ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

"СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ"

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ ПОРТОВ

РД 31.33.08-86

г. Москва 19 г.

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер института
Союзморниипроект
Ю.А.Ильницкий
"3" декабря 1986 г.

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ ПОРТОВ

РД 31.33 .08 - 86

Руководитель темы -
доктор физ.-мат.наук,
профессор
Ю.М.Крылов
"24 ноября 1986 г.

Москва, 1986

МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ ПОРТОВ

РД 31.33 .08 - 86

Москва, 1986

РАЗРАБОТАНО

Государственным проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом морского транспорта "Союзморниипроект"

Руководитель темы д.ф.-м.н., проф. Крылов Ю.М.

Исполнители: к.ф.-м.н., с.н.с. Поляков Ю.П., м.н.с. Тюриков М.Ю.

УТВЕРЖДЕНО

Главным инженером института Союзморниипроект Ильницким Ю.А.

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ ПОРТОВ

РД 31.33.08 - 86

Вводится впервые

Срок введения в действие установлен с 01.01.87

Настоящий руководящий документ (РД) устанавливает методику и порядок расчета спектральных характеристик ветровых волн и низкочастотных колебаний перед морским портом при проектировании и эксплуатации оградительных и причальных сооружений.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Спектральные характеристики ветровых волн и низкочастотных колебаний служат для выбора оптимальных проектных решений планового расположения портовых гидротехнических сооружений.

I.2. Спектральные характеристики волн определяют на основе исследования и анализа ветровых условий и условий волнообразования в районе строительства и реконструкции гидротехнических сооружений.

I.3. Характеристики ветра для расчета спектральных характеристик волн получают в соответствии с требованиями СНиП 2.06.04-82 и РД 31.33.04-84.

I.4. Расчет спектральных характеристик волн перед портом в зависимости от условий волнообразования выполняют в соответствии с требованиями главы СНиП 2.06.04-82 и настоящего РД.

I.5. Спектральные характеристики волн на акватории порта определяют в соответствии с рекомендациями настоящего РД.

I.6. Результаты расчетов спектральных характеристик волн в районе строительства и реконструкции морского порта необходимо представлять в виде режимных функций спектральных характеристик ветровых волн.

I.7. Режимные функции спектральных характеристик ветровых волн получают на основе расчета режимных функций характеристик ветра.

I.8. Расчет режимных функций характеристик ветра выполняют в соответствии с требованиями РД 3I.33.05-85.

2. ОСНОВНЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОВЫХ ВОЛН И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ

2.I. К основным спектральным характеристикам ветровых волн относятся функции спектральной плотности или спектры и моменты спектров.

2.2. Спектр волн S характеризует величину вклада элементарных волновых составляющих, формирующих случайный волновой процесс, с волновыми числами $\vec{K}$, рад.м$^{-I}$, частотами ω, рад.с$^{-I}$, и направлениями распространения θ, рад., в дисперсию σ^2.

Примечание: дисперсия смещений поверхности воды σ_η^2, м^2, с точностью до множителя $\frac{1}{2}\rho_w g$ (ρ_w - плотность воды, g - ускорение свободного падения) равно суммарной энергии волн на единицу горизонтальной площади.

2.3. К основным спектрам волн относятся:

- спектр волновых чисел и частот $S(\vec{K},\omega)$, характеризующий плотность вкладов спектральных компонент в σ^2 на единицу пространства волновых чисел и единицу интервала частот;

- спектр волновых чисел $S(\vec{K})$, характеризующий плотность вкладов спектральных компонент в σ^2 на единицу пространства волновых чисел независимо от частоты;

- спектр модулей волновых чисел $S(K)$, характеризующий плотность вкладов в σ^2 на единицу пространства волновых чисел независимо от направления компоненты и частоты;

- частотно-угловой спектр $S(\omega,\theta)$, характеризующий плотность вкладов в σ^2 на единицу интервала частот и направлений распространения элементарных волновых составляющих;

- частотный спектр $S(\omega)$, характеризующий плотность вкладов в σ^2 на единицу интервала частот независимо от величины и направления волнового вектора;

- угловой спектр $S(\theta)$, характеризующий плотность вкладов в σ^2 в зависимости от направления распространения элементарных волновых составляющих, где

$$K = 2\pi/\lambda = |\vec{K}| = (K_x^2 + K_y^2)^{1/2}$$

- модуль волнового числа, рад.м$^{-1}$;

λ - длина волны, м;

$K_x = K\cos\theta$, $K_y = K\sin\theta$

- проекции волнового числа на оси ОХ и ОУ соответственно, рад.м$^{-1}$.

Примечание: аргументами спектра волновых чисел $S(\vec{K})$ в декартовой системе координат являются K_x и K_y в полярной - K и θ.

2.4. Основные спектры волн следует определять в соответствии с требованиями п.п.4.7, 4.I2, 2.8 настоящего РД.

2,5. Моменты спектров устанавливают связь между спектрами и различными спектральными и статистическими характеристиками волн: такими как дисперсия, средняя частота и средний период, средняя длина волн и т.д.

2.6. Моменты спектров следует определять по формулам:

$$m_{\ell n} = \iint K_x^{\ell} K_y^{n} S(K_x, K_y)\, dK_x\, dK_y , \qquad (2.1.)$$

$$m_q = \iint K^q S(K,\theta)\, dK d\theta = \int K^q S(K)\, dK , \qquad (2.2)$$

$$m_z = \iint \omega^z S(\omega,\theta)\, d\omega d\theta = \int \omega^z S(\omega)\, d\omega , \qquad (2.3)$$

где $m_{\ell n}$ - момент спектра $S(K_x, K_y)$ порядка ℓ, n;

m_q - момент спектров $S(K,\theta)$ и $S(K)$ порядка q;

m_z - момент спектров $S(\omega,\theta)$ и $S(\omega)$ порядка z.

Примечание: интегрирование в (2.I) - (2.3) выполняют по всей области изменения аргументов.

2.7. Дисперсию σ^2 случайного процесса и связь между различными видами спектров следует определять, используя соотношения:

$$\sigma^2 = m_{00} = m_0 = \iint S(\vec{K},\omega)\, d\vec{K} d\omega = \int S(\vec{K})\, d\vec{K} =$$
$$= \iint S(K_x, K_y)\, dK_x dK_y = \iint S(K,\theta)\, dK d\theta = \qquad (2.4)$$
$$= \iint S(\omega,\theta)\, d\omega d\theta = \int S(K)\, dK = \int S(\omega)\, d\omega = \int S(\theta)\, d\theta .$$

2.8. Связь между различными видами спектров на глубокой воде допускается определять по табл.I, табл.2 и формулам:

$$S(\omega) = 2\,\omega/g\,S(K) \qquad \text{при} \quad K = \omega^2/g\,, \tag{2.5}$$

$$S(K) = \tfrac{1}{2}(g/K)^{1/2} S(\omega) \qquad \text{при} \quad \omega = (gK)^{1/2}, \tag{2.6}$$

где g – ускорение свободного падения.

Таблица I

Спектр	$S(K_x, K_y)$	$S(\omega, \theta)$	$S(K, \theta)$
$S(K_x, K_y)$	1	$\frac{2\omega^3}{g}$	K
$S(\omega, \theta)$	$\frac{1}{2} g^{1/2} (K_x^2 + K_y^2)^{-3/4}$	1	$\frac{1}{2}\left(\frac{g}{K}\right)^{1/2}$
$S(K, \theta)$	$(K_x^2 + K_y^2)^{-1/2}$	$\frac{2\omega}{g}$	1

Таблица 2

Спектр	$S(K_x, K_y)$	$S(\omega, \theta)$	$S(K, \theta)$
$S(K_x, K_y)$	1	$K_x = \omega^2/g \cos\theta$ $K_y = \omega^2/g \sin\theta$	$K_x = K\cos\theta$ $K_y = K\sin\theta$
$S(\omega, \theta)$	$\omega = g^{1/2}(K_x^2 + K_y^2)^{1/4}$ $\theta = \operatorname{arctg} K_y/K_x$	1	$\omega = (gK)^{1/2}$ $\theta = \theta$
$S(K, \theta)$	$K = (K_x^2 + K_y^2)^{1/2}$ $\theta = \operatorname{arctg} K_y/K_x$	$K = \omega^2/g$ $\theta = \theta$	1

Спектры, записанные в верхних строках табл.I и табл.2, получают путем умножения спектров, записанных в левых колонках, на соответствующие величины, приведенные в табл.I и замены аргументов по табл.2. Например:

$$S(\omega,\theta)=2\omega/g\;S(K,\theta) \quad \text{при } K=\omega^2/g \text{ и } \theta=\theta. \quad (2.7)$$

2.9. Связь между спектрами $S^d(\omega)$ и $S^d(K)$, $S^d(\omega,\theta)$ и $S^d(K,\theta)$ в море ограниченной глубины d допускается определять по формулам:

$$S^d(\omega)=A_1 S^d(K) \quad \text{при } K=K_d, \quad (2.8)$$

$$S^d(\omega,\theta)=A_1 S^d(K,\theta) \quad \text{при } K=K_d, \theta=\theta_d, \quad (2.9)$$

$$S^d(K)=A_2 S^d(\omega) \quad \text{при } \omega=\omega_d, \quad (2.10)$$

$$S^d(K,\theta)=A_2 S^d(\omega,\theta) \quad \text{при } \omega=\omega_d, \theta=\theta_d \quad (2.11)$$

$$A_1=\frac{dK_d}{d\omega}=2\omega/g\;th^{-1}(K_d d)\left[1+\frac{2K_d d}{sh(2K_d d)}\right]^{-1}, \quad (2.12)$$

$$A_2=\frac{d\omega_d}{dK}=\frac{1}{2}\left(\frac{g}{K}th(Kd)\right)^{1/2}\left[1+\frac{2Kd}{sh(2Kd)}\right], \quad (2.13)$$

где K_d и ω_d выражаются соответственно через ω и K посредством соотношений:

$$K_d d\,th(K_d d)=\frac{\omega^2 d}{g}, \quad (2.14)$$

$$\frac{\omega_d^2 d}{g}=Kd\,th(Kd). \quad (2.15)$$

Допускается определять величины A_1, A_2, $K_д$, $\omega_д$, используя рис.I.

2.I0. Частотно-угловой спектр $S(\omega,\theta)$ допускается определять по формуле:

$$S(\omega,\theta) = S(\omega)\cdot Q(\omega,\theta), \qquad (2.I6)$$

где $Q(\omega,\theta)$ - функция углового распределения энергии, которая удовлетворяет условию:

$$\int_{-\pi/2}^{\pi/2} Q(\omega,\theta)\,d\theta = 1. \qquad (2.I7)$$

2.II. Частотный спектр смещений поверхности воды $S_\eta(\omega)$ и функцию углового распределения энергии $Q_\eta(\omega,\theta)$ в зависимости от условий волнообразования следует определять в соответствии с требованиями раздела 4 настоящего РД.

2.I2. Дисперсию смещений поверхности воды σ_η^2, $м^2$, в зависимости от волнообразующих факторов следует определять в соответствии с требованиями раздела 4 настоящего РД, используя соотношения (2.4).

Допускается использовать формулу:

$$\sigma_\eta^2 = (2\pi)^{-1}\,\bar{h}^2, \qquad (2.I8)$$

где $\bar{h}$ - средняя высота волн, м.

2.I3. Частоту максимума ω_m, рад.$с^{-I}$, частотного спектра смещений поверхности воды допускается определить по формуле:

$$\omega_m = 0{,}8\,\bar{\omega} \qquad (2.I9)$$

где $\bar{\omega} = 2\pi/\bar{T}$, $\bar{T}$ - средний период волн, с.

2.I4. Средний период волн $\bar{T}$, с, и среднюю длину волн $\bar{\lambda}$, м, определяют по формулам:

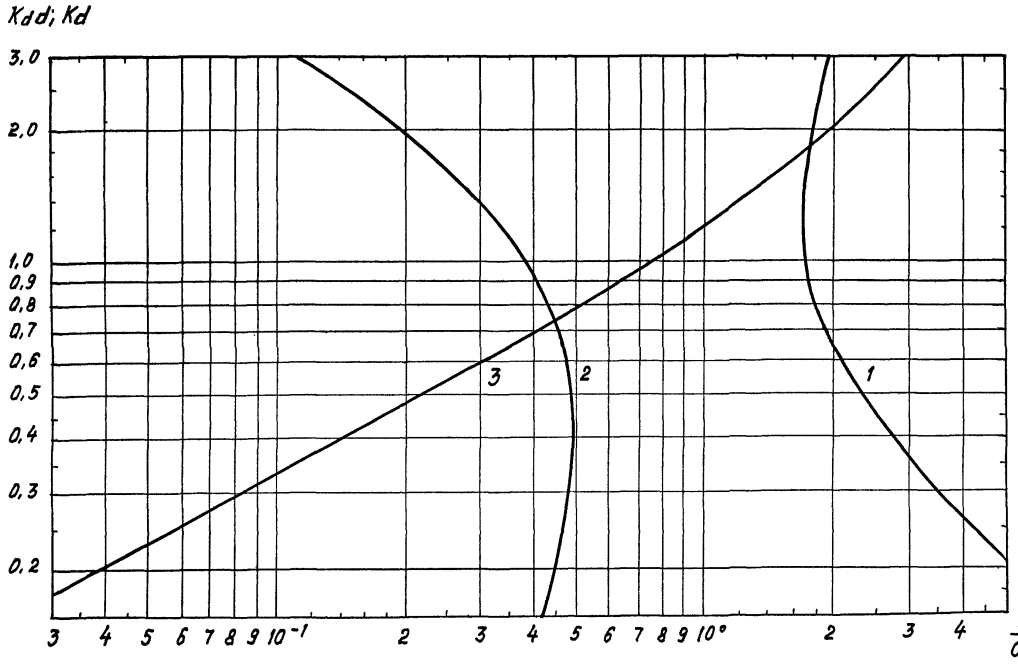


Рис.I. График для определения величин A_I(линия I), A_2(линия 2), ω_d и K_d(линия 3).

$$\overline{T} = 2\pi \left[\frac{\int_0^\infty S_\eta(\omega) d\omega}{\int_0^\infty \omega^2 S_\eta(\omega) d\omega} \right]^{1/2}, \qquad (2.20)$$

$$\overline{\lambda} = 2\pi \left[\frac{\int_0^\infty S_\eta(K, \theta_0) dK}{\int_0^\infty K^2 S_\eta(K, \theta_0) dK} \right]^{1/2}, \qquad (2.21)$$

где θ_0 - направление генерального распространения волн.

2.15. Зависимости средней высоты $\overline{h}$, среднего периода $\overline{T}$ и средней длины волн от волнообразующих факторов следует определять в соответствии с требованиями главы СНиП 2.06.04-82 и разделом 4 настоящего РД.

2.16. Частотные спектры вертикальных $S_\zeta(\omega, z)$ и горизонтальных $S_\xi(\omega, z)$ отклонений частиц жидкости от положения равновесия, колебаний волнового давления $S_p(\omega, z)$, орбитальных скоростей $S_u(\omega, z)$ и ускорений $S_w(\omega, z)$ на горизонте z (ось OZ направлена вертикально вверх) под уровнем моря допускается определять, используя соотношения:

$$\frac{S_\zeta(\omega, z)}{\gamma_1^2 S_\eta^d(\omega)} = \frac{S_\xi(\omega, z)}{\gamma_2^2 S_\eta^d(\omega)} = \frac{S_p(\omega, z)}{\rho_w^2 g^2 \gamma_3^2 S_\eta^d(\omega)} = \frac{S_u(\omega, z)}{\omega^2 \gamma_3^2 S_\eta^d(\omega)} = \frac{S_w(\omega, z)}{\omega^4 \gamma_3^2 S_\eta^d(\omega)} = 1, \qquad (2.22)$$

где ρ_w - плотность воды, кг/ м^3.

Коэффициенты затухания γ_j = I, 2, 3 определяют, используя формулы:

$$\gamma_1 = \frac{sh[K_d(z+d)]}{sh(K_d d)}, \qquad (2.23)$$

$$\gamma_2 = \frac{ch[K_d(z+d)]}{sh(K_d d)}, \qquad (2.24)$$

$$\gamma_3 = \frac{ch[K_d(z+d)]}{ch(K_d d)}, \qquad (2.25)$$

где K_d зависит от ω и d по формуле (2.I4).

2.I7. Дисперсии вертикальных $\sigma_\zeta^2(z)$ и горизонтальных $\sigma_\xi^2(z)$ отклонений частиц жидкости от положения равновесия, колебаний волнового давления $\sigma_p^2(z)$, орбитальных скоростей $\sigma_u^2(z)$ и ускорений $\sigma_w^2(z)$ на горизонте z следует определять в соответствии с п.2.7, используя формулы п.2.I6.

2.I8. Средние частоты вертикальных $\overline{\omega}_\zeta$ и горизонтальных $\overline{\omega}_\xi$ отклонений частиц жидкости от положения равновесия, колебаний волнового давления $\overline{\omega}_p$, орбитальных скоростей $\overline{\omega}_u$ и ускорений $\overline{\omega}_w$ на горизонте z необходимо определять по формуле:

$$\overline{\omega}_j(z) = \sigma_j^{-1}(z)\left[\int_0^\infty \omega^2 S_j(\omega, z)\,d\omega\right]^{1/2}, \qquad (2.26)$$

где j - индекс, принимающий соответственно значения ζ, ξ, p, u, w.

3. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИХ СВЯЗЬ СО СПЕКТРАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВОЛН

3.I. К основным вероятностным характеристикам волн относятся функции распределения элементов волн и их моменты.

3.2. Функцией распределения элементов волн называется соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями этих элементов и соответствующими им вероятностями.

3.3. К основным функциям распределения элементов волн относятся:

- дифференциальная функция или плотность распределения $f(x)$ случайной величины X, характеризующая вероятность того, что случайная величина X примет значения в интервале между x и $x+dx$;

– интегральная функция распределения или обеспеченность $F(x)$ случайной величины X, характеризующая вероятность того, что случайная величина X примет значение, большее x;

– дифференциальная функция или плотность условного распределения $f(x/y)$, характеризующая вероятность того, что случайная величина X примет значение в интервале между x и $x+dx$ при фиксированной величине y;

– интегральная функция условного распределения $F(x/y)$, характеризующая вероятность того, что случайная величина X примет значение, большее x при фиксированной величине y;

– дифференциальная функция или плотность двумерного распределения $f(x,y)$ случайных величин X и y, характеризующая вероятность того, что случайные величины X и y примут значения от x до $x+dx$ и от y до $y+dy$;

– интегральная функция двумерного распределения или обеспеченность $F(x,y)$ случайных величин X и y, характеризующая вероятность того, что случайные величины X и y примут значения, больше, соответственно, x и y;

– интегрально-дифференциальная функция распределения $\psi(x,y)$ случайных величин X и y, характеризующая вероятность того, что случайная величина X примет значение между x и $x+dx$ а случайная величина y примет значение, большее y.

Примечание: к случайным величинам X и y относятся такие элементы волн, как высота h, м, период T, с, длина λ, м, и др.

3.4. Связь между функциями распределения следует определять, исходя из соотношений:

$$f(x)=\frac{dF(x)}{dx};\quad f(x/y)=\frac{dF(x/y)}{dx};\quad f(x,y)=\frac{\partial^2 F(x,y)}{\partial x\,\partial y},\qquad (3.1)$$

$$F(x)=\int_{x}^{\infty} f(x)\,dx;\quad F(x/y)=\int_{x}^{\infty} f(x/y)\,dx;\quad F(x,y)=\int_{x}^{\infty}\int_{y}^{\infty} f(x,y)\,dx\,dy, \tag{3.2}$$

$$\psi(x,y)=\frac{\partial F(x,y)}{\partial x}=\int_{y}^{\infty} f(x,y)\,dy\ , \tag{3.3}$$

$$\int f(x)\,dx=\int f(x/y)\,dx=\int\int f(x,y)\,dx\,dy=1, \tag{3.4}$$

Интегрирование в (3.4) производят по всей области изменения аргументов.

3.5. Функцию распределения случайной величины Y, связанной посредством функции $X=\varphi(Y)$ с другой случайной величиной X, допускается определять по формуле

$$F(y)=\int_{\infty}^{\varphi(y)} dF(x)\ . \tag{3.5}$$

3.6. Моменты дифференциальных функций распределения случайных величин определяют связь между различными спектральными и статистическими характеристиками волн.

3.7. Моменты дифференциальных функций распределения следует определять по формулам:

$$M_{\ell n}=\int\int x^{\ell} y^{n} f(x,y)\,dx\,dy\ , \tag{3.6}$$

$$M_{q}=\int x^{q} f(x)\,dx\ , \tag{3.7}$$

$$M_{z}=\int x^{z} f(x/y)\,dx\ , \tag{3.8}$$

где $M_{\ell n}$ – момент функции $f(x,y)$ порядка ℓ, n;

M_q - момент функции $f(x)$ порядка q;

M_r - момент функции $f(x/y)$ порядка r.

Интегрирование в (3.6) - (3.8) производят по всей области изменения аргументов.

3.8. Дисперсия σ_x^2 и средние значения $\bar{X}$ элементов волн определяют по формулам:

$$\sigma_x^2 = \int_0^\infty (x-\bar{x})^2 f(x)\,dx \,, \qquad (3.9)$$

$$\bar{X} = \int_0^\infty x f(x)\,dx \,. \qquad (3.10)$$

3.9. Дисперсию смещений поверхности воды σ_η^2, среднюю высоту $\bar{h}$, средний период $\bar{T}$ и среднюю длину волн определяют по формулам:

$$\bar{h} = \sqrt{2\pi}\sigma_\eta = \int_0^\infty F(h)\,dh = \int_0^\infty h f(h)\,dh \,, \qquad (3.11)$$

$$\bar{T} = \int_0^\infty T f(T)\,dT \,, \qquad (3.12)$$

$$\bar{\lambda} = \int_0^\infty \lambda f(\lambda)\,d\lambda \,. \qquad (3.13)$$

3.10. Связь между функциями распределения элементов и спектральными характеристиками волн устанавливается посредством соотношений (2.4), (2.18) - (2.22), (2.26) и соотношений (3.9) - (3.13).

4. РАСЧЕТ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВЫХ ВОЛН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ

4.I. Спектральные характеристики: среднюю высоту $\bar{h}$, м, средний период $\bar{T}$, с, и среднюю длину волн $\bar{\lambda}$, м, необходимо определять в соотвествии с требованиями СНиП 2.06.04-82 и используя рис.2.

В случае постоянной скорости ветра по значениям безразмерных величин $\frac{gt}{V}$, $\frac{gL}{V^2}$ и $\frac{gd}{V^2}$, где t - продолжительность действия ветра, с, L - разгон, м, d - глубина, м, V - скорость ветра, м/с, необходимо определить значения $\frac{g\bar{h}}{V^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{V}$ и по меньшим величинам принять среднюю высоту и средний период. Среднюю длину следует определять по известному значению среднего периода по формуле:

$$\bar{\lambda} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} . \qquad (4.I)$$

4.2. Среднюю высоту и средний период волн допускается рассчитывать по формулам:

$$\frac{g\bar{h}}{V^2} = 0{,}16 \left\{1-\left[1+6{,}0\cdot10^{-3}\left(\frac{gL}{V^2}\right)^{1/2}\right]^{-2}\right\} \times$$

$$\times \operatorname{th}\left\{\frac{0{,}625\left(\frac{gd}{V^2}\right)^{0{,}8}}{1-\left[1+6{,}0\cdot10^{-3}\left(\frac{gL}{V^2}\right)\right]^{-2}}\right\} , \qquad (4.2)$$

$$\frac{g\bar{T}}{V} = 19{,}47\left(\frac{g\bar{h}}{V^2}\right)^{0{,}625} . \qquad (4.3)$$

Примечание: Приложение 3 содержит программу расчета спектральных характеристик ветровых волн на ЭВМ "Искра-226" в общем случае переменных в пространстве глубины и скорости ветра при сложной конфигурации береговой линии.

4.3. Спектральные характеристики: дисперсию волн σ_ζ^2, м, среднюю частоту $\bar{\omega}$, рад·с$^{-1}$, частоту максимума ω_m, рад·с$^{-1}$, частотного спектра смещений поверхности воды необходимо рассчи-

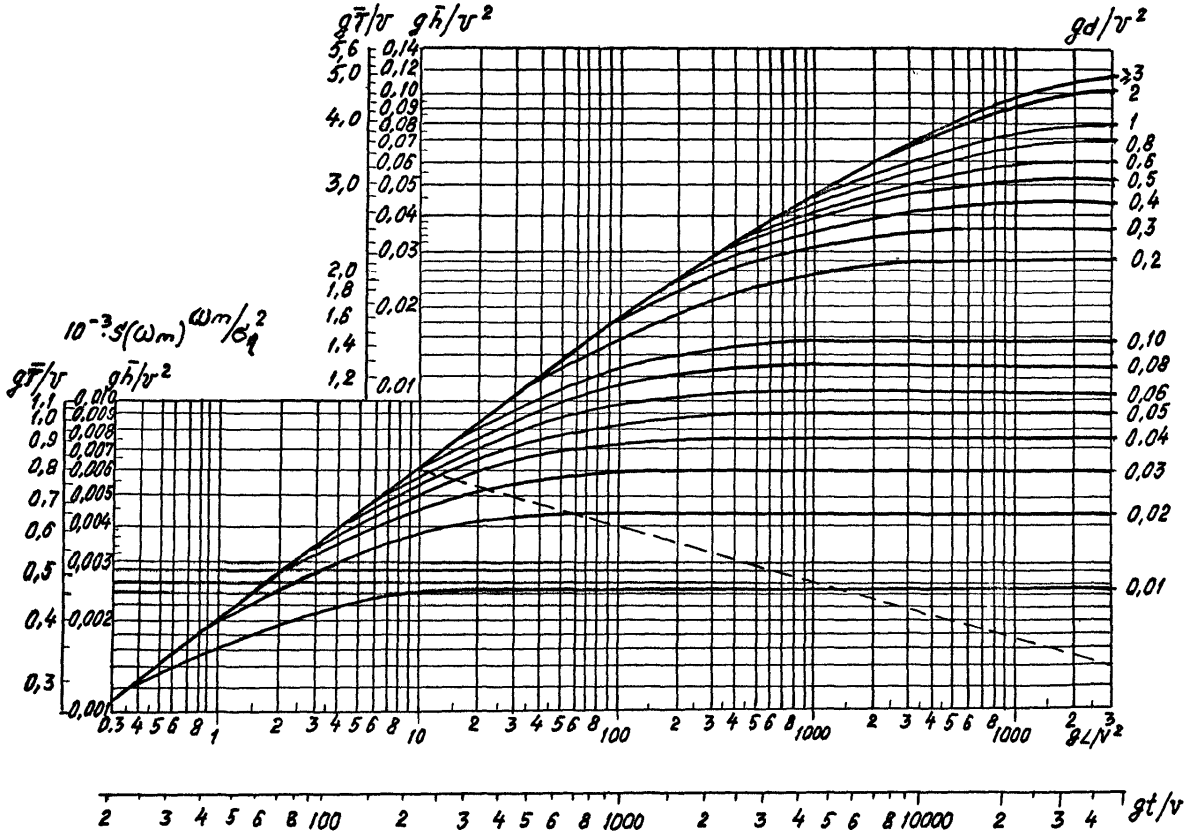


Рис.2. Графики для определения элементов ветровых волн в глубоководной и мелководной зонах.

тывать в соответствии с п.п. 2.I2, 2.I3, 4.I и 4.2.

4.4. Допускается дисперсию волн и частоту максимума частотного спектра смещений поверхности на глубокой воде для безразмерных разгонов $\frac{gL}{V_*^2} < 10^3$ рассчитывать по формулам:

$$\frac{g\sigma_\eta}{V_*^2} = 1{,}6\cdot 10^{-2}\left(\frac{gL}{V_*^2}\right)^{1/2}, \qquad (4.4)$$

$$\frac{\omega_m V_*}{g} = 6{,}9\left(\frac{gL}{V_*^2}\right)^{-1/3}, \qquad (4.5)$$

где V_* - динамическая скорость ветра, определяемая в соответствии с требованиями РД 3I.33.04-84.

4.5. При предварительном определении спектральных характеристик ветровых волн среднее значение разгона L_m, м, для заданной расчетной скорости ветра допускается определять по рис.3.

Значение среднего разгона для циклонов следует принимать по линии I, для антициклонов - по линии 2. Линия 3 служит для определения L_m в тех случаях, когда вид атмосферной циркуляции неизвестен.

4.6. Значение предельного разгона L_V, м, допускается принимать по табл.3 для заданной расчетной скорости ветра V, м/с.

Таблица 3

V, м/с	20	25	30	40	50
$L_V \cdot 10^{-5}$, м	I6	I2	6	2	I

Примечание: рассчитанные значения среднего L_m и предельного L_V разгонов для ограниченных по размерам акваторий не должны превышать величины разгона, измеренной по направлению ветра от расчетной точки до береговой линии.

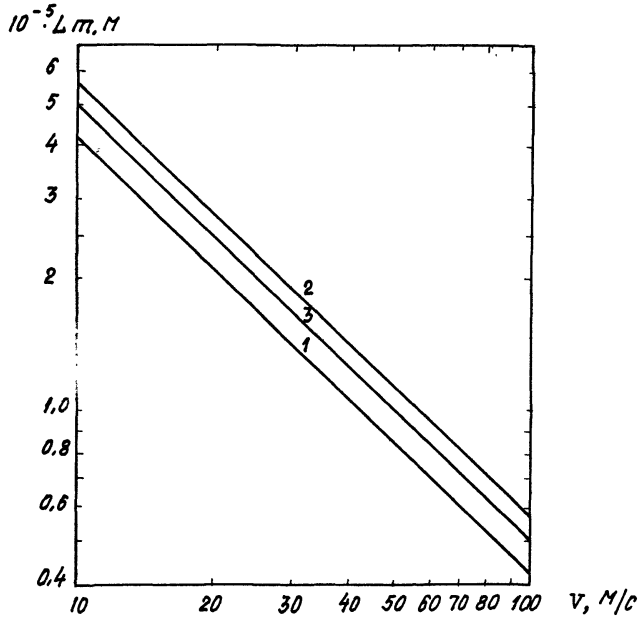


Рис.3. График для определения средней величины разгона L_m, м, по скорости ветра V, м/с.

4.7. Частотный спектр смещений поверхности $S_\eta(\omega)$, $\frac{м^2 с}{рад}$, на глубокой воде следует рассчитывать по формулам:

$$\hat{S}_{\eta 1}\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)=\frac{S_\eta(\omega)}{S_\eta(\omega_m)}=\exp\left[-22{,}2\left(\frac{\omega}{\omega_m}-1\right)^2\right]+1{,}8\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-5}\exp\left[-7{,}9\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-3}\right]$$

при $$10^2 < \frac{gL}{V^2} < 10^4 , \qquad (4.6)$$

$$\hat{S}_{\eta 2}\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)=\gamma^{-1}\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-5}\exp\left\{\left[-\frac{5}{4}\left[\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-4}-1\right]\right]\right\}\gamma^{\exp\left[-\frac{1}{2b^2}\left(\frac{\omega}{\omega_m}-1\right)^2\right]}$$

при $$\frac{gL}{V^2} \le 10^2 , \qquad (4.7)$$

$$\hat{S}_{\eta 3}\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)=\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-5}\exp\left\{-\frac{5}{4}\left[\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-4}-1\right]\right\}$$

при $$\frac{gL}{V^2} \ge 10^4 , \qquad (4.8)$$

где $S_\eta(\omega_m)$ – величина максимума частотного спектра, $\frac{м2с}{рад}$;

$\gamma = 3{,}3$, $b=\begin{cases}0{,}07 \text{ при } \omega \le \omega_m ,\\ 0{,}09 \text{ при. } \omega > \omega_m .\end{cases}$

4.8. Величину максимума частотного спектра $S_\eta(\omega_m)$ при постоянной скорости ветра необходимо определять по пунктирной линии рис.2. По значениям безразмерных величин gt/V и gL/V^2 следует определять значение $S_\eta(\omega_m)\,\omega_m/\sigma_\eta^2$ и принять большую величину. Затем по рассчитанным в соответствии с п.п. 4.3, 4.4 величинам σ_η^2 и ω_m вычислить $S_\eta(\omega_m)$.

4.9. Допускается при расчетах частотного спектра $S_\eta(\omega)$ использовать рис.4. По значениям безразмерной частоты ω/ω_m находят по кривым I, 2 и 3 безразмерные величины $\hat{S}_{\eta_1}$, $\hat{S}_{\eta_2}$ и $\hat{S}_{\eta_3}$ соответственно. Затем, в соответствии с п.4.8, находят $S_\eta(\omega_m)$ и $S_\eta(\omega)$.

4.10. Функцию углового распределения энергии ветровых волн на глубокой воде $Q(\omega,\theta)$ необходимо рассчитывать по формуле:

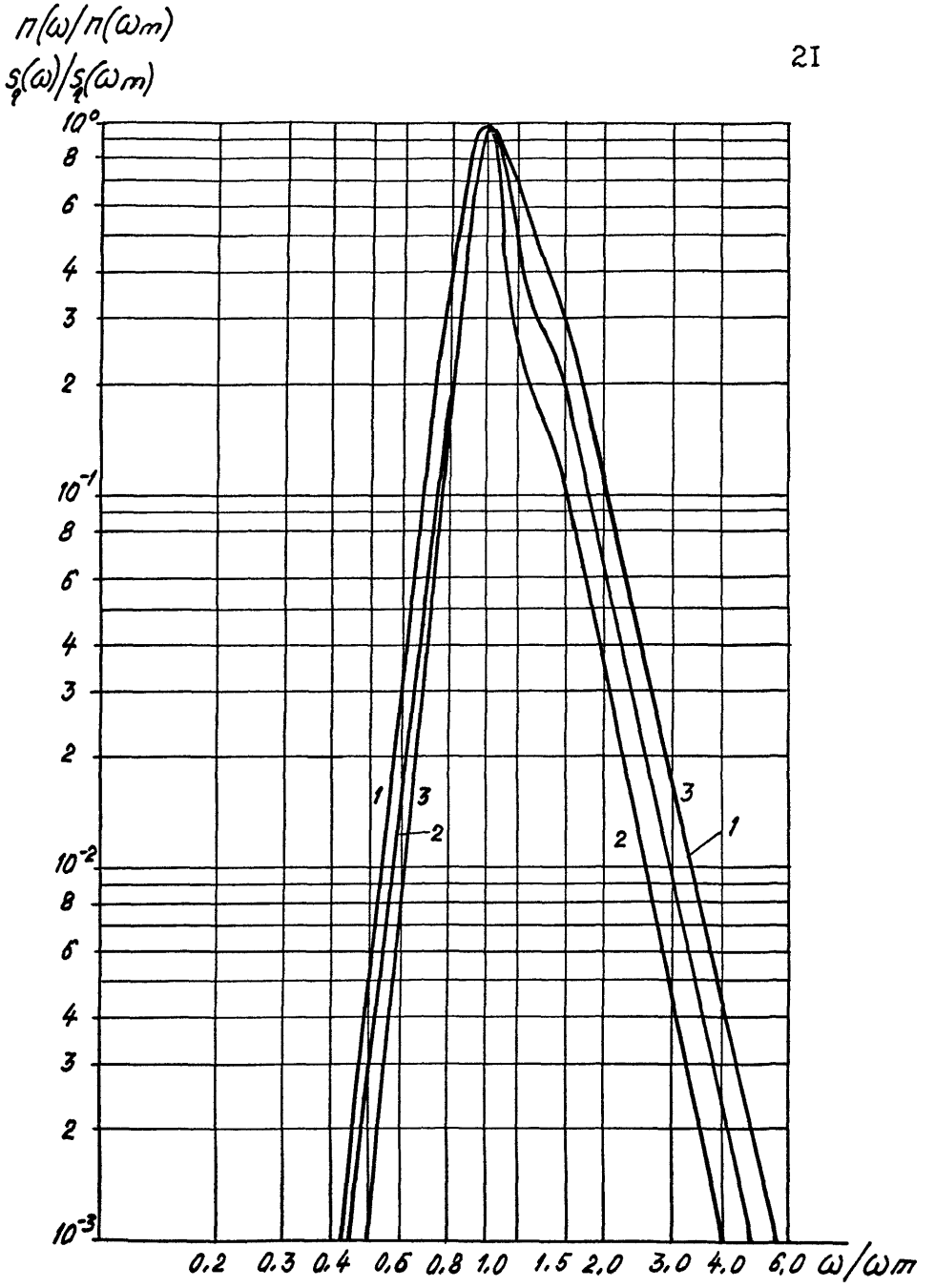


Рис.4. График зависимости безразмерной спектральной плотности $S(\omega)/S(\omega_m)$ и величины $n(\omega)/n(\omega_m)$ от безразмерной частоты ω/ω_m

$$Q(\omega,\theta)=\frac{1}{\sqrt{\pi}}\,\frac{\Gamma\left[1+\frac{n(\omega)}{2}\right]}{\Gamma\left[\frac{1+n(\omega)}{2}\right]}\cos^{n(\omega)}\theta\,;\ -\frac{\pi}{2}\le\theta\le\frac{\pi}{2}\ ,\quad (4.9$$

где $n(\omega)$ – параметр, характеризующий ширину углового распределения энергии.

4.II. Параметр $n(\omega)$ необходимо рассчитывать, используя соотношение:

$$\frac{n(\omega)}{n(\omega_m)}=\frac{S_\eta(\omega)}{S_\eta(\omega_m)}\ . \qquad (4.10)$$

Безразмерную величину $S_\eta(\omega)/S_\eta(\omega_m)$ следует определять в соответствии с п.п. 4.7 – 4.9. Параметр $n(\omega_m)$, отвечающий максимуму частотного спектра $S_\eta(\omega_m)$, следует принимать по рис.5 для заданной расчетной скорости ветра V, м/с.

4.I2. Частотно-угловой спектр смещений поверхности на глубокой воде $S_\eta(\omega,\theta)$, $\frac{м^2с}{рад}$, необходимо определять в соответствии с п.2.I0, используя пп.4.7–4.II.

4.I3. Угловой спектр смещений поверхности воды $S_\eta(\theta)$ необходимо рассчитывать по соотношению:

$$S_\eta(\theta)=\int_0^\infty S_\eta(\omega,\theta)\,d\omega=\int_0^\infty S_\eta(\omega)\,Q(\omega,\theta)\,d\omega\ . \qquad (4.11)$$

4.I4. Допускается рассчитывать угловой спектр $S_\eta(\theta)$ на глубокой воде по формулам:

$$S_\eta(\theta)=(2\pi)^{-1}\Delta E_e\,\bar{h}_e^2\ , \qquad (4.12)$$

$$\Delta E_e=E(\theta_j)-E(\theta_{j+1})\ , \qquad (4.13)$$

$$E(\theta_j)=\frac{1}{\sqrt{\pi}}\,\frac{\Gamma(1+\frac{\bar{n}}{2})}{\Gamma(\frac{1+\bar{n}}{2})}\int_{\theta_j}^{\pi/2}\cos^{\bar{n}}\theta\,d\theta\ , \qquad (4.14)$$

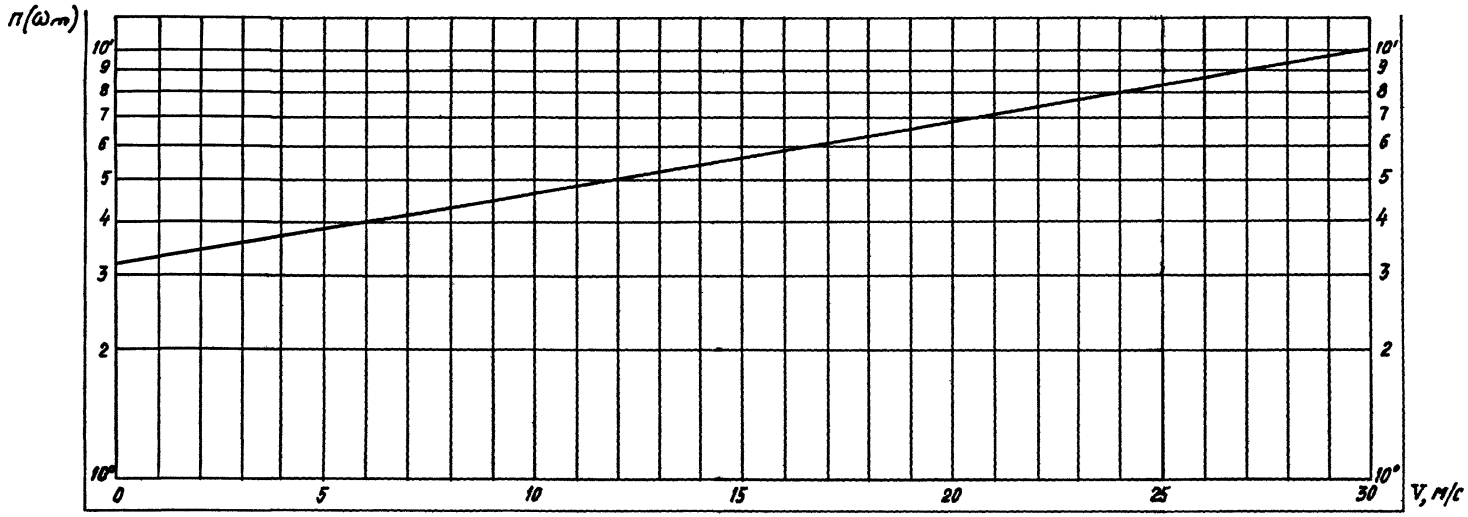


Рис.5. График для определения параметра $n(\omega_m)$ по скорости ветра V, м/с, заданной в расчетной точке.

где $\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ – номера лучей, знаки определяют положение лучей относительно главного луча, проведенного по направлению действия ветра из расчетной точки;

$j, j+1$ – номера луча, ограничивающего расчетный сектор;

Θ_j – угол между главным лучом и лучом с соответствующим номером, рад;

$\bar{h}_\ell$ – средние высоты волн, определяемые в соответствии с п.п.4.1, 4.2 по проекциям разгонов $L_j^* = L_j \cos\Theta_j$, м;

L_j – определяют по направлению соответствующих лучей.

Значение параметра $\bar{n}$ выбирают из табл.4 для заданной расчетной скорости ветра в точке V, м/с.

Таблица 4

V, м/с	15	15–25	26–35
$\bar{n}$	2	4	6

4.15. При расчетах средней высоты волн $\bar{h}$, м, допускается использовать следующие формулы:

1) $$\bar{h}^2 = 0{,}25\,\bar{h}_0^2 + 0{,}21\left(\bar{h}_1^2 + \bar{h}_{-1}^2\right) + 0{,}13\left(\bar{h}_2^2 + \bar{h}_{-2}^2\right) + 0{,}035\left(\bar{h}_3^2 + \bar{h}_{-3}^2\right)$$

при $V < 15$ м/с, (4.15)

где лучи проводят из расчетной точки с интервалами $\pm 22{,}5^\circ$ от главного луча;

2) $$\bar{h}^2 = 0{,}42\,\bar{h}_0^2 + 0{,}25\left(\bar{h}_1^2 + \bar{h}_{-1}^2\right) + 0{,}04\left(\bar{h}_2^2 + \bar{h}_{-2}^2\right)$$

при $15 \text{ м/с} \le V \le 25$ м/с, (4.16)

где лучи проводят из расчетной точки с интервалами $\pm 30^\circ$ от главного луча;

3) $\bar{h}^2 = 0{,}69\,\bar{h}_0^2 + 0{,}155\left(\bar{h}_1^2 + \bar{h}_{-1}^2\right)$

при $26\ м/с \le V \le 35\ м/с$ (4.I7)

где лучи проводят из расчетной точки с интервалами $\pm 30^0$ от главного луча.

4.I6. Среднюю высоту ветровых волн $\bar{h}$, м; на глубокой воде при наличии препятствий (островов, ледовых полей и т.п.) с угловыми размерами менее $\pi/8$ в секторе $\pm \pi/4$ относительно направления ветра допускается определять по формулам:

$$\bar{h}^2 = \sum \Delta\tilde{E}_\ell \bar{h}_\ell^2 \ , \qquad (4.I8)$$

$$\bar{h}_\ell^2 = \sum_{i=1}^{K_\ell} \varkappa_{\ell i} \bar{h}_{\ell i}^2 + \sum_{j=1}^{m_\ell} \nu_{\ell j} \bar{h}_{\ell j}^2 \ , \qquad (4.I9)$$

$$\Delta\tilde{E}_\ell = \frac{\Delta\theta}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma\left(\frac{\bar{n}}{2}+1\right)}{\Gamma\left(\frac{\bar{n}+1}{2}\right)} \cos^{\bar{n}}\theta_\ell \ , \qquad (4.20)$$

где $\ell = 0, \pm I, \pm 2, \ldots$; $i = I, 2, \ldots, K_\ell$; $j = I, 2, \ldots, m_\ell$;

$\Delta\tilde{E}_\ell$ – величина относительной энергии в долях единицы, приходящаяся на ℓ-ний сектор с угловым размером $\Delta\theta_\ell$, рад, в случае прямолинейного берега и ветра, действующего по направлению нормали к береговой линии, в пределах сектора от $\theta_\ell - \frac{1}{2}\Delta\theta_\ell$ до $\theta_\ell + \frac{1}{2}\Delta\theta_\ell$;

$\varkappa_{\ell i}, \nu_{\ell j}$ – отношения угловых размеров i-ого препятствия и j-го промежутка между препятствиями к величине $\Delta\theta_\ell$;

$\bar{h}_{\ell i}, \bar{h}_{\ell j}$ – средние высоты волн, определяемые в соответствии с п.п. 4.I, 4.2 по проекциям соответствующих разгонов $\mathcal{L}^*_{\ell i} = \mathcal{L}_{\ell i}\cos\theta_\ell$ и $\mathcal{L}^*_{\ell j} = \mathcal{L}_{\ell j}\cos\theta_\ell$, м;

$\mathcal{L}_{\ell i}, \mathcal{L}_{\ell j}$ – разгоны, определяемые по биссектрисам углов, включающих i-ое препятствие или j-ный промежуток между препятствиями в пределах ℓ-го сектора, м;

θ_{ei}, θ_{ej} – углы между направлением ветра и соответствующими лучами, рад;

$\theta_\ell = \pm\frac{\pi}{8}\ell$ – угол между направлением ветра и лучом, проведенным из расчетной точки, совпадающим с биссектрисой угла сектора с номером ℓ.

4.17. При определении элементов волн зыби необходимо учитывать, во-первых, элементы ветровых волн в штормовой зоне: среднюю высоту $\bar{h}$ и средний период $\bar{T}$, определяемые по требованиям СНиП [I]; во-вторых, размеры штормовой зоны вдоль направления ветра $\angle_m$ и, в-третьих, расстояние от границы штормовой зоны до расчетной точки $\angle_s$.

Примечание: границы штормовой зоны, приближенно, оценивают из условия равенства скорости ветра и фазовой скорости ветровых волн $\bar{c} = (2\pi)^{-1} g \bar{T}$.

4.18. Элементы волн зыби следует определять по рис.6, где верхняя часть графика служит для определения среднего периода зыби $\bar{T}_s$, с, а нижняя – средней высоты зыби $\bar{h}_s$, м.

4.19. Период зыби получают путем следующих построений: из точки, соответствующей $\bar{T}$, с, на верхней левой горизонтальной шкале, проводят вертикаль до пересечения с кривой, соответствующей расстоянию $\angle_s$, м, откуда проводят горизонтальную прямую до пересечения с линией, отвечающей размеру штормовой зоны $\angle_m$, м. (правая часть графика); из точки пересечения проводят вертикальную прямую, а затем в верхней части графика определяют величину $\bar{T}_s/\bar{T}$ и значение $\bar{T}_s$.

4.20. Высоту волн зыби определяют путем аналогичных построений в нижней части графика.

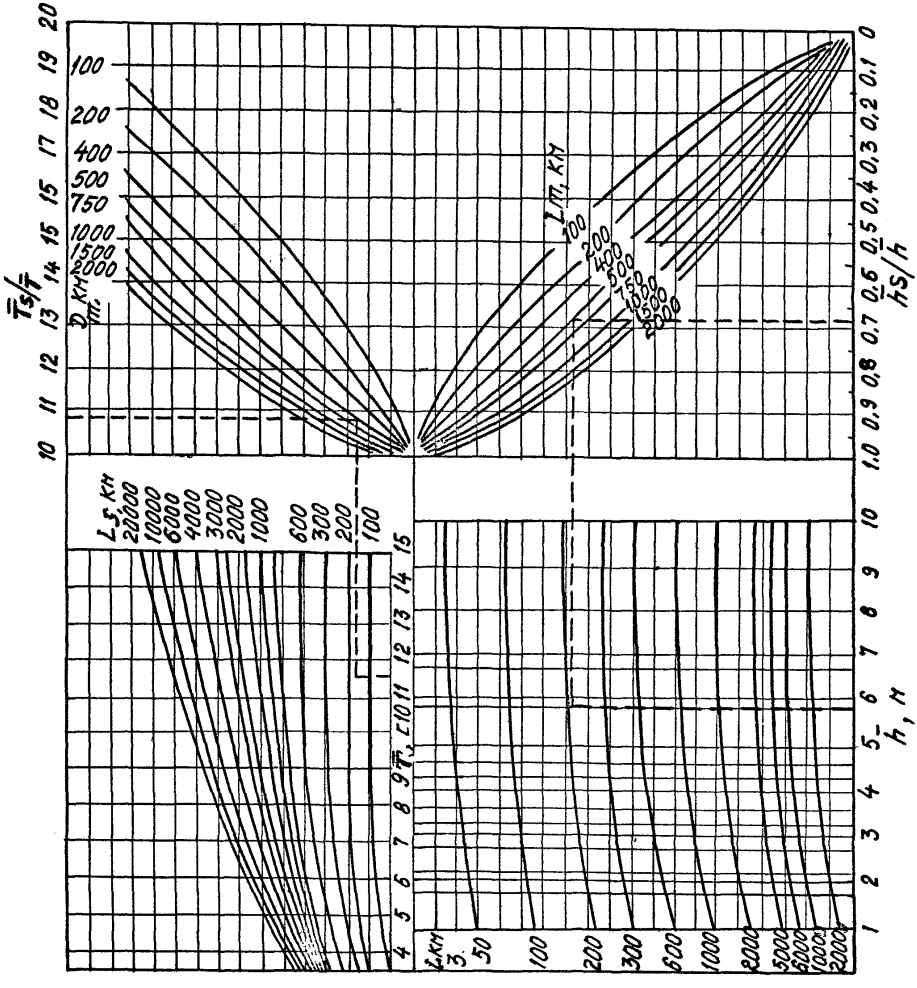


Рис.6. График для определения периода и высоты волн зыби

4.21. Дисперсию σ_s^2 и частоту максимума ω_{ms} частотного спектра волн зыби определяют в соответствии с п.п.4.19 и 4.20, используя соотношения:

$$\sigma_s^2 = \bar{h}_s^2/2\pi ; \quad \omega_{ms} = 0{,}8\ {}^{2\pi}/_{\bar{T}_s} . \qquad (4.21)$$

4.22. Частотный спектр волн зыби $S_s(\omega)$, $\frac{м^2 с}{рад}$, следует рассчитывать по формуле:

$$S_s(\omega) = 6\,\sigma_s^2\,\omega_{ms}^{-1}\left(\frac{\omega}{\omega_{ms}}\right)^{-6} \exp\left[-1{,}2\left(\frac{\omega}{\omega_{ms}}\right)^{-5}\right] . \qquad (4.22)$$

4.23. Угловой спектр волн зыби $S_s(\theta)$ для скорости ветра в штормовой зоне $V > 25$м/с допускается определять по формуле:

$$S_s(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{\pi}\sigma_s^2 & \text{при} \quad \theta = \theta_0 \\ 0 & \text{при других } \theta \end{cases} \qquad (4.23)$$

где $\theta = \theta_0$ – угол, соответствующий направлению ветра на границе штормовой зоны.

Примечание: формула (4.23) описывает волнение, все спектральные составляющие которого распространяются в одном направлении ($\theta = \theta_0$).

4.24. Частотный спектр низкочастотных вертикальных колебаний поверхности моря в диапазоне частот $0{,}08\omega_m \le \omega \le 0{,}5\omega_m$ на глубокой воде $S_{нг}(\omega)$, $\frac{м^2 с}{рад}$, необходимо рассчитывать для заданного расчетного спектра ветровых волн $S_\eta(\omega)$, $\frac{м^2 с}{рад}$, по формуле:

$$\frac{S_{нг}(\omega)}{S_\eta(\omega)} = \begin{cases} 3\cdot 10^{-2}\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-1} & \text{при} \quad 0{,}08\,\omega_m \le \omega \le 0{,}5\,\omega_m \\ 0 & \text{при} \quad \omega < 0{,}08\,\omega_m \end{cases} \qquad (4.24)$$

где ω_m – частота максимума спектра $S_\eta(\omega)$, определяемая в соответствии с требованиями пп.4.3, 4.4;

$S_\eta(\omega_m)$ – величина, определяемая в соответствии с требованиями п.4.8.

4.25. Дисперсию $\sigma^2_{нч}$ и частоту максимума $\omega_{mнч}$ частотного спектра низкочастотных колебаний поверхности воды следует определять по формулам:

$$\sigma^2_{нч} = \frac{\bar{h}^2_{нч}}{2\pi} \qquad (4.25)$$

$$\omega_{mнч} = 8{,}3 \cdot 10^{-2} \omega_m \qquad (4.26)$$

где $\bar{h}_{нч}$ – средняя высота низкочастотных колебаний, определяемая в соответствии с требованиями РД 31.33.02-81.

4.26. Частотный $S^d_\eta(\omega)$ и частотно-угловой $S^d_\eta(\omega,\theta)$ спектры ветровых волн и спектр тягуноопасных низкочастотных колебаний $S^d_{нч}(\omega)$ в мелководной зоне с уклонами дна 0,001 и менее необходимо определять по формулам:

$$\begin{Bmatrix} S^d_\eta(\omega) \\ S^d_\eta(\omega,\theta) \\ S^d_{нч}(\omega) \end{Bmatrix} = \varphi_1(\omega_d) \begin{Bmatrix} S_\eta(\omega) \\ S_\eta(\omega,\theta) \\ S_{нч}(\omega) \end{Bmatrix}, \qquad (4.27)$$

$$\varphi_1(\omega_d) = \varkappa^{-2}\left[1 + \frac{2\omega_d^2\varkappa}{\operatorname{sh}(2\omega_d^2\varkappa)}\right], \qquad (4.28)$$

$$\varkappa \operatorname{th}(\omega_d^2\varkappa) = 1, \qquad (4.29)$$

где $\omega_d^2 = \frac{\omega^2 d}{g}$, d – глубина, м.

4.27. Угловой спектр $S^d_\eta(\theta)$ в мелководной зоне с уклонами дна 0,002 и более допускается рассчитывать по формулам (4.12) – (4.14), в которых величины θ_j и $\bar{h}_\ell$ определяют по результатам расчета рефракции и трансформации волн для каждого луча, в соответствии с положением СНиП 2.06.04-82.

4.28. Другие виды спектральных характеристик ветровых волн такие, как частотные спектры вертикальных и горизонтальных отклонений частиц жидкости от положения равновесия, колебаний волнового давления и т.д., следует определять по результатам расчета частотного, углового и частотно-углового спектров смещений поверхности воды, используя соотношения, приводимые в разделе 2 настоящего РД.

5. РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВЫХ ВОЛН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ

5.I. Коэффициенты перехода $K_i^h = \frac{h_{i\%}}{\bar{h}}$ от $\bar{h}$ – средней высоты к $h_{i\%}$ – высотам волн i %-ой обеспеченности необходимо рассчитывать в соответствии с требованиями СНиП 2.06.04-82.

5.2. Допускается рассчитывать коэффициенты K_i^h для ветровых волн в глубоководной зоне по формуле:

$$K_i^h = \left[-B_1^{-1}(\ln F_h - 4{,}605)\right]^{1/\beta_1}, \qquad (5.I)$$

где F_h – функция обеспеченности высот волн в %,

B_1 и β_1 – параметры, принимаемые по табл.5.

Таблица 5

$\frac{gL}{V^2}$	I0	I0–I0^3	I0^3–5·I0^3	5·I0^3 –I0^4	I0^4
β_1	2,6	2,5	2,3	2,I	2,0
B_1	0,735	0,740	0,755	0,775	0,785

5.3. Коэффициенты K_i^h для ветровых волн в мелководной зоне следует рассчитывать по формуле:

$$K_i^h = \left\{-\frac{4}{\pi}\left(1+\frac{h^*}{\sqrt{2\pi}}\right)\left[\ln F_h - 4{,}605\right]\right\}^{\frac{1}{2}(1-h^*)}, \qquad (5.2)$$

где $h^* = \bar{h}/d$.

5.4. Коэффициенты перехода $K_i^T = \frac{T_{i\%}}{\bar{T}}$ от $\bar{T}$ - среднего периода к $T_{i\%}$ - периоду волн i %-ой обеспеченности без учета влияния безразмерного разгона надлежит рассчитывать по формуле:

$$K_i^T = \left[-1{,}49\left(\ln F_T - 4{,}605\right)\right]^{1/4}, \qquad (5.3)$$

где F_T - функция обеспеченности волн в %.

5.5. Коэффициенты перехода K_i^T в глубоководной зоне с учетом безразмерного разгона допускается определять по результатам расчета частотного спектра смещений поверхности воды $S_\eta(\omega)$ в соответствии с п.4.7 настоящего РД, используя формулы:

$$F(T) = \int_{\infty}^{2\pi/T} dF(\omega), \qquad (5.4)$$

$$F(\omega) = \sigma_\eta^{-2} \int S_\eta(\omega) d\omega . \qquad (5.5)$$

Переход от функции $F(T)$ к функции $F_T(T/\bar{T})$ в % осуществляется путем подстановки $\omega_m = 0{,}8\frac{2\pi}{\bar{T}}$ и умножения $F(T)$ на 100%. Коэффициенты K_i^T следует отыскивать по величине F_T, задавая соответствующие значения i %.

5.6. Коэффициенты перехода $K_i^\lambda = \frac{\lambda_{i\%}}{\bar{\lambda}}$ от $\bar{\lambda}$ - средней длины к $\lambda_{i\%}$ - длине волн i %-ой обеспеченности без учета безразмерного разгона следует рассчитывать по формуле:

$$\frac{K_i^\lambda}{th\left[(K_i^\lambda)^{-1}\frac{2\pi d}{\bar{\lambda}}\right]} = \left[-1{,}49\left(\ln F_\lambda - 4{,}605\right)\right]^{1/2}, \qquad (5.6)$$

где F_λ - функция обеспеченности длин волн в %.

Примечание: среднюю длину волн в соответствии со СНиП 2.06.04-82 вычисляют, используя соотношение $\bar{\lambda} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi}$.

5.7. Коэффициенты перехода K_i^λ с учетом безразмерного разгона допускается определять, используя формулу (5.5) и формулу:

$$F(\lambda)=\int_{\infty}^{b} dF(\omega) \quad , \qquad (5.7)$$

где $b=2\pi\left(\frac{g}{2\pi\lambda}\,th\,\frac{2\pi d}{\lambda}\right)^{1/2}$

Переход от функции $F(\lambda)$ к функции $F_\lambda\left(\frac{\lambda}{\bar{\lambda}}\right)$ в % осуществляют путем подстановки $\omega_m=0{,}8\left(\frac{2\pi g}{\lambda}\right)^{1/2}$ и умножения $F(\lambda)$ на 100. Коэффициенты K_i^{λ} следует определять по величине F_λ, задавая соответствующие значения i % и величину $\frac{2\pi d}{\lambda}$.

5.8. Интегральные функции условного распределения элементов волн допускается определять, используя формулу:

$$F(\hat{x}/\hat{y})=exp\left[-B_2\left(\frac{\hat{x}}{\hat{\bar{x}}_y}\right)^{\beta_2}\right] \quad , \qquad (5.8)$$

где $\hat{x}=\frac{x}{\bar{x}}$, $\hat{y}=\frac{y}{\bar{y}}$ – нормированные значения элементов волн;

$\hat{\bar{x}}_y$ – среднее значение величины $\frac{x}{\bar{x}}$ при фиксированном значении величины $\frac{y}{\bar{y}}$.

Параметры B_2, β_2 и значения $\hat{\bar{x}}_y$ для различных условных распределений элементов волн следует определять по данным табл.6.

5.9. Коэффициенты перехода для одного из элементов волн от среднего значения к его значению i %-ой обеспеченности при фиксированном значении другого элемента следует рассчитывать по формуле:

$$K_i=\frac{\hat{x}}{\hat{\bar{x}}_y}=\left\{-B_2^{-1}\left[\ln F(\hat{x}/\hat{y})-4{,}605\right]\right\}^{1/\beta_2} \quad , \qquad (5.9)$$

где B_2 и β_2 определяют по табл.6.

5.10. Интегральные функции двумерных законов распределения элементов волн необходимо рассчитывать, используя соотношения:

$$F(\hat{x};\hat{y})=\int_{\hat{x}}^{\infty} F(\hat{y}/\hat{x}_1)\,dF(\hat{x}_1) \quad , \qquad (5.10)$$

$$f(\hat{x},\hat{y})=f(\hat{x})\,f(\hat{y}/\hat{x})=f(\hat{y})\,f(\hat{x}/\hat{y}) \quad . \qquad (5.11)$$

Таблица 6.

Нормированное значение элементов волн,	$F\left(\frac{h}{\bar{h}}/\frac{T}{\bar{T}}\right)$			$F\left(\frac{T}{\bar{T}}/\frac{h}{\bar{h}}\right)$			$F\left(\frac{h}{\bar{h}}/\frac{\lambda}{\bar{\lambda}}\right)$			$F\left(\frac{\lambda}{\bar{\lambda}}/\frac{h}{\bar{h}}\right)$		
	$\hat{\bar{X}}_y=\hat{\bar{h}}_{\bar{T}}$	β_2	B_2	$\hat{\bar{X}}_y=\hat{\bar{T}}_h$	β_2	B_2	$\hat{\bar{X}}_y=\hat{\bar{h}}_\lambda$	β_2	B_2	$\hat{\bar{X}}_y=\hat{\bar{\lambda}}_h$	β_2	B_2
0,I	0,I4	I,3	0,902	0,44	2,5	0,742	0,I0	2,0	0,785	0,44	2,0	0,785
0,3	0,34	I,4	0,877	0,56	2,5	0,742	0,29	2,I	0,775	0,58	2,0	0,785
0,5	0,54	I,8	0,8I0	0,69	2,7	0,728	0,47	2,4	0,749	0,69	2,4	0,745
0,7	0,74	2,2	0,76I	0,82	3,0	0,7I2	0,66	2,7	0,728	0,82	2,6	0,735
0,9	0,94	2,5	0,742	0,94	3,2	0,703	0,84	2,8	0,723	0,94	2,8	0,723
I,I	I,I4	2,7	0,728	I,06	3,6	0,687	I,03	2,8	0,723	I,06	3,0	0,7I2
I,3	I,I9	2,9	0,7I7	I,I0	4,0	0,675	I,I3	2,9	0,7I7	I,I2	3,3	0,698
I,5	I,23	3,0	0,7I2	I,II	4,0	0,664	I,20	3,0	0,7I2	I,I9	3,7	0,682
I,7	I,26	3,6	0,687	I,I3	4,8	0,656	I,26	3,I	0,707	I,25	4,2	0,668
I,9	I,30	4,0	0,675	I,I4	5,3	0,647	I,33	3,3	0,698	I,32	4,9	0,653
2,I	I,34	4,I	0,674	I,I6	6,0	0,638	I,39	3,5	0,695	I,38	5,3	0,647
2,3	–	–	–	I,I8	7,4	0,622	I,45	3,8	0,675	I,44	6,2	0,636
2,5	–	–	–	I,I9	I0,0	0,606	I,52	4,0	0,675	I,5I	7,5	0,62I

$$f(\hat{x},\hat{y}) = f(\hat{x})\,f(\hat{y}/\hat{x}) = f(\hat{y})\,f(\hat{x}/\hat{y}) \qquad (II)$$

И.О. зав. отделом
береговых исследований, к.т.н. В.В.Лукьянович

Зав. сектором морской
гидравлики, д.ф.-м.н.,
проф. Ю.М.Крылов

Ст.научн.сотрудник,
к.ф.-м.н. Ю.П.Поляков

Нормоконтроль В.И.Ярошенко

Приложение I
(справочное)

ОБОЗНАЧЕНИЯ

K – волновое число, рад/м;

λ – длина волны, м;

ω – круговая частота волны, рад/с;

T – период волны, с;

m,M – моменты спектров и функций распределения, соответственно;

σ – дисперсия;

S – спектр волн;

d – глубина воды при расчетном уровне, м;

Q – функция углового распределения энергии волн;

h – высота волны, м;

V – скорость ветра на горизонте 10 метров, м/с;

V_* – динамическая скорость ветра, м/с;

L – разгон, м;

t – продолжительность действия ветра, с;

n – параметр, характеризующий ширину углового распределения энергии волн;

L_m – линейный размер штормовой области, м;

L_s – расстояние от границы штормовой области, до расчетной точки, м;

E – величина относительной энергии в долях единицы;

θ – угол между вектором скорости ветра и направлением распространения спектральной составляющей, рад;

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

Приложение 2
(рекомендуемое)

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I. Задана величина частотного спектра $S^d(\omega) = 2{,}82\ \frac{м^2 \cdot с}{рад}$ на частоте $\omega d = 0{,}7$ рад/с в прибрежной зоне моря с глубиной $d = I0$ м. Требуется найти соответствующую величину спектра модулей волновых чисел $S^d(K)$.

Решение:

Согласно п.2.9 вычисляем безразмерную величину $\frac{\omega^2 d}{g} = 0{,}7^2 \cdot I0/9.8I = 0{,}5$. Затем по рис. I определяем величину $Kd = 0{,}8$ (линия 3) и величину $\frac{A_2}{(gd)^{1/2}} = 0{,}43$ (линия 2). Откуда получаем $A_2 = (9.8I \cdot I0)^{0.5} \cdot 0{,}43 = 4{,}26$ и $K = 0.8/I0 = 0{,}08$ рад/м. В результате по формуле (2.I0) находим $S^d(K) = A_2 S^d(\omega) = 4{,}26 \cdot 2{,}82 = I2{,}0I$ м^3/рад при $K = 0{,}07$ рад/м.

Пример 2. Задана средняя высота $\bar{h} = I{,}0$ м и средняя частота волн $\bar{\omega} = 0{,}7$ рад/с перед портом. Требуется определить дисперсию σ_η^2 и частоту максимума ω_m частотного спектра смещений поверхности воды.

Решение:

По формулам (2.I8) и (2.I9) находим $\sigma_\eta^2 = (6.28)^{-I} \cdot I{,}0^2 = 0{,}I6$ м^2,

$$\omega_m = 0{,}8 \cdot 0{,}7 = 0{,}56 \text{ рад/с}.$$

Пример 3. Задана величина частотного спектра смещений поверхности воды $S_\eta^d(\omega) = 2{,}82$ м$^2 \cdot$с/рад на частоте $\omega = 0{,}7$ рад/с в фиксированной точке акватории порта с глубиной $d = I0$ м. Требуется определить величину частотного спектра горизонтальных отклонений частиц воды в этой точке от положения равновесия $S_\xi(\omega, z)$ на глубине $z = -5$ м под уровнем моря.

Решение:

Вычисляем величину $\frac{\omega^2 d}{g} = 0,7^2 \cdot 10/9,81 = 0,5$

и затем по линии 3 на рис. I находим $K_d d = 0,8$. $K_d = 0,8/10 = 0,08$ рад/м. По формуле (2.24) находим величину γ_2:

$$\gamma_2 = \frac{ch[0.08(10-5)]}{ch\,0.8} = \frac{ch\,0.4}{ch\,0.8} = \frac{0.41}{0,89} = 0,46.$$

В соответствии с п.2.I6 (формула 2.22) окончательно получим:

$$S_\xi(\omega, z) = \gamma_2^2 S_\eta(\omega) = 0,21 \cdot 2,82 = 0,60 \frac{м^2 \cdot с}{рад},$$

при $\omega = 0,7$ рад/с и $z = -5$м.

Пример 4.

Определить дисперсию смещений поверхности воды σ_η^2, обусловленную местным волнением в фиксированной точке акватории порта при скорости ветра $V = 16,3$ м/с. Средняя глубина акватории $d = 15$м. Разгон волн в этой точке акватории $L = 1$ км.

Решение:

Величина безразмерного разгона

$$\frac{gL}{V^2} = \frac{9.8 \cdot 10^3}{265.69} = 36.9$$

значительно меньше 10^3. Следовательно, согласно пункту 4.4 настоящего РД, для определения σ_η^2 можно воспользоваться формулой (4.4). Отношение $\frac{L}{d} = 67 \ll 250$, поэтому, для определения величины динамической скорости ветра, используем формулы (5) и (17) из руководства [4].

$$\frac{V_*^2}{V^2} = \left(2,5 \ln \frac{V_* z}{\nu_a} - 9.4\right)^{-2}.$$

Значение V_* находим последовательными приближениями:

$V_* = 0.6$ м/с,

$\frac{V_*^2}{V^2} = \frac{0.26}{265.69} = 9.41 \cdot 10^{-4}$;

$\left(2.6 \ln \frac{0.5 \cdot 10}{1.5 \cdot 10^{-5}} - 9.4\right)^{-2} = 19.9 \cdot 10^{-4}$;

$V = 0.8$ м/с,

$\frac{V_*^2}{V^2} = \frac{0.64}{265.69} = 2.41 \cdot 10^{-3}$,

$(2.5 \ln \frac{0.8 \cdot 10}{1.5 \cdot 10^{-5}} - 9.4)^{-2} = 1.8 \cdot 10^{-3}$;

$V_* = 0.7$ м/с,

$\frac{V_*^2}{V^2} = \frac{0.49}{265.69} = 1.844 \cdot 10^{-3}$,

$(2.5 \ln \frac{0.7 \cdot 10}{1.5 \cdot 10^{-5}} - 9.4)^{-2} = 1.852 \cdot 10^{-3}$.

По найденной и формуле (4.4) находим:

$$\frac{g \sigma_\eta^2}{V_*^2} = 1{,}6 \cdot 10^{-2} \left(\frac{9{,}81 \cdot 10^3}{0{,}49} \right)^{\frac{1}{2}} = 2{,}26,$$

$$\sigma_\eta = \frac{0{,}49 \cdot 2{,}26}{9{,}81} = 0.113.$$

Окончательно: $\sigma_\eta^2 = 1{,}27 \cdot 10^{-2}$.

Пример 5. Задана расчетная скорость ветра $V = 40$ м/с в точке на расстоянии более $5 \cdot 10^5$м от ближайшего берега. Требуется оценить соответствующую величину среднего разгона L_m в циклонах.

Решение:

В соответствии с п.4,5 по линии I на рис.3 находим $L_m = 1{,}1 \cdot 10^5$м.

Пример 6. Требуется рассчитать частотный спектр смещений поверхности воды $S_\eta(\omega)$ на подходах к порту по заданным средней высоте $\bar{h} = 2.5$м и среднему периоду $\bar{T} = 7.2$ с при безразмерной величине разгона $gL/V^2 = 5{,}5 \cdot 10^3$.

Решение:

По формулам (2.18) и (2.19) определяем дисперсию σ_η^2 и частоту максимума ω_m :

$$\sigma_\eta^2 = \frac{2{,}5^2}{6{,}28} = 10{,}0 \text{ м}^2,$$

$$\omega = 0{,}8 \frac{6{,}28}{7{,}2} = 0{,}7 \text{ рад/с}.$$

По пунктирной линии на рис. 2 и значению $gL/V^2 = 5{,}5 \cdot 10^3$

находим $\frac{S_\eta(\omega_m)\omega_m}{\sigma_\eta^2} = 1.97$ и, следовательно:

$$S_\eta(\omega_m) = \frac{1.97 \cdot 1}{0.7} = 2.82, \frac{м^2 \cdot с}{рад}.$$

Задаемся характерными частотами $\omega = 0.4, 0.5, \ldots, 1.0, 1.2, \ldots, 2.0$, рад/с. Для каждой частоты находим отношение ω/ω_m и по рис.4 (линия I, отвечающая условию $10^2 \frac{gL}{V^2} 10^4$) определяем соответствующие значения $\hat{S}_\eta = S_\eta(\omega)/S_\eta(\omega_m)$, а затем величину $S_\eta(\omega)$. Например, для $\omega = 1.4$ находим $\omega/\omega_m = 1.4/0.7 = 2.0$. По линии I на рис. 4 получаем $S_\eta(\omega)/S_\eta(\omega_m) = 0.7 \cdot 10^{-2}$, откуда

$$S_\eta(\omega) = 7.4 \cdot 10^{-2} \cdot 2.82 = 0.209, \frac{м^2 \cdot с}{рад}.$$

Аналогичные расчеты дают такие значения спектральной плотности:

$S(0.4) = 0.04$, $S(0.5) = 0.42$, $S(0.6) = 1.68$,
$S(0.8) = 1.96$, $S(0.9) = 1.21$, $S(1.0) = 0.73$,
$S(1.2) = 0.41$, $S(1.4) = 0.21$, $S(1.6) = 0.10$,
$S(1.8) = 0.06$, $S(2.0) = 0.03$, $м^2с/рад$.

Пример 7. В расчетной точке на глубокой воде перед портом задана постоянная скорость ветра $V = 25$ м/с и расстояние до подветренного берега $L = 10^5$м. Требуется определить функцию углового распределения энергии $Q(\omega, \theta)$ на частоте $\omega = 0.5$ рад/с при $\theta = \frac{\pi}{8}$.

Решение:

Находим величину безразмерного разгона $gL/V^2 = 1.57 \cdot 10^3$. По графику на рис. 2 определяем величину $\frac{gT}{V} = 3.2$ и, затем, средний период волн $\bar{T} = \frac{25 \cdot 3.2}{9.81} = 8.15$. По формуле (2.19) находим частоту максимума $\omega_m = 0.8\frac{2\pi}{\bar{T}} = 0.8\,\frac{6.28}{8.15} = 0.62$ рад/с. Затем по безразмерной величине $\omega/\omega_m = 0.5/0.62 = 0.81$ в соответствии с п.4.9 по рис.4 (линия I) находим:

Параметр $n(\omega_m)$ определяем по рис.5 для скорости ветра $V = 25$м/с: $n(\omega_m) = 8.3$. Откуда $n(\omega) = 8.3 \cdot 0.43 = 3.57$. Подстановка этой величины в формулу (4.9) дает функцию углового распределения

энергии для $\omega = 0.5$ рад/с:

$$Q(\omega,\theta) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma\left(1+\frac{3.57}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+3.57}{2}\right)} \cos^{3.57}\theta = 0.81\cos^{3.57}\theta.$$

Окончательно для угла $\theta = \pi/8$ имеем $Q(\omega,\theta) = 0.81\cos^{3.57}\left(\frac{\pi}{8}\right) = 0.61$

Пример 8. Требуется определить средний период $\bar{T}_s$ и среднюю высоту $\bar{h}_s$ волн зыби на подходах к порту по элементам ветровых волн в области шторма $\bar{T} = 7.2$ с и $\bar{h} = 3.0$ м. Размер штормовой зоны $L_m = 100$ км, расстояние от границы штормовой зоны $L_s = 500$км.

Решение:

По номограмме на рис.6 согласно ключу определяем:
$\bar{T}_s/\bar{T} = 1.39$, $\bar{h}_s/\bar{h} = 0.33$. Отсюда $\bar{T}_s = 1.39 \cdot 7.2 = 10$ с,
$\bar{h}_s = 0.33 \cdot 3.0 = 0.99$ м.

Пример 9. Требуется по данным предыдущего примера определить частотный спектр волн зыби $S_s(\omega)$, м^{2}с/рад.

Решение:

По формулам п.4.21 находим $\sigma_s^2 = \bar{h}_s^2/2\pi = 0.99^2/6.28 = 0.16$ и $\omega_s = 0.8\frac{2\pi}{\bar{T}_s} = 0.8\frac{6.28}{10} = 0.5$:

Затем по формуле (4.22) получаем частотный спектр волн зыби:
$S_s(\omega) = 6 \cdot 0.16 \cdot (0.5)^{-1}(\omega/0.5)^{-6}\exp(-1.2(\omega/0.5)^{-5}) = 0.03\times$
$\times\ \omega^{-6}\exp(-0.038\omega^{-5})$.

Пример 10. Заданы средняя высота $\bar{h} = 1.5$ м, средний период $\bar{T} = 6$ с и средняя длина волн $\bar{\lambda} = 56$ м на глубокой воде, перед портом, при безразмерном разгоне $\frac{gL}{V^2} = 5 \cdot 10^2$. Требуется определить $h_{1\%}, T_{1\%}, \lambda_{1\%}$ – высоту, период и длину волн 1%-ой обеспеченности, соответственно.

Решение:

По величине $\frac{gL}{V^2} = 5 \cdot 10^2$ из табл.5 находим $\beta_1 = 2.5$ и $B_1 = 0.74$. По формуле (5.1) находим коэффициент $K^h_{1\%}$:

$$K_{1\%}^{h} = \left[-\frac{1}{0.74}(\ln 1 - 4.605)\right]^{\frac{1}{2.5}} = 2.08.$$

Откуда находим $h_{1\%} = K_{1\%}^{h} \cdot \bar{h} = 2.08 \cdot 1.5 = 3.12$ м.

По формулам (5.3) и (5.6) соответственно имеем:

$$K_{1\%}^{T} = \left[-1.49(\ln 1 - 4.605)\right]^{\frac{1}{4}} = 1.62,$$

$$K_{1\%}^{\lambda} = \left[-1.49(\ln 1 - 4.605)\right] = 2.62.$$

Откуда находим $T_{1\%} = 1.62 \cdot 6 = 9.72$, с и $\lambda_{1\%} = 2.62 \cdot 56 = 146.7$, м.

Пример II. Требуется определить интегральную функцию условного распределения высот волн $F\left(\frac{h}{\bar{h}} \mid \frac{T}{\bar{T}}\right)$ перед портом при фиксированном значении $T/\bar{T} = 0{,}9$.

Решение:

Согласно табл.6 по величине $T/\bar{T}$ находим $\hat{h}_T = 0{,}94$, $\beta_2 = 2{,}5$, $B_2 = 0{,}742$. Откуда по формуле (5.8) находим:

$$F\left(\frac{h}{\bar{h}} \mid \frac{T}{\bar{T}}\right) = \exp\left[-0.742\left(\frac{h/\bar{h}}{0.94}\right)^{2.5}\right] = \exp\left[-0.866\left(\frac{h}{\bar{h}}\right)^{2.5}\right]$$

Пример I2. Требуется вычислить среднюю высоту волн $\bar{h}$ на подходах к порту в районе точки Р (рис.П2), прикрытом большим количеством островов при юго-восточном ветре со скоростью $V = 15$ м/с.

Решение:

Согласно п.4.16 расчет ведется в такой последовательности. Сначала выполняют геометрические построения. Из точки Р параллельно направлению ветра проводят главный луч ($\theta_0 = 0$, град) до пересечения с линией подветренного берега. От этого луча, по часовой стрелке со знаком плюс, против – минус, проводят через 22.5 град шесть боковых лучей. Они обозначены на рис.П2 сплошными линиями. Около главного и боковых лучей строят семь секторов ($\ell = 0, \pm1, \pm2, \pm3$) с размером угла 22,5 град,

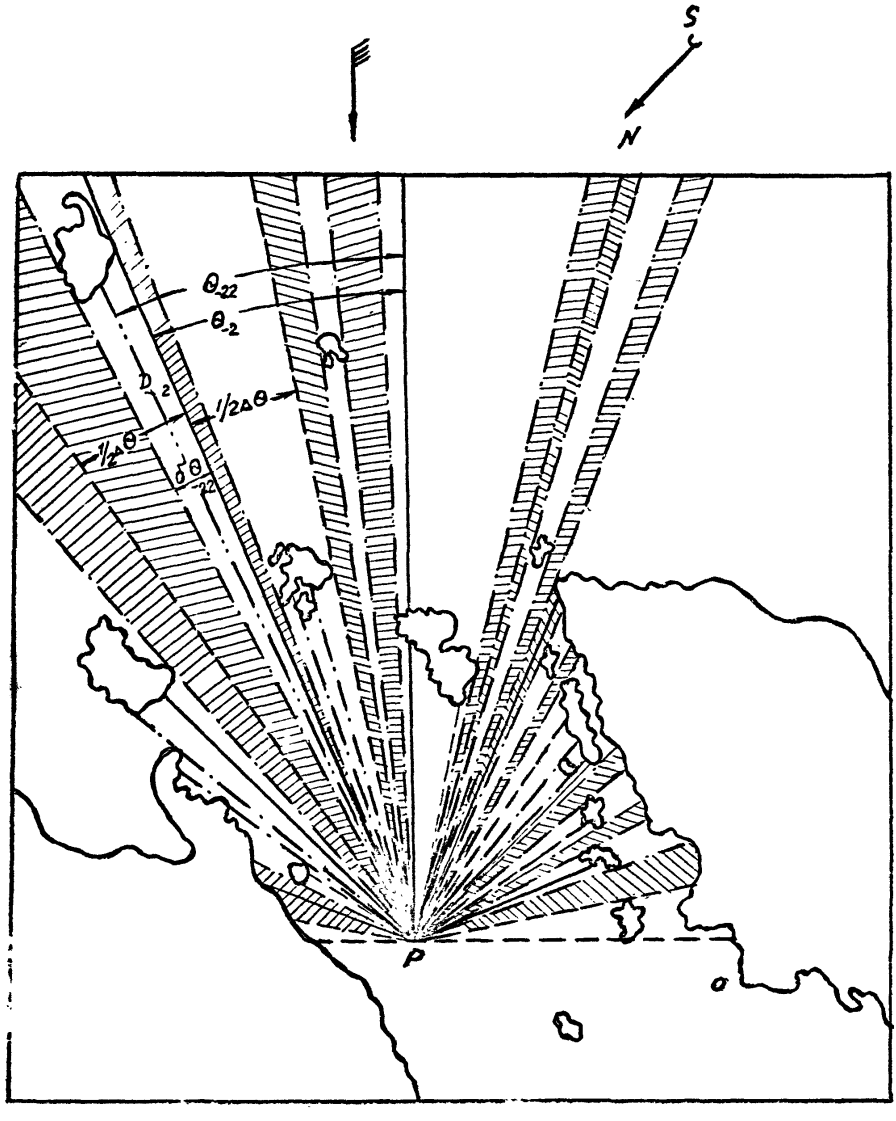


Рис. II 2. Схема расчета высоты ветровых волн при наличии препятствий, угловые размеры каждого из которых менее 22,5, град.

Таблица II2.I

V = I5 м/с

i : Ke	j : me	$\delta\theta_{ei}$, град.	χ_{ei}	L_{ei}, м	$L_{ei} \times \cos\theta_{ei}$, м	$\bar{h}_{ei}$, м	$\bar{h}^2_{ei}$, м^2	$\chi_{ei}\bar{h}^2_{ei}$, м^2	$\delta\theta_{ej}$, град.	ϑ_{ej}	L_{ej}, м	$L_{ej} \times \cos\theta_{ij}$, м	$\bar{h}_{ej}$, м	$\bar{h}^2_{ej}$, м^2	$\vartheta_{ej}\bar{h}^2_{ej}$, м^2	$\bar{h}^2_{e}$, м^2	$\Delta E \times \bar{h}^2_{e}$, м^2
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8

$\ell = -1$, $\cos\theta_j = 0.9239$, $\Delta E_{-I} = 0.21$, $\Delta\theta = 22{,}5$, град.

	I								7.5	0.33	22000	20300	I.07	I.I4	0.38		
I		4.0	0.I8	6900	6400	0.66	0.44	0.08									
	2								2.0	0.09	22000	2030	I.07	I.I4	I.I0		
2		2.0	0.09	3500	3200	0.48	0.23	0.02									
3		3.0	0.I3	3300	3000	0.47	0.22	0.03									
4		4.0	0.I8	3500	3200	0.48	0.23	0.04								0.65	0.I4

при вершине. Границы секторов отстоят от лучей на величину II.25 град. Затем из точки Р проводят в границах каждого ℓ - го сектора лучи, касательные к береговой черте i - ых препятствий (штрих-пунктирные линии). В результате в i - ом секторе получают K_ℓ секторов с препятствиями (незаштрихованные сектора) и m_ℓ секторов с промежутками между ними (заштрихованные сектора).

Далее измеряют угловые размеры секторов $\delta\theta_{\ell i}$, $\delta\theta_{\ell j}$, град, где $\ell = 0, \pm1, \pm2, \pm3$, $i = 1,2,3,\ldots,K_\ell$, $j = 1,2,3,\ldots,m_\ell$ (рис.П2) начиная от левой границы ℓ -го сектора с номером $\ell = -3$ и кончая правой границей сектора с номером $\ell = 3$. Одновременно измеряют отрезки $L_{\ell i}$ и $L_{\ell j}$ биссектрис углов тех же секторов.

Рассчитаем в качестве примера величину средней высоты волн ($\bar{h}_\ell$) в секторе $\ell = -1$ по формулам (4.18) - (4.20) при $n = 2$. Данные расчетов приведены в таблице П 2.1. В результате вычислений $\bar{h}^2_{-1} = 0.65$ м^2. Расчеты в точке Р (рис.П2) по методу, описанному выше, дали величину $\bar{h} = 0.62$ м, а по СНиП 2.06.04-82 [I] - 0.86 м. Относительная ошибка расчетов по СНиП 2.06.04-82 в данном случае составляет +39%.

Пример I3. Требуется определить режимную функцию дисперсии смещений поверхности воды σ^2_η на глубокой воде перед входом в порт при северо-западных ветрах по известной режимной функции обеспеченности скорости ветра Р(случ/год):

V, м/с	⩾ 8	⩾ I2	⩾ I6	⩾ 20	⩾ 24
P	2.00	0.40	0.09	0.03	0.00

Разгон $L = 2 \cdot 10^5$ м. Средняя продолжительность ветра $t = 14$ час.

Решение: Дисперсия σ^2_η в соответствии с п.2.I2 настоящего РД связана со средней высотой волн $\bar{h}$ по формуле (2.I8):

$$\sigma_\eta^2 = (2\pi)^{-1}\bar{h}^2.$$

Среднюю высоту волн $\bar{h}$ определяем по рис.2 в соответствии с пунктом 4.I для скорости ветра 8, I2, I6 и 20 м/с. Результаты последовательных расчетов отражены в таблице П2.2.

Таблица П 2.2

V м/с	$\geqslant 8$	$\geqslant$I2	$\geqslant$I6	$\geqslant 20$
$\frac{gt}{V}$	$6.2\cdot10^4$	$4.1\ 10^4$	$3.1\ 10^4$	$2.5\ 10^4$
$\frac{gL}{V^2}$	$3.0\cdot10^4$	$1.4\cdot10^4$	$8.0\cdot10^3$	$5.0\cdot10^3$
$\frac{g\bar{h}}{V^2}$	0.II7	0.III	0.093	0.08I
$\bar{h}^2$	0.58	2.66	5.90	I0.93

Используя формулу (2.I8), вычисляем значения дисперсии σ_η^2, соответствующие заданным режимным скоростям ветра. В итоге получаем искомую режимную функцию в табличной форме (табл.П2.3).

Таблица П 2.3

$P, \frac{случ.}{год}$	2.00	0.40	0.09	0.03
σ_η^2	0.09	0.42	0.94	I.74

Пример I4. В соответствии с требованиями РД 3I.33.02-8I (п.п. 5.I.7, 5.I.8) при гидравлическом моделировании защищенности акватории порта требуется определить угловой спектр ветровых волн на глубокой воде перед входом в порт при скорости ветра V = 20 м/с, разгоне $L = 4\cdot10^5$ м и продолжительности действия ветра данного направления t = I4 часов.

Решение: Используем формулы (4.I2)-(4.I4) пункта 4.I4 настоящего РД.

От главного луча, совпадающего с направлением ветра, по часовой стрелке со знаком плюс, против - минус, проводим через 22.5 градуса шесть боковых лучей с номерами $\ell = 0, \pm I, \pm 2, \pm 3$. По каждому боковому лучу определяем разгон, величина которого будет равна расстоянию от расчетной точки до берега по соответствующему лучу. Пусть в данном примере разгоны имеют значения, предоставленные в таблице П 2.4 (строка 2). Определяем проекции разгонов в соответствии с п.4.I4. Их значения приведены в таблице П 2.4 (строка 3). Далее определяем безразмерные величины $\frac{gL^*}{V^2}$ (для каждого луча) и $\frac{gt}{V}$ (строки 4,5 этой же таблицы). В соответствии с п.4.I по рис.2 определяем безразмерные значения $\frac{g\bar{h}}{V^2}$ (строка 6) и, далее, величину $\bar{h}^2$ (строка 7). Причем, в данном

Таблица П 2.4.

Расчет величины $\bar{h}^2$ по лучам.

I	ℓ	-3	-2	-I	0	I	2	3
2	L(км)	550	500	430	400	450	350	300
3	L^*(км)	2I0	354	379	400	4I6	247	II5
4	$\frac{gL^*}{V^2}$	$5.II0^3$	$8.7\ I0^3$	$9.3\ I0^3$	$9.8\ I0^3$	$I.0\ I0^4$	$6.0I0^4$	$2.8I0^3$
5	$\frac{gt}{V}$	$2.5 \cdot I0^4$						
6	$\frac{g\bar{h}}{V^2}$	0.082	0.095	0.097	0.098	0.I3	0.085	0.067
7	$\bar{h}^2_{(м)}$	II.2	I5.0	I5.7	I6.0	I6.7	I2.0	7.5

примере для всех лучей, кроме $\ell = I$ рост волн ограничивается разгоном, поэтому $\frac{g\bar{h}}{V^2}$ определяем по $\frac{gL^*}{V^2}$. Рост волн на луче $\ell = I$

ограничивается продолжительностью ветра, поэтому $\frac{g\bar{h}}{V^2}$ определяем по $\frac{gt}{V}$.

Величину $\bar{n}$ определяем по таблице 4:

$$\bar{n} = 4,$$

тогда интеграл в правой части уравнения (4.I4) берется следующим образом:

$$I = \int_{\theta_j}^{\pi/2} \cos^4\theta\, d\theta = \int_{\theta_j}^{\pi/2} \left(\frac{1+\cos 2\theta}{2}\right)^2 d\theta = \int_{\theta_j}^{\pi/2} \frac{1+2\cos 2\theta + \frac{1+\cos 4\theta}{2}}{4} d\theta =$$

$$= \frac{3}{8}\theta\Big|_{\theta_j}^{\frac{\pi}{2}} + \frac{1}{4}\int_{\theta_j} \cos 2\theta\, d(2\theta) + \frac{1}{32}\int_{\theta_j} \cos 4\theta\, d(4\theta) =$$

$$= \frac{3}{8}\theta\Big|_{\theta_j}^{\frac{\pi}{2}} + \frac{1}{4}\sin 2\theta\Big|_{\theta_j}^{\frac{\pi}{2}} + \frac{1}{32}\sin 4\theta\Big|_{\theta_j}^{\pi/2}$$

Относительную энергию в секторах определяем, откладывая по II.25 градуса влево и вправо от выбранных лучей. Тогда границы секторов определяются углами: $\theta_c^{\pm} = \pm 11.25^\circ$, $\theta_1^{\pm} = \pm 11.25^\circ - \pm 33.75^\circ$, $\theta_2^{\pm} = \pm 33.75^\circ - \pm 56.25^\circ$, $\theta_3^{\pm} = \pm 56.25^\circ - \pm 78.75^\circ$. Далее вычисляем соответственные значения интеграла:

$\theta_c^{+} = 11.25^\circ = \Pi/16$

$I_c^{+} = 0.51 - 0.09 - 0.02 = 0.40$

$\theta_c^{-} = -11.25^\circ = -\Pi/16$

$I_c^{-} = 0.66 + 0.09 + 0.02 = 0.77$

$\theta_1^{+} = 33.75^\circ = 3\Pi/16$

$I_1^{+} = 0.37 - 0.23 - 0.02 = 0.12$

$\theta_1^{-} = -33.75^\circ = -3\Pi/16$

$I_1^{-} = 0.81 + 0.23 + 0.02 = 1.06$

$\theta_2^{+} = 56.25^\circ = 5\Pi/16$

$I_2^{+} = 0.22 - 0.23 + 0.02 = 0.01$

$\theta_2^{-} = -56.25^\circ = -5\Pi/16$

$I_2^- = 0.96 + 0.23 - 0.02 = 1.17$

$\theta_3^+ = 78.75^0 = 17/16$

$I_3^+ = 0.07 - 0.09 + 0.02 = 0.00$

$\theta_3^- = -78.75^0 = -17/16$

$I_3^- = 1.10 + 0.09 - 0.02 = 1.17.$

Определяем коэффициент перед интегралом в (4.14):

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma(3)}{\Gamma(2.5)} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{2.00}{1.33} = 0.85$$

Вычисляем относительную энергию по лучам в долях единицы:

$E(\theta_0^+) = 0.85 \cdot 0.40 = 0.34$

$E(\theta_0^-) = 0.85 \cdot 0.77 = 0.65$

$E(\theta_1^+) = 0.85 \cdot 0.12 = 0.10$

$E(\theta_1^-) = 0.85 \cdot 1.06 = 0.90$

$E(\theta_2^+) = 0.85 \cdot 0.01 = 0.01$

$E(\theta_2^-) = 0.85 \cdot 1.17 = 0.99$

$E(\theta_3^+) = 0.00$

$E(\theta_3^-) = 0.85 \cdot 1.17 = 0.99$

$\Delta E_0 = E(\theta_0^-) - E(\theta_0^+) = 0.31$

$\Delta E_{\pm 1} = E(\theta_0^+) - E(\theta_1^+) = 0.24$

$\Delta E_{\pm 2} = E(\theta_1^+) - E(\theta_2^+) = 0.09$

$\Delta E_{\pm 3} = E(\theta_2^+) - E(\theta_3^+) = 0.01$

Окончательно, вычисляем угловой спектр по формуле (4.12). Результаты расчетов представлены в таблице II 2.5.

Таблица II 2.5.

Расчет углового спектра по формуле (4.12).

ℓ	-3	-2	-1	0	1	2	3
θ(град)	-67.5	-45.0	-22.5	0	22.5	45.0	67.5
ΔE_ℓ	0.01	0.09	0.24	0.31	0.24	0.09	0.01
$\bar{h}^2$(м²)	11.2	15.0	15.7	16.0	16.7	12.0	7.5
$S_1(\theta)$	0.018	0.215	0.600	0.789	0.638	0.172	0.012

Пример I5. Для определения колебаний судна у причала требуется вычислить частотный спектр низкочастотных колебаний поверхности моря $S^{d}_{\eta\eta}(\omega)$, по следующим данным: глубина акватории у причала $d = 20$ м, скорость ветра в море на глубокой воде $V = 20$ м/с, разгон $L = 4 \cdot 10^5$, продолжительность действия ветра $t = 14$ часов, уклон дна в районе причала $i = 2 \cdot 10^{-4}$.

Решение: В соответствии с пунктами 4.24, 4.26 настоящего РД, для определения частотного спектра низкочастотных колебаний поверхности моря в мелководной зоне используем формулы (4.27)-(4.29),(4.24). Вычислим входящие в них величины. Значение $S_\eta(\omega_m)$ определяем согласно п. 4.8:

$$\frac{gt}{V} = \frac{9.8 \cdot 50400}{20} = 25 \cdot 10^3,$$

$$\frac{gL}{V^2} = \frac{9.8 \cdot 4 \cdot 10^5}{4 \cdot 10^2} = 9.8 \cdot 10^3.$$

Используя рис.2, получаем

$$S_\eta(\omega_m)\frac{\omega_m}{\sigma_\eta^2} = 1.7.$$

По формулам (2.I8), (2.I9) определеям значения $\bar{T}$ и $\bar{h}$, используя рис.2:

$$\frac{g\bar{h}}{V^2} = 0.097,$$

$$\frac{g\bar{T}}{V} = 4.4,$$

откуда $\bar{h} = 3.96$ м, $\bar{T} = 9.0$ с. Далее последовательно вычисляем:

$$\sigma_\eta^2 = (2\Pi)^{-1} \cdot (3.96) = 2.50, \text{м}^2,$$

$$\omega_m = 2\Pi \cdot 0.8/9.0 = 0.56, \text{ рад/с},$$

$$S_\eta(\omega_m) = 1.7\frac{\sigma_\eta^2}{\omega_m} = 1.7 \cdot 2.50/0.56 = 7.59, \text{ м}^2 \cdot \text{с/рад},$$

$$S^{d}_{\eta\eta}(\omega) = 3 \cdot 10^{-2} \cdot \omega_m \cdot S_\eta(\omega_m) \cdot \omega^{-4} =$$

$$= 3 \cdot 10^{-2} \cdot 0.56 \cdot 7.59 \cdot \omega^{-4} = 12.75 \cdot 10^{-2}\omega^{-4}, \text{м}^2 \cdot \text{с/рад},$$

при $0.0448 \leq \omega \leq 0.2800$, рад/с. Величины χ определяем из трансцендентного уравнения (4.29) по заданным характерным частотам $\omega = 0.10, 0.20$, рад/с, выбранным с учетом интер-

вала $0.08\omega_m \leq \omega \leq 0.5\omega_m$. Соответственно $\omega_d^2 = 0.02, 0.08$. Решения находим методом последовательных приближений. Результаты представлены в таблице II 2.6.

Таблица II 2.6.

Расчет значений $\varkappa$ по формуле (4.29) последовательными приближениями.

ω, рад/с	ω_d^2	$\varkappa$	$th(\omega_d^2 \varkappa)$	$1/\varkappa$
0.I	0.02	3.00	0.060	0.330
		7.00	0.I39	0.I43
		7.I0	0.I4I	0.I4I
0.2	0.08	4.00	0.309	0.250
		3.50	0.273	0.286
		3.60	0.280	0.278

Значения $S_{Hz}^d(\omega)$ определяем по формуле (4.27) с использованием (4.24). Окончательные результаты расчетов представлены в таблице II 2.7.

Таблица II 2.7.

Расчет $S_{Hz}^d(\omega)$ по формуле (4.27).

$\omega, \frac{рад}{с}$	$\varkappa$	$\varphi_1(\omega)$	$S_{Hz}(\omega), \frac{м^2 с}{рад}$	$S_{Hz}^d(\omega), \frac{м^2 с}{рад}$
0.I	7.I0	$I \cdot I0^{-2}$	I.275	$I.275 \cdot I0^{-2}$
0.2	3.60	$3.96 \cdot I0^{-2}$	0.638	$2.53 \cdot I0^{-2}$

Приложение 3.
(рекомендуемое)

Программа расчета элементов волн на ЭВМ "Искра 226".

ПРЕДЛАГАЕМАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛН ГЛУБОКОГО МОРЯ СОСТАВЛЕНА ДЛЯ ЭВМ <<ИСКРА 226>> НА ЯЗЫКЕ БЕЙСИК.

ПРОГРАММА ПОЗВОЛЯЕТ ПО ЗАДАННОМУ ПОЛЮ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЛЮБОЙ ТОЧКЕ АКВАТОРИИ РАССЧИТАТЬ ЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕТРОВЫХ ВОЛН С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ ВЕТРА И КОНФИГУРАЦИИ БЕРЕГОВОЙ ЧЕРТЫ (ВКЛЮЧАЯ ОСТРОВА).

РАСЧЕТЫ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА ПРОВОДЯТ В СООТВЕТСТВИИ С РЕКОМЕНДАЦИЯМИ СНИП 2.06.04-82 ДЛЯ ТОЙ ОБЛАСТИ БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ, КОТОРАЯ ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ГРАДИЕНТАМИ ДАВЛЕНИЯ МЕНЕЕ 5 МБ НА ГРАДУС МЕРИДИАНА И РАДИУСАМИ КРИВИЗНЫ ИЗОБАР БОЛЕЕ ОДНОГО ГРАДУСА МЕРИДИАНА В ОБЛАСТИ С ГРАДИЕНТАМИ БОЛЕЕ 5 МБ НА ГРАДУС МЕРИДИАНА И С РАДИУСАМИ КРИВИЗНЫ МЕНЕЕ ОДНОГО ГРАДУСА РАСЧЕТЫ ПРОВОДЯТ МЕТОДОМ, РЕКОМЕНДУЕМЫМ РД 31.33.05-85.

ЭЛЕМЕНТЫ ВОЛН РАССЧИТЫВАЮТ ПО МЕТОДИКЕ СНИП 2.06.04-82.

ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПО ДАННОЙ ПРОГРАММЕ В ПАМЯТЬ МАШИНЫ НЕОБХОДИМО ВВЕСТИ ИСХОДНУЮ ИНФОРМАЦИЮ В ВИДЕ ЗНАЧЕНИЙ ДАВЛЕНИЙ И ГЛУБИНЫ АКВАТОРИИ В УЗЛАХ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ, КОТОРАЯ ДОЛЖНА ОХВАТЫВАТЬ ЛИБО ВЕСЬ ВОДОЕМ, ЛИБО ТУ ЕГО ЧАСТЬ, ИЗ КОТОРОЙ ПРИХОДЯТ ВОЛНЫ В РАСЧЕТНУЮ ТОЧКУ.

РАЗМЕР ЯЧЕЕК КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ ВЫБИРАЕТСЯ ИСХОДЯ ИЗ СЛЕДУЮЩИХ УСЛОВИЙ: ЕСЛИ ЦЕНТР БАРИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ РАСПОЛОЖЕН В ПРЕДЕЛАХ НАЛОЖЕННОЙ НА КАРТУ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ, ТО ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ ЕЕ ДОЛЖНА БЫТЬ 0.5 ГРАДУСА МЕРИДИАНА; ЕСЛИ ЦЕНТР РАСПОЛОЖЕН ЗА ПРЕДЕЛАМИ СЕТКИ - 1.0 - 2.0 ГРАДУСА МЕРИДИАНА

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ОСЬ СЕТКИ ДОЛЖНА БЫТЬ ОРИЕНТИРОВАНА В НАПРАВЛЕНИИ СЕВЕР-ЮГ.

ПОМИМО ЭТИХ ДАННЫХ НЕОБХОДИМО ВВЕСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНУЮ ИНФОРМА-

цию в той последовательности и в том виде, в котором это указывается на экране дисплея после запуска программы.

Реализацию программы рассмотрим на примере расчета поля ветра и поля волн в заданной части Средиземного моря.

Для примера выбрана синоптическая ситуация (см. рис. П 3.), имевшая место 29.01.79 г. в 15^h00^l .

После запуска программы оператор вводит все необходимые константы, а также массивы давления и глубины Д(I,J),Н(I,J). Здесь I- вертикальная ось координатной сетки, а J- горизонтальная. Для ввода значений давлений и глубины на карту(рис. П 3.) накладывают сетку с размером ячейки в данном случае 1.36 град.меридиана, что соответствует 1.5 см в масштабе используемой карты. В этом примере координаты по I изменяются от 1 до 7, а по J от 1 до 9.

Значения давлений и глубины вводят попарно для каждого узла сетки. Эта информация вводится построчно,т.е. сначала вводят значения Д и Н с координатами (1,J),затем (2,J) и т. д. Значения давлений в узлах сетки получают путем интерполяции давлений между двумя соседними изобарами. Значения глубин в узлах сетки задают следующим образом: если узел сетки приходится на участки суши или на линию берега (включая острова) Н(I,J)=0; во всех других точках глубину моря задают величиной большей L/2,где L- наибольшая возможная длина волны в данном районе, для случая глубокого моря; в случае мелкого моря - величиной равной средней глубине акватории моря или его части.

После введения последней пары значений давления и глубины Д(7,9) и Н(7,9) машина начинает счет по программе и выдает результат по желанию оператора либо на экран дисплея, либо на печать.

Результаты вычислений скорости и направления ветра выдаются в виде напечатанной таблицы, характеризующей поле ветра в рассматриваемом районе. В нашем примере в таблице П 3.1 для каждой точки акватории моря в узлах координатной сетки I,J приведены значения скорости ветра в м/с(верхняя цифра) и направление в градусах (нижняя цифра). Например, для глубоководной точки Р (рис.П 3.), расположенной перед портом, с координатами I=2,J=2 скорость ветра равна 8.8~9.0 м/с, а направление- 305 .

Результаты расчета элементов ветровых волн для каждой точки в узлах сетки печатаются также в виде таблицы, в которой отражен поэтапный расчет средней высоты волн по каждой из семи составляющих углового спектра с учетом переменной скорости ветра вдоль каждой составляющей в соответствии со СНИП 2.06.04-82.

В таблице П 3.2 приведен результат расчета элементов волн в точке Р. В первой вертикальной графе указан номер составляющей ,

ПРИЧЕМ СОСТАВЛЯЮЩАЯ С НОМЕРОМ 4 СООТВЕТСТВУЕТ ГЛАВНОМУ НАПРАВЛЕНИЮ ВОЛНЕНИЯ И ВЕТРА В ТОЧКЕ Р. ВО ВТОРОЙ ГРАФЕ ДАНЫ НОМЕРА УЧАСТКОВ ВДОЛЬ КАЖДОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ. В ГРАФАХ 3 И 4 ДЛЯ КАЖДОГО УЧАСТКА СОСТАВЛЯЮЩЕЙ УГЛОВОГО СПЕКТРА ЗАДАНЫ ЗНАЧЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА И РАЗГОНА. В ГРАФЕ 5 ДАНЫ ЗНАЧЕНИЯ <<ФИКТИВНОГО>> РАЗГОНА , ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СНИП 2.06.04-82. В ПОСЛЕДНЕЙ ГРАФЕ ДАНЫ ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНИХ ВЫСОТ ВОЛН НА КОНЦЕ КАЖДОГО УЧАСТКА ВДОЛЬ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ. ТАК, НАПРИМЕР, В ТАБЛИЦЕ П 3.2 ДЛЯ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ С НОМЕРОМ 6 СКОРОСТЬ ВЕТРА ИЗМЕНЯЕТСЯ ОТ 7.4 М/С НА УЧАСТКЕ 4 ДО 8.8М/С НА УЧАСТКЕ 1 (КОНЕЦ КОТОРОГО НАХОДИТСЯ В РАСЧЕТНОЙ ТОЧКЕ Р). ПРИ ЭТОМ СРЕДНЯЯ ВЫСОТА ВЕТРОВЫХ ВОЛН ВДОЛЬ ЭТОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИЗМЕНЯЕТСЯ ОТ 0.64М. НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДО 0.80 М. В ТОЧКЕ Р.

ПОД ТАБЛИЦЕЙ П 3.2 ПРИВЕДЕНЫ СРЕДНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛН В ТОЧКЕ Р (Н- ВЫСОТА, Т- ПЕРИОД, L-ДЛИНА). ЗДЕСЬ ЖЕ ДАНЫ ЗНАЧЕНИЯ ВЫСОТ ВОЛН 1,2 И 5-ОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ В СИСТЕМЕ ВОЛН И ПРИВЕДЕНЫ КОЭФФИЦИЕНЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЛН В ТОЧКЕ Р.

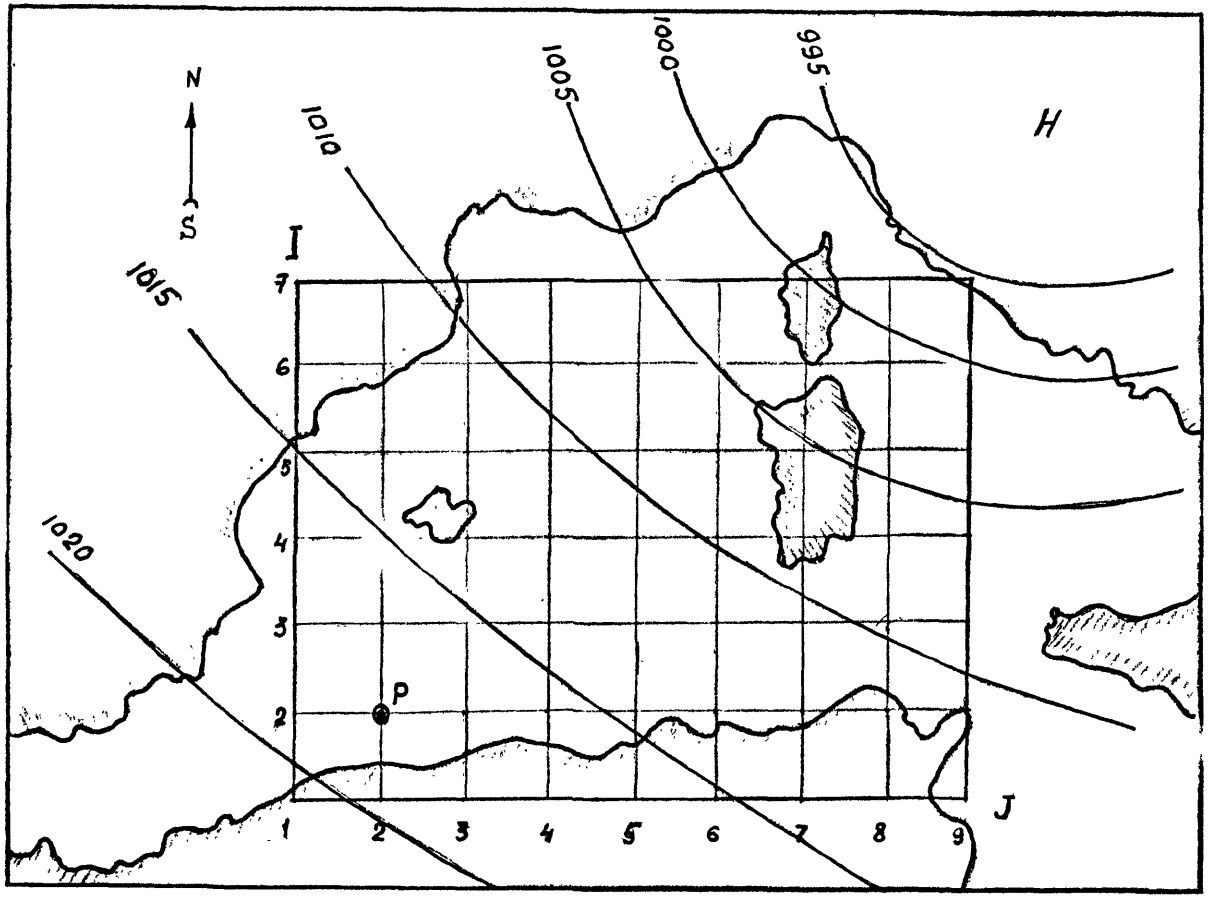


Рис. II 3. Схема к расчету элементов волн в точке Р.

Таблица II 3.1.

ПОЛЕ СКОРОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ

I/J	2	3	4	5	6	7	8
2	9	9	9	9	9	9	9
	305	305	304	302	300	297	292
3	8	8	9	10	11	11	11
	309	312	310	305	300	295	290
4	7	9	10	10	11	12	12
	314	315	312	307	301	293	283
5	7	9	10	11	12	13	14
	310	320	320	315	307	297	287
6	6	10	11	11	11	11	11
	310	326	327	322	316	307	297

Таблица II 3.2.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛН ГЛУБОКОГО МОРЯ
НА ПОДХОДЕ К ПОРТУ
V= 8.8,Q= 305

I	J	V(I,J) М/С	L(I,J) КМ	F КМ	H(I,J) М	H М
1	2	3	4	5	6	7
1	1	8.8	34	34	100	0.61
2	1	8.8	54	54	100	0.70
3	1	8.8	71	71	100	0.75
4	1	8.8	92	92	100	0.80
5	2	7.9	169	169	100	0.76
5	1	8.8	83	123	100	0.85
6	3	7.4	123	123	100	0.64
6	2	7.9	115	155	100	0.75
6	1	8.8	54	94	100	0.80
7	3	6.6	78	78	55	0.49
7	2	7.9	67	88	100	0.67
7	1	8.8	30	70	100	0.75

X= 2,Y= 2,V= 8.8,Q= 305
СРЕДНЯЯ ВЫСОТА ВОЛНЫ H= 0.78 М
СРЕДНИЙ ПЕРИОД ВОЛНЫ T= 4.1 С
СРЕДНЯЯ ДЛИНА ВОЛНЫ L= 26 М
ВЫСОТА ВОЛНЫ H1%= 1.88 М
ВЫСОТА ВОЛНЫ H2%= 1.73 М
ВЫСОТА ВОЛНЫ H5%= 1.51 М

УГЛОВОЙ СПЕКТР НА ГЛУБОКОЙ ВОДЕ

Q	1	2	3	4	5	6	7
S(Q)	0.024	0.101	0.196	0.259	0.251	0.133	0.036

```
5 REM GONH2
6 REM ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПОЛЕЙ ВЕТРА И ВОЛН СО СГЛАЖИВАНИЕМ ИСХОДНОГО ПОЛЯ ДАВЛЕН
ИЯ
10 INPUT "ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЕ ШИРОТЫ F ПРИ I=1",F:INPUT "ВВЕДИТЕ ИНДЕКС СТРАТИФИКАЦ
ИИ S9(1-ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ, 2-ПРИ РАВНОВЕСНОЙ, 3-ПРИ СЛАБО УСТОЙЧИВОЙ, 4-ПРИ У
СТОЙЧИВОЙ)",S9
20 INPUT "ВВЕДИТЕ РАЗМЕР ЯЧЕЙКИ В ГРАДУСАХ МЕРИДИАНА Z",Z:INPUT "ВВЕДИТЕ ХАРАКТЕ
РИСТИКУ КРИВИЗНЫ S1 (1-ПРИ ЦИКЛОНАХ, 2-ПРИ АНТИЦИКЛОНАХ)",S1:INPUT "ВВЕДИТЕ КОЛИ
ЧЕСТВО ЛУЧЕЙ N7",N7:INPUT "ВВЕДИТЕ МАСШТАБ КАРТЫ Z1",Z1
25 REM РАСЧЕТ ПОЛЕЙ ВЕТРА В ОБЫЧНЫХ ЦИКЛОНАХ РЕКОМЕНДУЕТСЯ ОСУЩЕСТВЛЯТЬ МЕТОДОИ
ГОИН-А,ДЛЯ ЭТОГО КОНСТАНТЫ U1,U2,U3,И U4 СЛЕДУЕТ ЗАДАТЬ РАВНЫМИ НУЛЮ
30 INPUT "ВВЕДИТЕ КООРДИНАТЫ ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА РАСЧЕТА СК
ОРОСТИ ВЕТРА U1,U2,U3,U4",U1,U2,U3,U4
40 DIM V1(20,20),Q1(20,20),H1(20,20),L(20,20),E(20),D(20,20),D1(20,1),I2(3),J2(3
),V(20,20),Q(20,20),D3(20,20),D4(20,20),H(20,20),O(20),S(20),S1(20),K(15,15),D9(
20,20)
50 INPUT "ВВЕДИТЕ РАЗМЕРЫ СЕТКИ K,N0",K,N0:N5=N0-2:K5=K-2
60 FOR I=1TOK
70 FOR J=1TON0
80 INPUT "ВВЕДИТЕ МАССИВЫ D(I,J),H(I,J)",D(I,J),H(I,J)
90 NEXT J:NEXT I
95 GOSUB 3100
100 FOR I1=1TOK5
110 I=I1+1
120 FOR J1=1TON5
130 J=J1+1
140 L=1
150 D1(1,1)=D(I,J)
160 D1(2,1)=D(I-1,J)
170 D1(3,1)=D(I-1,J-1)
180 D1(4,1)=D(I,J-1)
190 D1(5,1)=D(I+1,J-1)
200 D1(6,1)=D(I+1,J)
210 D1(7,1)=D(I+1,J+1)
220 D1(8,1)=D(I,J+1)
230 D1(9,1)=D(I-1,J+1)
240 D1(10,1)=D1(2,1)
250 FOR N=2TO9
260 V=D1(N,1)-D1(1,1)
270 U=D1(N+1,1)-D1(1,1)
280 IF V=0THEN340
```

```
290 C=V*U
300 IF C>=0THEN470
310 A=ABS((D1(1,1)-D1(N+1,1))/(D1(N+1,1)-D1(N,1)))
320 N1=N
330 GOTO 360
340 A=0
350 N1=N-1
360 L=L+1
370 IF L>3THEN480
380 ON N1GOTO390,400,410,420,430,440,450,460,390
390 I2(L)=I-1:J2(L)=J+A:GOTO 470
400 I2(L)=I-1:J2(L)=J-1+A:GOTO 470
410 I2(L)=I-A:J2(L)=J-1:GOTO 470
420 I2(L)=I+1-A:J2(L)=J-1:GOTO 470
430 I2(L)=I+1:J2(L)=J-A:GOTO 470
440 I2(L)=I+1:J2(L)=J+1-A:GOTO 470
450 I2(L)=I+A:J2(L)=J+1:GOTO 470
460 I2(L)=I-1+A:J2(L)=J+1:GOTO 470
470 NEXT N
480 X1=J:Y1=I
490 X2=J2(2):Y2=I2(2)
500 X3=J2(3):Y3=I2(3)
510 C1=Y2-Y3
520 C2=X1↑2+Y1↑2
530 C3=X2↑2+Y2↑2
540 C4=X3↑2+Y3↑2
550 C5=X2-X3
560 C6=X2*Y3-X3*Y2
570 D=X1*C1-Y1*C5+C6
580 D1=C1*C2-(Y1-Y3)*C3+(Y1-Y2)*C4
590 D2=C5*C2-(X1-X3)*C3+(X1-X2)*C4
600 D3=C6*C2-(X1*Y3-X3*Y1)*C3+(X1*Y2-X2*Y1)*C4
610 IF D=0THEN680
620 A=D1/D:B=D2/D:C=D3/D
630 R=0.5*SQR(A↑2+B↑2+4*C)
640 W=2*Y1+B:IF W<>0THEN650:P=1E10:GOTO 660
650 P=(A-2*X1)/(2*Y1+B)
660 Q=ARCTAN(P)/#PI*180
670 GOTO 700
680 A=D1:B=D2:C=D3:R=1E8:IF ABS(B)<=1E-12THEN690:P=A/B:Q=ARCTAN(P)/#PI*180:GOTO
700
```

```
690 Q=90-1E-10:P=ABS(1E12)
700 IF P>=0THEN860
710 IF P>=-1THEN790
720 J3=J+1:J4=J-1
730 I3=I+1/ABS(P)
740 I4=I-1/ABS(P)
750 D3(I3,J3)=D1(7,1)+(D1(7,1)-D1(8,1))*(I3-I-1)
760 D4(I4,J4)=D1(3,1)+(D1(3,1)-D1(4,1))*(I-1-I4)
770 R1=D3(I3,J3)-D4(I4,J4):R2=ABS(R1):IF R1>0THEN780:Q1=270-Q:GOTO 1020
780 Q1=90-Q:GOTO 1020
790 I3=I+1:I4=I-1
800 J3=J+ABS(P)
810 J4=J-ABS(P)
820 D3(I3,J3)=D1(7,1)+(D1(7,1)-D1(6,1))*(J3-J-1)
830 D4(I4,J4)=D1(3,1)+(D1(3,1)-D1(2,1))*(J-1-J4)
840 R1=D3(I3,J3)-D4(I4,J4):R2=ABS(R1):IF R1>0THEN850:Q1=270-Q:GOTO 1020
850 Q1=90-Q:GOTO 1020
860 IF P<=1THEN950
870 J3=J-1:J4=J+1
880 I3=I+1/ABS(P)
890 I4=I-1/ABS(P)
900 D3(I3,J3)=D1(5,1)+(D1(5,1)-D1(4,1))*(I3-I-1)
910 D4(I4,J4)=D1(9,1)+(D1(9,1)-D1(8,1))*(I-1-I4)
920 R1=D3(I3,J3)-D4(I4,J4):R2=ABS(R1):IF R1>0THEN930:Q1=270-Q:GOTO 1020
930 Q1=90-Q:GOTO 1020
940 I3=I:I4=I:J3=J-1:J4=J+1:GOTO 900
950 I3=I+1:I4=I-1
960 J3=J-ABS(P)
970 J4=J+ABS(P)
980 D3(I3,J3)=D1(5,1)+(D1(5,1)-D1(6,1))*(J-1-J3)
990 D4(I4,J4)=D1(9,1)+(D1(9,1)-D1(2,1))*(J4-J-1)
1000 R1=D3(I3,J3)-D4(I4,J4):R2=ABS(R1):IF R1>0THEN1010:Q1=270-Q:GOTO 1020
1010 Q1=90-Q:GOTO 1020
1020 Q(I,J)=Q1
1030 F1=F+(X-1)*Z
1040 R3=SQR((J4-J3)↑2+(I4-I3)↑2)*Z
1050 R=R*Z
1060 IF I<U1THEN1230:IF I>U2THEN1230
1070 IF J<U3THEN1230:IF J>U4THEN1230
1080 GOTO 1090
1090 R4=R2*2.7/R3:R5=R4/10:IF R5<=15THEN1100:R6=15:GOTO 1110
```

```
1100 R6=ROUND(R5,0)
1110 F2=F1/5
1120 F3=ROUND(F2,0):F4=F3-1
1130 K(1,1)=.8:K(1,2)=.81:K(1,3)=.82:K(1,4)=.84:K(1,5)=.86:K(1,6)=.88:K(1,7)=.89
:K(1,8)=.91:K(1,9)=.92:K(1,10)=.93:K(1,11)=.93:K(1,12)=.93:K(1,13)=.94:K(1,14)=.
95:K(1,15)=.96
1140 K(2,1)=.75:K(2,2)=.77:K(2,3)=.8:K(2,4)=.82:K(2,5)=.85:K(2,6)=.86:K(2,7)=.88
:K(2,8)=.9:K(2,9)=.91:K(2,10)=.92:K(2,11)=.93:K(2,12)=.93:K(2,13)=.94:K(2,14)=.9
4:K(2,15)=.95
1150 K(3,1)=.66:K(3,2)=.71:K(3,3)=.76:K(3,4)=.79:K(3,5)=.84:K(3,6)=.85:K(3,7)=.8
6:K(3,8)=.88:K(3,9)=.89:K(3,10)=.9:K(3,11)=.91:K(3,12)=.91:K(3,13)=.92:K(3,14)=.
92:K(3,15)=.93
1160 K(4,1)=.58:K(4,2)=.65:K(4,3)=.71:K(4,4)=.76:K(4,5)=.82:K(4,6)=.83:K(4,7)=.8
4:K(4,8)=.86:K(4,9)=.87:K(4,10)=.88:K(4,11)=.88:K(4,12)=.88:K(4,13)=.89:K(4,14)=
.89:K(4,15)=.9
1170 K(5,1)=.5:K(5,2)=.58:K(5,3)=.66:K(5,4)=.73:K(5,5)=.8:K(5,6)=.81:K(5,7)=.82:
K(5,8)=.83:K(5,9)=.84:K(5,10)=.85:K(5,11)=.85:K(5,12)=.85:K(5,13)=.86:K(5,14)=.8
6:K(5,15)=.87
1180 K(6,1)=.43:K(6,2)=.51:K(6,3)=.6:K(6,4)=.69:K(6,5)=.77:K(6,6)=.79:K(6,7)=.8:
K(6,8)=.81:K(6,9)=.82:K(6,10)=.83:K(6,11)=.84:K(6,12)=.85:K(6,13)=.86:K(6,14)=.8
6:K(6,15)=.87
1190 K(7,1)=.37:K(7,2)=.45:K(7,3)=.55:K(7,4)=.64:K(7,5)=.73:K(7,6)=.75:K(7,7)=.7
7:K(7,8)=.78:K(7,9)=.8:K(7,10)=.81:K(7,11)=.82:K(7,12)=.83:K(7,13)=.84:K(7,14)=.
85:K(7,15)=.86
1200 K(8,1)=.3:K(8,2)=.4:K(8,3)=.5:K(8,4)=.6:K(8,5)=.7:K(8,6)=.72:K(8,7)=.74:K(8
,8)=.76:K(8,9)=.78:K(8,10)=.8:K(8,11)=.81:K(8,12)=.82:K(8,13)=.83:K(8,14)=.84:K(
8,15)=.85922
1210 V(I,J)=5.1*K(F4,R6)*SQR(R*111*R4/Z/100)
1220 GOTO 1360
1230 ON S9GOTO1250,1260,1270,1280
1240 K1=0.81:GOTO 1290
1250 K1=0.71:GOTO 1290
1260 K1=0.60:GOTO 1290
1270 K1=0.50
1280 IF R>=1ESTHEN1340
1290 IF R>=1ESTHEN1340
1300 A1=1.91/R*SIN(F1*#PI/180)
1310 IF S1=2THEN1330
1320 K2=1/(1+A1):GOTO 1350
1330 K2=1/(1-A1)
1340 K2=1
```

```
1350 V(I,J)=4.84*R2*K1*K2/R3/SIN(F1*#PI/180)
1360 PRINT V(I,J),Q(I,J),I,J
1370 NEXT J1:NEXT I1:STOP
1380 SELECT PRINT@C(132):PRINT "                ПОЛЕ СКОРОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ
     "
1390 PRINT
1400 FOR U9=1TO5+N5*5:PRINT "-";:NEXT U9:PRINT
1410 PRINT "!I/J!";:FOR J9=1TON5:J=J9+1
1420 PRINTUSING " ## !",J;:NEXT J9:PRINT
1430 FOR U9=1TO5+N5*5:PRINT "-";:NEXT U9:PRINT
1440 FOR I9=1TOK5:I=I9+1:PRINTUSING "! ##!",I;:FOR J9=1TON5:J=J9+1
1450 PRINTUSING " ###!",ROUND(V(I,J),0);:NEXT J9:J9=1:PRINT
1460 PRINT "!   !";:FOR J9=1TON5:J=J9+1
1470 PRINTUSING " ###!",ROUND(Q(I,J),0);:NEXT J9:PRINT
1480 FOR U9=1TO5+N5*5:PRINT "-";:NEXT U9
1490 PRINT
1500 NEXT I9
1510 STOP
1520 Q4=180/(N7+1)
1530 Q5=Q4*0.5:Q6=90-Q5
1540 FOR X9=1TOK5:X=X9+1:FOR Y9=1TON5:Y=Y9+1:IF H(X,Y)=0THEN3080 -
1550 Q7=Q(X,Y)-Q4*(N7-1)/2 -
1560 FOR N3=1TON7
1570 E1=0.5-Q6/180-SIN(2*Q6*#PI/180)/2/#PI
1580 Q6=Q6-Q4
1590 E2=0.5-Q6/180-SIN(2*Q6*#PI/180)/2/#PI
1600 E(N3)=E2-E1
1610 Q3=Q7+Q4*(N3-1)
1620 IF Q3>360THEN1630:GOTO 1640
1630 Q3=Q3-360
1640 IF Q3=360THEN1650:GOTO 1660
1650 Q%=1:GOTO 1680
1660 Q%=1+Q3/45
1670 M=1
1680 ON Q%GOTO1690,1720,1750,1780,1810,1840,1870,1900
1690 A=TAN(Q3*#PI/180):T%=A*(M-1):K8=A*(M-1):IF M=1THEN1950:IF K8=0THEN1700:IF K
8<=T%THEN1710:I=X+M-1:J=Y+T%:I0=I:J0=J+T%+1:I9=I:J9=Y+K8:A1=J0-J9:A2=J-J9:GOTO 1
930
1700 I=X+M-1:J=Y:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1710 I=X+M-1:J=Y+T%:T0=I:J0=Y:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1720 A=TAN((90-Q3)*#PI/180):T%=A*(M-1):K8=A*(M-1):IF M=1THEN1950:IF K8>=1THEN173
0:IF K8<=T%THEN1740:I=X+T%:J=Y+M-1:I0=X+T%+1:J0=J:I9=X+K8:J9=J:A1=I0-I9:A2=I-I9:
GOTO 1930
```

```
1730 I=X+T%:J=Y+M-1:I0=I:J0=Y:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1740 I=X+T%:J=Y+M-1:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1750 A=TAN((Q3-90)*#PI/180):T%=A*(M-1):K8=A*(M-1):IF M=1THEN1950:IF K8=0THEN1760
:IF K8<=T%THEN1770:I=X-T%:J=Y+M-1:I0=X-T%-1:J0=J:I9=X-K8:J9=J:A1=I0-I9:A2=I-I9:G
OTO 1930
1760 I=X:J=Y+M-1:I0=I:J0=Y:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1770 I=X-T%:J=Y+M-1:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1780 A=TAN((180-Q3)*#PI/180):T%=A*(M-1):K8=A*(M-1):IF M=1THEN1950:IF K8>=1THEN17
90:IF K8>=T%THEN1800:I=X-M+1:J=Y+T%:I0=I:J0=Y+T%+1:I9=I:J9=Y+K8:A1=J0-J9:A2=J-J9
:GOTO 1930
1790 I=X-M+1:J=Y+T%:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1800 I=X-M+1:J=Y+T%:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1810 A=TAN((Q3-180)*#PI/180):T%=A*(M-1):K8=A*(M-1):IF M=1THEN1950:IF K8=0THEN182
0:IF K8<=T%THEN1830:I=X-M+1:J=Y-T%:I0=I:J0=Y-T%-1:I9=I:J9=Y-K8:A1=J0-J9:A2=J-J9:
GOTO 1930
1820 I=X-M+1:J=Y:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1830 I=X-M+1:J=Y-T%:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1840 A=TAN((270-Q3)*#PI/180):T%=A*(M-1):K8=A*(M-1):IF M=1THEN1950:IF K8>=1THEN18
50:IF K8<=T%THEN1860:I=X-T%:J=Y-M+1:I0=X-T%-1:J0=J:I9=X-K8:J9=J:A1=I0-I9:A2=I-I9
:GOTO 1930
1850 I=X-T%:J=Y-M+1:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1860 I=.-  'T=Y-'  :I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1870 A=TAN(( ..0)*#PI/180):T%=A*(M-1):K8=A*(M-1):IF M=1THEN1950:IF K8=0THEN188
0:IF K8<=T%THEN1890:I=X+T%:J=Y-M+1:I0=X+T%+1:J0=J:I9=X+K8:J9=J:A1=I0-I9:A2=I-I9:
GOTO 1930
1880 I=X:J=Y-M+1:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1890 I=X+T%:J=Y-M+1:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1900 A=TAN((360-Q3)*#PI/180):T%=A*(M-1):K8=A*(M-1):IF M=1THEN1950:IF K8>=1THEN19
10:IF K8>=T%THEN1920:I=X+M-1:J=Y-T%:I0=I:J0=Y-T%-1:I9=I:J9=Y-K8:A1=J0-J9:A2=J-J9
:GOTO 1930
1910 I=X+M-1:J=Y-T%:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1920 I=X+M-1:J=Y-T%:I0=I:J0=J:A1=0:A2=0:GOTO 1930
1930 IF I0<2THEN2080:IF I0>K-1THEN2080:IF J0<2THEN2080:IF J0>N0-1THEN2080:IF I<2
THEN2080:IF I>K-1THEN2080:IF J<2THEN2080:IF J>N0-1THEN2080
1940 L(N3,M)=SQR(1+A^2)*Z1:GOTO 1960
1950 I=X:J=Y:I0=I:J0=J:L(N3,M)=0.5*SQR(1+A^2)*Z1
1960 V2=V(I0,J0):Q2=Q(I0,J0):H2=H(I0,J0):V1=V(I,J):Q1=Q(I,J):H1=H(I,J):IF V1>V2T
HEN1970:V1(N3,M)=A2*(V2-V1)+V1:GOTO 1980
1970 V1(N3,M)=V2+A1*(V1-V2)
1980 IF Q1>Q2THEN1990:Q1(N3,M)=A2*(Q2-Q1)+Q1:GOTO 2000
1990 Q1(N3,M)=Q2+A1*(Q1-Q2)
2000 IF H1>H2THEN2010:H1(N3,M)=A2*(H2-H1)+H1:GOTO 2020
```

```
2010 H1(N3,M)=H2+A1*(H1-H2)
2020 IF COS((Q3-Q1(N3,M))*#PI/180)>=0THEN2030:V1(N3,M)=0:GOTO 2090
2030 L(N3,M)=L(N3,M)*COS((Q3-Q1(N3,M))*#PI/180):IF H1(N3,M)>0THEN2040:V1(N3,M)=0
:GOTO 2080
2040 M2=M
2050 M2=M
2060 M=M+1
2070 ON 0%GOTO1690,1720,1750,1780,1810,1840,1870,1900
2080 O(N3)=M2
2090 NEXT N3
2100 STOP
2110 N3=(N7+1)/2:M=1:W9=V1(N3,M):Q9=Q1(N3,M):SELECT PRINT05
2120 PRINT "             РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛН ГЛУБОКОГО МОРЯ"
2130 PRINT "           НА ПОДХОДЕ К ПОРТУ            (H=      )"
2140 PRINT " "
2150 PRINTUSING "          V= ##.#,Q= ###                                  ",ROUND(W9
,1),ROUND(Q9,0)
2160 PRINT "    ---------------------------------------------------------"
2170 PRINT "    !       !       !       !       !       !       !       !"
2180 PRINT "    !   I   !   J   ! V(I,J)! L(I,J)!   F   ! H(I,J)!   H   !"
2190 PRINT "    !       !       !  M/C  !   KM  !   KM  !   M   !   M   !"
2200 PRINT "    ---------------------------------------------------------"
2210 M=O(N3)
2220 PRINT "    !   1   !   2   !   3   !   4   !   5   !   6   !   7   !"
2230 PRINT "    ---------------------------------------------------------"
2240 C0=0
2250 FOR N3=1TON7:M=O(N3):IF M=0THEN2740
2260 F4=0
2270 L4=L(N3,M)+F4
2280 L5=L4*1000
2290 IF H1(N3,M)<.001THEN2380:IF V1(N3,M)<=0THEN2380
2300 A=(9.81*L5/V1(N3,M)/V1(N3,M))^0.5
2310 D=1-(1+6*0.001*A)^(-2)
2320 B=(9.81*H1(N3,M)/V1(N3,M)/V1(N3,M))^0.8*0.625/D
2330 C=(EXP(B)-EXP(-B))/(EXP(B)+EXP(-B))
2340 H1=0.16*D*C/9.81*V1(N3,M)*V1(N3,M):IF H1<.001THEN2380
2350 L1=10^7
2360 L2=1000
2370 PRINTUSING "    !   #   !  #    !##.#   !  ###  !  ###  ! ###   !##.##  !",
N3,M,ROUND(V1(N3,M),1),ROUND(L(N3,M),0),ROUND(L4,0),ROUND(H1(N3,M),0),ROUND(H1,2
```

```
2380 M=M-1:IF H1<.01THEN2260
2390 IF M<1-0.5THEN2690
2400 IF V1(N3,M)<=0THEN2680
2410 A=(9.81*L1/V1(N3,M)/V1(N3,M))↑0.5
2420 D=1-(1+6*0.001*A)↑(-2)
2430 B=(9.81*H1(N3,M)/V1(N3,M)/V1(N3,M))↑0.8*0.625/D
2440 C=(EXP(B)-EXP(-B))/(EXP(B)+EXP(-B))
2450 H2=.16*D*C/9.81*V1(N3,M)*V1(N3,M)
2460 L2=L2
2470 A=(9.81*L2/V1(N3,M)/V1(N3,M))↑0.5
2480 D=1-(1+6*0.001*A)↑(-2)
2490 B=(9.81*H1(N3,M)/V1(N3,M)/V1(N3,M))↑0.8*0.625/D
2500 C=(EXP(B)-EXP(-B))/(EXP(B)+EXP(-B))
2510 H3=0.16*D*C/9.81*V1(N3,M)*V1(N3,M)
2520 IF ABS(H2-H3)<.02THEN2670
2530 K8=H1-H2
2540 K9=H1-H3
2550 IF ABS(K8)<0.001THEN2640
2560 IF ABS(K9)<0.001THEN2670
2570 IF K8*K9>0THEN2600
2580 L9=L1
2590 L1=(L1+L2)/2:GOTO 2410
2600 IF H1>H2THEN2610:GOTO 2620
2610 F4=L1/1000:GOTO 2270
2620 L2=L1
2630 L1=L9:GOTO 2410
2640 F4=L1/1000
2650 IF M>0.5THEN2270
2660 GOTO 2690
2670 F4=L1/1000
2680 IF M>1THEN2270
2690 C1=H1↑2*E(N3):S(N3)=C1
2700 C0=C0+C1
2710 PRINT "    ------------------------- -------------------------"
2720 M=O(N3)
2730 NEXT N3
2740 C2=SQR(C0)
2750 $ELECT PRINT0C
2760 PRINTUSING "      X= ##,Y= ##,V=###.#,Q= ### ",ROUND(X,0),ROUND(Y,0),ROUND(
W9,1),ROUND(Q9,0)
2770 PRINTUSING "    СРЕДНЯЯ ВЫСОТА ВОЛНЫ   H= ##.## M  ",ROUND(C2,2)
2780 T=W9*3.1/9.81*2*#PI*(9.81*C2/W9/W9)↑0.625
```

```
2790 PRINTUSING "    СРЕДНИЙ ПЕРИОД ВОЛНЫ    T= ##.# C            ",ROUND(T,1)
2800 D9=1.56*T^2
2810 PRINTUSING "    СРЕДНЯЯ ДЛИНА ВОЛНЫ     L= ### M  ",ROUND(D9,0)
2820 F1=.01:F2=.02:F3=.05
2830 M=1
2840 H5=C2/H1(N3,M)
2850 C8=(1-H5)/2
2860 C4=-2.932*(1+.4*H5)
2870 C5=((C4*(.43429*LOG(F1)))^C8)*C2
2880 C6=((C4*(.43429*LOG(F2)))^C8)*C2
2890 C7=((C4*(.43429*LOG(F3)))^C8)*C2
2900 PRINTUSING "    ВЫСОТА ВОЛНЫ          H1%= ##.## M  ",ROUND(C5,2)
2910 PRINTUSING "    ВЫСОТА ВОЛНЫ          H2%= ##.## M  ",ROUND(C6,2)
2920 PRINTUSING "    ВЫСОТА ВОЛНЫ          H5%= ##.## M  ",ROUND(C7,2)
2930 PRINT " "
2940 PRINT " ":SELECT PRINT05
2950 PRINT "                УГЛОВОЙ СПЕКТР НА ГЛУБОКОЙ ВОДЕ            "
2960 PRINT " "
2970 PRINT " "
2980 PRINT "-------------------------------------------------------------"
2990 PRINT "! 0  !  1  !  2  !  3  !  4  !  5  !  6  !  7  !"
3000 PRINT "-------------------------------------------------------------"
3010 PRINT "!S(Q)!";
3020 FOR N3=1TON7
3030 S1(N3)=S(N3)/C0
3040 PRINTUSING " #.### !",ROUND(S1(N3),3);
3050 NEXT N3
3060 PRINT
3070 PRINT "-------------------------------------------------------------"
3080 NEXT Y9:STOP :NEXT X9
3090 END
3100 REM РЕГРЕССИЯ ПОРЯДКА N
3110 DIM A(20),Q(20,20),E(20),D9(20,20):PRINT HEX(03);"РЕГРЕССИЯ ПОРЯДКА N"
3120 M=3:N=N0
3140 FOR Z5=1TOK
3150 FOR I=2TO2*M+1:A(I)=0:NEXT I
3160 FOR I=1TOM+2:E(I)=0:NEXT I
3170 A(1)=N
3190 FOR I=1TON:X=I:Y=D(Z5,I)
3200 FOR J=2TO2*M+1:A(J)=A(J)+X^(J-1):NEXT J
3210 FOR J=1TOM+1:E(J),Q(J,M+2)=E(J)+Y*X^(J-1):NEXT J
3220 E(M+2)=E(M+2)+Y^2:NEXT I
```

```
3230 FOR I=1TOM+1:FOR J=1TOM+1:Q(I,J)=A(I+J-1):NEXT J:NEXT I
3240 FOR S=1TOM+1
3250 FOR T=STOM+1:IF Q(T,S)<>0THEN3270:NEXT T
3260 PRINT "РЕШЕНИЕ НЕ СУЩЕСТВУЕТ":STOP
3270 GOSUB 3320
3280 C=1/Q(S,S):GOSUB 3350
3290 FOR T=1TOM+1:IF T=STHEN3310
3300 C=-Q(T,S):GOSUB 3360
3310 NEXT T:NEXT S:GOTO 3370
3320 FOR J=1TOM+2
3330 B=Q(S,J):Q(S,J)=Q(T,J):Q(T,J)=B
3340 NEXT J:RETURN
3350 FOR J=1TOM+2:Q(S,J)=C*Q(S,J):NEXT J:RETURN
3360 FOR J=1TOM+2:Q(T,J)=Q(T,J)+C*Q(S,J):NEXT J:RETURN
3370 PRINT
3380 FOR I=1TOM+1:PRINT "КОЭФФ. ПРИ СТЕПЕНИ ´";I-1;"´      =",Q(I,M+2):NEXT I
3390 I=1
3400 PRINT :S=Q(1,M+2)
3410 FOR T=1TON
3420 FOR I=1TOM:S=S+Q(I+1,M+2)*T↑I:NEXT I
3430 D(Z5,T)=S:PRINTUSING "####.###",ROUND(D(Z5,T),3);:S=Q(1,M+2)
3440 NEXT T:PRINT
3450 PRINT
3460 NEXT Z5
3470 RETURN
```

Приложение 4.
(рекомендуемое)

Программа расчёта частотного спектра на ЭВМ "Искра 226".

```
10 REM РАСЧЕТ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА НА ГЛУБОКОЙ ВОДЕ
15 REM  X- ЗНАЧЕНИЕ ЧАСТОТЫ, A- ЗНАЧЕНИЕ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ПРИ
БЕЗРАЗМЕРНОМ РАЗГОНЕ ОТ 100 ДО 10000,B - МЕНЬШЕ 100, C- БОЛЕЕ 10000
20 INPUT "ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЕ ЧАСТОТЫ МАКСИМУМА F И ЗНАЧЕНИЕ СПЕКТРА НА
ЭТОЙ ЧАСТОТЕ S9 ",F,S9
30 PRINT "  X          A          B          C"
40 FOR X=0.5TO5STEP0.1
50 A=S9*EXP(-22.2*(X-1)↑2)+1.8*X↑(-5)*EXP(-7.9*X↑(-8))
60 IF X<=1THEN70:S=0.09:GOTO 80
70 S=0.07
80 B=X↑(-5)*EXP(-5/4*(X↑(-4)-1))*3.3↑EXP(-S↑(-2)/2*(X-1)↑2)*S9*3.3↑(-1)
90 C=X↑(-5)*EXP(-5/4*(X↑(-4)-1))*S9
100 A=ROUND(A,4):B=ROUND(B,4):C=ROUND(C,4):F1=X*F
110 PRINTUSING " ##.##   ###.###  ###.###    ###.### ",F1,A,B,C
120 NEXT X
130 END
```

Приложение 5
(справочное)

П Е Р Е Ч Е Н Ь

нормативно-технических документов

I. СНиП 2.06.04-82 "Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые,ледовые и от судов).

2. П58-76 Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновые,ледовые и от судов)

3. РД 3I.33.02-8I Методические указания по определению ветровых и волновых условий при проектировании морских портов.

4. РД 3I.33.04-84 Определение скоростного напора ветра над акваториями для расчета нагрузок на портовые сооружения. Методические указания.

5. РД 3I.33.05-85 Расчет режимных характеристик ветра для портовых сооружений.Методические указания.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ..... 3

2. ОСНОВНЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОВЫХ ВОЛН И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ 4

3. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИХ СВЯЗЬ СО СПЕКТРАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВОЛН.. I2

4. РАСЧЕТ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВЫХ ВОЛН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ I5

5. РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВЫХ ВОЛН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ 30

ПРИЛОЖЕНИЕ I. Обозначения 34
(справочное)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Примеры расчета 35
(рекомендуемое)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Программа расчета элементов
(рекомен- волн на ЭВМ "Искра 226"..... 50
дуемое)

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Программа расчета частотного спек-
(рекомендуемое) тра на ЭВМ "Искра 226" 65

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Перечень нормативно-технических
(справочное) документов 66

gost.e-ecolog.ru