рис. 1.9.

П1.28 Коэффициент дифракции волн $k_{dif,b}$ для акватории, ограждённой волноломом, должен определяться по формуле:

$$k_{dif,b} = \sqrt{k_{dif,s1}^2 + k_{dif,s2}^2}, \quad (1.20),$$

где $k_{dif,s1}$ и $k_{dif,s2}$ - коэффициенты дифракции волн, определяемые для головных участков волнолома согласно П 1.26.

П1.29 Высоту дифрагированной волны с учётом отражения её от сооружений и преград $h_{dif,r}$, м, в данной точке ограждённой акватории необходимо определять по формуле:

$$h_{dif,r} = (k_{dif} + k_{ref})h_i, \quad (1.21)$$

где

$$k_{ref} = k_{dif,s}k_rk_p k_{ref,i} e^{-0.08r/\lambda} \sqrt{\bar{n} \cos \theta_r}, \quad (1.31)$$

$k_{dif,s}$ - коэффициент дифракции в створе отражающей поверхности, определяемый согласно П 1.26, П1.27 и П1.28;

k_r и k_p - коэффициенты, определяемые согласно П 1.19;

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

r/λ - относительное расстояние от отражающей поверхности до расчётной точки по лучу отражённой волны, при этом направление луча отражённой волны должно приниматься из условия равенства углов подхода и отражения волн;

$k_{ref,i}$ - коэффициент отражения, принимаемый по табл. 1.7; при угле наклона отражающей поверхности к горизонту более 45 град. следует принимать коэффициент отражения $k_{ref,i} = 1$.

П р и м е ч а н и е - Высоту волны на ограждённой акватории с меняющимися глубинами допускается уточнять согласно П1.18 и П1.19 при надлежащем обосновании.

Т а б л и ц а 1.7

Пологость волны $\bar{\lambda}/h_{dif}$	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

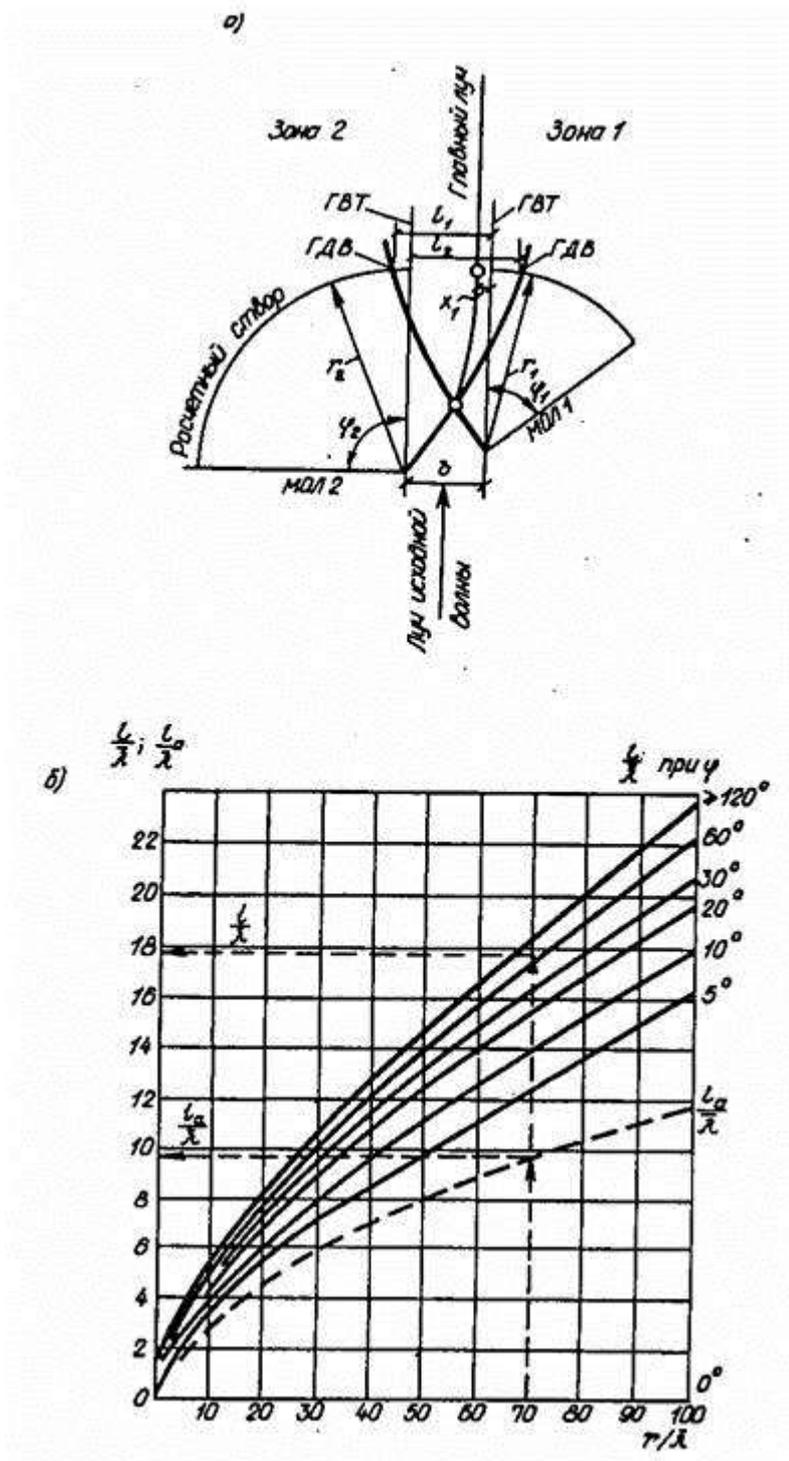


Рисунок 1.9 - Схема (а) и графики (б) для определения величин l и l_a

Приложение 2 (справочное)

Формулы и таблицы настоящих норм в системе измерений МКГСС

В настоящем приложении приведены формулы и таблицы, написание которых изменилось в связи с переводом в новую систему физических единиц. Они представлены за теми же номерами (в новых буквенных обозначениях) со ссылкой на соответствующие пункты

настоящих норм. Формулы и таблицы, которые содержат только замену объёмного веса воды γ на произведение ρg , не приводятся.

К п. 8.2

$$W_q = 7,5 \cdot 10^{-5} A_q v^2 q \xi, \quad (97)$$

$$W_n = 5,0 \cdot 10^{-5} A_n v^2 n \xi, \quad (98)$$

$$W_q = 8,1 \cdot 10^{-5} A_q v^2 q, \quad (99)$$

$$W_n = 8,1 \cdot 10^{-5} A_n v^2 n, \quad (100)$$

W_q и W_n , тс;

К п.8.3

$$Q_w = 0,06 A_t v^2 t, \quad (101)$$

$$N_w = 0,06 A_t v^2 t, \quad (102)$$

Q_w и N_w , тс.

К п.9.1

Т а б л и ц а 27

Солёность льда S_i , ‰	Предел прочности льда на сжатие R_c , тс/м ² , при среднесуточной температуре воздуха t_a , °C			
	0	-3	-15	-30
Менее 1 (пресный лёд)	45	75	120	150
1÷2	40	65	105	135
3÷6	30	50	85	105

К п. 9.3

$$F_{c,p} = 0,4 \psi_d \sqrt{m A R_p t g \gamma}, \text{ тс.} \quad (118)$$

$$F_{c,w} = 0,7 \psi_d \sqrt{A R_c}, \text{ тс.} \quad (119)$$

К п.9.5

$$F_s = 0,3 \psi_d \sqrt{\frac{A}{k_s h_s + \frac{0,2}{R_c m t g \gamma}}}, \text{ тс.} \quad (124)$$

К п. 9.6

$$P_{\mu} = 5 \cdot 10^{-4} v_{\max}^2, \quad (126)$$

$$P_v = 0,05 \frac{h_d v_{\max}^2}{L}, \quad (127)$$

$$P_i = 0,92 h_d i, \quad (128)$$

$$P_{\mu a} = 2 \cdot 10^{-6} v_{w,\max}^2, \quad (129)$$

$$P_{\mu}, P_v, P_i \text{ и } P_{\mu a}, \text{ тс/м}^2$$

К п.9.7

$$P_t = 5 + 11 \cdot 10^{-5} v_{t,d} \eta_i \varphi, \text{ тс/м}^2 \quad (131)$$

при $t_i \geq -20^\circ\text{C}$

$$\eta_i = (3,3 - 0,28 t_i + 0,083 t_i^2) \cdot 10^4, \quad (132)$$

при $t_i < -20^\circ\text{C}$

$$\eta_i = (3,3 - 1,85 t_i) \cdot 10^4, \quad (133)$$

h_{red} - приведенная толщина ледяного покрова, м, определяемая по формуле:

$$h_{red} = h_{\max} + 1,43 h_{\min} + \frac{2,3}{\alpha}, \quad (136)$$

α - коэффициент теплоотдачи от воздуха и поверхности снежного покрова, ккал/(ч·м²), принимаемый равным $23 \sqrt{v_{w,\text{ж}} + 0,3}$ - при наличии снега, или $6 \sqrt{v_{w,\text{ж}} + 0,3}$ при отсутствии снега.

К п. 9.8

$$q = p_t h_{\max} k_i, \text{ тс/м}, \quad (137)$$

где $p_t = 10 \text{ тс/м}^2$

К п. 9.9

$$F_{b,j} = m R_{b,j} b h_j, \text{ тс}, \quad (138)$$

где $R_{b,j} = 12 \text{ тс/м}^2$

К п. 9.12

$$F_d = 20 l v_d t_d^4 \sqrt{\frac{h_{\max}^3}{\hat{O}}}, \text{ тс}, \quad (141)$$

$$\hat{O} = 1 + \frac{3 \cdot 10^4}{\eta_i} [t_d + 50(1 - e^{-0,4t_d})] \quad (142)$$

К п. 9.13

$$M = 200 l v_d t_d \sqrt{\frac{h^2_{max}}{\hat{O}}} \quad \text{тс} \cdot \text{м} \quad (143)$$

$$R_t = R_{t,y} e^{\frac{-400t_{ext}}{\eta_i}} \quad (145)$$

$$R_c = R_{c,y} e^{\frac{-400t_{ext}}{\eta_i}} \quad (146)$$

R_t и R_c , тс/м²

$e^{\frac{-400t_{ext}}{\eta_i}}$	0.8	0.85	0.9 и более
k_e	1	1.5	2

Т а б л и ц а 33

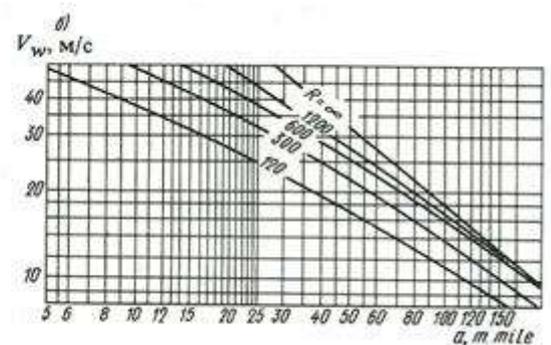
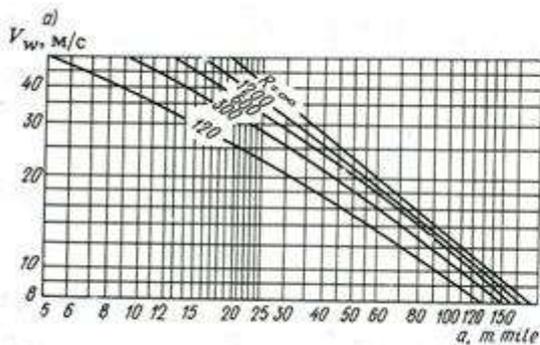
Температура льда $t_i, ^\circ\text{C}$	Пределы текучести льда, тс/м ²	
	на растяжение $R_{t,y}$	на сжатие $R_{c,y}$
Верхняя часть ледяного покрова		
От 0° до -2°	70	180
От -3° до -10°	80	250
От -11° до -20°	100	280
Нижняя часть ледяного покрова		
От 0° до -2°	50	120

t_i то же, что и в п. 9.7.

Приложение 3 (рекомендуемое)

Определение пространственных характеристик ветра по данным синоптических карт

Пространственное распределение скорости ветра необходимо учитывать путём построения полей ветра, определяемых по данным синоптических карт. Расчётные 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) $\varphi = 35\div 49^\circ$ с.ш.

УДК 627.042.8(083.74)

МКС 93.160

Ключевые слова: Нагрузки и воздействия, гидротехнические сооружения, гравитационные ветровые волны, расчетная скорость ветра.