Министерство транспорта Российской Федерации
Государственный проектно-изыскательский и
научно-исследовательский
институт морского транспорта
"Союзморниипроект"

Указания

по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружени

Р 31.3.07-01

Дополнение и уточнение СНиП 2.06.04-82*
"Нагрузки и воздействия на
гидротехнические сооружения
(волновые, ледовые и от судов)". М, 1995

Москва - 2001

gost.e-ecolog.ru

Министерство транспорта Российской Федерации
Государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт морского транспорта "Союзморниипроект"

Р 31.3.07-01

Указания
по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружени

Дополнение и уточнение СНиП 2.06.04-82* "Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)". М, 1995

Утверждены
Департаментом регулирования производственной деятельности морских портов Минтранса России

Введены в действие с 1 января 2002 г.

Москва - 2001

УДК 627.042.8(083.74)

Разработаны: Государственным проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом морского транспорта (Союзморниипроект):

Научный руководитель,	
докт. техн. наук	С.С. Стрекалов
канд. техн. наук	Е.В.Лукьянович
канд. геогр. наук	Г.И. Литвиненко
канд. техн. наук	В.А. Цыкало
канд. техн. Наук	Б.А.Дугинов
инженер	Л.В.Юхт

Московским Государственным Строительным Университетом (МГСУ):

Научный руководитель,	
докт. техн. наук	Г.Н. Смирнов
канд. техн. наук	С.И. Рогачко
канд. техн. наук	Г.Н. Евдокимов

МГСУ разработаны. раздел "Ледовые нагрузки на гидротехнические сооружения", подраздел "Нагрузки от стоячих волн на сооружения вертикального профиля" и Приложения 4, 6

СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ - 2001 г.

Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения	Дополнение и уточнение СНиП 2.06.04-82* "Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)". М, 1995

1.ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Настоящие Указания служат дополнением и уточнением ряда положений действующего СНиП 2.06-04-82* и распространяются на морские гидротехнические сооружения при проектировании вновь строящихся и реконструируемых объектов.

1.2. Указания включают определение нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов) при учете характеристик определяющих ветро-волновых процессов.

1.3. Указания устанавливают рекомендуемые значения параметров ветро-волновых процессов, волновых нагрузок а также нагрузок от пришвартованных судов на гидротехнические сооружения. Расчетные значения ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения необходимо корректировать с учетом натурных данных

1.4. При выполнении расчетов по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения элементы волн следует принимать для расчетных штормов с повторяемостью N = 100, 50 и 25 лет. При этом необходимо учитывать сочетание скорости ветра, элементов волн и уровня моря. Элементы волн

в расчетных штормах необходимо определять с использованием данных измерений ветра и синоптических карт.

1.5. Расчетную обеспеченность высот волн в системе необходимо принимать:

при определении защищенности портовых акваторий - 5%;
при определении наката волн - 1%;
при назначении высотных отметок сквозных сооружений на открытых акваториях - 0.1 %;
при определении устойчивости и прочности гидротехнических сооружений - по табл. 1.1.

Таблица 1.1

Гидротехнические сооружения	Расчетная обеспеченность высот волн в системе, %
Сооружения вертикального профиля	1
Оградительные сооружения откосного профиля	1
Берегоукрепительные сооружения класса:	
I, II	1
III, IV	5
Сквозные сооружения и обтекаемые преграды класса	
I,	1
II	5
III, IV	13

1.6. При определении нагрузок на гидротехнические сооружения необходимо принимать высоту волны заданной обеспеченности в сочетании с средней длиной волны ; для сквозных сооружений следует определять максимальное воздействие волн при изменении расчетной длины волны в пределах от 0,8 до 1,4.

1.7. Расчетные характеристики ветра следует принимать по Приложению 1, а расчетные уровни воды - по Приложению 2 настоящих Указаний.

2. ЭЛЕМЕНТЫ ВОЛН НА ОТКРЫТЫХ И ОГРАЖДЕННЫХ АКВАТОРИЯХ

Общие положения

2.1. Расчеты элементов волн на открытых акваториях необходимо производить с учетом деления морей на акватории и зоны по уклонам дна и глубинам:

глубоководная акватория - с глубиной $d \succ 0.5\overline{\lambda}_d$, где дно не влияет на элементы волн, $\overline{\lambda}_d$ - средняя длина волн на глубокой воде;

мелководная акватория - с глубиной $d \leq 0.5\overline{\lambda}_d$ и уклонами дна $i_* \leq 0.001$ или практически горизонтальном дне;

зона трансформации - область уменьшающихся глубин с уклонами дна $i_* \succ 0.001$, по которой волны распространяются из глубоководной или мелководной акватории;

прибойная зона - с глубинами от d_{cr} до $d_{cr.u}$, в пределах которой начинается и завершается разрушение волн;

приурезовая зона - с глубиной менее $d_{cr.u}$, в пределах которой происходит накат волн на берег, т.е. поток от обрушенных волн периодически набегает на береговой откос или пляж;

зона дифракции – акватория, огражденная одиночным молом, сходящимися молами, волноломом или комбинациями перечисленных типов сооружений.

2.2. Превышение вершины волны над расчетным уровнем η_c, м, для акваторий и зон, перечисленных в п. 2.1 настоящих Указаний, исключая приурезовую, следует принимать по СНиП 2.06.04-82* (Приложение 1, п.16).

2.3. Элементы волн на открытых глубоководных и мелководных акваториях, в зоне трансформации, прибойной зоне и на огражденных акваториях необходимо определять в соответствии с требованиями СНиП 2.06.04-82* и рекомендациями настоящих Указаний.

2.4. Допускается использование аэрогидродинамических моделей расчета ветровых волн (Приложение 3), при их тестовой проверке по формулам Указаний.

Элементы волн на глубоководной акватории

2.5. Среднюю высоту волны на глубоководной акватории $\bar{h}_d$, м, при простых условиях волнообразования (ветер постоянной скорости и направления, прямолинейный берег) необходимо определять с учетом скорости ветра а также разгона или продолжительности действия ветра по формулам:

$$\bar{h}_d = 0.16\frac{V_w^2}{g}\left\{1-\left[\frac{1}{1+6.0\cdot 10^{-3}\sqrt{\frac{gL}{V_w^2}}}\right]^2\right\}, \qquad (2.1)$$

$$\bar{h}_d = 0.16\frac{V_w^2}{g}\left\{1-\left[\frac{1}{1+1.04\cdot 10^{-3}\left(\frac{gt}{V_w}\right)^{0.635}}\right]^2\right\} \qquad (2.2)$$

где: V_w - скорость ветра, м/с, определяемая по Приложению 1;
g - ускорение свободного падения, м/с^2;
L - разгон, м;
t - продолжительность ветра, с.

По значениям безразмерных параметров gL/V_w^2 и gt/V_w следует вычислять значения $\bar{h}_d$ и принимать меньшую величину.

Средний период волн $\bar{T}$, с, и среднюю длину $\bar{\lambda}_d$, м, следует определять по формулам:

$$\bar{T} = 19.5\frac{V_w}{g}\left(\frac{g\bar{h}_d}{V_w^2}\right)^{0.625} \qquad (2.3)$$

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi}. \qquad (2.4)$$

2.6. Высоту волны i %-ой обеспеченности в системе волн h_i, м, необходимо определять по формулам:

$$\bar{h}_i = k_{i\%}\bar{h}_d, \qquad (2.5)$$

$$k_i = 1{,}1\left[-\ln i + 2\ln 10\right]^{\frac{1}{2\varphi}}, \qquad (2.6)$$

$$\varphi \approx \frac{0.5 \times 10^3}{\sqrt{\frac{gL}{V_w^2} + 3.9 \times 10^2}}, \qquad (2.7)$$

где k_i - коэффициент перехода к высоте волны обеспеченностью *i*, %.

Если $\varphi < 1$, то в формуле (2.7) необходимо принимать $\varphi = 1$.

2.7.При ветре, переменном по направлению и скорости, а также при сложной конфигурации береговой черты рекомендуется использовать спектральную методику: переменное поле ветра и сложная конфигурация береговой черты учитываются в соответствии с рекомендациями СНиП 2.06.04-82* (Приложение 1, п.13, п.14).

Значение gL/V_w^2 в формуле (2.7) должно приниматься по величине $g\bar{h}_d/V_w^2$, определяемой для переменного поля ветра.

Средний период $\bar{T}$, определяется по формуле (2.3) при безразмерной величине $g\bar{h}_d/V_w^2$, принятой для переменного ветра.

Среднюю длину волн $\bar{\lambda}_d$ следует принимать по формуле (2.4).

Элементы волн на мелководной акватории

2.8. Среднюю высоту волны на мелководной акватории, $\bar{h}_s$, м, с уклонами дна $i < 0.002$ необходимо определять по формуле

$$\bar{h}_s = \bar{h}_d \cdot th\left[\frac{0.1\left(\frac{gd}{V_w^2}\right)^{0.8}}{\frac{g\bar{h}_d}{V_w^2}}\right], \qquad (2.8)$$

где d - глубина воды в расчетной точке.

Параметр $g\bar{h}_d/V_w^2$, и, соответственно, высоту волны $\bar{h}_d$, м, необходимо определять по формулам (2.1) и (2.2); при этом используют наименьшее значение.

Средний период $\bar{T}$, с, и среднюю длину волны $\bar{\lambda}$, м, на мелководной акватории необходимо определять по формулам (2.3) и (2.4) с учетом вычисленных значений $\bar{h}_s$, м, и $\bar{T}$, с.

2.9. Высоту волны i %-ой обеспеченности в системе волн h_i, м, необходимо определять по формулам (2.5) - (2.7). Значение gL/V_w^2 следует принимать по формуле

$$\left(\frac{gL}{V_w^2}\right)_d = 1{,}2 \cdot 10^4 \left(\frac{gd}{V_w^2}\right)_s^2, \qquad (2.9)$$

где $(gL/V_w^2)_d$ - параметр, эквивалентный глубоководному безразмерному разгону gL/V_w^2;

$(gd/V_w^2)_s$ - параметр, соответствующий безразмерной глубине gd/V_w^2.

Элементы волн в зоне трансформации

2.10. Высоту волн i%-ой обеспеченности в зоне трансформации с уменьшающимися глубинами при уклонах дна $i \geq 0.02$ необходимо определять по формуле

$$h_i = k_t \cdot k_r \cdot k_i \cdot \overline{h}_d , \qquad (2.10)$$

где k_t - коэффициент трансформации;

k_r - коэффициент рефракции;

k_i - коэффициент перехода к высоте волны i% -ой обеспеченности;

$\overline{h}_d$ - исходная средняя высота волны на глубоководной акватории.

Коэффициенты k_t, k_r и k_i следует определять по п.п. 2.11, 2.12, 2.14 настоящих Указаний.

2.11. Коэффициент трансформации k_t необходимо вычислять по формуле

$$k_t = \left\{ \frac{C_N \left(1 + \frac{4\pi}{C_n} \cdot \frac{d}{\overline{\lambda}_d}\right)}{sh\left(\frac{4\pi}{C_N} \cdot \frac{d}{\overline{\lambda}_d}\right)} \right\}^{-\frac{1}{2}} , \qquad (2.11)$$

где

$$C_N = th^{0.5}\left(\frac{2\pi d}{\overline{\lambda}_d}\right); \qquad (2.12)$$

d - глубина воды в расчетной точке.

2.12. Коэффициент рефракции для участков дна с прямолинейными изобатами (при $0 \le \alpha_d \le 60$, град.) следует вычислять по формуле

$$k_r = \left[\frac{1 - C_N^2 \sin^2 \alpha_d}{\cos^2 \lambda_d} \right], \qquad (2\ 13)$$

где α_d - угол между направлением волн и нормалью к изобатам в расчетной точке;

C_N - параметр, определяемый по формуле (2.12).

Коэффициент рефракции k_r для участков дна с криволинейными изобатами допускается определять в соответствии с рекомендациями СНиП 2.06.04-82* (Приложение 1, п. 18).

2.13. При сложной конфигурации изобат для определения коэффициента рефракции k_r допускается использовать спектральную методику. Результирующий коэффициент рефракции определяется с учетом коэффициентов рефракции для волновых лучей, проведенных из расчетной точки в направлениях через $\pm 22{,}5$, град, от главного луча в секторе $\pm 67{,}5$, град.

2.14.Высоту волн *i*%- ой обеспеченности в зоне трансформации с уменьшающимися глубинами при уклонах дна $0{,}002 \le i < 0.02$ необходимо определять по формуле

$$h_i = k_r \cdot k_l \cdot k_i \cdot \bar{h}, \qquad (2.14)$$

где k_i-обобщенный коэффициент потерь, принимаемый в соответствии с рекомендациями СНиП 2.06.04-82* (Приложение 1, п.18).

2.15.Коэффициент перехода k_i к высоте волны заданной i% -ой обеспеченности необходимо определять по формуле

$$k_i = \left[\frac{4}{\pi}\left(1+0.4\frac{\bar{h}}{d}\right)\left(-\ln i+2\ln 10\right)\right]^{\frac{1-\frac{\bar{h}}{d}}{2}} \qquad (2.15)$$

2.16. Длину волн $\bar{\lambda}$, м, перемещающихся из глубоководной акватории в зону трансформации необходимо определять по формуле

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_d th^{0.5}\left(\frac{2\pi d}{\bar{\lambda}_d}\right), \qquad (2.16)$$

где $\bar{\lambda}_d$ принимается по формуле (2.4).

Элементы волн в прибойной зоне

2.17.Глубину первого обрушения волн d_{cr}, м, в прибойной зоне при постоянном уклоне дна i необходимо определять по формуле

$$d_{cr} = a_i\left[arcth\left(\frac{5.9\cdot 2\pi(h_d)_{1\%}}{g\bar{T}^2}\right)\right]\cdot\frac{g\bar{T}^2}{2\pi}, \qquad (2.17)$$

где $\begin{cases} a_1 = 4.3 \\ a_2 = 5.4 \\ a_3 = 6.3 \end{cases}$ при $\begin{cases} 0.001 \prec i \le 0.033; \\ 0.033 \prec i \prec 0.049; \\ 0.05 \le i \le 0.2. \end{cases}$

2.18.Глубину последнего обрушения волн $d_{cr,u}$, м, начиная с которой происходит накат волн на берег, допускается при постоянном уклоне дна i вычислять по формуле

$$d_{cr,u} = k_u^{n-1} d_{cr}, \qquad (2.18)$$

где $d_{cr,u}$-глубина первого обрушения волн, принимаемая по формуле (2.17).

Значение параметра k_u и число обрушений волн n, необходимо определять по Табл. 2.1.

Таблица 2.1

Уклоны дна i	0.01-0.014	0.015-0.033	0.034-0.049	0.05-0.2
Параметр k_u	0.755	0.59	0.40	-
Число обрушений n	4	3	2	1

При уклонах дна $0.05 \le i \le 0.2$ и значении $n = 1$ критическая глубина $d_{cr,u} = d_{cr}$.

При уклонах дна $0.001 < i < 0.01$ необходимо принимать

$$d_{cr,u} = 0.43 d_{cr}. \qquad (2.19)$$

2.19.Глубину последнего обрушения волн $d_{cr,u}$, м, при переменных уклонах дна допускается принимать по результатам последовательного определения глубин $d_{cr,u}$ для участков с постоянными уклонами дна i.

2.20.Высоту волн в прибойной зоне 1%-ой обеспеченности $h_{sur1\%}$ при $d_{cr} \le d \le d_{cr,u}$ необходимо определять по формуле

$$h_{sur1\%} = 0.18\left[th\left(a_1 \frac{2\pi d}{g\bar{T}^2}\right)\right]\frac{g\bar{T}^2}{2\pi}, \qquad (2.20)$$

где коэффициент a_1 следует принимать в соответствии с требованиями п. 2.17 настоящих Указаний.

2.21. Длину волны в прибойной зоне $\bar{\lambda}_{sur}$, м, следует вычислять по формуле

$$\bar{\lambda}_{sur} = th^{0.5}\left(9.2\frac{2\pi d}{g\bar{T}^2}\right)\cdot\frac{g\bar{T}^2}{2\pi}, \qquad (2.21)$$

2.22.Высоту волны *i*%-ой обеспеченности в прибойной зоне $h_{sur,i\%}$, м, необходимо определять по формуле

$$h_{sur,i\%} = k_i h_{sur,1\%}. \qquad (2.22)$$

Коэффициент перехода к высоте заданной обеспеченности k_i следует принимать по табл. 2.2.

Таблица 2.2

Обеспеченность высоты волны *i*,%	0.1	1	5	13
Коэффициент k_i	1.15	1	0.9	0.85

Элементы волн на огражденной акватории

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

$$h_{dif} = k_{dif} \cdot h_i , \qquad (2.23)$$

где k_{dif} - коэффициент дифракции волн;

h_i - высота исходной волны обеспеченностью i% перед входом на акваторию ,м.

В качестве расчетной длины волны следует принимать исходную длину $\bar{\lambda}$, м, на входе в акваторию.

2.24. Коэффициент дифракции волн $k_{dif,s}$ для акватории, огражденной одиночным молом, рис.2.1, следует вычислять по формуле

$$k_{dif,s} = \frac{1 + 2.3\left(\frac{r}{\bar{\lambda}}\right)^{1.7}}{1 + 2.3\left(\frac{r}{\bar{\lambda}}\right)^{1.7} + \left[1.1\left(\frac{r}{\bar{\lambda}}\right)^{0.67} th^{0.17}\varphi + \frac{r}{\bar{\lambda}} f(\beta)\right]^{2.5}}, \qquad (2.24)$$

где $f(\beta) = \begin{cases} tg\beta, (\beta \le 0); \\ \beta, (\beta > 0); \end{cases}$

r - расстояние от головы мола до расчетной точки, *м*;

φ - угол между лучом исходной волны и осью мола, *рад.*;

β - угол между границей волновой тени и лучом, проведенным от головы мола в расчетную точку, *рад.*: в зоне волновой тени угол β считается положительным; вне зоны тени – отрицательным.

2.25.Коэффициент дифракции волн за одиночным молом допускается определять по спектральной методике. Результирующий коэффициент дифракции определяется с учетом коэффициентов дифракции для волновых лучей, проведенных из расчетной точки в направлениях через ± 22,5, град, от главного луча в секторе ± 67,5, град.

2.26.Расчеты элементов волн на акваториях, огражденных сходящими ся молами, волноломом или комбинациями со-

оружений необходимо выполнять в соответствии с требованиями Главы СНиП 2.06.04-82* (Приложение 1, п.п. 24-27). При этом допускается использовать гидродинамические модели.

2.27.Рекомендуется использовать гидродинамические модели для акваторий с переменными глубинами с учетом дифракции, отражения и интерференции волн у сооружений различных конструкций, в т.ч. проницаемых. При этом необходимо выполнять тестовую проверку моделей с использованием формулы (2.24).

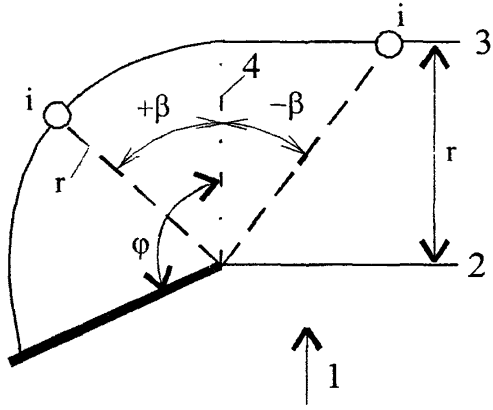

Рис. 2.1. Схема к расчету дифракции волн за одиночным молом:
1- исходный луч; 2 – исходный створ; 3 – расчетный створ;
4 – граница волновой тени

2.28. Степень защищенности акватории порта и его причалов от волнения следует определять с учетом данных по расчетному судну и характеристикам отбойных устройств согласно рекомендациям раздела 4 и Приложения 5 настоящих Указаний.

3. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЛН НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО И ОТКОСНОГО ПРОФИЛЯ

Общие положения

3.1. Нагрузки от стоячих волн на сооружения вертикального профиля и их элементы следует определять в соответствии с рекомендациями п.п. 3.6 – 3.16 настоящих Указаний.

3.2. Нагрузки и воздействия волн на сооружения вертикального профиля и их элементы (особые случаи) необходимо определять по СНиП 2.06.04-82*, п.п. 1.5*, 1.7, 1.8 и 1.10.

3.3. Нагрузки от разбивающихся и прибойных волн на сооружения вертикального профиля следует определять по СНиП 2.06.04-82*, п.п. 1.11 – 1.13.

3.4. Неразмывающие и максимальные донные скорости рекомендуется определять в соответствии с требованиями п.п. 3.17 – 3.20 настоящих Указаний.

Нагрузки от стоячих волн на сооружения вертикального профиля

3.5. Расчет сооружений на воздействие стоячих волн со стороны открытой акватории (рис.3.1) должен производиться при глубине до дна $d_b > 1{,}5h$ и глубине над бермой $d_{br} \geq 1{,}25h$; при этом h – высота бегущей волны, м, принимаемая в соответствии с требованиями Раздела 2 настоящих Указаний.

3.6. При расчетах сооружений на воздействие стоячих волн вместо глубины до дна d_b, м, необходимо использовать условную расчетную глубину d, м, определяемую по формуле

$$d = d_f + k_{br}(d_b - d_f), \qquad (3.1)$$

где d_f – глубина над подошвой сооружения, м.

Коэффициент k_{br} принимается по графикам рис.3.2 с учетом средней длины волны $\bar{\lambda}$, м, и значений глубин d_b и d_f.

3.7. Максимальное возвышение гребня стоячей волны η_c, м, у вертикальной стены следует определять по графикам рис. 3.3, используя значение $\tilde{\eta}_c = \eta_c / h$.

3.8. Минимальное значение уровня при ложбине стоячей волны у вертикальной стены η_t, м, необходимо определять по формуле

$$\eta_t = 2h - \eta_C. \qquad (3.2)$$

3.9. При определении нагрузок и воздействий значения безразмерных коэффициентов $\tilde{P}_{x,c}, \tilde{P}_{x,t}, \tilde{M}_{x,c}, \tilde{M}_{x,t}, \tilde{p}_{f,c}, \tilde{p}_{f,t}$ в формулах (3.3) – (3.8) необходимо определять при использовании графиков рис.3.4 – 3.9. Формулы для расчета безразмерных коэффициентов приведены в Приложении 4.

3.10. Максимальное значение волновой нагрузки на 1 пог. м длины вертикальной стенки при подходе гребня стоячей волны $P_{x,c}$, кН/м, следует определять по формуле

$$P_{x,c} = \rho g h^2 \tilde{P}_{x,c}, \qquad (3.3)$$

где ρ - плотность воды, т/м^3,

g - ускорение свободного падения, м/с^2.

3.11. Минимальное значение волновой нагрузки на 1 пог. м длины вертикальной стенки при подходе ложбины стоячей волны $P_{x,t}$, кН/м, следует определять по формуле

$$P_{x,t} = -\rho g h^2 \widetilde{P}_{x,t}. \qquad (3.4)$$

3.12. Максимальный момент силы волнового давления на полосу вертикальной стены шириной 1 м относительно подошвы сооружения в фазе гребня волны $M_{x,c}$, кН, следует определять по формуле

$$M_{x,c} = \rho g h^3 \widetilde{M}^3_{x,c}. \qquad (3.5)$$

3.13. Минимальный момент силы волнового давления на полосу вертикальной стены шириной 1 м относительно подошвы сооружения в фазе ложбины волны $M_{x,t}$, кН, следует определять по формуле

$$M_{x,t} = -\rho g h^3 \widetilde{M}^3_{x,t}. \qquad (3.6)$$

3.14. Волновое давление на уровне подошвы сооружения в фазе гребня волны $p_{f,c}$, кПа, следует определять по формуле

$$p_{f,c} = \rho g h \ \widetilde{p}_{f,c}. \qquad (3.7)$$

3.15. Волновое давление на уровне подошвы сооружения в фазе ложбины волны $p_{f,t}$, кПа, следует определять по формуле

$$p_{f,c} = -\rho g h \ \widetilde{p}_{f,c}. \qquad (3.8)$$

3.16. При подходе фронта волны к сооружению со стороны открытой акватории под углом α волновую нагрузку на вертикальную стену необходимо уменьшить путем умножения ее на коэффициент k_{α}, принимаемый по таблице 3.1.

Таблица 3.1

α, *град.*	0	45	60	75
k_{sl}	1	1	0,9	0,7

При перемещении волны вдоль сооружения, то есть для α=*90*, град., или близких углов, волновую нагрузку на секцию сооружения следует определять согласно СНиП 2.06.04-82*, п.1.7.

Неразмывающие и максимальные донные скорости

3.17. Допустимые значения неразмывающих донных скоростей $\upsilon_{b,adm}$, м/с для грунта крупностью фракций D, м, следует определять по формулам:

$$\upsilon_{b,adm} = 3.25\sqrt{gD}, \qquad \text{при } D \prec d^*; \qquad (3.9)$$

$$\upsilon_{b,adm} = 3.25\sqrt{gD}\left(\frac{d^*}{D}\right)^n \quad \text{при } D \geq d^*, \qquad (3.10)$$

где d^*=*3,38·10*$^{-3}$ м, n = *0,17*.

3.18. Максимальные донные скорости перед вертикальной стеной на расстоянии $0.25\bar{\lambda}$ от передней грани стены необходимо определять по формулам:

$$\upsilon_{b\max} = \frac{2k_{sl}\pi h}{\sqrt{\frac{\pi}{g}\bar{\lambda}\, sh\frac{4\pi d_n}{\bar{\lambda}}}} \qquad (3.11)$$

- стоячие волны;

$$\upsilon_{f\max} = \sqrt{\frac{gh}{ch\dfrac{2\pi d_f}{\overline{\lambda}}}} \qquad (3.12)$$

- разбивающиеся волны (над поверхностью бермы);

$$\upsilon_{b\max} = \sqrt{\frac{gh_{sur}}{ch\dfrac{2\pi d_f}{\overline{\lambda}}}} \qquad (3.13)$$

- прибойные волны,

где $2h$ - высота стоячей волны, м;

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

h_{sur} - высота прибойной волны , м;

$\overline{\lambda}_{sur}$ - средняя длина прибойной волны , м;

d_n - глубина на расстоянии от сооружения $0.25\overline{\lambda}$, м;

d_f - глубина над бермой, м.

Коэффициент k_{sl} в формуле (3.11) необходимо принимать по таблице 3.2.

Таблица 3.2

Пологость волны	8	10	15	20	30
Коэффициент k_{sl}	0,6	0,7	0,75	0,8	1

3.19. Глубину нижней границы размыва грунта перед сооружением следует определять из условия равенства допустимых неразмывающих скоростей, определяемых по формулам (3.9) и (3.10), и максимальных донных скоростей, определяемых по формулам (3.11), (3.12) и (3.13).

3.20. При максимальных донных скоростях перед сооружением, превышающих допустимые значения неразмывающих донных скоростей, требуется защита от размыва.

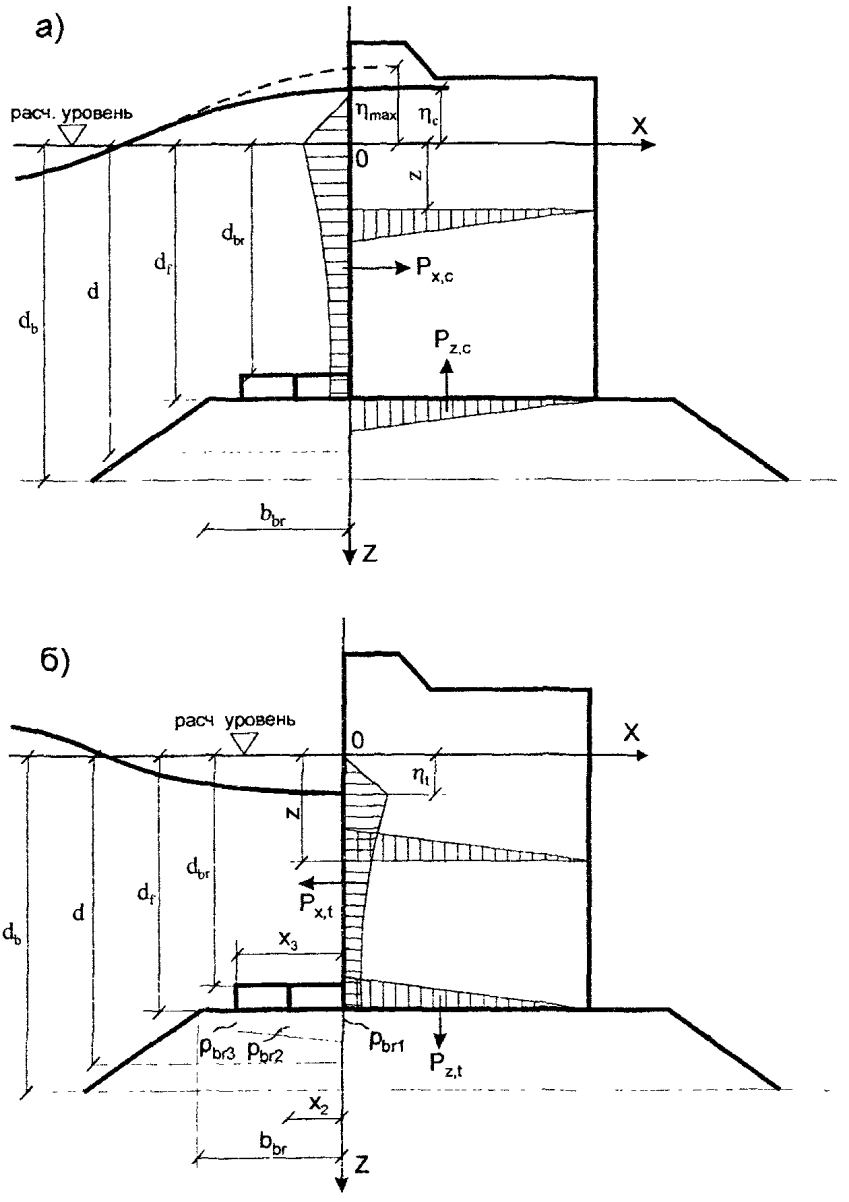

Рис. 3.1. Эпюры давления стоячих волн на вертикальную стену со стороны открытой акватории: а) при гребне волны, б) при ложбине (с эпюрами взвешивающего волнения давления на берменные массивы)

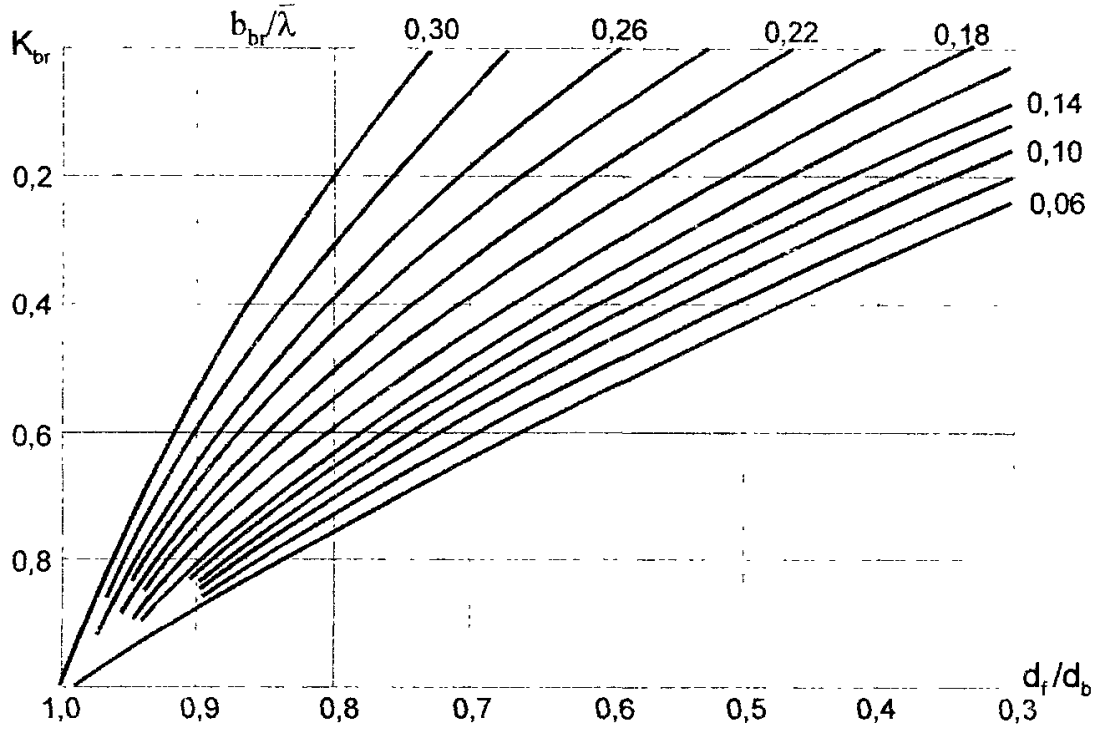

Рис. 3.2. Графики значений коэффициента K_{br}

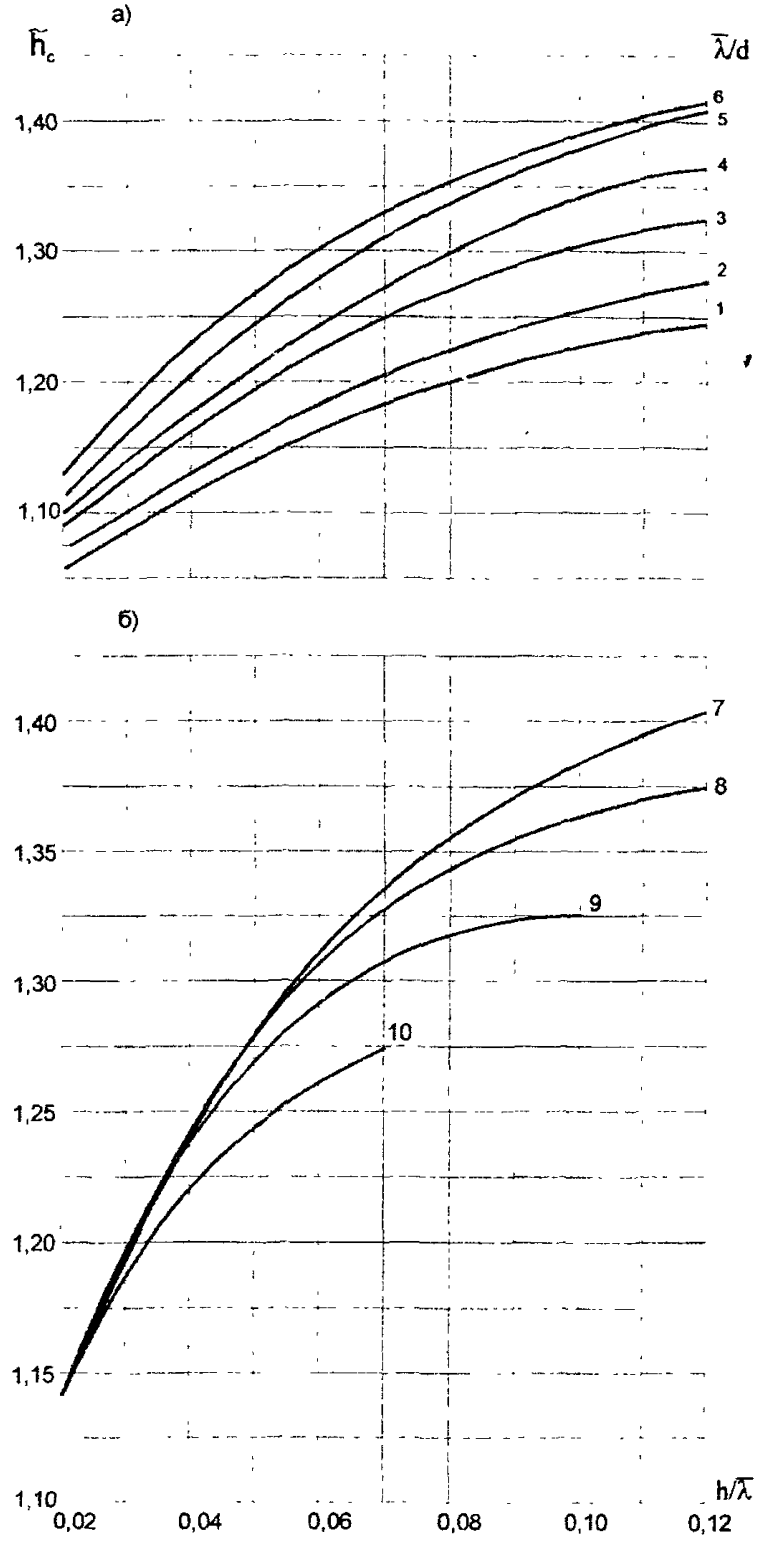

Рис. 3 3. Графики значений коэффициента $\tilde{\eta}_c$:

а) для значений $\bar{\lambda}/d = 1 \div 6$; б) для значений $\bar{\lambda}/d = 7 \div 10$

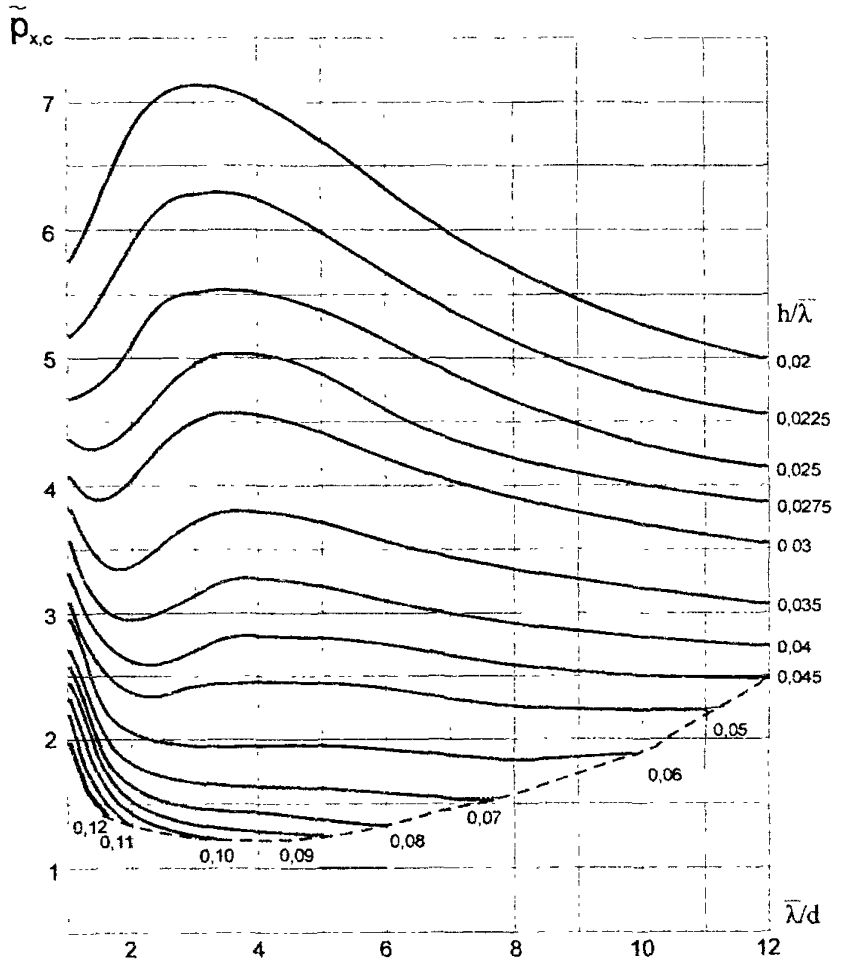

Рис. 3.4. Графики значений коэффициента $\widetilde{p}_{x,c}$
(пунктирная линия – граница существования стоячих волн)

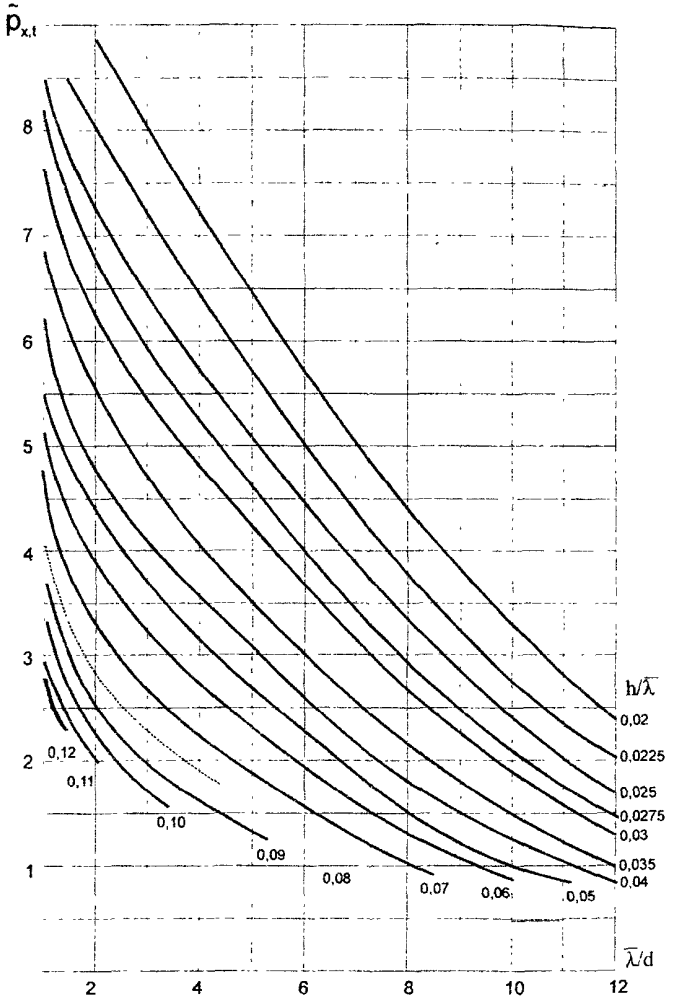

Рис. 3.5. Графики значений коэффициента $\tilde{p}_{x,t}$

(Пунктирная линия – граница существования стоячих волн)

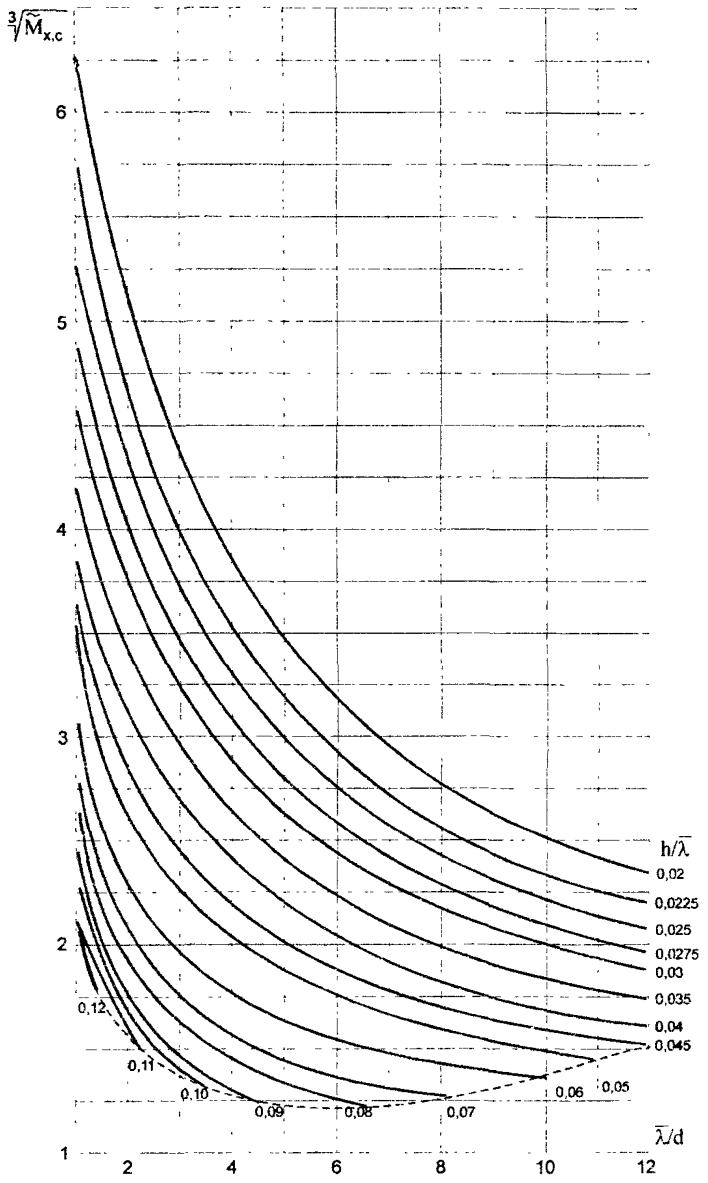

Рис. 3.6. Графики значений коэффициента $\sqrt[3]{\tilde{M}_{x,c}}$.

(пунктирная линия – граница существования стоячих волн)

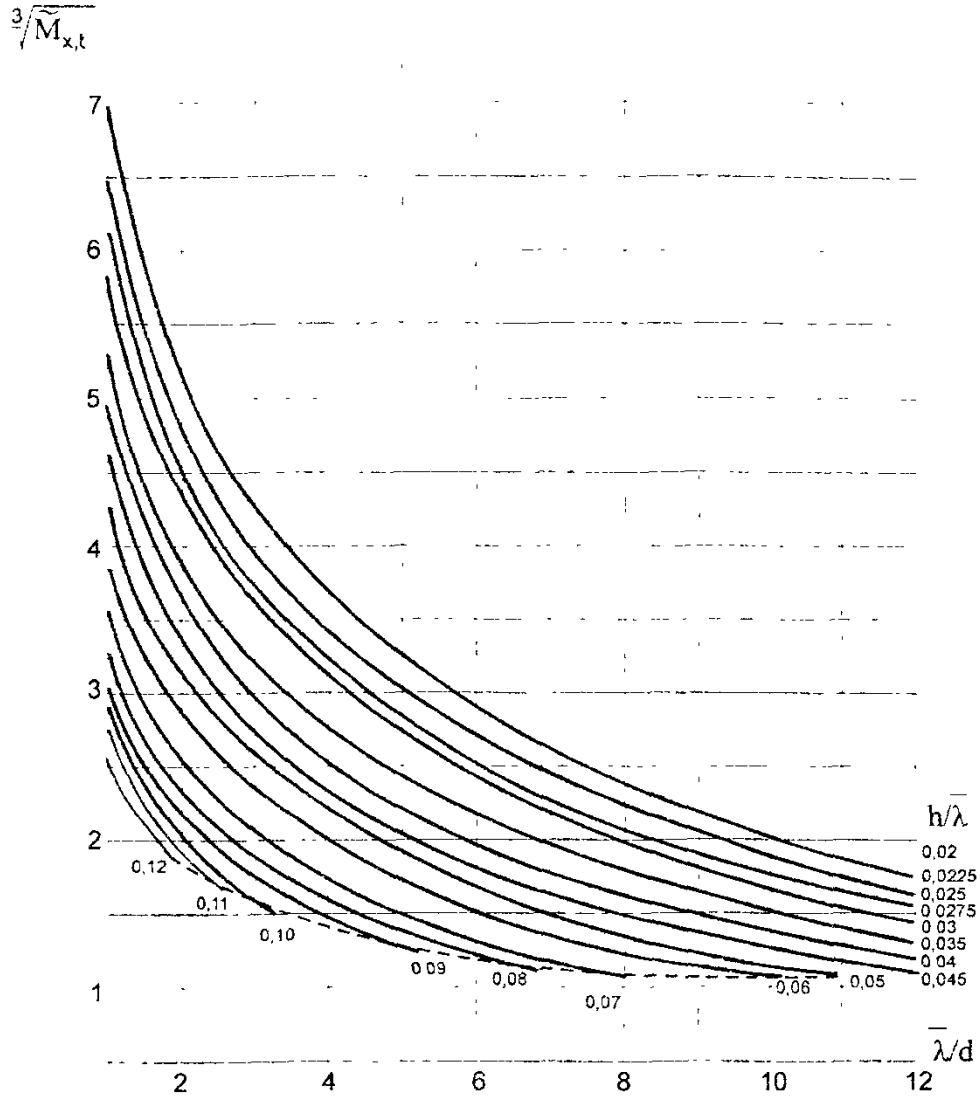

Рис. 3 7 Графики значений коэффициента $\sqrt[3]{\widetilde{M}_{x,t}}$

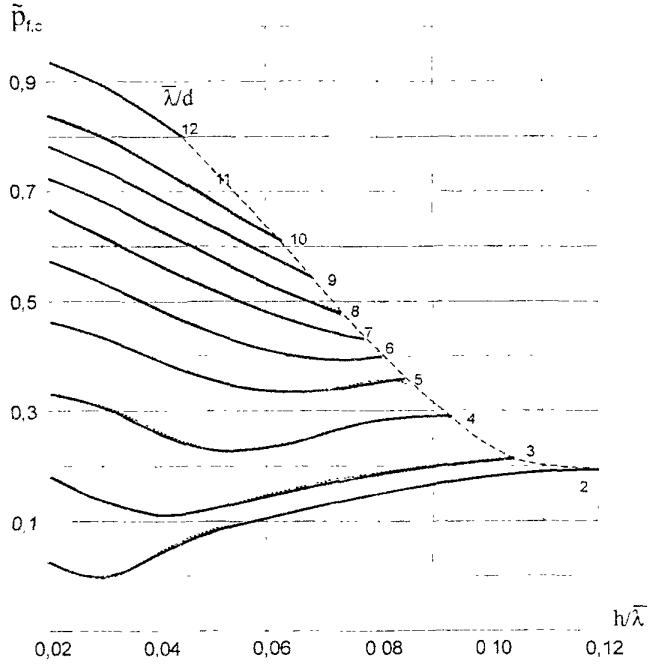

Рис. 3.8. Графики значений коэффициента $\tilde{p}_{f,c}$.

(пунктирная линия – граница существования стоячих волн)

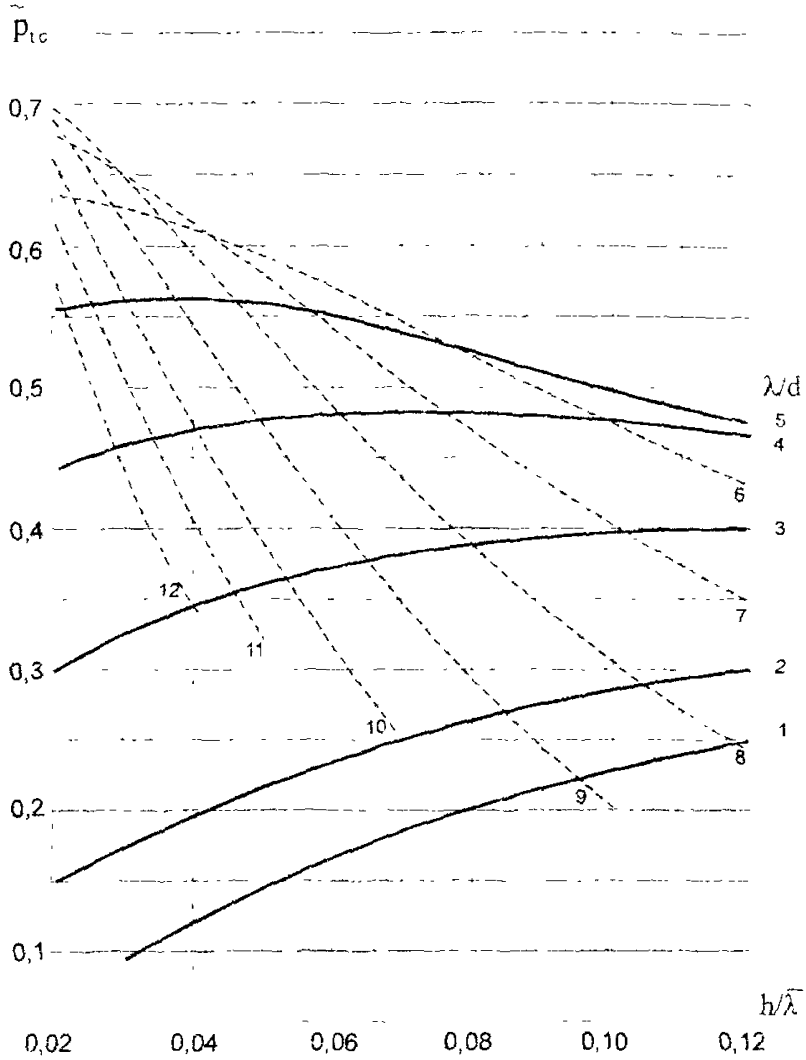

Рис. 3 9 Графики значений коэффициента $\widetilde{p}_{t,c}$:

сплошные линии - для значений $\bar{\lambda}/d = 1 \div 5$.

пунктирные линии - для значений $\bar{\lambda}/d = 6 \div 11$.

Накат волн на сооружения

3.21. Накат волн на откосы перед сооружениями подлежит определению при расчетах нагрузок на откосы, назначении отметки верха сооружений и границ крепления откосов.

3.22. Высоту наката волн на откос обеспеченностью 1% ($h_{run1\%}$, м) при глубине перед сооружением $d \geq 2h_{1\%}$ необходимо определять по формуле

$$h_{run1\%} = k_{run} \cdot k_{\alpha} \cdot k_r \cdot k_p \cdot k_w \cdot h_{1\%}, \qquad (3.14)$$

где: k_{run} - коэффициент наката волн на гладкий, непроницаемый откос;

k_{α} - коэффициент, учитывающий угол подхода волн к откосу;

k_r - коэффициент, учитывающий шероховатость откоса;

k_p - коэффициент, учитывающий проницаемость откоса;

k_w - коэффициент, учитывающий скорость ветра;

$h_{1\%}$ - высота волны 1 %-ной обеспеченности перед откосом, м

3.23. Коэффициент наката волн на гладкий непроницаемый откос допускается вычислять по формулам:

$$k_{run} = \frac{1.2}{ctg\varphi}\sqrt{\frac{\bar{\lambda}_d}{h_{d1\%}}}, \quad \text{при } ctg\varphi > 1.5;\ k_{run} \leq k_{run,p}; \qquad (3.15)$$

$$k_{run} = ctg\varphi + 1.2, \quad \text{при } 1 \leq ctg\varphi \leq 1.5, \qquad (3.16)$$

где φ - угол наклона откоса к горизонту, град.;

$ctg\varphi$ - заложение откоса;

$\bar{\lambda}_d / h_{d1\%}$ - пологость волны на глубокой воде;

$k_{run,p} = 2.7$ - предельное значение коэффициента наката.

3.24. При глубине перед сооружением $d < 2h_{1\%}$ коэффициент k_{run} необходимо вычислять по формуле (3.15) для значений пологости волны $\bar{\lambda}/h_{1\%}$, соответствующей пологости $\bar{\lambda}_d/h_{d1\%}$ в Табл. 3.3 и определяемой при глубине $d = 2h_{1\%}$.

Таблица 3.3.

Пологость волны	$\bar{\lambda}_d/h_{d1\%}$	7	10	15	20	25	30	40	50
	$\bar{\lambda}/h_{1\%}$	7	9	13	17	19	21	25	30

3.25. Коэффициент k_α, учитывающий угол подхода волн к откосу, следует принимать по табл.3.4.

Таблица 3 4

Угол α, град	0	15	30	45	60	75	90
Коэффициент k_α	1	0.97	0.92	0 85	0.76	0.65	0.51

3.26. Коэффициенты, учитывающие шероховатость k_r и проницаемость откоса k_p, а также коэффициент, учитывающий скорость ветра k_w, необходимо принимать в соответствии с требованиями СНиП 2.06.04-82* (п. 1.14*, табл. 6 и табл.7*). При этом характерный размер шероховатости следует принимать равным среднему размеру бетонных (железобетонных) блоков.

3.27. Коэффициент перехода к высоте волн i%-ной обеспеченности K_i с учетом глубины d при $\bar{h}/d$ ($\bar{h}$ - средняя высота волн, м) следует принимать по табл. 3.5.

Таблица 3.5

Параметр $\bar{h}/d$	Коэффициент k_i при значении i,%			
	0 1	1	5	13
0 01	2 94	2 40	1.94	1.61
0 05	2.84	2 34	1.89	1 59
0.1	2.71	2 26	1.86	1 56
0 2	2 47	2.09	1.76	1 51
0 3	2.23	1 93	1 66	1 45
0 4	2 01	1 78	1.56	1 39
0 5	1.81	1 63	1.46	1 33

3.28. Высоту наката на откос волн обеспеченностью i,% по накату необходимо определять путем умножения значения $h_{run1\%}$, полученного по формуле (3.14), на коэффициент $(k_i)_{sm}$, принимаемый согласно СНиП 2.06.04-82* (п. 1.14*, табл.8).

Масса элемента крепления откоса

3.29. При проектировании сооружений откосного профиля и креплений откосов из камня, обыкновенных или фасонных бетонных или железобетонных блоков массу отдельного элемента, соответствующую состоянию его предельного равновесия на откосе при действии ветровых волн, следует определять:

- при расположении камня или блока на участке откоса от верха

сооружения до глубины $z = 0.7h_{1\%}$ по формуле

$$m = \frac{\alpha_0 \cdot k_{fr} \cdot \rho_m \cdot h_{1\%}^3}{\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)^3 ctg\varphi} \sqrt{\frac{\bar{\lambda}}{h_{1\%}}}, \qquad (3.17)$$

- то же, при $z > 0.7h_{1\%}$ по формуле

$$m_z = m \exp\left(-8.1 \frac{z^2}{h_{1\%}\bar{\lambda}}\right), \qquad (3.18)$$

где m - масса элемента крепления откоса, т;
α_0 - коэффициент устойчивости (α_0 = 2.1);
k_{fr} - коэффициент формы элемента;
ρ_m - плотность материала укладки (камень, бетон), т/м^3,
ρ - плотность воды, т/м^3;
$h_{1\%}$ - высота волны однопроцентной обеспеченности;
$\bar{\lambda}$ - средняя длина волны, м;
$ctg\varphi$ - заложение откоса ($1 \le ctg\varphi \le 3$).

3.30. При укладке фигурных блоков коэффициент k_{fr} = *0.006*, при наброске бетонных блоков k_{fr} = *0.021*, при каменной наброске k_{fr} = 0.025.

3.31. Массу элементов крепления откосов при действии волн, подходящих под углом α к сооружению, необходимо определять по формуле

$$m_\alpha = (0.4 + 0.6\cos\alpha)m, \qquad (3.19)$$

где α - угол между лучом исходных волн и нормалью к оси сооружения, град;
m - масса элемента крепления откоса при фронтальном подходе волн, т

4. НАГРУЗКИ ОТ СУДОВ (ПЛАВУЧИХ ОБЪЕКТОВ) НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Общие положения

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

нагрузки от ветра на плавучие объекты;

нагрузки от течения и волн на плавучие объекты,

нагрузки от навала пришвартованного судна на причальное сооружение при действии ветра, течения и волн;

нагрузки от навала судна при его подходе к портовому причальному сооружению;

нагрузки от натяжения швартовов при действии на судно ветра и течения.

4.2. Нагрузки от ветра на плавучие объекты следует определять согласно требованиям п.4.7 настоящих Указаний.

4.3. Нагрузки от течения и волн на плавучие объекты необходимо определять согласно требованиям СНиП 2.06 04-82* (п.п. 4.3 и 4.4).

4.4. Нагрузки от навала пришвартованного судна на причальное сооружение при действии ветра, течения и волн следует определять согласно требованиям СНиП 2.06.04-82* (п. 4.7).

4.5. Нагрузки от навала судна при его подходе к портовому причальному сооружению необходимо определять согласно п.п. 4 9, 4.10 настоящих Указаний; реактивное усилие и энергию деформации резиновых отбойных устройств при отрицательных

температурах воздуха рекомендуется определять в соответствии с РД 31.31.55-93 (приложение 3).

4.6. Нагрузки на сооружения от натяжения швартовов следует определять согласно требованиям СНиП 2.06.04-82* (п.п. 4.11 и 4.12).

Нагрузки от ветра на плавучие объекты

4.7. Поперечную W_q, кН, и продольную W_n, кН, составляющие силы от воздействия ветра на плавучие объекты следует определять по формулам СНиП 2.06.04-82*:

для судов и плавучих причалов с ошвартованными судами

$$W_q = 7.4 \cdot 10^{-4} A_q \upsilon_q^2 \xi, \qquad (4.1)$$

$$W_n = 4.9 \cdot 10^{-4} A_n \upsilon_n^2 \xi, \qquad (4.2)$$

для плавучих доков:

$$W_q = 8.0 \cdot 10^{-4} A_q \upsilon_q^2, \qquad (4.3)$$

$$W_n = 8.0 \cdot 10^{-4} A_n \upsilon_n^2, \qquad (4.4)$$

где υ_q и υ_n - соответственно поперечная и продольная составляющие скорости ветра обеспеченностью 2 % за навигационный период, м/с;

ξ - коэффициент, принимаемый по табл. 4.1, в которой a_h – наибольший горизонтальный размер поперечного или продольного силуэтов надводной части плавучего объекта, м.

Таблица 4.1

Наибольший размер силуэта плавучего объекта a_h, м	До 25	50	100	200 и более
Коэффициент ξ	1	0.8	0.65	0.5

A_q и A_n - соответственно боковая и лобовая надводные площади парусности плавучих объектов, м^2, определяемые по формулам:

$$A_q = k_n L(H - T_{em}), \quad (4.5)$$

$$A_n = k_l B(H - T_{em}), \quad (4.6)$$

где L - длина судна, м;
B - ширина судна, м;
H - высота борта судна, м;
T_{em} - осадка судна порожнем, м;
k_b и k_l - коэффициенты, принимаемые по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Тип судна	k_b	k_l
Танкеры	1.3	2.2
Рудовозы и углевозы	1.4	2.5
Навалочные суда	1.3	2.1
Лесовозы	1.4	2.4
Контейнеровозы	1.7	2.9
Ро-Ро	1.3	2.0
Сухогрузы общего назначения	1.4	2.4
Пассажирские и грузопассажирские суда	2.1	2 9

Площадь парусности следует определять с учетом площади экранирующих преград, расположенных с наветренной стороны.

4.8. При учете воздействий максимально возможных порывов ветра на порожнее судно величины скоростей ветра υ_q и υ_n в формулах (4.1)-(4.4) следует увеличивать в 1.4 раза. Боковая площадь парусности порожнего судна определенного типа может быть определена с помощью коэффициента K_* (таблица 4.3), где K_* – отношение боковой площади парусности судна порожнем, A_{em}, м^2, к боковой площади парусности в грузу A_{ld}, м^2.

Таблица 4.3

Тип судна	$K_* = A_{em} / A_{ld}$
Танкеры	2.2
Рудовозы и углевозы	1.7
Навалочные суда	2.0
Лесовозы	1.8
Контейнеровозы	1.4
Ро-Ро	1.5
Сухогрузы общего назначения	1.8
Лихтеровозы	.1.3

Нагрузки от навала судна при подходе к сооружению

4.9. При подходе судна к причальному сооружению с помощью буксиров кинетическую энергию навала E_q, кДж, следует определять по формуле

$$E_q = \psi \frac{D\upsilon^2}{2}, \qquad (4.7)$$

при подходе судна к причальному сооружению своим ходом - по формуле

$$E_q = \psi \frac{D_l \upsilon^2}{2}, \qquad (4.8)$$

где D - расчетное водоизмещение судна, т;

υ - нормальная (к поверхности сооружения) составляющая скорости подхода судна, м/с, принимаемая по табл. 4.4;

ψ - коэффициент, принимаемый по табл. 4.5; при этом для судов, швартующихся в балласте или порожнем, табличные значения ψ необходимо уменьшить на 15 % .

D_l - расчетное водоизмещение судна с учетом присоединенной массы воды, т.

$$D_l = 1.4D. \qquad (4.9)$$

Таблица 4.4

Расчетное водоизмещение морского судна D, тыс.т	до 2	5	10	20	40	100	200 и более
Нормальная составляющая скорости подхода морского судна к сооружению υ, м/с	0.22	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08

Таблица 4.5

Конструкция причальных сооружений	Коэффициент ψ для морских судов
Сооружения со сплошной вертикальной стенкой	0.5
Набережные-эстакады и оторочки-эстакады	0.6
Пирсы сквозной конструкции и рейдовые палы	0.7
Головные и крайние палы	0.9

4.10. Поперечную горизонтальную силу F_q, кН, от навала судна при подходе к сооружению необходимо определять для полученного значения энергии навала судна E_q, кДж, которое не должно превышать суммарную энергию деформации E_{tot}, кДж, включающую энергию деформации отбойных устройств E_e, кДж, и энергию деформации причального сооружения E_i, кДж.

Энергию деформации отбойных устройств и соответствующее усилие необходимо определять по графикам, приведенным на рис.4.1, следуя по направлению штриховой линии со стрелками.

При $E_e \geq 10\,E_i$ величину E_i допускается не учитывать.

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

$$E_i = \frac{1}{2}\frac{F_q^2}{k_i}, \qquad (4.10)$$

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

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

$$F_n = \mu F_q, \qquad (4.11)$$

где μ - коэффициент трения, принимаемый в зависимости от материала лицевой поверхности отбойного устройства: при поверхности из бетона – 0.6; при поверхности из резины – 1.5; при деревянной поверхности – 0.9; при поверхности из конструкционного полиэтилена – 0.3.

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

$$\upsilon_{adm} = \sqrt{\frac{2E_q}{\psi D}}, \qquad (4.12)$$

где E_q - энергия навала судна, кДж;
ψ и D - обозначения те же, что и в п.4.9.

4.12. Допустимые параметры волн при швартовке, стоянке и перегрузочных операциях следует определять в зависимости от назначения причала, расчетного судна и характеристик отбойных устройств в соответствии с Приложением 5 настоящих Указаний.

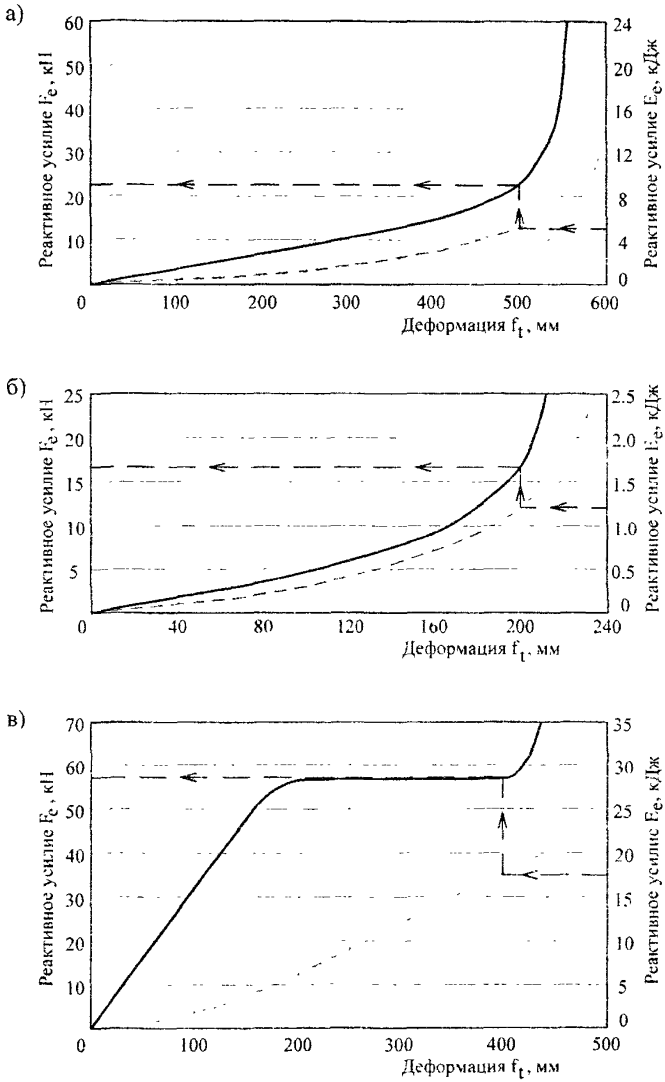

Рис.4.1. Графики зависимости реактивного усилия F_e (сплошные линии) и энергии деформации E_e (штриховые линии) от деформации f; отбойных устройств: а – Д 1000 (1 п м.); б – Д 400 (1 п.м.); в – РАТ - 1000

5. ЛЕДОВЫЕ НАГРУЗКИ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Общие положения

5.1. Нагрузки от морского однолетнего льда на гидротехнические сооружения должны определяться на основе статистических данных пятилетнего ряда наблюдений за физико-механическими свойствами льда, гидрометеорологическими и ледовыми условиями в районе строительства сооружения.

5.2. Основные прочностные характеристики ровного ледяного поля расчетной толщины - предел прочности при сжатии в направлении параллельном поверхности ледяного покрова - R_c и предел прочности при изгибе - R_f, МПа, следует вычислять по формулам:

$$R_c = \frac{\Sigma(C_i + \Delta_i)}{\frac{i=n}{N}_{i=3}}; \qquad (5.1)$$

$$R_f = 0.4R_c, \qquad (5.2)$$

где N - количество кернов (призм), которые отбираются на всю толщину ледяного поля, при этом $N \geq 3$;

C_i - среднее арифметическое значение максимального предела прочности льда при одноосном сжатии по толщине ледяного покрова (кернов или призм), МПа, определяемое по опытным данным (см. Приложении 6)

Δ_i - погрешность определения C_i, МПа, $\Delta_i = \pm 0.3$ при $t_i \geq -15°C$; $\Delta_i = \pm 0.45$ при $t_i \leq -15°C$.

При отсутствии опытных данных допускается принимать значения R_c, МПа для различных значений плотности льда ρ_i, кг/м^3, по формулам:

$$R_c = -2.12 \cdot \ln\sqrt{10^{-3}\nu_b} - 2.39 \ ; \qquad (5.3)$$

при $\sqrt{10^{-3}\nu_b}$ = 0,08÷0,27, ρ_i = 760÷860 кг/м^3;

$$R_c = -2.60 \cdot \ln\sqrt{10^{-3}\nu_b} - 2.32 ; \qquad (5.4)$$

при $\sqrt{10^{-3}\nu_b}$ = 0,16÷0,32; ρ_i = 860÷920 кг/м^3,

где ρ_i - среднее арифметическое значение плотности ледяных кернов (призм) по толщине ледяного поля, кг/м^3, принимаемое по опытным данным, а при их отсутствии - по «Океанографическим таблицам».

ν_b - среднее арифметическое значение количества жидкой фазы по толщине ледяного поля, $^0/_{00}$, определяемое по формуле

$$\nu_b = s_i\left(0.532 - \frac{49.185}{t_i}\right); \qquad (5.5)$$

при t_i = -(0,5 ÷ 22,9) °С,

где t_i - среднее арифметическое значение температуры по толщине ледяного поля, град. С. Температура льда t_i определяется по опытным данным, а при их отсутствии - по СНиП 2.06 04-82*, 1995 (п 5.2, формула 117);

s_i - среднее арифметическое значение солености ледяных кернов (призм) по толщине ледяного поля, $^0/_{00}$, определяемое по опытным данным, а при их отсутствии, принимаемое равным $0,2 \cdot s_w$, - для льда возрастом до двух месяцев или $0,15 \cdot s_w$, - для льда возрастом два месяца и более; s_w -соленость морской воды, $^0/_{00}$;

При значениях ν_b, ρ_i и t_i, выходящих за пределы, указанные выше, R_c следует принимать по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.2, Таблица 28)

5.3. Расчетную толщину ровного ледяного поля h_d, м, следует принимать равной толщине льда 1%-ной обеспеченности из максимальных ежегодных значений, полученных на основании данных многолетних наблюдений за температурой воздуха и определения числа градусо-дней мороза R, в районе предполагаемого строительства.

Допускается определять толщину льда h_d, м, по формуле

$$h_d = A\sqrt{R}, \qquad (5.6)$$

где A =0,034 , м/(сутки·град. С)$^{1/2}$;

R - число градусо-дней мороза от начала и до конца образования ледяного покрова, сутки·град. С, принимаемое по данным климатологических справочников

В зимний период в случае смерзания сооружения с ледяным полем за трое суток и более до момента наибольшего воздействия льда на сооружение расчетную толщину льда на границе *сооружение-лед* следует принимать по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии допускается толщину примерзшего к сооружению льда считать равной $1,5 \cdot h_d$.

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

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

толщину слоя зернистого льда, располагающегося в верхней части ледяного покрова, составляющей $0,25 \cdot h_d$, а толщину слоя призматического или волокнистого льда - $0,75 \cdot h_d$

Нагрузки от ледяных полей на сооружения

5.5. Силу от воздействия движущихся ледяных полей на отдельно стоящую опору с передней вертикальной гранью и в плане в виде треугольника, многогранника или полуциркульного очертания следует определять по 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.5).

5.6. Силу от воздействия движущегося ледяного поля на отдельно стоящую коническую опору или конический ледорез полуциркульного очертания при отсутствии смерзания со льдом необходимо определять по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.6).

5.7. Силу от воздействия движущегося ледяного поля на сооружение, состоящее из системы вертикальных колонн, следует определять по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.7).

5.8. Силу от воздействия остановившегося ледяного поля, наваливающегося на сооружение при действии течения воды и ветра, необходимо определять по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.8).

5.9. Точку приложения равнодействующей ледовой нагрузки следует принимать по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.9).

Нагрузки от торосистых образований

5.10. Торосистое образование необходимо рассматривать в виде трех основных частей: надводной, средней (консолидированной) и подводной.

5.11. Метрические параметры сплошного поля торошения (высота надводной части h_s, м, толщина среднего консолидированного слоя h_m, м, высота килевой части h_k, м, толщина h_b, м, и длина обломков l_b, м, слагающих торос), а также пористость p, %, каждой из частей тороса (объем пустот в процентном отношении) следует определять по данным натурных наблюдений в районе строительства. При отсутствии таких данных допускается принимать:

- высоту надводной части h_s, в зависимости от толщины обломков льда, при $0,2м \le h_b \le 2,1$, м, по формуле

$$h_s = B\sqrt{h_b}\,, \qquad (5\,7)$$

где $B = 3.69$, $м^{1/2}$;
$h_b = 0,8 \cdot h_d$, м;
h_d - расчетная толщина ровного ледяного поля, м,

- толщину средней консолидированной части тороса h_m по формуле

$$h_m = 1.5h_d\,, \qquad (5.8)$$

- высоту килевой части тороса h_k по формуле

$$h_k = 5h_s - h_m\,. \qquad (5.9)$$

5.12. Интегральную прочность каждой из частей торосистого образования R_s, R_m, R_k, МПа, следует определять на основании данных испытаний образцов льда на одноосное сжатие R_{cs}, R_{cm}, R_{ck}, МПа, с учетом пористости:

$$R_s = k_p \cdot R_{cs}\,; \qquad (5.10)$$

$$R_m = k_p \cdot R_{cm}\,; \qquad (5.11)$$

$$R_k = k_p \cdot R_{ck}\,; \qquad (5.12)$$

Коэффициент снижения интегральной прочности k_p каждой из частей тороса в зависимости от их пористости p, при $0\% \le p \le 50\ \%$, определяется по формуле

$$k_p = 0.92\exp(-0.066p)\,. \qquad (5.13)$$

При отсутствии данных и пористости консолидированной части тороса p близкой к 0% допускается принимать $R_m = R_{cm} = 0,8R_c$. Прочность образцов льда на одноосное сжатие R_c, МПа,

ориентированных параллельно плоскости намерзания ровного ледяного поля расчетной толщины h_d определяется по п 5.2 настоящих Указаний: $R_{cs} = 0,75 \cdot R_{cm}$, $R_{ck} = 0,5 \cdot R_{cm}$.

5 13. Суммарную величину ледовой нагрузки F_r, МН, от поля торошения, образованного из обломков льда $0,2м \le h_b \le 0,8м$, при пористости средней части близкой к 0 % следует определять по формуле

$$F_r = k_r \cdot F_{b.p}, \qquad (5\ 14)$$

где $F_{b.p}$ - ледовая нагрузка на сооружение от воздействия ровных ледяных полей расчетной толщины h_d, примыкающих к торосу или полю торошения, определяемая по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.5, формула 121).

Коэффициент торосистости k_r, учитывающий увеличение ледовой нагрузки на сооружение по сравнению с ледовой нагрузкой от ровного ледяного поля расчетной толщины, принимается в зависимости от соотношения ширины опорной части сооружения b к толщине консолидированной части поля торошения h_m, при $b/h_m \ge 1$ по формулам:

$$k_r = 3.3\left(\frac{b}{h_m}\right)^{-0.16}, \qquad (5.15)$$

при $h_m/h_d = 1,5$;

$$k_r = 2.4\left(\frac{b}{h_m}\right)^{-0.11}, \qquad (5.16)$$

при $h_m/h_d = 1$.

5.14. Суммарную равнодействующую ледовой нагрузки от поля торошения F_r, МН, при толщине обломков льда, слагающих торос $h_b > 0,8$ м, следует определять как сумму нагрузок от каждой из частей тороса

$$F_r = F_s + F_m + F_k. \qquad (5.17)$$

Нагрузки от надводной F_s , средней F_m и подводной F_k частей поля торошения , МН, следует определять по формулам

$$F_s = m \cdot k \cdot k_v \cdot R_s \cdot b \cdot h_s \ , \qquad (5.18)$$

$$F_m = m \cdot k_b \cdot k_v \cdot R_m \cdot b \cdot h_m \ , \qquad (5\ 19)$$

$$F_k = m \cdot k \cdot k_v \cdot R_k \cdot b \cdot h_k \ , \qquad (5.20)$$

где b - ширина (диаметр d) опорной части сооружения, м.

m, k и k_b – коэффициенты, принимаемые по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5 5, таблицы 29, 32 и 30 соответственно),

k_v - коэффициент учитывающий скорость деформации льда $\dot{\varepsilon}$, для случая наибольшего силового воздействия льда на сооружение принимается k_v =1.

5.15. При отсутствии данных изысканий для предварительной оценки ледовую нагрузку от однолетнего, торосистого образования допускается определять по формуле

$$F_r = 1.3 \cdot m \cdot k_b \cdot R_m \cdot b \cdot h_m \ . \qquad (5.21)$$

Числовой коэффициент в формуле (5.21) учитывает нагрузку от подводной и надводной частей тороса.

Локальное ледовое давление

5 16. Величина локального ледового давления p_l, МПа, возникающего при взаимодействии ледовых образований с гидротехническими сооружениями, определяется в зависимости от площади контакта S, м^2, и прочности ледового образования (ровного ледяного поля R_c, МПа, или консолидированной части поля торошения R_m, МПа) на образцах, ориентированных параллельно плоскости намерзания при испытаниях на одноосное сжатие, а также скорости деформации и типа льда

5.17. Величину локального давления p_l, МПа, для площадей контакта от *0,1* до *10·h_d*, м^2, следует определять по формуле

$$p_l = k \cdot k_v \cdot k_{b.loc} \cdot R_c, \qquad (5.22)$$

где k - коэффициент: для пресноводного льда k=1, для морского льда k=1,164,

k_v - коэффициент, учитывающий скорость деформации ледового образования, принимается по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.5, таблица 31)

Коэффициент $k_{b,loc}$, учитывающий напряженно-деформированное состояние льда в зоне его контакта с поверхностью сооружения, определяется по формуле

$$k_{b,loc} = \left(\frac{1{,}12}{\sqrt[4]{S/h_d^2}} + 0{,}56 \right)^2 + 0{,}93, \qquad (5.23)$$

где S – площадь контактной зоны ровного ледяного поля с поверхностью сооружения, м^2.

5.18. Зависимость (5.22) допускается использовать также при определении локального давления от консолидированной части поля торошения, при этом параметр h_d заменяется на h_m, а R_c на R_m.

Нагрузки на сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении

5.19. Горизонтальную линейную нагрузку на 1 пог м длины по фронту сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении следует принимать по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.10).

5.20. Силу от воздействия ледяного покрова на отдельно стоящее сооружение необходимо определять по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.11).

5.21. Точку приложения равнодействующей ледовой нагрузки, определенной согласно п.п. 5.19. и 5.20, допускается принимать ниже расчетного уровня воды на $0,25 \cdot h_d$, ,м.

Нагрузки от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды

5.22. Вертикальную линейную нагрузку на 1 пог. м длины по фронту сооружения от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды следует определять по СНиП 2.06.04-82 , 1995 (п. 5.15).

5.23. Момент силы, воспринимаемый 1 пог. м сооружения от примерзшего ледяного покрова при изменении уровня воды, необходимо определять по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.16).

5.24. Вертикальную силу на отдельно стоящую опору или свайный куст от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды следует определять по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.17).

5.25. Вертикальную силу на сооружение, состоящее из системы вертикальных колонн, от примерзшего к опорам ледяного покрова при изменении уровня воды необходимо определять по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (п. 5.18).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Рекомендуемое

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА

Общие положения

1. При определении элементов ветровых волн и ветрового нагона должны приниматься обеспеченности расчетного шторма для сооружений:

I класса при надлежащем обосновании - 1 раз в 100 лет;
I и II классов - 1 раз в 50 лет;
III и IV классов - 1 раз в 25 лет.

Расчетную обеспеченность высот волн в системе необходимо принимать в соответствии с п.1.5 настоящих Указаний.

2. По принятому значению обеспеченности скорости ветра в расчетном шторме для сооружений I и II классов (п.1) обеспеченность уровня воды допускается определять согласно требованиям п.2 Приложения 2.

3. Расчетную скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью воды с учетом типа местности на берегу следует определять по СНиП 2.06.04-82* (Приложение 1, п. 9*).

4. Расчетные скорости ветра при разгонах менее 100 км допускается определять по данным наблюдений на береговых станциях, учитывая максимальные ежегодные значения скорости ветра.

5. Расчетные скорости ветра над акваторией большой протяженности при разгонах более 100 км следует определять с учетом их пространственного распределения по данным синоптических карт.

Расчет скоростей и направлений ветра по данным синоптических карт

6. Скорость ветра V_w, м/с, над водной поверхностью на горизонте Z=10 м следует определять при использовании синоптических карт атмосферного давления и вычислять по формуле

$$V_w = C_g V_{gr}, \qquad (1)$$

где C_g - коэффициент трения, определяемый по п. 11 настоящего Приложения;

V_{gr} - скорость градиентного ветра, м/с.

7. Скорость градиентного ветра V_{gr},м/с, при изобарах, проведенных на синоптических картах со стандартным "шагом" атмосферного давления Δp=5 гПа, допускается вычислять по формулам:

$$V_{gr} = a_1 \cdot r \cdot f_r \left[1 - \left(1 - a_2 \frac{V_g}{f_r} \right)^{\frac{1}{2}} \right], \qquad (2)$$

$$f_r = 2\omega_l \sin\varphi, \qquad (3)$$

где r - радиус кривизны изобар, град. меридиана;

f_r - параметр Кориолиса, $с^{-1}$;

V_g - скорость геострофического ветра, м/с;

$a_1 = 5.5 \cdot 10^4$ м/град. меридиана;

$a_2 = 3.8 \cdot 10^{-5}$ град. меридиана/с;

$\varpi_l = 7.29 \cdot 10^{-5}$ $с^{-1}$ - угловая скорость вращения Земли;

φ - широта, град.

При циклонах принимается $r < 0$, при антициклонах $r > 0$.

8. Скорость геострофического ветра V_g, м/с, при стандартном "шаге" атмосферного давления $\Delta p = 5$ гПа допускается определять, используя данные синоптических карт при изобарах, близких к прямолинейным (на границе циклона или антициклона), по формуле

$$V_g = a_3 \frac{1}{f_r \gamma}, \qquad (4)$$

где γ - расстояние между изобарами, град. меридиана;

$a_3 = 3.6 \cdot 10^{-3}$ м. град. меридиана/$с^2$.

9. Максимальную скорость градиентного ветра в антициклоне ($r > 0$) допускается определять по формуле

$$\left(V_{gr}\right)_{a,\max} = a_1 \cdot r \cdot f_r \quad \text{при} \quad r \le r_{cr}. \qquad (5)$$

"Критическое" значение радиуса кривизны изобар в антициклоне, r_{cr}, град. меридиана допускается вычислять по формуле

$$r_{cr} = a_2 \frac{V_g}{f_r}. \qquad (6)$$

Если $r > r_{cr}$, то для расчета ветра в антициклоне следует использовать формулы (2) и (3) настоящего Приложения.

10. Направление градиентного ветра в Северном полушарии необходимо принимать совпадающим с направлением изобар: в циклонах - против часовой стрелки, в антициклонах - по часовой стрелке. В Южном полушарии необходимо использовать противоположные направления.

11. Коэффициент трения C_g в формуле (1)допускается определять по данным Табл.1 при использовании значений скорости градиентного ветра V_{gr}, м/с, вычисленной по формулам (2), (3) настоящего Приложения и разницы температур воздуха T_a и воды T_w, град, для широт $\varphi \ge 35$, град.

Таблица 1

ΔT, град	Коэффициент трения C_g при V_{gr}, м/с						
	10	15	20	25	30	35	40
-3	1.03	0.94	0.86	0.80	0.75	0.72	0.68
-2	0.94	0.86	0.78	0.73	0.68	0.66	0.62
-1	0.85	0.77	0.71	0.66	0.62	0.59	0.56
0	0.76	0.69	0.63	0.59	0.55	0.53	0.50

Направление ветра на горизонте *z=10 м* определяется по углу поворота ветра α_m от направления градиентного ветра в сторону низкого давления; при этом для разницы температур воздуха и воды *ΔT = -2; -1; 0, град.*, допускается принимать углы поворота α_m *≈ 0; 10; 20, град.*, соответственно.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Рекомендуемое

РАСЧЕТНЫЕ УРОВНИ ВОДЫ

1. Максимальный расчетный уровень - наибольший уровень воды у сооружения, который достигается за регламентируемый период времени с учетом колебаний большой продолжительности - вековых, годовых и сезонных, а также колебаний средней продолжительности, вызываемых приливами, сейшами на морских акваториях и штормовыми нагонами. При определении максимального расчетного уровня необходимо учитывать максимальные приливы, наблюдающиеся за многолетний период. В сейсмоопасных районах следует учитывать возможный максимальный подъем уровня, связанный с воздействием волн цунами.

Характеристики колебаний уровня. подлежащие учету при определении максимального уровня, приведены в табл. 1.

2. При определении нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения обеспеченности расчетных уровней должны быть не более приведенных в табл. 2.

3. При наличии рядов наблюдений максимальный расчетный уровень рекомендуется определять с учетом наивысших

(максимальных) годовых уровней, а при отсутствии наблюдений допускается использовать расчетные методы и модели (расчет штормовых нагонов, приливов, сейшевых колебаний и др.).

Таблица 1.

Тип колебаний уровня	Вид колебаний	Период	Характер колебаний	Причины колебаний
Колебания большой продолжительности	Вековые	Сотни, десятки лет	Случайные	Изменения солнечной активности, климата, тектоника
	Годовые	Год	Случайные	
	Сезонные	Сезон, месяц	Случайные	Сток, испарение, осадки
Колебания средней продолжительности	Приливы	Часы, сутки	Регулярные	Астрономические
	Штормовые нагоны	Часы, сутки	Случайные	Воздействие ветра
	Сейшевые колебания морских акваторий	Часы, сутки	Регулярные	Воздействие ветра, низкочастоные (инфраграви-тационные) волны, колебания атмосферного давления
Кратковременные колебания	Ветровые волны	Секунды	Случайные	Ветер
	Волны цунами	Минуты, секунды	Случайные	Сейсмические воздействия

Таблица 2.

Обеспеченность, %	Период повторяемости 1 раз в N лет	Виды и типы сооружений	Класс сооружения	Тип уровня
Оградительные сооружения и обтекаемые преграды				
1	100	Вертикального профиля, сквозные и обтекаемые преграды	I	Наивысший годовой в безледный период
5	20	То же	II, III	То же
10	10	То же	IV	То же
Берегоукрепительные сооружения				
1	100	Подпорные гравитационные стены (волнозащитные) и откосные сооружения	II	Наивысший годовой
1	100	Искусственные пляжи без сооружений	IV	То же
25	4	Подпорные гравитационные стены (волнозащитные)	III	То же
50	2	Подводные (волнозащитные) стены, буны, подводные волноломы	IV	Среднегодовые
50	2	Искусственные пляжи с защитными сооружениями (буны, волноломы и др.)	IV	То же

4. Высоту ветрового нагона Δh_{set}, м, в мелководной зоне акватории с постоянной глубиной d,м, необходимо определять по формуле

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

где

$$k_w = \alpha_w \frac{\rho_a}{\rho_w} C_{10}, \qquad (2)$$

α_w - угол между направлением ветра и нормалью к береговой черте, град.;

V_w - расчетная скорость ветра, м/с;

L - разгон, м;

α_w - коэффициент ($\alpha_w = 0.85$);

ρ_a / ρ_w - отношение плотности воды к плотности воздуха;

C_{10} - коэффициент сопротивления, который допускается определять по формуле

$$C_{10} = 7.1 \cdot 10^{-4}(1 + 0.1\frac{V_w}{V_d}) \quad \text{при} \quad V_d = 1 \text{ м/с}. \qquad (3)$$

5. Высоту ветрового нагона Δh_{set} ,м, в прибрежной мелководной зоне с постоянным уклоном дна рекомендуется определять по формуле

$$\Delta h_{set} = k_w \frac{V_w^2 L_m \cos\alpha_w}{g(d_1 - d - \Delta_{set}^{(i-1)})} \ln(\frac{d_1}{d + \Delta h_{set}^{(i-1)}}), \qquad (4)$$

где d_1 - глубина, отвечающая расстоянию L_m от расчетного створа до створа, в котором уровень соответствует исходному, м;

d - глубина в расчетной точке, м.

Глубину и положение створа в прибрежной зоне с уклоном дна i, где уровень соответствует исходному, необходимо оценивать из условий:

$$\left.\begin{aligned} \frac{gd_1}{V_w^2} \le 3 \\ \frac{d_1 - d}{L_m} = i \end{aligned}\right\}, \qquad (5)$$

6. Высоту ветрового нагона в условиях больших глубин по отношению к высоте нагона ($d \succ\succ \Delta h_{set}$) допускается определять по формулам:

$$\Delta h_{set} = k_w \frac{V_w^2 L_m \cos\alpha_w}{gd} \qquad (6)$$

- для постоянной глубины;

$$\Delta h_{set} = k_w \frac{V_w^2 L_m \cos\alpha_w}{g(d - d_1)} \ln\frac{d_1}{d} \qquad (7)$$

- для постоянного уклона дна.

Формулы (6) и (7) - упрощенный вариант формул (1) и (4). Расчеты по формулам (1) и (4) необходимо выполнять методом последовательных приближений, вычисляя первое приближение по формулам (6) и (7).

7.Высоту штормового нагона η_s, м, в прибойной зоне $d_{cr} \le d \le d_{cr,u}$ (d_{cr} - глубина первого обрушения и $d_{cr,u}$ - глубина последнего обрушения волн) допускается определять по формуле

$$\eta_s = \Delta h_{set} + \eta_0, \qquad (8)$$

где Δh_{set} - высота ветрового нагона, м;

η_0 - высота волнового нагона, м.

Высота ветрового нагона Δh_{set}, м, определяется в соответствии с п.п. 4-6 данного Приложения.

Высоту волнового нагона η_0, м, допускается принимать из условия

$$\eta_0 = 0.1 h_{sur1\%}, \qquad (9)$$

где $h_{sur1\%}$ - высота волны при глубине последнего обрушения $d_{cr,u}$ (определяется в соответствии с требованиями п. 2.20 настоящих Указаний).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Справочное

МОДЕЛИ ВЕТРОВЫХ ВОЛН

Расчет элементов волн при сложных условиях волнообразования выполняется в соответствии с рекомендациями СНиП 2.06.04 – 82* (Приложение 1, п.п. 13,14). Допускается также использование аэродинамических моделей расчета параметров ветровых волн при тестовой проверке по формулам Указаний.

При расчетах применяется два типа моделей: спектрально-дискретная и спектрально-параметрическая (Приложение 7 Пособия, п.п 4,5).

Спектрально-дискретная модель

Применение модели позволяет учитывать практически все известные факторы волнообразования – передачу энергии от ветра к волнам, именуемую «накачкой», нелинейный обмен энергией между спектральными составляющими, диссипацию энергии вследствие обрушения гребней и придонных эффектов. Дополнительно могут быть учтены обмен энергией волн с течениями, стратификация атмосферы, колебания уровня моря.

В качестве исходных данных используется серия синоптических карт, освещающих барическую обстановку во время шторма на рассматриваемой акватории, карта глубин и, дополнительно, в случае учета указанных выше факторов – сведения о колебаниях уровня, приливных и других течениях, температуре воды и воздуха.

Основным уравнением спектрально-дискретной модели является уравнение переноса спектральной энергии $F(k,\theta)$ или $F(\omega,\theta)$ в дискретной форме с аргументами двумерного спектра, где k – волновое число, ω - круговая частота, θ - направление распространения спектральной составляющей.

Достаточную достоверность расчетов обеспечивает уравнение в виде

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \nabla_x (\vec{C}_g F) + \frac{\partial}{\partial \theta}(C_\theta F) = S, \qquad (1)$$

где $\nabla_x = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}$ - оператор Лапласа,

$\vec{C}_g$ - групповая скорость волн,

S – функция источников и стоков,

c_θ - скорость поворота волн в процессе рефракции.

Функция источников и стоков записывается в виде

$$S = S_{in} \pm S_{nl} - S_{ds} - S_b, \qquad (2)$$

где S_{in} – поступление энергии от ветра («накачка»);

S_{nl} – нелинейное взаимодействие,

S_{ds} –диссипация энергии за счет обрушения гребней и вследствие других эффектов;

S_b –диссипация энергии за счет придонных эффектов

В уравнениях (1) и (2) искомые функции (спектр F и др.), а также составляющие правой части S, в конечном счете, зависят от координат расчетной точки (x, y), поля ветра $V(x, y, t)$, глубины бассейна $d(x, y, t)$; t – время действия ветра.

Сведения обо всех членах функции S в формуле (2) содержатся в Пособиях (Приложение 7, п.п. 4,5).

Уравнение (1) решается известными численными методами при задании начальных и граничных условий (поля давления или ветра) для узловых точек сеточной области. Размеры ячеек зависят от площади акватории и сложности рельефа дна. Типичные размеры для океанов составляют 100-500 км, для морей – от нескольких десятков километров до 100 км, в прибрежной зоне – от нескольких километров до 10 км, в прибойной зоне – сотни и десятки метров. Чем меньше размеры ячейки, тем меньше должны быть «шаги» во времени. Это условие, а также относительно невысокая достоверность задания полей ветра накладывает ограничения на степень детализации получаемых в результате расчета полей волн.

На выходе расчетной схемы в каждой точке сеточной области для каждого временного шага получают двумерный спектр, средние высоту, период и длину волн, генеральное направление их распространения. С использованием квазистационарных функций распределения можно найти параметры волн требуемой обеспеченности в волновой системе.

Спектрально-параметрическая модель

Модель получена путем интегрирования основного уравнения переноса спектральной энергии (1) по частоте или волновому числу. Физический смысл получаемого таким способом уравнения состоит в том, что прослеживается эволюция потока волновой энергии в зависимости от внешних условий. В модели учитываются все основные механизмы передачи и диссипации энергии, но без дифференциации по частотам. Такое приближение позволяет выразить составляющие функции источников и стоков не в исходной сложной форме, а через более простые зависимости энергии волн от волнообразующих факторов – скорости ветра V, разгона L, времени действия ветра t, глубины d. Тем самым осуществляется согласование данной модели с

основными положениями нормативного документа СНиП 2.06.04-82*.

Модель подобного типа является комбинацией сложных и трудоемких моделей с зависимостями, полученными для простых условий волнообразования. Она обеспечивает получение достаточно надежных данных о ветровом волнении при относительно небольшой трудоемкости. Поэтому ее можно считать базовой моделью для расчета волн.

Исходные данные используются те же, что и в предыдущем случае – синоптические карты и другая перечисленная выше информация.

Основное уравнение записывается для углового спектра $S(\theta) = 2\pi\sigma^2 f(\theta)$ в виде

$$\frac{\partial S(\theta)}{\partial t} + \nabla\left[< Cg >_{\omega} S(\theta)\right] + \frac{\partial}{\partial\theta}\left[U_{\theta} S(\theta)\right] = 2\pi < G >_{\omega}, \qquad (3)$$

где $< Cg >_{\omega}$ - средняя (эффективная) групповая скорость;

$S(\theta) \sim cos^2\theta$ – функция углового распределения энергии;

U_{θ} - скорость поворота волнового луча;

$< G >_{\omega}$ - интегральная функция источников и стоков.

Функция источников и стоков определяется по формуле

$$< G >_{\omega} = < G_{in} >_{\omega} - < G_{в} >_{\omega}. \qquad (4)$$

Первый член в правой части формулы (4) представляет собой интегральную накачку, а второй – интегральную придонную диссипацию энергии.

Оба этих члена можно выразить через параметры, содержащиеся в модельных зависимостях средней высоты $\bar{h}$ от волнообразующих факторов – разгона L, продолжительности действия ветра t, скорости ветра V, глубины d: формулы (2.1) - (2.3), (2.8) настоящих Указаний.

При согласовании используют прежде всего область больших разгонов – предельного развития волн. Асимптотическое приближение для этого случая

$$\tilde{h} = a_1, \qquad (5)$$

где $\tilde{h} = g\bar{h}/V^2$;

g - ускорение свободного падения, м/с^2;

$a_1 = 0.16$.

$$\tilde{h} = a_1, \tag{5}$$

где $\tilde{h} = g\bar{h}/V^2$;

g - ускорение свободного падения, м/с^2;

a_1 = 0.16.

Составляющие правой части уравнения (4) выражают через отношение

$$Z = \frac{\tilde{\varepsilon}}{a^2} = \frac{(\tilde{h})^2}{a^2} \tag{6}$$

и записывают в виде зависимостей:

$$2\pi < G_{in} >_{\omega} = f_1(z\ ;\ V), \tag{7}$$

$$2\pi < G_b >_{\omega} = f_2(z\ ;\ V). \tag{8}$$

В результате для реальных барических ситуаций после численного интегрирования уравнения (3) при известной форме его правой части (7) и (8) можно определить требуемые статистические характеристики ветровых волн – среднюю высоту $\bar{h}$, средний период $\bar{T}$ и др.

Генеральное направление распространения волн определяется с учетом релаксации (приспособления) волн к изменяющемуся по скорости и направлению ветру.

В упрощенном варианте модели, пригодном для глубоководных акваторий, из программы исключают учет релаксации волн к ветру и не учитывают придонное трение.

На выходе расчетных моделей получают те же характеристики, что и для дискретной спектральной модели, однако с меньшей точностью.

При выборе расчетных моделей необходимо осуществлять их тестовую проверку по формулам (2.1) – (2.3), (2.8) Указаний, которые соответствуют графикам СНиП 2.06.04 – 82* (Приложение 1, рис.1).

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Справочное

Аппроксимационные формулы для определения коэффициентов при расчетах нагрузок на сооружения вертикального профиля

Формулы значений коэффициента η_c:

1) ($\bar{\lambda}/d$=1); $\bar{\eta}_c = -25{,}342(h/\bar{\lambda})^2 + 6{,}3471(\bar{P}_{x,c}) + 1{,}0111$;

2) ($\bar{\lambda}/d$=2); $\bar{\eta}_c = -21{,}487(h/\bar{\lambda})^2 + 5{,}8008(h/\bar{\lambda}) + 1{,}01$;

3) ($\bar{\lambda}/d$=3); $\bar{\eta}_c = -18{,}68(h/\bar{\lambda})^2 + 5{,}2543(h/\bar{\lambda}) + 1{,}0026$;

4) ($\bar{\lambda}/d$=4); $\bar{\eta}_c = -15{,}998(h/\bar{\lambda})^2 + 4{,}6968(h/\bar{\lambda}) + 0{,}9936$;

5) ($\bar{\lambda}/d$=5); $\bar{\eta}_c = -12{,}009(h/\bar{\lambda})^2 + 3{,}7049(h/\bar{\lambda}) + 1{,}0024$;

6) ($\bar{\lambda}/d$=6); $\eta_c = -10{,}712(h/\bar{\lambda})^2 + 3{,}3448(h/\bar{\lambda}) + 1{,}0004$;

7) ($\bar{\lambda}/d$=7); $\bar{\eta}_c = -24{,}525(h/\bar{\lambda})^2 + 5{,}977(h/\bar{\lambda}) + 1{,}0364$;

8) ($\bar{\lambda}/d$=8); $\bar{\eta}_c = 195{,}34(h/\bar{\lambda})^3 - 69{,}599(h/\bar{\lambda})^2 + 8{,}6538(h/\bar{\lambda}) + 0{,}999$;

9) ($\bar{\lambda}/d$=9); $\bar{\eta}_c = -35{,}916(h/\bar{\lambda})^2 + 6{,}4611(h/\bar{\lambda}) + 1{,}0329$;

10) ($\bar{\lambda}/d$=10); $\bar{\eta}_c = -45{,}911(h/\bar{\lambda})^2 + 6{,}7541(h/\bar{\lambda}) + 1{,}0243$.

Формулы значений коэффициента $\bar{P}_{x,c}$:

1) ($h/\bar{\lambda}$=0,02); $\bar{P}_{x,c} = -0{,}0015(\bar{\lambda}/d)^4 + 0{,}0495(\bar{\lambda}/d)^3 - 0{,}5585(\bar{\lambda}/d)^2 + 2{,}3033(\bar{\lambda}/d) + 3{,}9658$;

2) ($h/\bar{\lambda}$=0,0225); $\bar{P}_{x,c} = -0{,}0011(\bar{\lambda}/d)^4 + 0{,}0362(\bar{\lambda}/d)^3 - 0{,}4277(\bar{\lambda}/d)^2 + 1{,}8386(\bar{\lambda}/d) + 3{,}6182$;

3) ($h/\bar{\lambda}$=0,025); $\bar{P}_{x,c} = -0{,}0006(\bar{\lambda}/d)^4 + 0{,}0224(\bar{\lambda}/d)^3 - 0{,}287(\bar{\lambda}/d)^2 + 1{,}3096(\bar{\lambda}/d) + 3{,}5406$;

4) ($h/\bar{\lambda}$=0,0275); $\bar{P}_{x,c} = -0{,}0003(\bar{\lambda}/d)^4 + 0{,}0135(\bar{\lambda}/d)^3 - 0{,}1933(\bar{\lambda}/d)^2 + 0{,}9472(\bar{\lambda}/d) + 3{,}413$;

5) ($h/\bar{\lambda}$=0,03); $\bar{P}_{x,c} = 1E\text{-}04(\bar{\lambda}/d)^6 - 0{,}004(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}0649(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}5067(\bar{\lambda}/d)^3 + 1{,}9189(\bar{\lambda}/d)^2 - 3{,}0741(\bar{\lambda}/d) + 5{,}6742$;

6) $(h/\bar{\lambda}=0{,}035)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0001(\bar{\lambda}/d)^6 - 0{,}0046(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}0752(\bar{\lambda}/d)^4 -$
$- 0{,}6063(\bar{\lambda}/d)^3 + 2{,}4458(\bar{\lambda}/d)^2 - 4{,}4534(\bar{\lambda}/d) + 6{,}2833;$

7) $(h/\bar{\lambda}=0{,}04)$; $\bar{P}_{x.c} = 1E\text{-}04(\bar{\lambda}/d)^6 - 0{,}0042(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}0699(\bar{\lambda}/d)^4 -$
$- 0{,}5769(\bar{\lambda}/d)^3 + 2{,}4133(\bar{\lambda}/d)^2 - 4{,}6754(\bar{\lambda}/d) + 6{,}2402;$

8) $(h/\bar{\lambda}=0{,}045)$; $\bar{P}_{x.c} = 8E\text{-}05(\bar{\lambda}/d)^6 - 0{,}0036(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}0618(\bar{\lambda}/d)^4 -$
$- 0{,}5223(\bar{\lambda}/d)^3 + 2{,}2626(\bar{\lambda}/d)^2 - 4{,}629(\bar{\lambda}/d) + 6{,}1036;$

9) $(h/\bar{\lambda}=0{,}05)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0001(\bar{\lambda}/d)^6 - 0{,}0048(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}077(\bar{\lambda}/d)^4 -$
$- 0{,}6188(\bar{\lambda}/d)^3 + 2{,}5907(\bar{\lambda}/d)^2 - 5{,}2436(\bar{\lambda}/d) + 6{,}3321;$

10) $(h/\bar{\lambda}=0{,}06)$; $P_{x.c} = 0{,}0002(\bar{\lambda}/d)^6 - 0{,}0059(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}0884(\bar{\lambda}/d)^4 -$
$- 0{,}6742(\bar{\lambda}/d)^3 + 2{,}7352(\bar{\lambda}/d)^2 - 5.5527(\bar{\lambda}/d) + 6{,}3374;$

11) $(h/\bar{\lambda}=0{,}07)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0002(\bar{\lambda}/d)^6 - 0{,}0061(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}09(\bar{\lambda}/d)^4 -$
$- 0{,}6795(\bar{\lambda}/d)^3 + 2{,}7337(\bar{\lambda}/d)^2 - 5.5525(\bar{\lambda}/d) + 6{,}1291;$

12) $(h/\bar{\lambda}=0{,}08)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0002(\bar{\lambda}/d)^6 - 0{,}0079(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}1079(\bar{\lambda}/d)^4 -$
$- 0.7577(\bar{\lambda}/d)^3 + 2{,}8806(\bar{\lambda}/d)^2 - 5{,}6505(\bar{\lambda}/d) + 5{,}9739;$

13) $(h/\bar{\lambda}=0{,}09)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0029(\bar{\lambda}/d)^6 - 0{,}0631(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}5667(\bar{\lambda}/d)^4 -$
$- 2{,}6607(\bar{\lambda}/d)^3 + 6{,}9633(\bar{\lambda}/d)^2 - 9{,}8638(\bar{\lambda}/d) + 7{,}4548;$

14) $(h/\bar{\lambda}=0{,}1)$; $\bar{P}_{x.c} = - 0{,}0078(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}1385(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}9759(\bar{\lambda}/d)^3 +$
$+ 3{,}448(\bar{\lambda}/d)^2 - 6{,}2204(\bar{\lambda}/d) + 5{,}9007;$

15) $(h/\bar{\lambda}=0{,}11)$; $\bar{P}_{x.c} = - 0{,}0075(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}1335(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}9445(\bar{\lambda}/d)^3 +$
$+ 3{,}3386(\bar{\lambda}/d)^2 - 6{,}0304(\bar{\lambda}/d) + 5{,}6963;$

16) $(h/\bar{\lambda}=0{,}12)$; $\bar{P}_{x.c} = - 0{,}0081(\bar{\lambda}/d)^5 + 0{,}1406(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}9634(\bar{\lambda}/d)^3 +$
$+ 3{,}3158(\bar{\lambda}/d)^2 - 5{,}8826(\bar{\lambda}/d) + 5{,}4687.$

Формулы значений коэффициента $\bar{P}_{x.c}$

1) $(h/\bar{\lambda}=0{,}02)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0297(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}0867(\bar{\lambda}/d) + 11{,}153;$

2) $(h/\bar{\lambda}=0{,}0225)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0305(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}0463(\bar{\lambda}/d) + 10{,}183;$

3) $(h/\bar{\lambda}=0{,}025)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0313(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}0126(\bar{\lambda}/d) + 9{,}3838;$

4) $(h/\bar{\lambda}=0{,}0275)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0312(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}9715(\bar{\lambda}/d) + 8{,}6836;$

5) $(h/\bar{\lambda}=0{,}03)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0326(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}9624(\bar{\lambda}/d) + 8{,}1869;$

6) $(h/\bar{\lambda}=0{,}035)$; $\bar{P}_{x.c} = 0{,}0343(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}9313(\bar{\lambda}/d) + 7{,}3274;$

6) $(h/\bar{\lambda}=0{,}035)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0343(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}9313(\bar{\lambda}/d) + 7{,}3274$;

7) $(h/\bar{\lambda}=0{,}04)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0349(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}8984(\bar{\lambda}/d) + 6{,}6539$;

8) $(h/\bar{\lambda}=0{,}045)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0356(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}8719(\bar{\lambda}/d) + 6{,}1195$;

9) $(h/\bar{\lambda}=0{,}05)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0383(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}8702(\bar{\lambda}/d) + 5{,}7146$;

10) $(h/\bar{\lambda}=0{,}06)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0438(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}8766(\bar{\lambda}/d) + 5{,}1149$;

11) $(h/\bar{\lambda}=0{,}07)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0433(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}8309(\bar{\lambda}/d) + 4{,}5638$;

12) $(h/\bar{\lambda}=0{,}08)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}049(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}8453(\bar{\lambda}/d) + 4{,}2175$;

13) $(h/\bar{\lambda}=0{,}09)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0478(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}8043(\bar{\lambda}/d) + 3{,}8599$;

14) $(h/\bar{\lambda}=0{,}1)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0472(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}7746(\bar{\lambda}/d) + 3{,}5757$;

15) $(h/\bar{\lambda}=0{,}11)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0552(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}8137(\bar{\lambda}/d) + 3{,}4269$;

16) $(h/\bar{\lambda}=0{,}12)$; $\bar{P}_{x,t} = 0{,}0534(\bar{\lambda}/d)^2 - 0{,}7757(\bar{\lambda}/d) + 3{,}1843$.

Формулы значений коэффициента $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,x}}$:

$(h/\bar{\lambda}=0{,}02)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,x}} = 0{,}0006(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}0211(\bar{\lambda}/d)^3 + 0{,}2805(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}8368(\bar{\lambda}/d) + 7{,}8309$;

$(h/\bar{\lambda}=0{,}0225)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,x}} = 0{,}0006(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}02(\bar{\lambda}/d)^3 + 0{,}2618(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}6924(\bar{\lambda}/d) + 7{,}2016$;

$(h/\bar{\lambda}=0{,}025)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,x}} = 0{,}0005(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}0164(\bar{\lambda}/d)^3 + 0{,}2192(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}4585(\bar{\lambda}/d) + 6{,}5138$;

$(h/\bar{\lambda}=0{,}0275)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,x}} = 0{,}0004(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}0145(\bar{\lambda}/d)^3 + 0{,}1958(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}316(\bar{\lambda}/d) + 6{,}0122$;

$(h/\bar{\lambda}=0{,}03)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,x}} = 0{,}0004(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}0138(\bar{\lambda}/d)^3 + 0{,}184(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}2268(\bar{\lambda}/d) + 5{,}6234$;

$(h/\bar{\lambda}=0{,}035)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,x}} = 0{,}0005(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}0159(\bar{\lambda}/d)^3 + 0{,}1984(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}2094(\bar{\lambda}/d) + 5{,}1321$;

$(h/\bar{\lambda}=0{,}04)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,x}} = 0{,}0005(\bar{\lambda}/d)^4 - 0{,}0173(\bar{\lambda}/d)^3 + 0{,}2072(\bar{\lambda}/d)^2 - 1{,}1932(\bar{\lambda}/d) + 4{,}7649$;

1) $(h/\bar{\lambda}=0{,}045)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,r}}=0{,}0006(\bar{\lambda}/d)^4-0{,}0188(\bar{\lambda}/d)^3+0{,}2198(\bar{\lambda}/d)^2-$
$-1{,}2052(\bar{\lambda}/d)+4{,}4983$;

2) $(h/\bar{\lambda}=0{,}05)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,r}}=0{,}0009(\bar{\lambda}/d)^4-0{,}026(\bar{\lambda}/d)^3+0{,}2739(\bar{\lambda}/d)^2-$
$-1{,}3375(\bar{\lambda}/d)+4{,}3836$;

10) $(h/\bar{\lambda}=0{,}06)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,r}}=0{,}0014(\bar{\lambda}/d)^4-0{,}0365(\bar{\lambda}/d)^3+0{,}3468(\bar{\lambda}/d)^2-$
$-1{,}5028(\bar{\lambda}/d)+4{,}172$;

11) $(h/\bar{\lambda}=0{,}07)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,r}}=0{,}0014(\bar{\lambda}/d)^4-0{,}0365(\bar{\lambda}/d)^3+0{,}3468(\bar{\lambda}/d)^2-$
$-1{,}5028(\bar{\lambda}/d)+4.172$;

12) $(h/\bar{\lambda}=0{,}08)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,r}}=0{,}0019(\bar{\lambda}/d)^4-0{,}0452(\bar{\lambda}/d)^3+0{,}3962(\bar{\lambda}/d)^2-$
$-1{,}5782(\bar{\lambda}/d)+3{,}7908$;

10) $(h/\bar{\lambda}=0{,}09)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,r}}=0{,}0074(\bar{\lambda}/d)^4-0{,}1265(\bar{\lambda}/d)^3+0{,}798(\bar{\lambda}/d)^2-$
$-2{,}3325(\bar{\lambda}/d)+4{,}0965$;

14) $(h/\bar{\lambda}=0{,}1)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,r}}=0{,}0126(\bar{\lambda}/d)^4-0{,}186(\bar{\lambda}/d)^3+1{,}0238(\bar{\lambda}/d)^2-$
$-2{,}642(\bar{\lambda}/d)+4{,}0999$;

15) $(h/\bar{\lambda}=0{,}11)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,r}}=0{,}0115(\bar{\lambda}/d)^4-0{,}1715(\bar{\lambda}/d)^3+0{,}9577(\bar{\lambda}/d)^2-$
$-2{,}5089(\bar{\lambda}/d)+3{,}9124$;

16) $(h/\bar{\lambda}=0{,}12)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,r}}=0{,}374(\bar{\lambda}/d)^2-1{,}753(\bar{\lambda}/d)+3{,}48$.

Формулы значений коэффициента $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,l}}$

1) $(h/\bar{\lambda}=0{,}02)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,l}}=6{,}6126(\bar{\lambda}/d)-0{,}4159$;

2) $(h/\bar{\lambda}=0{,}0225)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,l}}=6{,}0613(\bar{\lambda}/d)-0{,}4082$;

3) $(h/\bar{\lambda}=0{,}025)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,l}}=5{,}5473(\bar{\lambda}/d)-0{,}3958$;

4) $(h/\bar{\lambda}=0{,}0275)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,l}}=5{,}1354(\bar{\lambda}/d)-0{,}3855$;

5) $(h/\bar{\lambda}=0{,}03)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,l}}=4{,}7971(\bar{\lambda}/d)-0{,}3782$;

6) $(h/\bar{\lambda}=0{,}035)$; $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,l}}=4{,}2547(\bar{\lambda}/d)-0{,}3648$;

7) ($h/\bar{\lambda}$=0,04); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 3,8535(\bar{\lambda}/d)$-0,3552;

8) ($h/\bar{\lambda}$=0,045); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 3,531(\bar{\lambda}/d)$-0,3473;

9) ($h/\bar{\lambda}$=0,05); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 3,2862(\bar{\lambda}/d)$-0,3455;

10) ($h/\bar{\lambda}$=0,06); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 2,9101(\bar{\lambda}/d)$-0,3452;

11) ($h/\bar{\lambda}$=0,07); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 2,646(\bar{\lambda}/d)$-0,3481;

12) ($h/\bar{\lambda}$=0,08); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 2,4596(\bar{\lambda}/d)$-0,3642;

13) ($h/\bar{\lambda}$=0,09); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 2,3751(\bar{\lambda}/d)$-0,4139;

14) ($h/\bar{\lambda}$=0,1); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 2,2553(\bar{\lambda}/d)$-0,4331;

15) ($h/\bar{\lambda}$=0,11); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 2,1463(\bar{\lambda}/d)$-0,4388;

16) ($h/\bar{\lambda}$=0,12); $\sqrt[3]{\bar{M}_{c,t}} = 2,0966(\bar{\lambda}/d)$-0,5165.

Формулы значений коэффициента $\bar{p}_{f,c}$:

1) ($\bar{\lambda}/d$=2); $\bar{p}_{f,c}$=12475$(h/\bar{\lambda})^4$-3713,2$(h/\bar{\lambda})^3$+371,06$(h/\bar{\lambda})^2$ - $- 12,024(h/\bar{\lambda}) + 0,133;$

2) ($\bar{\lambda}/d$=3); $\bar{p}_{f,c}$ = -818,42$(h/\bar{\lambda})^3$ + 184,85$(h/\bar{\lambda})^2$ - 11,438$(h/\bar{\lambda})$ + 0,3428

3) ($\bar{\lambda}/d$=4); $\bar{p}_{f,c}$ = -799,72$(h/\bar{\lambda})^3$ + 186,12$(h/\bar{\lambda})^2$ - 13,07$(h/\bar{\lambda})$ + 0,5393;

4) ($\bar{\lambda}/d$=5); $\bar{p}_{f,c}$ = -11880$(h/\bar{\lambda})^4$ + 2942,5$(h/\bar{\lambda})^3$ - 201,79$(h/\bar{\lambda})^2$ + $+ 1,5193(h/\bar{\lambda}) + 0,4967;$

5) ($\bar{\lambda}/d$=6); $\bar{p}_{f,c}$ = 1135,3$(h/\bar{\lambda})^3$ - 130,46$(h/\bar{\lambda})^2$ + 0,7305$(h/\bar{\lambda})$ + 0,5989

6) ($\bar{\lambda}/d$=7); $\bar{p}_{f,c}$ = 970,31$(h/\bar{\lambda})^3$ - 125,45$(h/\bar{\lambda})^2$ + 0,689$(h/\bar{\lambda})$ + 0,6836;

7) ($\bar{\lambda}/d$=8); $\bar{p}_{f,c}$ = 1,3612$(h/\bar{\lambda})^2$ - 4,7431$(h/\bar{\lambda})$ + 0,8235;

8) ($\bar{\lambda}/d$=9); $\bar{p}_{f,c}$ = -5,1444$(h/\bar{\lambda})^2$ - 4,4962$(h/\bar{\lambda})$ + 0,8794;

9) ($\bar{\lambda}/d$=10); $\bar{p}_{f,c}$ = -13,778$(h/\bar{\lambda})^2$ - 4,0798$(h/\bar{\lambda})$ + 0,9287;

10) ($\bar{\lambda}/d$=11); $\bar{p}_{f,c}$ = -42,275$(h/\bar{\lambda})^2$ - 2,4369$(h/\bar{\lambda})$ + 0,9561;

11) ($\bar{\lambda}/d$=12); $\bar{p}_{f,c}$ = -60,138$(h/\bar{\lambda})^2$ - 1,3925$(h/\bar{\lambda})$ + 0,9883.

Формулы значений коэффициента p_{fj}:

1) ($\bar{\lambda}/d$=1); $\tilde{p}_{fj} = -10{,}764(h/\bar{\lambda})^2 + 3{,}3325(h/\bar{\lambda}) + 0{,}0036$;

2) ($\bar{\lambda}/d$=2); $\tilde{p}_{fj} = -11{,}155(h/\bar{\lambda})^2 + 3{,}1348(h/\bar{\lambda}) + 0{,}0893$;

3) ($\bar{\lambda}/d$=3); $\tilde{p}_{fj} = -12{,}162(h/\bar{\lambda})^2 + 2{,}7057(h/\bar{\lambda}) + 0{,}2496$;

4) ($\bar{\lambda}/d$=4); $\tilde{p}_{fj} = -11{,}69(h/\bar{\lambda})^2 + 1{,}7494(h/\bar{\lambda}) + 0{,}4183$;

5) ($\bar{\lambda}/d$=5); $\tilde{p}_{fj} = -9{,}4977(h/\bar{\lambda})^2 + 0{,}3707(h/\bar{\lambda}) + 0{,}5613$;

6) ($\bar{\lambda}/d$=6); $\tilde{p}_{fj} = -5{,}5636(h/\bar{\lambda})^2 - 1{,}4069(h/\bar{\lambda}) + 0{,}6726$;

7) ($\bar{\lambda}/d$=7); $\tilde{p}_{fj} = 2{,}4882(h/\bar{\lambda})^2 - 3{,}8557(h/\bar{\lambda}) + 0{,}7663$;

8) ($\bar{\lambda}/d$=8); $\tilde{p}_{fj} = 12{,}391(h/\bar{\lambda})^2 - 6{,}4631(h/\bar{\lambda}) + 0{,}8308$;

9) ($\bar{\lambda}/d$=9); $\tilde{p}_{fj} = 23{,}954(h/\bar{\lambda})^2 - 9{,}1053(h/\bar{\lambda}) + 0{,}8694$;

10) ($\bar{\lambda}/d$=10): $\tilde{p}_{fj} = 42{,}189(h/\bar{\lambda})^2 - 12{,}132(h/\bar{\lambda}) + 0{,}8963$;

11) ($\bar{\lambda}/d$=11); $\tilde{p}_{fj} = 76{,}182(h/\bar{\lambda})^2 - 15{,}86(h/\bar{\lambda}) + 0{,}9174$;

12) ($\bar{\lambda}/d$=12); $\tilde{p}_{fj} = 117{,}35(h/\bar{\lambda})^2 - 19{,}364(h/\bar{\lambda}) + 0{,}9201$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Рекомендуемое

Допустимые элементы волн у причалов

1. При проектировании оградительных и причальных сооружений морских портов необходимо выполнять технико-экономическое сопоставление вариантов компоновки акватории с учетом допустимых значений элементов волн.

2. Допустимые значения элементов волн необходимо устанавливать по каждому из причалов для следующих видов операций: швартовка, стоянка ошвартованного судна, грузовые операции. При этом следует учитывать специализацию причала, параметры расчетного судна и характеристики отбойных устройств.

3. В качестве допустимых высот и соответствующих этим высотам периодов волн следует рассматривать средние высоты $\bar{h}$, м, и средние периоды $\bar{T}$, с.

4. Расчетные элементы дифрагированных или местных волн на акватории порта необходимо принимать равными значениям высот волн 5%-ной обеспеченности в расчетном шторме обеспеченностью 1 раз в год в соответствии с рекомендациями настоящих Указаний.

5. Высоты волн $h_{i\%}$, м, обеспеченностью $i\%$, в т.ч., обеспеченностью *5 %*, соответствующие глубине d, м, принимают по табл. 3.5 настоящих Указаний, используя значение средней высоты $\bar{h}$, м. Среднюю высоту волн $\bar{h}$, м, допускается определять по высоте заданной обеспеченности $h_{i\%}$, м, и глубине d, м, используя последовательные приближения.

6. Значения средних высот волн $\bar{h}$, м, допустимых для выполнения швартовных операций, следует определять по номограмме рис.1 с учетом водоизмещения расчетного судна D, тыс. т, при среднем периоде волн $\bar{T}$, с.

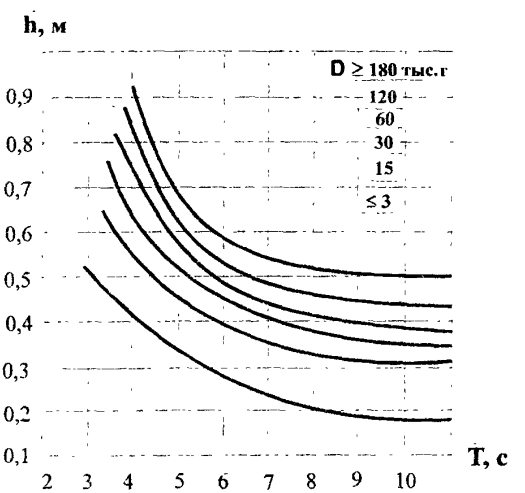

Рис. 1. Номограмма для определения элементов волн, допустимых при выполнении швартовных операций

Для судов, швартующихся в балласте, полученные значения высот волн необходимо умножать на коэффициент 0,75.

7. Значения средних высот волн $\bar{h}$, м, допустимых для безопасной стоянки ошвартованных судов, следует определять по номограмме рис. 2 с учетом водоизмещения судна в грузу и значений деформаций отбойных устройств Δ_0, м, приведенных в табл.1.

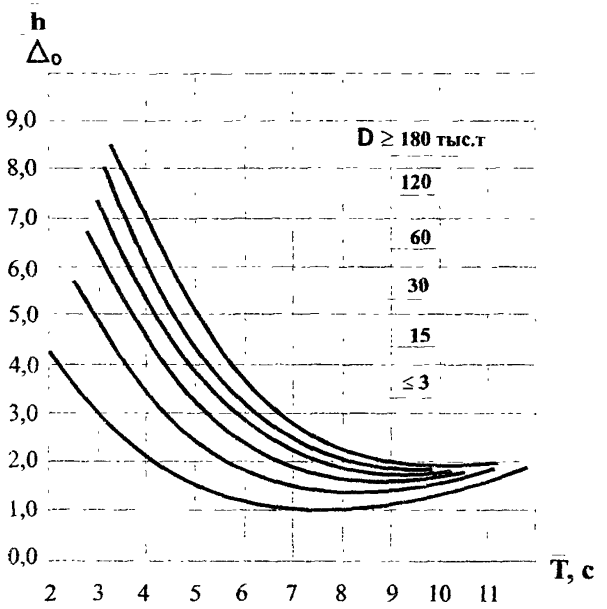

Рис. 2. Номограмма для определения значений элементов волн, допустимых для безопасной стоянки ошвартованных судов

Таблица 1.

Тип отбойного устройства	Допустимые значения деформаций отбойных устройств, Δ_0, м
Д 400	0,20
Д 1000	0,50
РАТ-1000	0,45

8. Значения средних высот волн $\bar{h}$, м, допустимых для безопасной стоянки ошвартованного судна у причала, необходимо умножать на коэффициент k_ψ, учитывающий угол подхода фронта волн к линии кордона, ψ, град.. Коэффициент k_ψ, следует определять с учетом отношения длины расчетного судна L_c, м, к средней длине волны $\bar{\lambda}$, м, по табл. 2.

Таблица 2.

Угол подхода фронта волны к линии кордона, ψ, град	*Значения коэффициента* k_ψ *при* $L_c/\bar{\lambda}$					
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0
60	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,3
90	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,5

9. Значения средних высот волн $\bar{h}$, м, допустимых для безопасного выполнения грузовых операций, следует определять по номограммам с учетом водоизмещения расчетного судна D, тыс. т, среднего периода волн $\bar{T}$, с, и допустимых максимальных значений горизонтальных A_η, м, (рис.3,а), и вертикальных A_γ, м, (рис.3,б) средних амплитуд колебаний борта судна. В случае отсутствия специальных требований к ограничению перемещений судна при выполнении грузовых операций значения предельных амплитуд колебаний борта судна следует принимать по табл.3.

Таблица 3

Тип судна	A_η, м	A_γ, м
Контейнеровозы ячеистого типа	0,12	-
Контейнеровозы комбинированного типа, лесовозы, сухогрузы универсального назначения	0,20	0,10
Сухогрузы при операциях с генеральными грузами с применением средств малой механизации и нахождением людей в трюме	0,50	0,30
Суда типа «ро-ро»	-	0,50
Танкеры	без ограничений	

При обработке танкеров амплитуды горизонтальных и вертикальных перемещений не ограничиваются; при этом допустимые значения высот волн необходимо определять с учетом силового взаимодействия судна с причалом.

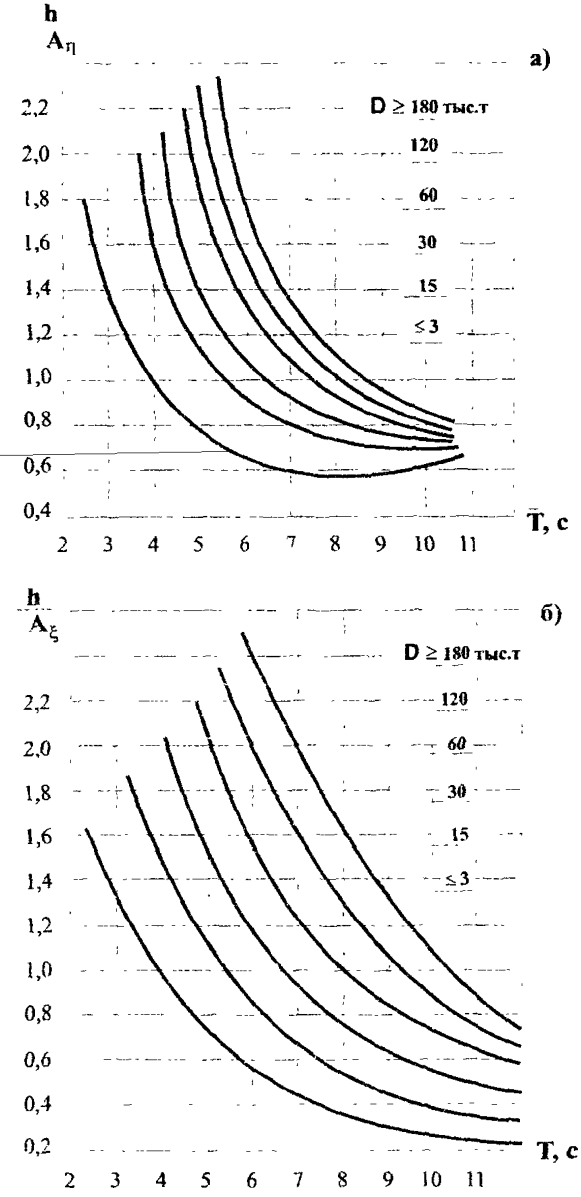

Рис. 3. Номограммы для определения значений элементов волн, допустимых для безопасного выполнения грузовых операций

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Рекомендуемое

ИСПЫТАНИЕ ЛЬДА НА ОДНООСНОЕ СЖАТИЕ

Отбор проб, изготовление и подготовка образцов к испытанию

Пробы льда (в виде кернов или призм) отбираются из ледяного покрова при помощи кольцевого ледобура, пилы или другого инструмента. Образцы готовятся из однородных слоев ледяных проб так, чтобы их длинные оси были направлены параллельно поверхности ледяного покрова. Число кернов (призм), из которых изготавливаются образцы, должно быть не менее трех, отобранных в характерных для данного ледяного поля точках. Пробы льда должны храниться и доставляться к месту подготовки образцов в условиях, предотвращающих влияние механических повреждений, положительных температур и солнечной радиации.

Допускается отбирать и испытывать образцы в направлении, перпендикулярном поверхности ледяного покрова. Прочность льда в направлении параллельном поверхности ледяного покрова R_c, МПа, определяется по формуле $R_c = R^{\perp}_c / 1{,}65$, где $R^{\perp}_c$ - прочность льда в направлении, перпендикулярном поверхности ледяного покрова, МПа, получаемая в результате испытаний соответствующих ледяных образцов.

Ледяные керны (призмы) и готовые к испытаниям образцы должны быть защищены от воздействия солнечной радиации.

Образцы льда изготавливаются в виде призм квадратного сечения или цилиндров круглого сечения с отношением высоты к ширине (диаметру), равным 2,5. Ширина образца должна превышать средний поперечный размер кристалла в 10 раз и более. Размер кристалла определяется по данным кристаллографического исследования. Образцы должны иметь гладкую ровную поверхность без трещин, сколов, раковин и других дефектов.

Непосредственно перед испытанием образцов на испытательной машине необходимо определить их плотность и размеры, а после испытания - отобрать пробы для определения солености и температуры льда.

Оборудование

Испытательные машины должны быть с управляемой скоростью деформации. Наибольшая нагрузка, создаваемая машиной, должна превышать разрушающую нагрузку для испытываемых образцов не менее, чем в три раза.

Испытание должно сопровождаться регистрацией временной диаграммы усилия сжатия и деформации ледяных образцов с погрешностью не более ± 5%.

Проведение испытаний

Между торцевыми поверхностями образцов и плитами испытательной машины должны быть положены тонкие полиэтиленовые прокладки толщиной до 0,1 мм.

Образцы сжимаются вдоль длинных осей при постоянной скорости деформации в диапазоне $\dot{\varepsilon} = 0{,}5 \cdot 10^{-3} \div 0{,}5 \cdot 10^{-2}, c^{-1}$.

Обработка результатов испытаний ледяных образцов выполняется по СНиП 2.06.04-82*, 1995 (Приложение 4).

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Справочное

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, РУКОВОДСТВА И ПОСОБИЯ

При определении элементов волн на открытых и огражденных акваториях, волновых нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения вертикального и откосного профиля, нагрузок от судов (плавучих объектов) на гидротехнические сооружения, а также ледовых нагрузок необходимо наряду с рекомендациями настоящих Указаний руководствоваться требованиями нормативных документов, руководящих документов и пособий.

Нормативные документы

1. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). 1995.- 46 с.

2. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. 1987.- 35 с.

3. СНиП 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. 1989. 30 с.

Руководящие документы

1.РД 31.31.55-93. Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений. /Федеральная служба морского флота России. М.: Мортехреклама, 1996.

2.РД 31.33.02-81. Методические указания по определению ветровых и волновых условий при проектировании морских портов. / Союзморниипроект. - М., 1981.

3.РД 31.33.04-84. Определение скоростного напора ветра над акваториями для расчета ветровых нагрузок на портовые сооружения. /Союзморниипроект. - М., 1984.

4.ВСН 41.88. Проектирование ледостойких стационарных платформ. Ведомственные строительные нормы (экспериментальные). /Миннефтепром.- М., 1988, 136 с.

Пособия

1. Руководство по морским гидрологическим прогнозам/Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации. Гидрометеоиздат.- Санкт-Петербург,1994, 526 с.

2. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Теория. Инженерные методы. Расчеты. Авт.: Д.Д.Лаппо, С.С.Стрекалов, В.К.Завьялов/ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева.- Л., 1990, 432 с.

3. Ветер, волны и морские порты. Ред. Ю.М.Крылов/Гидрометеоиздат.- Л, 1986, 262 с.

4. Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения. Ред.И.Н.Давидан/ Гидрометеоиздат.- Санкт-Петербург,1995, 472 с.

5. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. Авт.: И.В. Лаврёнов/ Гидрометеоиздат.- Санкт-Петербург, 1998, 500 с.

Содержание

1. Общие указания 3
2. Элементы волн на открытых и огражденных акваториях.. 5
Общие положения 5
Элементы волн на глубоководной акватории 6
Элементы волн на мелководной акватории 9
Элементы волн в зоне трансформации 10
Элементы волн в прибойной зоне 12
Элементы волн на огражденной акватории 14
3. Нагрузки и воздействия волн на гидротехнические сооружения вертикального и откосного профиля 17
Общие положения 17
Нагрузки от стоячих волн на сооружения вертикального профиля.. 17
Неразмывающие и максимальные донные скорости..... 20
Накат волн на сооружения 31
Масса элемента крепления откоса 33
4 Нагрузки от судов (плавучих объектов) на гидротехнические сооружения 35
Общие положения 35
Нагрузки от ветра на плавучие объекты 36
Нагрузки от навала судна при подходе к сооружению 38
5. Ледовые нагрузки на гидротехнические сооружения 42
Общие положения 42
Нагрузки от ледяных полей на сооружения 44
Нагрузки от торосистых образований 45
Локальное ледовое давление 48
Нагрузки на сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении 49
Нагрузки от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды 50
Приложение 1. Рекомендуемое. Расчетные характеристики ветра..... 51
Приложение 2. Рекомендуемое. Расчетные уровни воды..... 53
Приложение 3. Справочное. Модели ветровых волн 57
Приложение 4. Справочное. Аппроксимационные формулы для определения коэффициентов при расчетах нагрузок на сооружения вертикального профиля..... 62
Приложение 5. Рекомендуемое. Допустимые элементы волн у причалов 67
Приложение 6. Рекомендуемое. Испытание льда на одноосное сжатие. 72
Приложение 7. Справочное. Рекомендуемые нормативные документы, руководства и пособия 73

Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения

Подписано в печать 17.10.01 Печать офсетная. Усл. печ. л. 2
Тираж 100 экз.

ЦДМУ МГАВТ:
115407, г. Москва, ул. Судостроительная, д. 46, ком. 301
Телефон редакции: 118-43-65

gost.e-ecolog.ru