

МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА СССР

РУКОВОДСТВО
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ И КРУТОНАКЛОННЫЕ СТЕНЫ, ИМЕЮЩИЕ
В ОСНОВАНИИ ВЫСОКУЮ КАМЕННУЮ ПОСТЕЛЬ

РД 31.31.53 - 90

Москва, 1990

РАЗРАБОТАНО

Одесским филиалом государственного
проектно-исследовательского и научно-
исследовательского института
морского транспорта (СоюзморНИИ-
проект)

"ЧЕРНОМОРНИИПРОЕКТ"

Директор – канд.техн.наук В.А.Яценко
Зам.главного инженера – В.А.Стецук
Зав.группой стандартизации А.Ф.Долгая
Руководитель разработки
зав.лабораторией морских каналов и
портовых акваторий –
канд. техн. наук А.П.Тюрин
Исполнитель – канд. техн. наук
В.В.Бурячок

РУКОВОДСТВО ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ И КРУТОНАКЛОННЫЕ
СТЕНКИ, ИМЕЮЩИЕ В ОСНОВАНИИ
ВЫСОКУЮ КАМЕННУЮ ПОСТЕЛЬ

РД 31.31.53 -90

Вводится впервые

Письмом ГУПКИС ММ от 08.06.90 № КС -3/1248 срок введения в действие
установлен с 01.10.90 до 30.12.95

Настоящее Руководство предназначено для экспериментального про-
ектирования морских гидротехнических сооружений, расположенных на вы-
согих каменных постелях и имеющих плоскую лицевую грань, наклоненную
к вертикали не более, чем на 30° .

Руководство уточняет и развивает положения СНиП 2.06.04-82.

РД не распространяется на случаи воздействия на гидротехничес-
кие сооружения разбивающихся и прибойных волн.

I. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СТЕНЫ НА ВЫСОКОЙ КАМЕННОЙ ПОСТЕЛИ

I.1. Эпюры волнового давления при подходе со стороны моря (рис. I.1) вершины (эпюра 1) и подошвы (эпюра 2) волны следует строить по требованиям СНиП 2.06.04-82*, принимая в качестве расчетных глубину $d = d_f$, длину волны $\bar{\lambda}_f$ и высоту h_f (элементы волн над бермой). Последние две величины надлежит определять по п.п. I.2, I.3 настоящего РД.

I.2. Величину $\bar{\lambda}_f / \bar{\lambda}$ следует определять по оси ординат рис. I.2, восставляя перпендикуляр к оси абсцисс в точке, соответствующей заданному отношению $\bar{\lambda} / d_B$ до пересечения с линией, соответствующей заданному отношению d_f / d_B . Здесь $\bar{\lambda}$ — средняя длина волны на глубине d_B , м, остальные обозначения даны на рис. I.1. Для определения промежуточных значений $\bar{\lambda}_f / \bar{\lambda}$ по рис. I.2 допускается линейная интерполяция.

I.3. Отношение h_f / h (h — высота волны на подходе к сооружению, м) нужно определять по рис. I.3 — I.8, соответствующим значениям $\bar{\lambda} / d_B$, ближайшим к заданному, с последующей линейной интерполяцией результата. На указанных рисунках следует найти точки с координатами $v / \bar{\lambda}$, d_f / d_B , где

$$v = v_{Bn} + 0,5(d_B - d_f) \operatorname{ctg} \varphi \quad (\text{I.1})$$

(см. рис. I.1), и определить h_f / h по линейной интерполяции между ближайшими изолиниями.

I.4. Эпюры взвешивающего давления, волнового давления скользящей дифрагированной волны со стороны гавани, а также коэффициенты к нагрузкам со стороны моря на стенки с пониженной

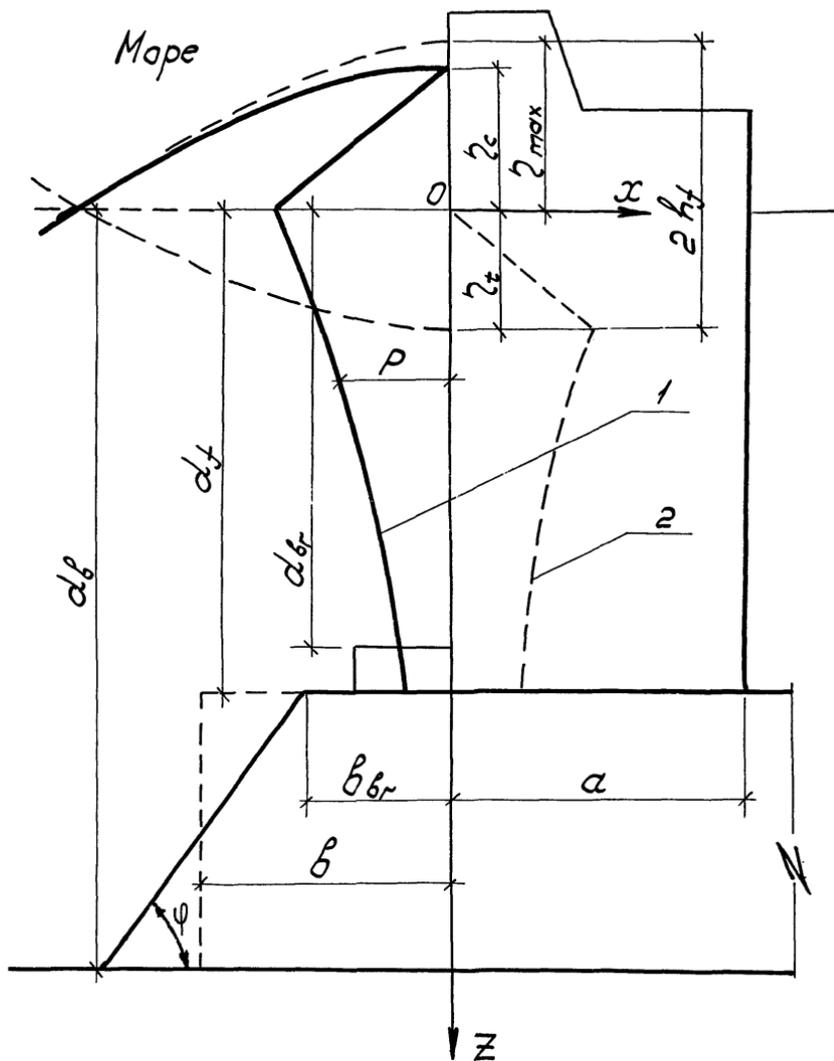


Рис. I.I

Расчетная схема вертикальной стены

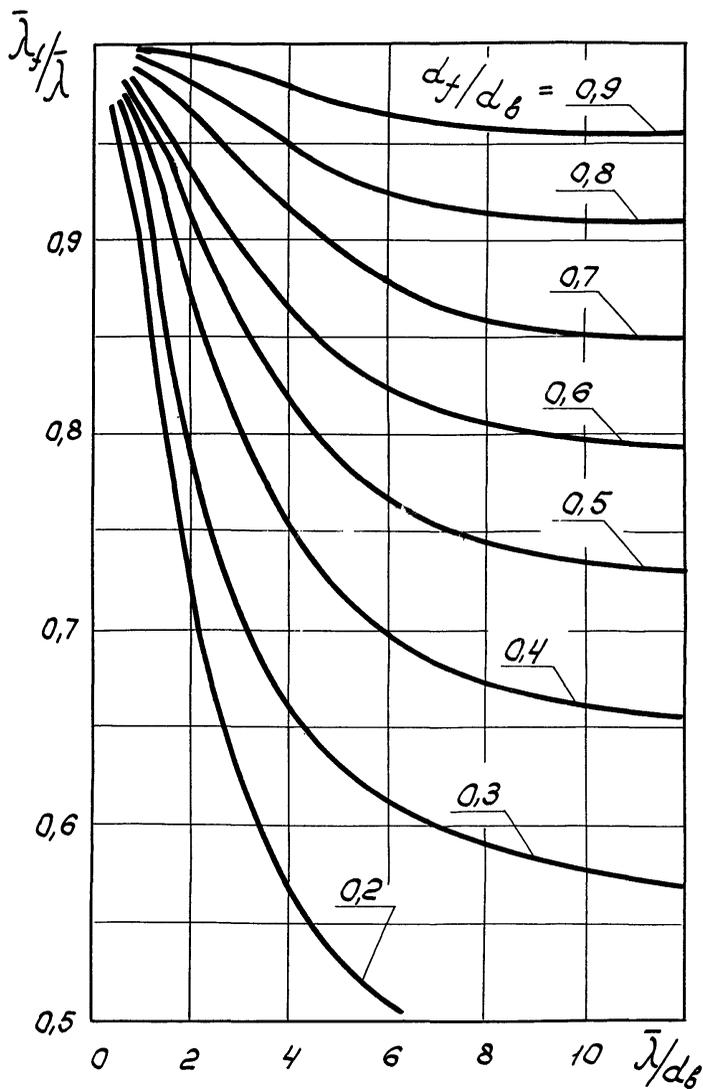


Рис. I.2

К определению длины волны над бермой

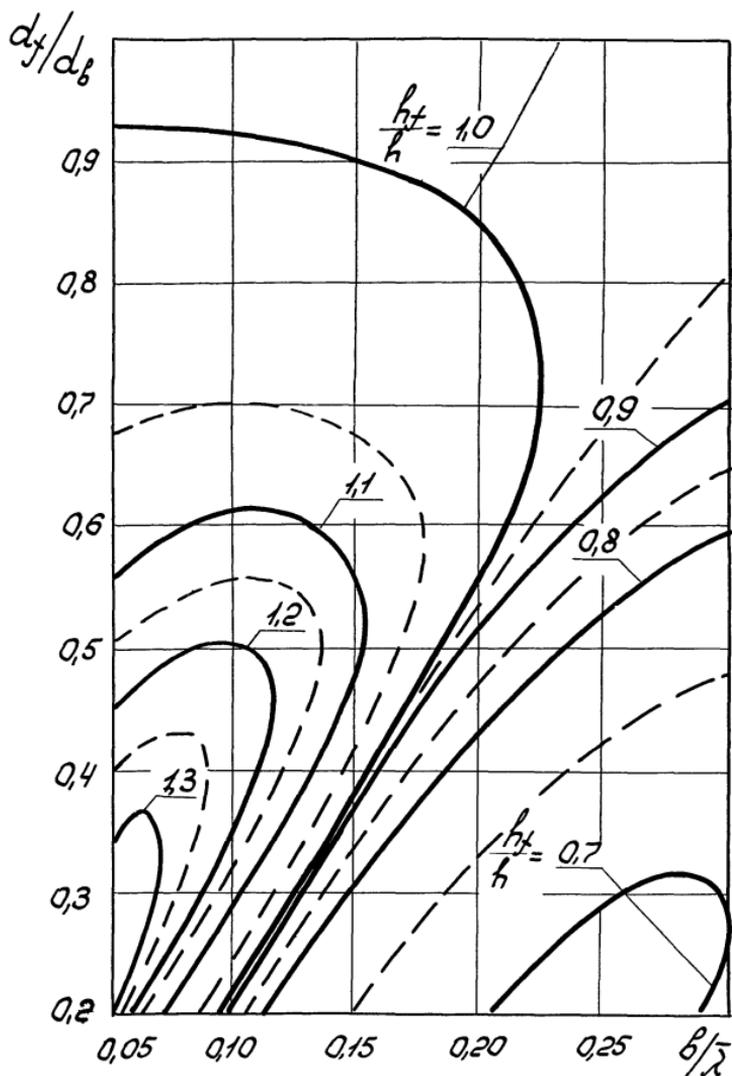


Рис. I.3
 Изолинии $\frac{h_f}{h}$ при $\frac{\lambda}{d_B} \leq 2$

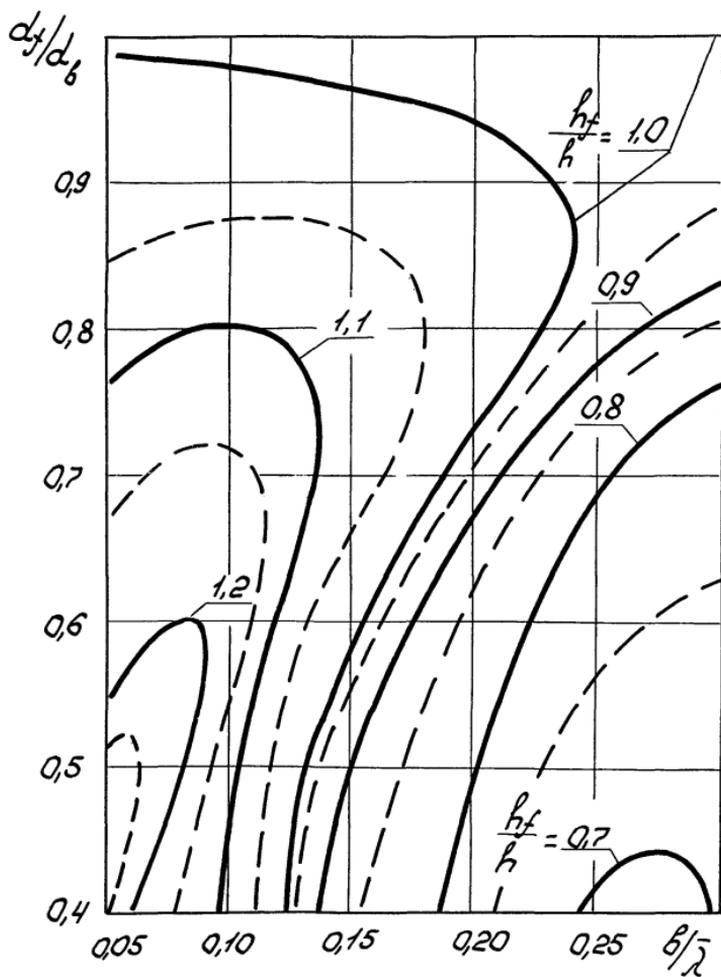


Рис. I.4
 Изолинии R_2/R_1 при $\lambda/d_2 = 4$

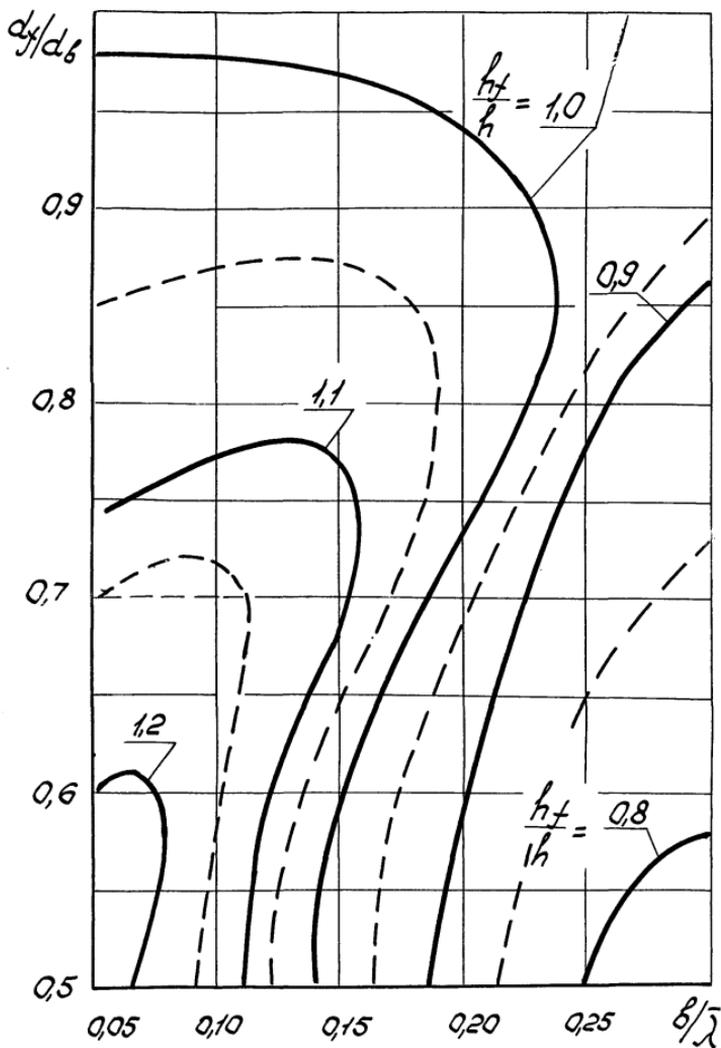


Рис. 1.5
 Изолинии h_f/h при $\lambda/d_6 = 6$

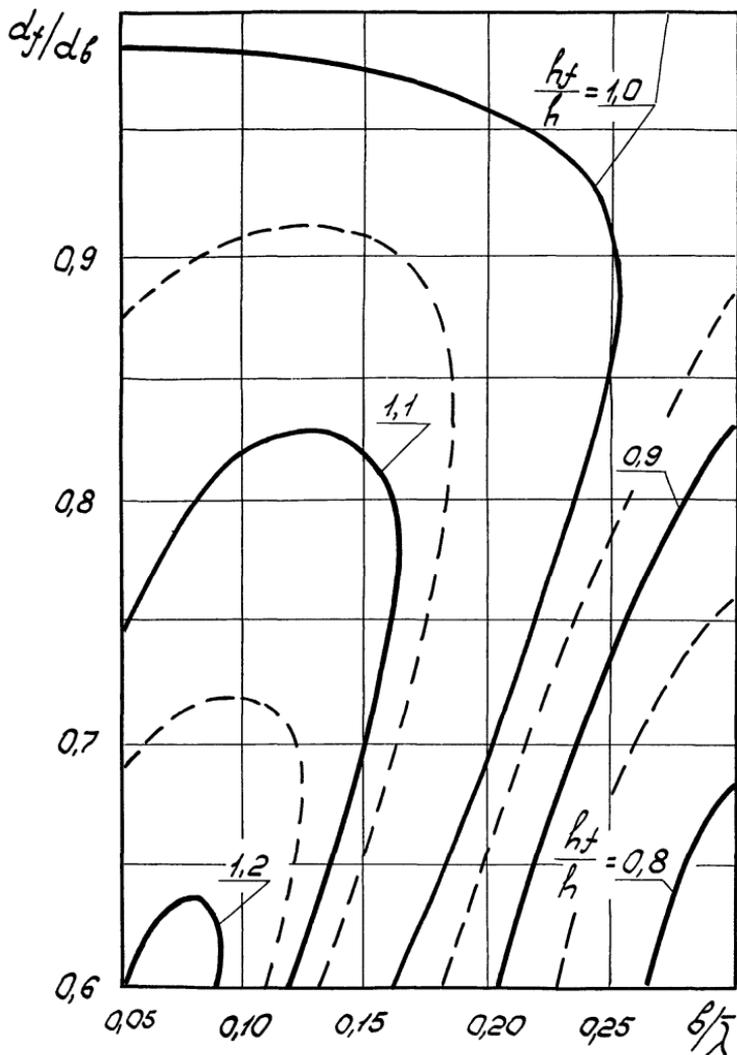


Рис. 1,6
Изолинии h_f/h при $\bar{\lambda}/d_b = 8$

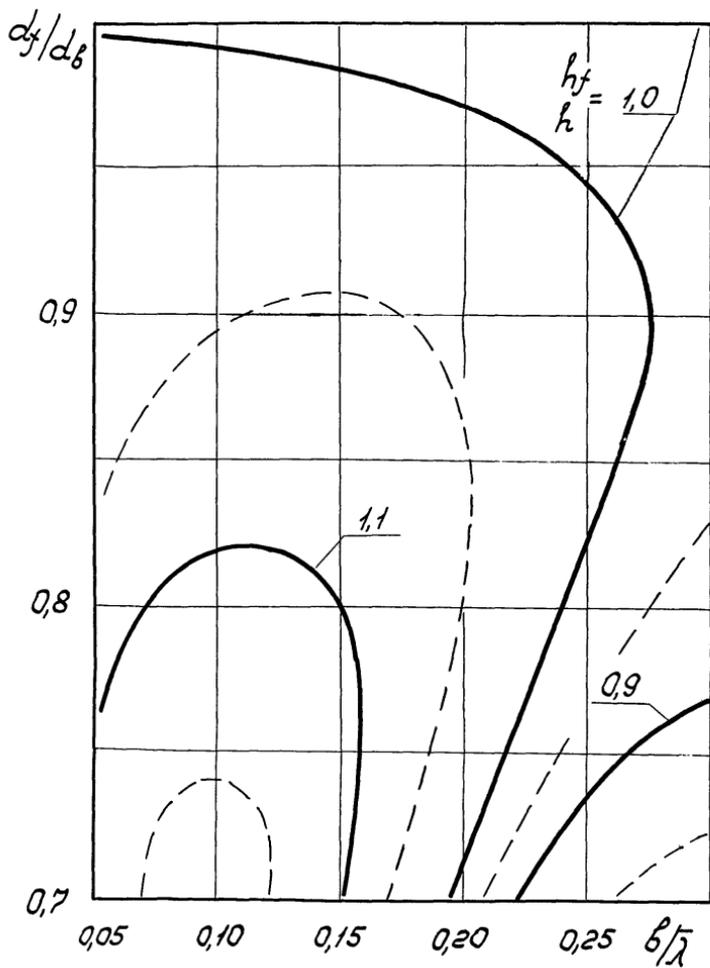


Рис. 1.7
 Изолинии h_f/h при $\lambda/d_0 = 10$

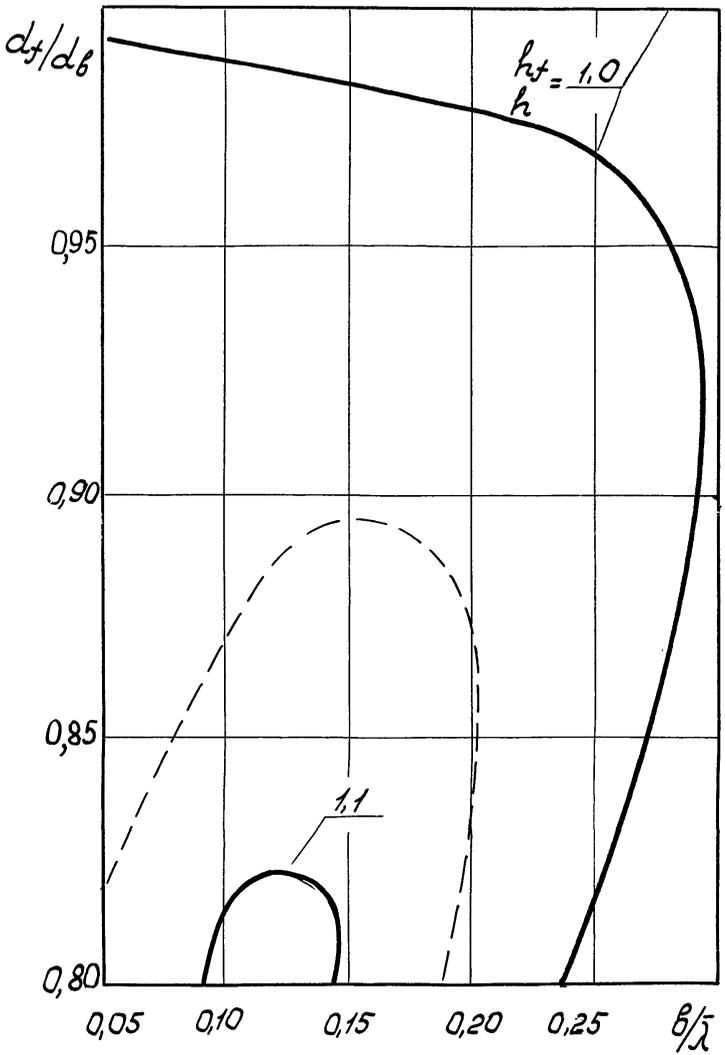


Рис. 1.8
Изолинии h_f/h при $\lambda/d_b \geq 12$

отметкой верха и в случае косого подхода волн надлежит вычислять по СНиП 2.06.04-82^к. Указанные коэффициенты следует применять к нагрузкам, вычисленным по п.п. I.1 - I.3 настоящего РД.

I.5. Отражение волн от сооружения рекомендуется считать полным, донные волновые скорости следует определять по СНиП 2.06.04-82^к, используя величины k , \bar{L} , d_f перед постелью и k_f , \bar{L}_f , d_f над ней.

2. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРУТОНАКЛОННЫЕ СТЕНЫ НА ВЫСОКОЙ КАМЕННОЙ ПОСТЕЛИ

2.1. Горизонтальную и вертикальную составляющие волновой нагрузки со стороны моря надлежит определять по эпюрам волнового давления p_θ , кПа (рис. 2.1), получаемым умножением эпюр, рассчитанных по рекомендациям п.п. 1.1 - 1.3, на коэффициент

$$K_\theta = \cos\left(\frac{2\pi z}{\lambda_f} \operatorname{tg}\theta\right), \quad (2.1)$$

в точках

$$z \geq 0, \quad (2.2)$$

где θ - угол наклона лицевой грани к вертикали. При построении эпюры для определения вертикальной составляющей волновой нагрузки давления p_θ следует относить к точкам с абсциссами

$$x = -z \operatorname{tg}\theta. \quad (2.3)$$

2.2. Вертикальное отклонение η поверхности воды от спокойного уровня у стены следует определять по формуле

$$\eta = -h_{\text{run}} \cos \omega t - \frac{k_1 k_2^2}{2} \operatorname{ctg} k_1 d_f \cos^2 \omega t, \quad (2.4)$$

где h_{run} - амплитуда вертикальных колебаний уровня у стенки, определяемая по верхнему полю рис. 2.2 в зависимости от θ и $k d_B$,

k - волновое число на глубине d_B , м,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad (2.5)$$

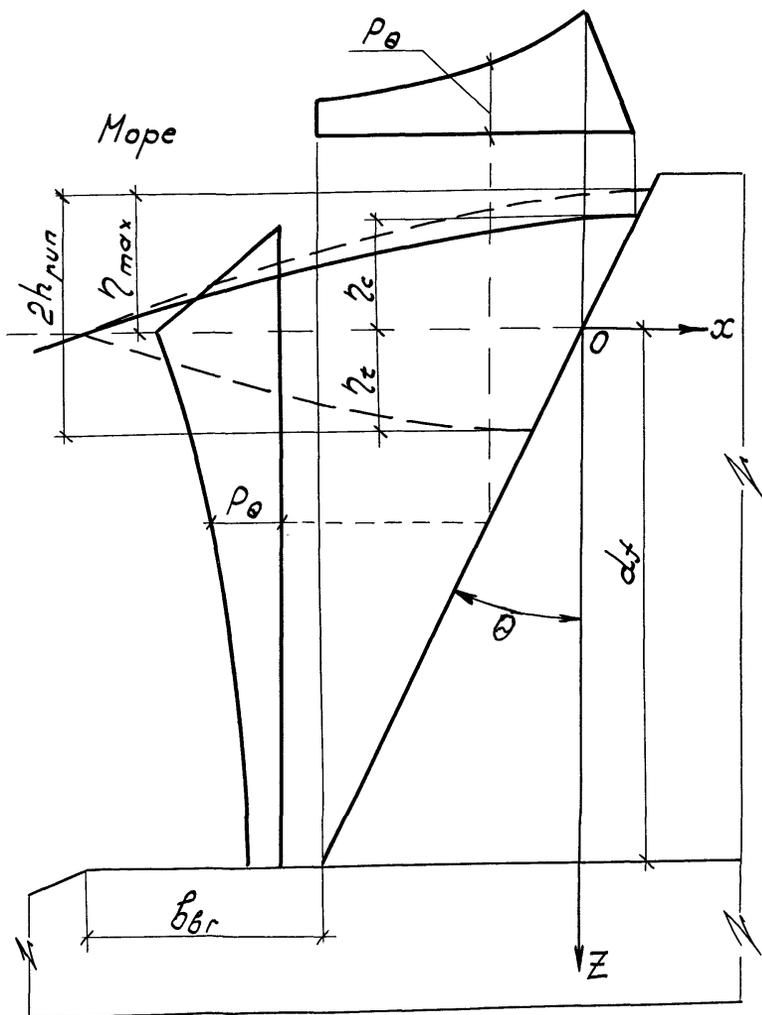


Рис. 2.1

Расчетная схема крутонаклонной стены

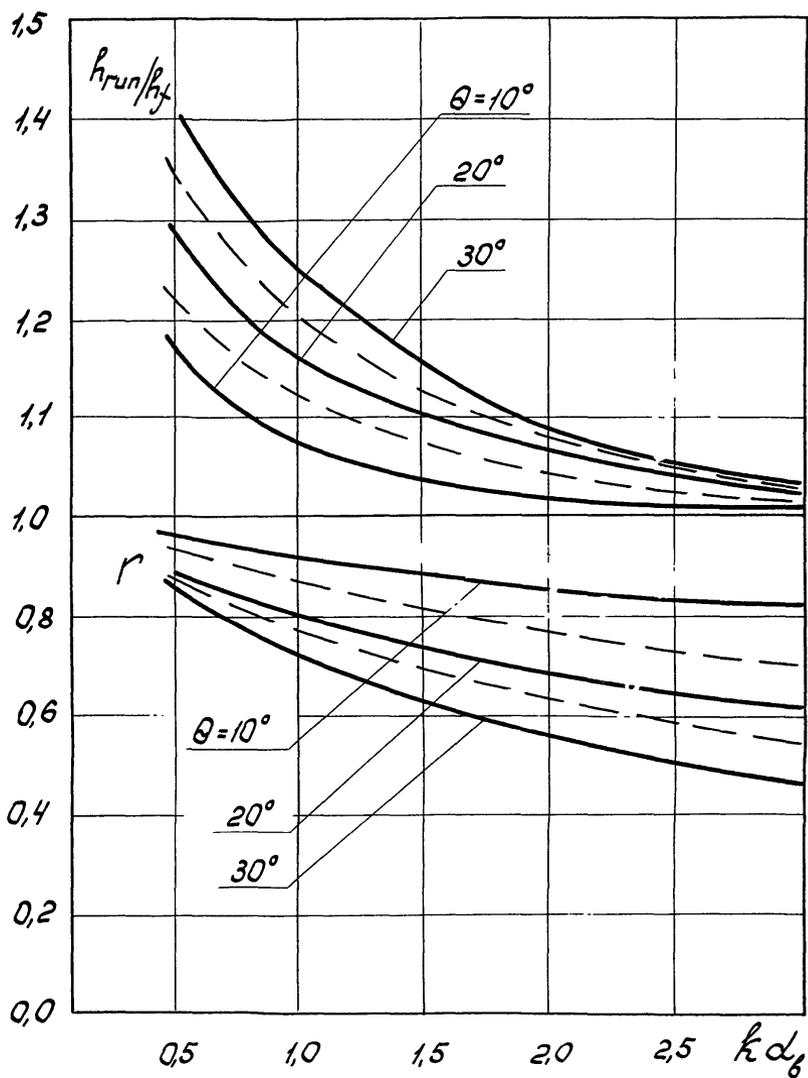


Рис. 2.2

К определению высоты наката и коэффициента отражения

ω - частота волны, 1/с,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.6)$$

\bar{T} - средний период волны, с,

t - текущее время, с,

k_f - волновое число над бермой сооружения, 1/м,

$$k_f = \frac{2\pi}{\lambda_f} \quad (2.7)$$

2.3. Взвешивающее давление волны необходимо определять по рекомендациям СНиП 2.06.04-82* с использованием давлений P_θ , рассчитанных по п.п. 2.1 - 2.2 настоящего РД.

2.4. Горизонтальную составляющую волнового давления скользящей дифрагированной волны со стороны тавани на крутонаклонную стену следует принимать по эюре, вычисленной по указаниям СНиП 2.06.04-82*, вертикальную составляющую - по рекомендациям п. 2.1 настоящего РД.

2.5. В случае сооружения с пониженной отметкой верха либо при нефронтальном подходе волн со стороны моря нагрузки, вычисленные по п.п. 2.1 - 2.3 настоящего РД, следует умножать на коэффициенты, определенные по СНиП 2.06.04-82*.

2.6. Для расчета интерференции волн высоту отраженной волны рекомендуется принимать равной $r h$, где r - коэффициент отражения, определяемый по нижнему полю рис. 2.2 в зависимости от величин θ , $k d_g$. Донные скорости перед сооружением следует определять по п. 1.5 настоящего РД.

Научный руководитель,
Зав. НИЛ МКИПА, к.т.н.



А.П.Тюрин

Зав. группой стандар-
тизации



А.Ф.Долгая

Отв. исполнитель
зав.сектором, к.т.н.



В.В.Бурячок

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(справочное)

П Е Р Е Ч Е Н Ь

использованных нормативно-технических документов

СНиП 2.06.01-86	Гидротехнические сооружения морские. Основные положения проектирования.
СНиП 2.06.04-82 ^ж	Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(рекомендуемое)

ВОЛНОВЫЕ НАГРУЗКИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СТЕНЫ,
РАСПОЛОЖЕННЫЕ НА ВЫСОКОЙ КАМЕННОЙ ПОСТЕЛИ,
С УЧЕТОМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Настоящий метод определения волновых нагрузок основан на учете гидравлических потерь волновой энергии над выступающей в сторону моря частью каменной постели (см. рис. I.I). Причины потерь - фильтрация воды в теле каменной постели и турбулентность в прилегающем слое воды.

Эпюры волнового давления при подходе со стороны моря (рис. I.I) вершины (эпюра 1) и подошвы (эпюра 2) волны рекомендуется строить по требованиям СНиП 2.06.04-82^{*}, принимая в качестве расчетной глубину $d = d_f$, длину волны $\bar{\lambda}$ и высоту h_f , м, определяемую по формуле

$$h_f = h(1 - K_{np})(1 - K_c) \quad , \quad (\text{П } 2.1)$$

где h - высота исходной волны, м, на глубине d_0 ,

K_{np} - коэффициент, характеризующий долю волновой энергии, отраженной от переднего откоса постели и определяемый по рис. П 2.1а,

K_c - коэффициент, характеризующий гидравлические потери энергии волны на пути $-v_{gr} \leq x \leq 0$ и определяемый по рис. П 2.1б, в, г.

При пользовании рис. П 2.1 допускается линейная интерполяция.

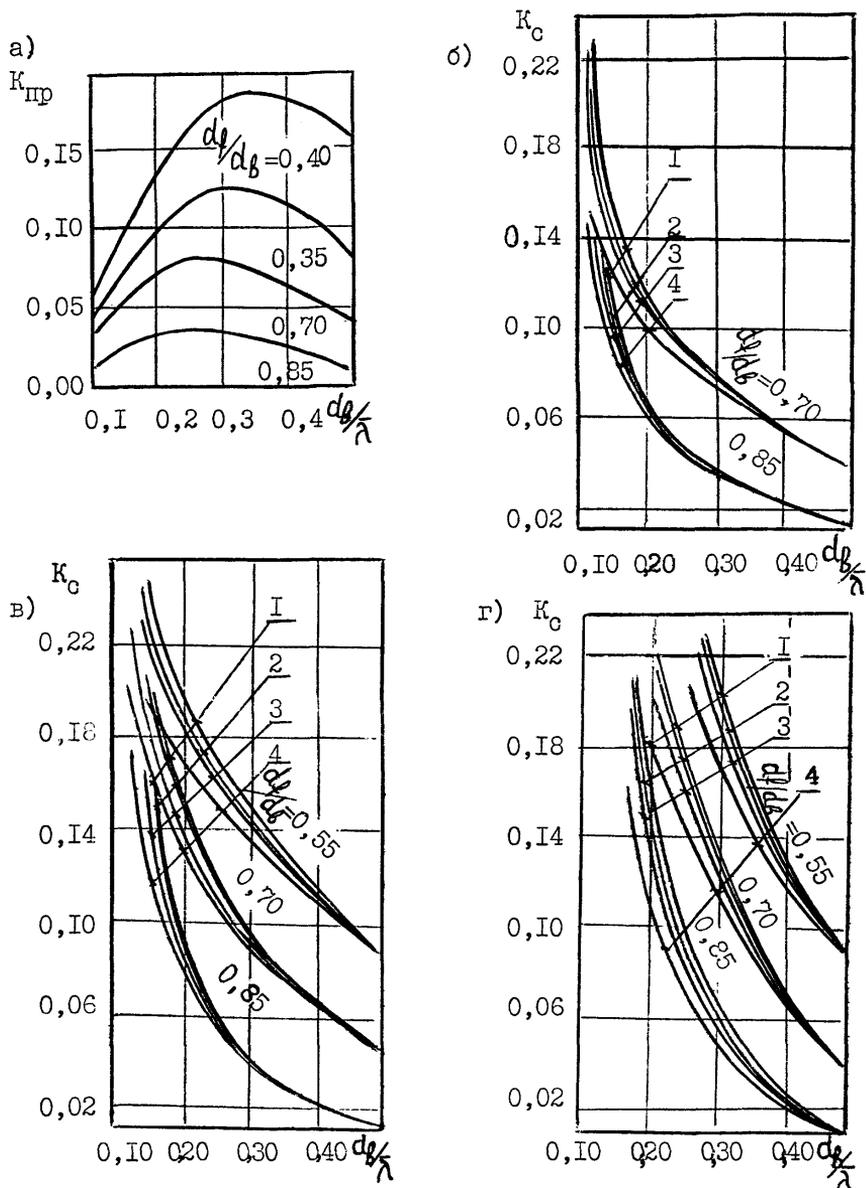


Рис.П 2.1

Рис.П 2.1 б, в, г, относятся к кругизне волны h/λ 0,033; 0,050; 0,100 соответственно; кривые 1, 2, 3, 4, на них соответствуют величинам b_b/λ , равным 0,125; 0,100; 0,075; 0,050.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(справочное)

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I. Волновые нагрузки на вертикальную стену

Рассчитать эпюры горизонтальных давлений, горизонтальные равнодействующие, моменты относительно основания при фронтальном подходе со стороны моря вершины и подошвы волны к сооружению по рис. I.1 при следующих исходных данных: $h = 4,4$ м, $\bar{\lambda} = 60$ м, $d_B = 20,5$ м, $d_f = d_{Br} = 12,5$ м, $b_{Br} = 4,0$ м, $\operatorname{ctg} \varphi = 2,0$. Расчеты выполнить по настоящему РД и по СНиП 2.06.04-82^ж.

Решение. Вычисляем $\bar{\lambda}/d_B = \frac{60}{20,5} = 2,93$,
 $d_f/d_B = \frac{12,5}{20,5} = 0,61$ и по рис. I.2 определяем $\bar{\lambda}_f/\bar{\lambda} = 0,94$, $k_f = 0,94 \times 60 = 56,4$ м. По формуле (I.1) находим

$$b = 4,0 + 0,5(20,5 - 12,5) \times 2 = 12,0 \text{ м,}$$

так что $b/\bar{\lambda} = \frac{12}{60} = 0,2$. Учитывая, что $\bar{\lambda}/d_B = 2,93$, определяем k_f/k по рис. I.3, I.4 (т.е. для $\bar{\lambda}/d_B$, равного 2 и 4). В первом случае получаем 1,03, во втором - 0,85, а по линейной интерполяции

$$\frac{k_f}{k} = 0,94.$$

Значит, $k_f = 0,94 \times 4,4 = 4,14$ м.

Расчетная глубина d согласно п. I.1 СНиП равна 16,5 м. Таким образом, для расчетов по РД принимаем $h = 4,14$ м, $\bar{\lambda} = 56,4$ м, $d = 12,5$ м, для расчетов по СНиП - $h = 4,4$ м, $\bar{\lambda} = 60,0$ м, $d = 16,5$ м. В обоих случаях экстремальные отметки уровня определяются по упрощенной формуле (2) СНиП

$$\eta_{c,t} = \mp h - \frac{k h^2}{2} \operatorname{ctg} \theta k d,$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

но в случае РД она дает

$$z_c = -5,22 \text{ м}, \quad z_t = 3,06 \text{ м},$$

а в случае СНиП -

$$z_c = -5,48 \text{ м}, \quad z_t = 3,32 \text{ м}.$$

Дальнейшие расчеты ведем по п. 1.4 СНиП, принимая для расчетов по РД $\lambda/d = \frac{56,4}{12,5} = 4,51$, по СНиП $\lambda/d = \frac{60}{16,5} = 3,64$ при примерно равной крутизне $h/\lambda = \frac{4,14}{56,1} = \frac{4,40}{60} = 0,073$.

Результаты расчетов давления сводим в таблицу.

Таблица П 3.1

Волновые давления, кПа, на разных аппликатах z

z , м	Вершина волны		Подопла волны	
	РД	СНиП	РД	СНиП
- 5,48	-	0,0	-	-
- 5,22	0,0	-	-	-
0,00	26,8	27,2	0,0	0,0
3,06	-	-	-30,0	-
3,13	20,3	(20,7)	-	-
3,32	-	-	-	- 32,7
4,13	(18,7)	18,6	-	-
6,25	15,4	(16,1)	- 23,6	(- 27,1)
8,25	(14,3)	13,8	(- 22,7)	- 23,3
12,50	12,2	12,2	- 20,7	- 21,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Для сопоставления давлений, полученных разными способами, на одинаковых аппликатах в таблице приведены цифры в скобках, полученные линейной интерполяцией. Видно близкое совпадение. Равнодействующие, подсчитанные как площади эпюр, составили по РД $P_{xc} = 285,5$ кН/м, $P_{xt} = -272,0$ кН/м, по СНиП соответственно 291,0 кН/м, минус 287,3 кН/м. Моменты указанных равнодействующих, подсчитанные как статические моменты площадей эпюр относительно основания $Z = 12,5$ м, составили по РД $M_{xc} = 2523$ кН, $M_{xt} = -1616$ кН, по СНиП соответственно 2619 кН и минус 1707 кН. Расчет по предлагаемой методике в условиях данного примера дает снижение нормативных нагрузок до 5%.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Пример 2. Волновые нагрузки на крутонаклонную стену

Определить горизонтальную и вертикальную составляющие равнодействующей волнового давления и момент от неё относительно тылового ребра основания при фронтальном подходе к сооружению по рис. 2.1 со стороны моря вершины волны. Угол θ равен 30° , ребра основания стены имеют абсциссы минус 7,2 м (морское ребро) и 6,8 м (тыловое ребро), остальные исходные данные принять по примеру I.

Решение. Из примера I заимствуем величины $h_f = 4,14$ м, $\lambda_f = 56,4$ м, с использованием формул (2.5), (2.7) вычисляем

$$k_f = \frac{6,28}{56,4} = 0,111, \quad k = \frac{6,28}{60} = 0,105,$$

$$k d_f = 2,15, \quad k_f d_f = 1,39.$$

По верхнему полю рис. 2.2 находим $k_{run}/k_f = 1,17$, так что $h_{run} = 4,14 \times 1,17 = 4,84$ м. Формула (2.4) при $\cos \omega t = 1$ дает

$$\eta_c = -4,84 - \frac{0,111 \times 4,14^2}{2} \text{cth } 1,39 = -5,73 \text{ м.}$$

Расчеты эпюры давлений P_θ с использованием формулы (2.1) и первых двух колонок табл. П 3.1 сведем в табл. П 3.2.

Видно, что давления снижены в среднем на 10%. Расчет площади вертикальной эпюры P_θ и статического момента её относительно основания дает $P_{xc} = 274,7$ кН/м, $M_{xc} = 2572$ кН. При этом горизонтальная составляющая равнодействующей отстоит от основания на

$$H_x = \frac{2572}{274,7} = 9,36 \text{ м.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Таблица П 3.2

z , м	ρ , кПа	$\frac{27z}{\lambda f} \operatorname{tg} \theta$	K_{θ}	ρ_{θ} , кПа
- 5,73	0,0	-	-	0,0
0,00	26,8	0,00	1,00	26,8
3,13	20,3	0,20	0,98	19,9
6,25	15,4	0,40	0,92	14,2
12,50	12,2	0,80	0,70	8,5

Вертикальная, направленная вниз, составляющая равна

$$P'_{zc} = P_{xc} \operatorname{tg} \theta = 274,7 \times \operatorname{tg} 30^{\circ} = 158,6 \text{ кН/м}$$

и отстоит от морского ребра основания на

$$H_x \operatorname{tg} \theta = 9,36 \times \operatorname{tg} 30^{\circ} = 5,40 \text{ м}$$

или на 8,6 м от тылового ребра (ширина основания $\lambda = 14$ м). Таким образом, вертикальная составляющая дает относительно тылового ребра удерживающий момент

$$M'_{zc} = - 158,6 \times 5,40 = - 1364 \text{ кН.}$$

Равнодействующая от взвешивающего давления, распределенного по треугольнику с максимальной интенсивностью 8,5 кПа, равна

$$P''_{zc} = -8,5 \times \frac{14}{2} = - 59,5 \text{ кН/м,}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

направлена вверх и дает относительно тылового ребра опрокидывающий момент

$$M_{zC}'' = 59,5 \times \frac{2}{3} \times I4 = 556 \text{ кН.}$$

Итак, горизонтальная составляющая равнодействующей равна 274,7 кН/м, вертикальная -

$$I58,6 - 59,5 = 99,1 \text{ кН/м,}$$

а суммарный опрокидывающий момент относительно тылового ребра основания -

$$2572 - I364 + 556 = I764 \text{ кН.}$$

Руководство П 58-76 ВНИИГ предлагает для условий этого примера принимать $K_{\vartheta} = I$, а расчеты эпюр волнового давления выполнять по СНиП П-57-75 (современная редакция - СНиП 2.06.04-82*). Первое предложение ведет к завышению волновых нагрузок на 10%, второе - почти на 5% (см. конец примера I), так что в целом нагрузки будут завышены на 12 - 15%.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Пример 3. Волновые нагрузки на вертикальную стену с учетом гидравлических потерь.

Повторить расчет, изложенный в примере I по Приложению 2 к настоящему РД.

Решение. Заимствуем из примера I значения $d_f/d_b = 0,61$, $d = 12,5$ м, вычисляем $d_b/\bar{\lambda} = \frac{20,5}{60} = 0,34$, $h/\bar{\lambda} = \frac{4,4}{60} = 0,074$. По рис. П 2.1 с линейной интерполяцией в пределах графиков и между рис. 2.1б,в находим $K_c = 0,11$, $K_{np} = 0,1$, а по формуле (П. 2.1) -

$$h_f = 4,4(1 - 0,1)(1 - 0,11) = 3,54 \text{ м.}$$

Упрощенная формула (2) СНиП 2.06.04-82^ж дает:

$$\eta_c = -4,30 \text{ м, } \eta_t = 2,78 \text{ м.}$$

Искомые эпюры волновых давлений определяем по СНиП 2.06.04-82^ж при $d = 12,5$ м, $I/d = \frac{60}{12,5} = 4,80$, $h/\bar{\lambda} = \frac{3,54}{60} = 0,059$.

Результаты расчетов сведем в таблицу П 3.3, перенеся нормативные данные из табл. П 3.1. В ней по-прежнему в скобках приводятся результаты по интерполяции.

Таблица П 3.3

Волновые давления, кПа, на разных аппликатах z

z , м	Вершина волны		Подшва волны	
	РД	СНиП	РД	СНиП
I	2	3	4	5
- 5,48	-	0,0	-	-
- 4,30	0,0	-	-	-
0,00	25,9	27,2	0,0	0,0
2,78	-	-	-27,4	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Продолжение таблицы П 3.3

1	2	3	4	5
3,13	20,0	(20,7)	-	-
3,32	-	-	-	-32,7
4,13	(17,1)	18,6	-	-
6,25	14,3	(16,1)	(-22,8)	-27,1
8,25	(13,1)	13,8	(-21,8)	-23,3
12,50	11,2	12,2	-18,9	-21,5

Равнодействующие по СНиП 2.06.04-82* остались прежними:
 $P_{xc} = 291,0$ кН/м, $P_{xt} = -287,3$ кН/м. По РД расчеты с использованием данных табл. П 3.3 дают: $P_{xc} = 281,3$ кН/м, $P_{xt} = -244,6$ кН/м.
 Моменты равнодействующих относительно основания составили по СНиП $M_{xc} = 2619$ кН, $M_{xt} = -1707$ кН, по РД соответственно 2161кН, минус 1542 кН. Расчет по методике Приложения 2 дает снижение нормативных нагрузок на 7-18%.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Вводная часть	<u>I</u>
1. Нагрузки и воздействия на вертикальные стены на высокой каменной постели	<u>2</u>
2. Нагрузки и воздействия на крутонаклонные стены на высокой каменной постели	<u>12</u>
Приложение 1 (справочное). Перечень использованных нормативно-технических документов	<u>16</u>
Приложение 2 (рекомендуемое). Волновые нагрузки на вертикальные стены, расположенные на высокой каменной постели, с учетом гидравлических потерь	<u>17</u>
Приложение 3 (справочное). Примеры расчета	<u>19</u>