



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

"СОВЗМОРНИПРОЕКТ"
Определение
~~РУКОВОДСТВО~~

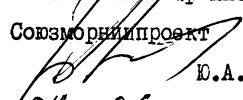
~~ПО РАСЧЕТУ~~ ВЫСОТЫ ВЕТРОВЫХ ВОЛН
НА ПОРТОВОЙ АКВАТОРИИ

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РД 31.33.09.87

г. Москва

19 87 г.

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер института
СовзморНИИпроект


Ю.А.Ильницкий

" 04 " 06 _____ 1987 г.

РУКОВОДСТВО
ПО РАСЧЕТУ ВЫСОТ ВЕТРОВЫХ ВОЛН
НА ПОРТОВОЙ АКВАТОРИИ

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

РД 31.33.09 - 87

Руководитель темы

доктор физ.-мат. наук, проф.


Ю.М.Крылов

" 12 " _____ 1987 г.

МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА

О П Р Е Д Е Л Е Н И Е
ВЫСОТЫ ВЕТРОВЫХ ВОЛН НА ПОРТОВОЙ АКВАТОРИИ.
РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

РД 31.33.09-87

Москва

Разработано

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

Руководитель темы:

д-р ф.-м.н., проф. Крылов Ю.М.

Исполнители: Галенин Б.Г.,

Марков В.В.

Одесским филиалом "Черноморниипроект"
Сочинской волноисследовательской
станцией

Начальник Сочинской волноисследовательской станции

Соловьев В.П.

Исполнители: Кузьминская Г.Г.,

Монахов А.В.,

Царева Т.И.

Утверждено

Главным инженером Союзморниипроекта
Ильницким Ю.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ВЫСОТЫ ВЕТРОВЫХ ВОЛН
НА ПОРТОВОЙ АКВАТОРИИ
РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

РД. ЗІ.ЗЗ.09 -87

Вводится впервые

Срок введения в действие
установлен с 01.07.87

Настоящий РД устанавливает методику и порядок расчета высот ветровых волн на портовой акватории при проектировании новых и реконструкции существующих портов.

І. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

І.І. Режимные характеристики волнения на входе в порт: высоту исходной волны h_i , м i - % - ной обеспеченности и среднюю длину исходной волны $\bar{\lambda}$, м - следует определять в соответствии со СНиП 2.06.04.-82*.

І.2. Характеристики исходной волны определяются для первого на пути движения волны волнового фронта, проходящего через голову оградительного сооружения.

І.3. Линию фронта дифрагированной волны следует принимать:

а) в области волновой тени - в виде дуги окружности с центром в голове оградительного сооружения и радиусом, равным расстоянию от головы оградительного сооружения до расчетной точки;

б) вне области волновой тени - в виде прямой линии, параллельной фронту исходной волны. Глубина моря на акватории порта предполагается постоянной, оградительные сооружения - непроницаемыми для волн.

1.4. Высоту дифрагированной волны $h_{dif, u}$ на акватории порта следует определять по соотношению

$$h_{dif} = k_{dif} \cdot h_i, \quad (1.1)$$

где k_{dif} - коэффициент дифракции, определяемый согласно рекомендациям п.п. 2-4 настоящего РД.

2. РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФРАКЦИИ НА АКВАТОРИИ, ОГРАЖДЕННОЙ ОДИНОЧНЫМ МОЛОМ

2.1. Расчёт коэффициентов дифракции $k_{dif, s}$ на акватории, огражденной одиночным прямолинейным молом, надлежит выполнять, используя графики, приведенные на рис. п.1.1 - п.1.9 (приложение I).

2.2. Расчёт коэффициентов дифракции $k_{dif, cr}$ на акватории, огражденной одиночным криволинейным молом, кривизна которого такая, что длина фронта дифрагированной волны от границы волновой тени до внутренней грани мола не уменьшается при движении волны на акватории, допускается проводить согласно рекомендациям п.2.3.

2.3. Для каждого расчетного створа криволинейный мол аппроксимируют прямолинейным молом, соединяющим голову криволинейного мола и точку пересечения расчетного створа с криволинейным молом. Далее расчёт надлежит вести согласно приложению 2.

3. РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФРАКЦИИ ВОЛН НА АКВАТОРИИ, ОГРАЖДЕННОЙ СХОДЯЩИМИСЯ ПРЯМОЛИНЕЙНЫМИ МОЛАМИ

3.1. Расчёт коэффициентов дифракции $k_{df,c}$ на акватории, огражденной сходящимися прямолинейными молами, в случае, когда головы молв находятся в одном расчётном створе или голова мола 2 расположена вне зоны дифракции мола I, первого на пути движения волны (рис.

3.1), следует выполнять по формуле:

$$k_{df,c} = k_{df,s} \cdot \psi_c, \quad (3.1)$$

где $k_{df,s}$ - коэффициент дифракции на акватории, огражденной одиночным прямолинейным молем;

ψ_c - поправочный коэффициент, учитывающий наличие двух молв.

3.2. Расчёт $k_{df,c}$ надлежит выполнять в следующем порядке:

а) на плане акватории проводят границы волновой тени молв I и 2, рис. 3.1. Этими границами акватория делится на три зоны: D_1 - зону волновой тени мола I, D_2 - зону волновой тени мола мола 2 и D_3 - промежуточную зону;

б) коэффициент дифракции $k_{df,c}$ в расчетной точке P_1 , расположенной в зоне D_1 , следует вычислять по формуле (3.1), где $k_{df,s}$ - коэффициент дифракции в точке P_1 , определяемый согласно п.2 для мола I. Поправочный коэффициент ψ_c в точке P_1 следует определять по графикам приложения I (рис. п.1.10 - п.1.18) в зависимости от величины v/λ , L_1/λ и угла φ_1 , где v, μ - проекция отрезка, соединяющего головы молв, на фронт исходной волны; L_1, μ - длина участка фронта волны, проходящего через расчётную точку, от внутренней грани мола I до границы зоны дифракции этого мола; φ_1, φ - угол между осью мола I и лучом исходной волны. Величину L_1 следует вычислять по формуле:

$$L_1 = \frac{\pi \cdot z_1 \cdot \rho^2}{180^\circ} + A_1, \quad (3.2)$$

где z_1 - расстояние от головы мола I до расчётного створа, м;

A_1 - длина участка фронта волны, проходящего через расчётную точку, между границей зоны дифракции мола I и границей волновой тени этого мола, м.

3.3. Коэффициент дифракции $k_{dif,c}$ в расчётной точке P_2 расположенной в зоне D_2 , находят аналогично п.3.2.б.

3.4. Коэффициент дифракции $k_{dif,c}$ в расчётной точке P_3 расположенной в зоне D_3 , следует определять вначале по параметрам мола I, а затем по параметрам мола 2, и выбрать наименьший.

3.5. Для расчёта коэффициентов дифракции на акватории, огражденной сходящимися прямолинейными молами, рекомендуется использовать программу I (приложение 3).

4. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФРАКЦИИ ВОЛН НА АКВАТОРИИ, ОГРАЖДЕННОЙ ПЕРЕКРЬВАЮЩИМИСЯ МОЛАМИ

4.1. Под перекрывающимися молами в настоящем руководстве следует понимать два последовательно расположенных прямолинейных мола (рис.4.1) в случае, когда голова мола 2 лежит в зоне дифракции мола I (в зоне набегающих на мол 2 прямолинейных волн или на линии волновой тени мола I).

4.2. Расчет коэффициентов дифракции $k_{dif,z}$ на акватории, огражденной перекрывающимися молами, надлежит выполнять в расчётной области D_c (рис.4.2), получаемой из физической области D (рис. 4.1) по рекомендациям п. 4.3, по формулам раздела 4.4. Расчет надлежит вести в безразмерных координатах $x = X/\lambda$, $y = Y/\lambda$ (X, Y координаты, имеющие размерность длины, $\lambda, м$ - длина исходной волны),

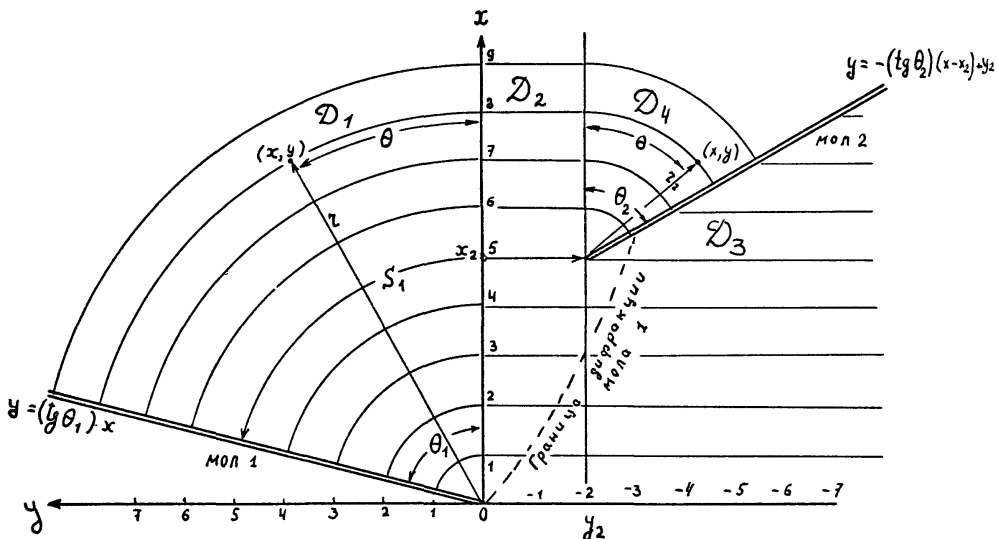


Рис. 4.1. Схема физической области \mathcal{D} дифракции волн перекрывающимися молами.

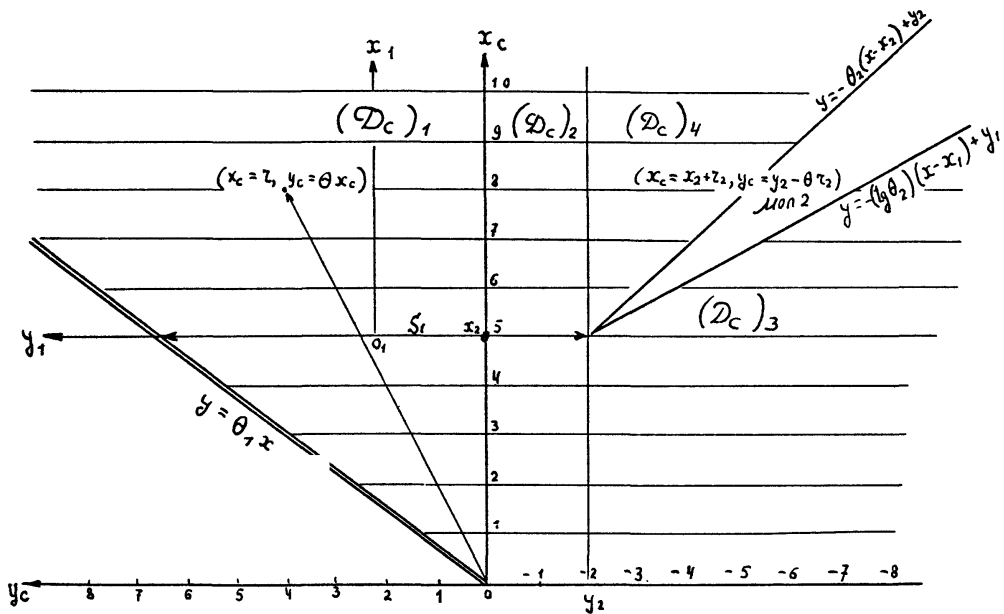


Рис. 4.2. Схема расчетной области \mathcal{D}_c дифракции волн перекрывающимися молами.

где ось X совпадает с направлением начального распространения волн. Начало координат совпадает с головой мола I.

4.3. При дифракции волн двумя перекрывающимися молами физическую область $\mathcal{D} (x > 0, (\operatorname{tg} \theta_1)x \geq y > -\infty)$, (рис.4.1), где $y = (\operatorname{tg} \theta_1)x$ - уравнение мола I, $\theta_1, \operatorname{rag}$ - угол между осью мола I и осью X , следует разделить на четыре зоны: \mathcal{D}_1 - зона тени мола I: $(x > 0, (\operatorname{tg} \theta_1)x \geq y > 0)$; \mathcal{D}_2 - зона набегающих волн между границей волновой тени мола I и границей волновой тени мола 2, продолженной до оси y : $(x > 0, 0 \geq y \geq y_2)$, где y_2 - координата по оси y головы мола 2; \mathcal{D}_3 - зона волн, набегающих на внешнюю грань мола 2: $(-(y - y_2) \operatorname{ctg} \theta_2 + x_2 \geq x > 0, y_2 > y)$, где x_2 - координата по оси x головы мола 2, $\theta_2, \operatorname{rag}$ - угол между осью X и осью мола 2; \mathcal{D}_4 - зона волновой тени мола 2: $(x > x_2, y_2 > y \geq -(x - x_2) \operatorname{tg} \theta_2 + y_2)$.

Примечание. При $y_2 = 0$ существует только три зоны: $\mathcal{D}_1, \mathcal{D}_3, \mathcal{D}_4$.

4.3.1. Переход от физической области дифракции \mathcal{D} на плоскости xOy к расчётной области $\mathcal{D}_c (x_c > 0, \theta, x_c \geq y_c > -\infty)$ (рис.4.2), надлежит осуществлять по следующим правилам:

Каждой точке (x, y) зоны \mathcal{D}_1 следует ставить в соответствие точку (x_c, y_c) с координатами

$$x_c = r, \quad y_c = \theta x_c, \quad (4.1)$$

где $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $\theta = \operatorname{arctg} \frac{y}{x}$ (4.2)

- полярные координаты точки x, y в \mathcal{D}_1 . При этом преобразовании зона \mathcal{D}_1 области \mathcal{D} перейдет в зону $(\mathcal{D}_c)_1 (x_c > 0, \theta, x_c \geq y_c > 0)$ области \mathcal{D}_c ; дуги радиуса r : $0 < r \leq \theta_1 r$, отвечающие в \mathcal{D}_1 кольцевым фронтам волн в зоне тени, перейдут в $(\mathcal{D}_c)_1$ в отрезки прямых: $x_c = r, \theta, x_c \geq y_c \geq 0$ с сохранением длины; волновой луч длины r , соединяющий в \mathcal{D}_1 голову мола I с

точкой с полярными координатами $(r, \theta r)$, перейдёт в $(D_c)_1$ в отрезок прямой длины $r\sqrt{1+\theta^2}$, соединяющий начало координат с точкой $(x_c = r, y_c = \theta x_c)$; уравнение мола 1 в $(D_c)_1$ приобретает вид: $y_c = \theta_1 x_c$.

Точки (x, y) зоны D_2 останутся неизменными.

Точки (x, y) зоны D_3 также останутся неизменными. Уравнение внешней грани мола 2 в $(D_c)_3$ сохранит вид:

$$y_c = -(x_c - x_2) \operatorname{tg} \theta_2 + y_2.$$

Каждой точке (x, y) зоны D_4 с полярными координатами $(r_2, -\theta r_2)$, где

$$r_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}, \quad \theta = -\operatorname{arctg} \frac{y - y_2}{x - x_2}, \quad (4.3)$$

$$0 \leq \theta \leq \theta_2$$

следует ставить в соответствие точку (x_c, y_c) с декартовыми координатами

$$x_c = x_2 + r_2, \quad y_c = y_2 - \theta r_2. \quad (4.4)$$

При этом преобразовании зона D_4 перейдёт в зону $(D_c)_4$ ($x_c > x_2$, $y_2 > y_c > -\theta_2(x_c - x_2)$); дуги радиуса r_2 : $0 \geq \theta \geq \theta_2$ в зоне D_4 перейдут в $(D_c)_4$ в отрезки прямых: $x_c - x_2 = r_2$, $y_2 \geq$

$y_c \geq -\theta_2(x_c - x_2)$ с сохранением длины; волновой луч длины r_2 , соединяющий в D_4 голову мола 2 с точкой с полярными координатами $(r_2, -\theta r_2)$, перейдёт в отрезок прямой длины $r_2\sqrt{1+\theta_2^2}$, соединяющий голову мола 2 с точкой $(x_c = x_2 + r_2, y_c = y_2 - \theta(x_c - x_2))$; уравнение внутренней грани мола 2 в $(D_c)_4$ приобретает вид:

$$y_c = -\theta_2(x_c - x_2) + y_2.$$

Мол 2 в расчётной области D_c перейдёт в клин, образованный прямыми $y_c - y_2 = -\theta_2(x_c - x_2)$ - уравнение внутренней грани - и $y_c - y_2 = -(x_c - x_2) \operatorname{tg} \theta_2$ - уравнение внешней грани (при $x_c \geq x_2$) (рис.4.2).

4.3.2. Расчёт дифракции в области \mathcal{D}_c при $x_c > x_2$ следует проводить в координатах (x_1, y_1) , где

$$x_1 = x_c - x_2, \quad y_1 = y_c - \frac{s_1}{2} - y_2, \quad (4.5)$$

где

$$s_1 = \theta_1 x_2 - y_2$$

- длина начального расчётного фронта для области $(x_1 > 0, \frac{s_1}{2} + \theta_1 x_1 \geq y_1 \geq -\frac{s_1}{2} - \theta_2 x_1)$. Уравнения молов в части области \mathcal{D}_c определяемой неравенством $x_c > x_2$, имеют вид:

$$y_1 = -\frac{s_1}{2} - \theta_2 x_1, \quad (\text{правый мол}) \quad (4.6)$$

$$y_1 = \frac{s_1}{2} + \theta_1 x_1. \quad (\text{левый мол}) \quad (4.7)$$

4.4. Расчёт коэффициентов дифракции в области .

4.4.1. Коэффициенты дифракции $k_{dif,s}$ в области \mathcal{D}_c при $x_c \leq x_2$ следует определять вначале в физической области согласно рекомендациям раздела 2 в системе координат п.4.2. Полярные координаты (γ, θ) в зоне волновой тени мола I (рис.4.1) следует переписать в декартовы координаты (x_c, y_c) в области \mathcal{D}_c по формулам п.4.3.

4.4.2. Квадрат коэффициента дифракции $k_{dif,r} = k_{dif,r}(x_1, y_1)$ в расчётной точке (x_1, y_1) области \mathcal{D}_c надлежит определять по формуле

$$k_{dif,r}^2 = k_{s_1}^2(x_1, y_1) \pm k_{s_1, \theta_1}^2(x_1, y_1) \pm k_{s_1, \theta_2}^2(x_1, y_1), \quad (4.8)$$

где $k_{s_1}^2$ - часть энергии дифрагированной волны (отнесенной к величине энергии исходной волны на подходе к порту), которая зависит только от размеров расчётного фронта s_1 и распределения на нём волновой энергии; k_{s_1, θ_i}^2 , $i = 1, 2$ - части энергии, зависящие от расположения и типа левого и правого молв. Знак "плюс" отвечает

молу, отражающему волновую энергию, а "минус" - поглощающему.

4.4.3. Значения $k_{s_1}^2(x_1, y_1)$, $k_{s_1, \theta_1}^2(x_1, y_1)$, $k_{s_1, \theta_2}^2(x_1, y_1)$ необходимо определять по формулам:

$$k_{s_1}^2(x_1, y_1) = \frac{\beta}{2} [\Phi(z_1) + \Phi(z_2)] + \\ + \frac{y_1}{2} [\alpha_1 \Phi(z_1) + \alpha_2 \Phi(z_2) - (\alpha_1 - \alpha_2) \Phi(z_3)] + \\ + \frac{\sqrt{x_1}}{\pi} [\alpha_1 \exp(-z_1^2) - \alpha_2 \exp(-z_2^2) - (\alpha_1 - \alpha_2) \exp(-z_3^2)], \quad (4.9)$$

$$k_{s_1, \theta_1}^2(x_1, y_1) = \frac{1}{2} \exp[(z_2 + z_4)^2 - z_2^2] \times \\ \times \left\{ \left[\beta + \alpha_2 \frac{s_1}{2} + 2\alpha_2 \frac{\sqrt{x_1}}{\sqrt{\pi}} (z_2 + z_4) \right] \times \right. \\ \times \left. \left[1 - \Phi(z_2 + z_4) \right] - \right. \\ \left. - 2\alpha_2 \frac{\sqrt{x_1}}{\pi} \exp(-(z_2 + z_4)^2) \right\}, \quad (4.10)$$

$$k_{s_1, \theta_2}^2(x_1, y_1) = \frac{1}{2} \exp[(z_1 + z_5)^2 - z_1^2] \times \\ \times \left\{ \left[\beta - \alpha_1 \frac{s_1}{2} - 2\alpha_1 \frac{\sqrt{x_1}}{\sqrt{\pi}} (z_1 + z_5) \right] \times \right. \\ \times \left. \left[1 - \Phi(z_1 + z_5) \right] + \right. \\ \left. + 2\alpha_1 \frac{\sqrt{x_1}}{\pi} \exp(-(z_1 + z_5)^2) \right\}, \quad (4.11)$$

где $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-t^2) dt$ -
табулированный интеграл ошибок,

$$z_1 = \frac{s_1/2 + y_1}{2} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{x_1}}, \quad z_2 = \frac{s_1/2 - y_1}{2} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{x_1}}, \\ z_3 = \frac{y_1 \sqrt{\pi}}{2 \sqrt{x_1}}, \quad z_4 = \theta_1 \sqrt{\pi x_1}, \quad z_5 = \theta_2 \sqrt{\pi x_1}. \quad (4.12)$$

Коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ надлежит определять по формулам:

$$\alpha_1 = \frac{E_0^1(0) - E_0^1(-\frac{3}{8}S_1)}{\frac{3}{8}S_1},$$

$$\alpha_2 = \frac{E_0^1(\frac{3}{8}S_1) - E_0^1(0)}{\frac{3}{8}S_1},$$

(4.13)

$$\beta = E_0^1(0),$$

где $E_0^1(y_1)$ - начальное распределение энергии на фронте S_1' .

$E_0^1(y_1)$ надлежит определять по формуле

$$E_0^1(y_1) = k_{diff}^2(x_2, y_1),$$

(4.14)

где $k_{diff}^2(x_2, y)$ - коэффициент дифракции, рассчитанный для области $(x \leq x_2)$ согласно п. 4.4.1.

Примечание 1. При $Z \gg 2.5$ $\Phi(z)$ рекомендуется определять по формуле:

$$\Phi(z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{z} \exp(-z^2).$$

(4.15)

Примечание 2. При $Z_2 + Z_4 \gg 2.5, Z_1 + Z_5 \gg 2.5$ рекомендуется определять k_{S_i, θ_i}^2 ($i=1, 2$) по формулам

$$k_{S_1, \theta_1}^2 = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{\beta + \alpha_2 \frac{S_1^2}{2}}{Z_2 + Z_4} \exp(-Z_2^2),$$

(4.16)

$$k_{S_1, \theta_2}^2 = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{\beta - \alpha_1 \frac{S_1^2}{2}}{Z_1 + Z_5} \exp(-Z_1^2).$$

(4.17)

4.5. Расчет коэффициентов дифракции в области D_c позволяет одновременно получить значения этих коэффициентов в области D , т.к. каждой расчетной точке физической области D согласно п. 4.3 однозначно сопоставима точка области D_c .

Зав. сектором морской гидравлики,
д.ф.-м.н., профессор



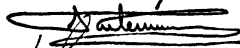
Ю. М. Крылов

Ст. научный сотрудник, к.г.н.



А. В. Монахов

Ст. инженер



Б. Г. Галенин

Нормоконтроль



В. И. Ярошенко

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(рекомендуемое)

Г Р А Ф И К И
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФРАКЦИИ
ВЕТРОВЫХ ВОЛН

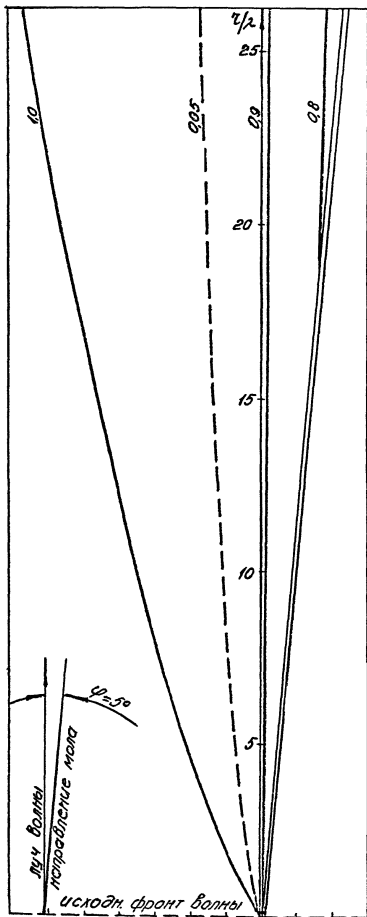


Рис. П.І.І. График для определения коэффициентов дифракции $k_{dif,s}$ для угла $\varphi = 5^\circ$.

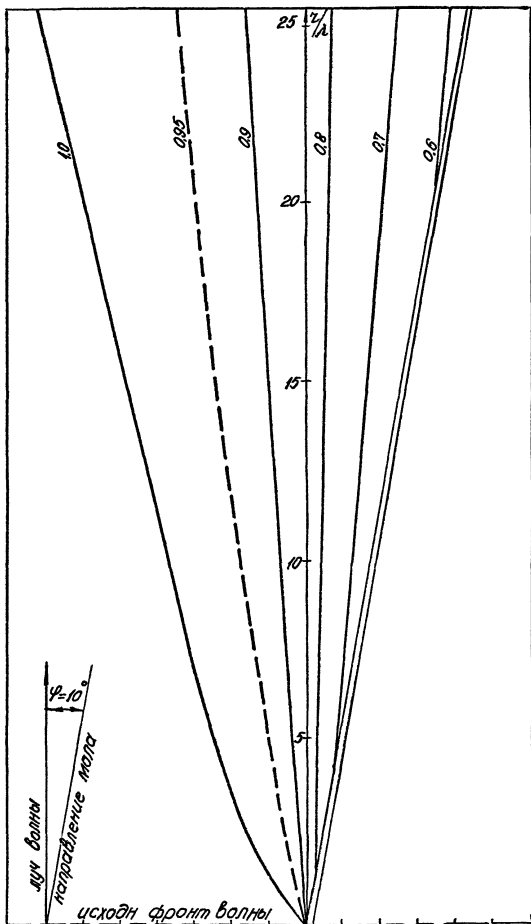


Рис. П.І.2. График для определения коэффициентов дифракции $k_{dif,s}$ для угла $\psi = 10^\circ$.

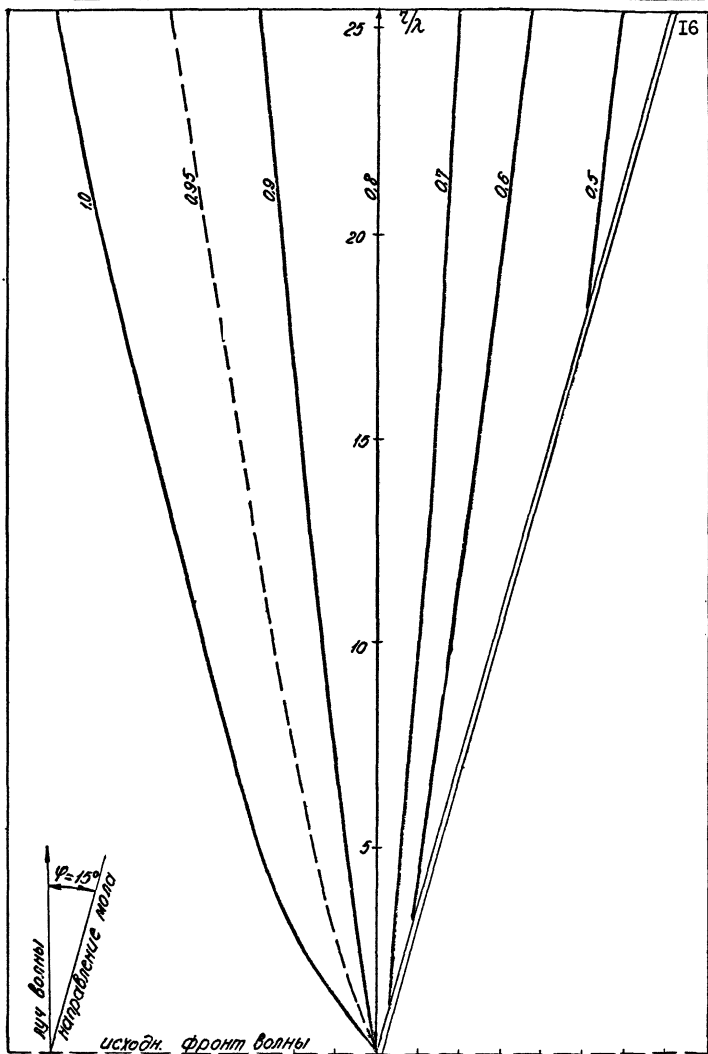


Рис. П.Г.3. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для угла $\varphi = 15^\circ$.

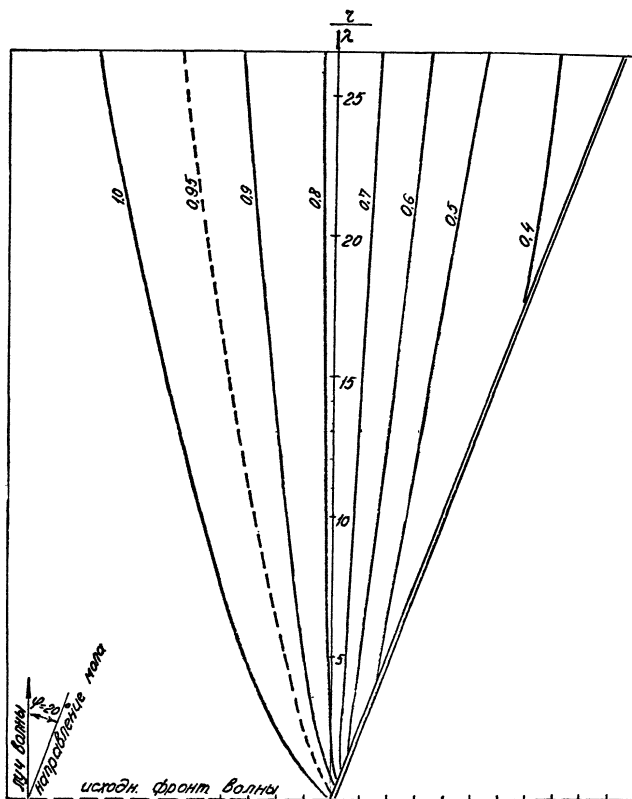


Рис П.1.4. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для $\psi = 20^\circ$.

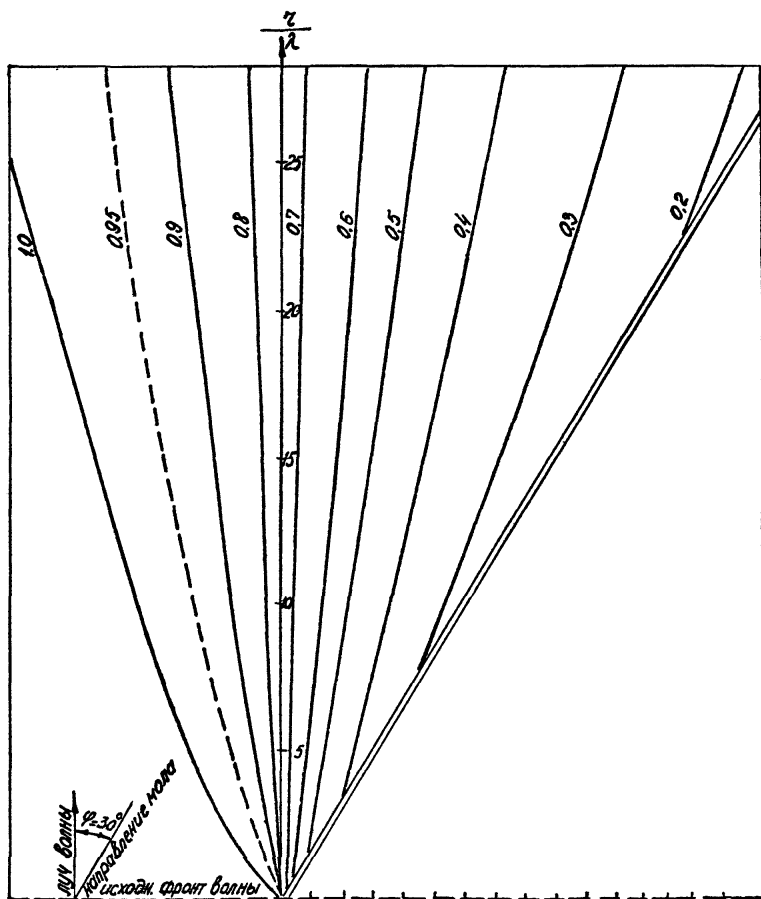


Рис. П. I. 5. График для определения коэффициента дифракции k_{difs} для угла $\varphi = 30^\circ$.

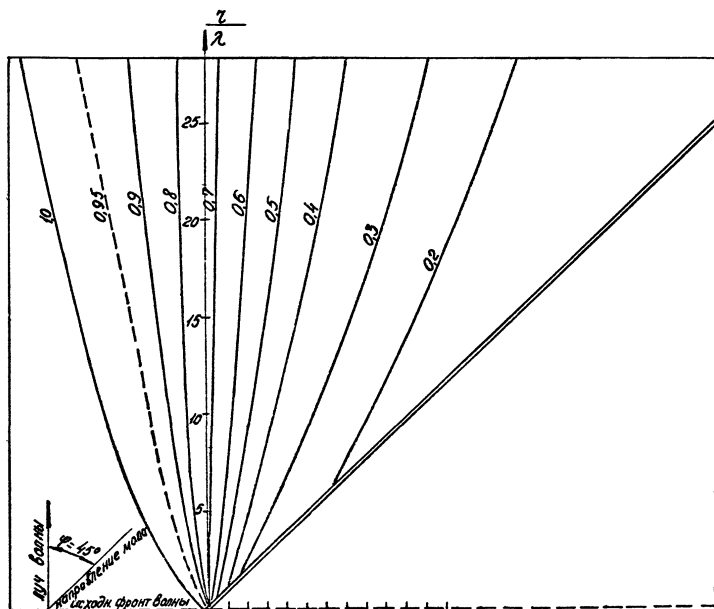


Рис. П. I. 6. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для угла $\psi = 45^\circ$.

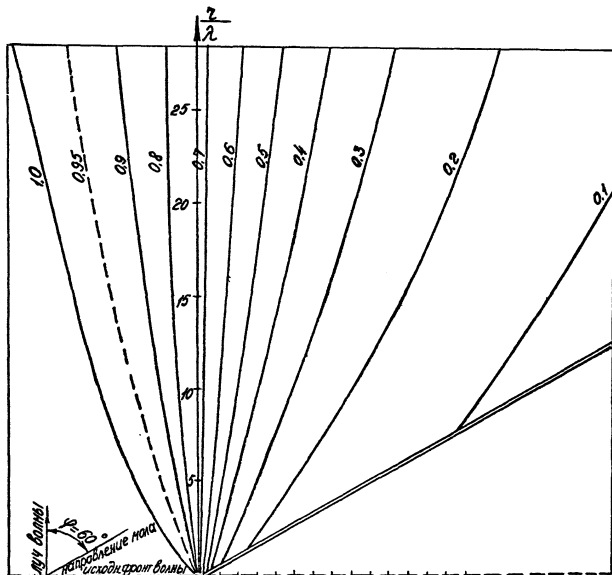


Рис. П.1.7. График для определения коэффициента дифракции k_{difs} для $\psi = 60^\circ$.

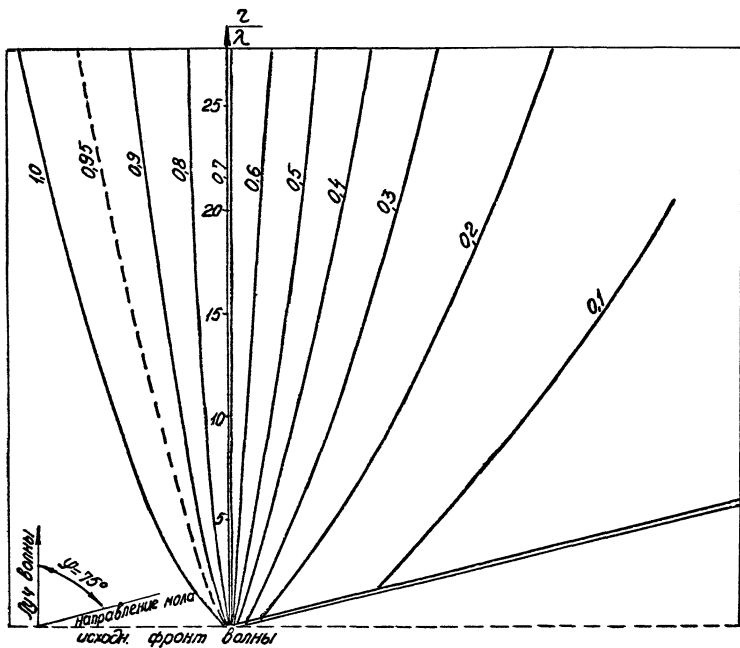


Рис. П.1.8. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для угла $\psi = 75^\circ$.

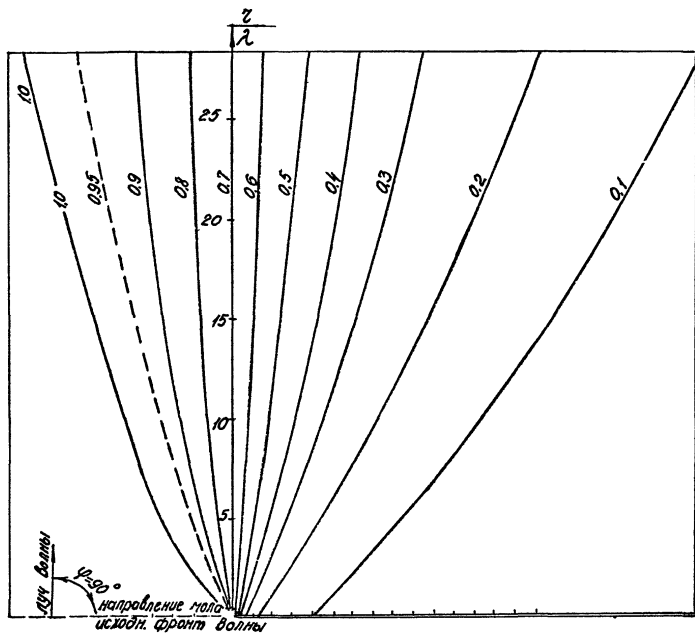


Рис. П.1.9. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для $\psi = 90^\circ$.

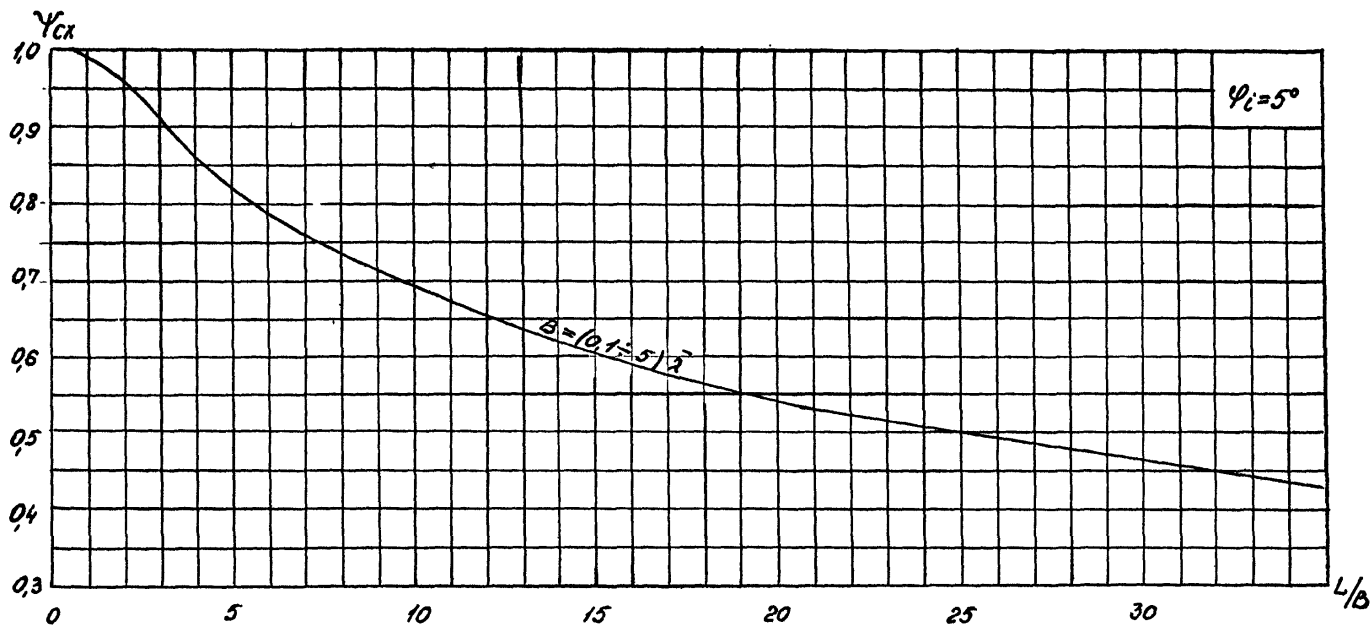


Рис. П. I. IO. График для определения коэффициента $\psi_{сх}$ при угле $\psi = 5^\circ$.

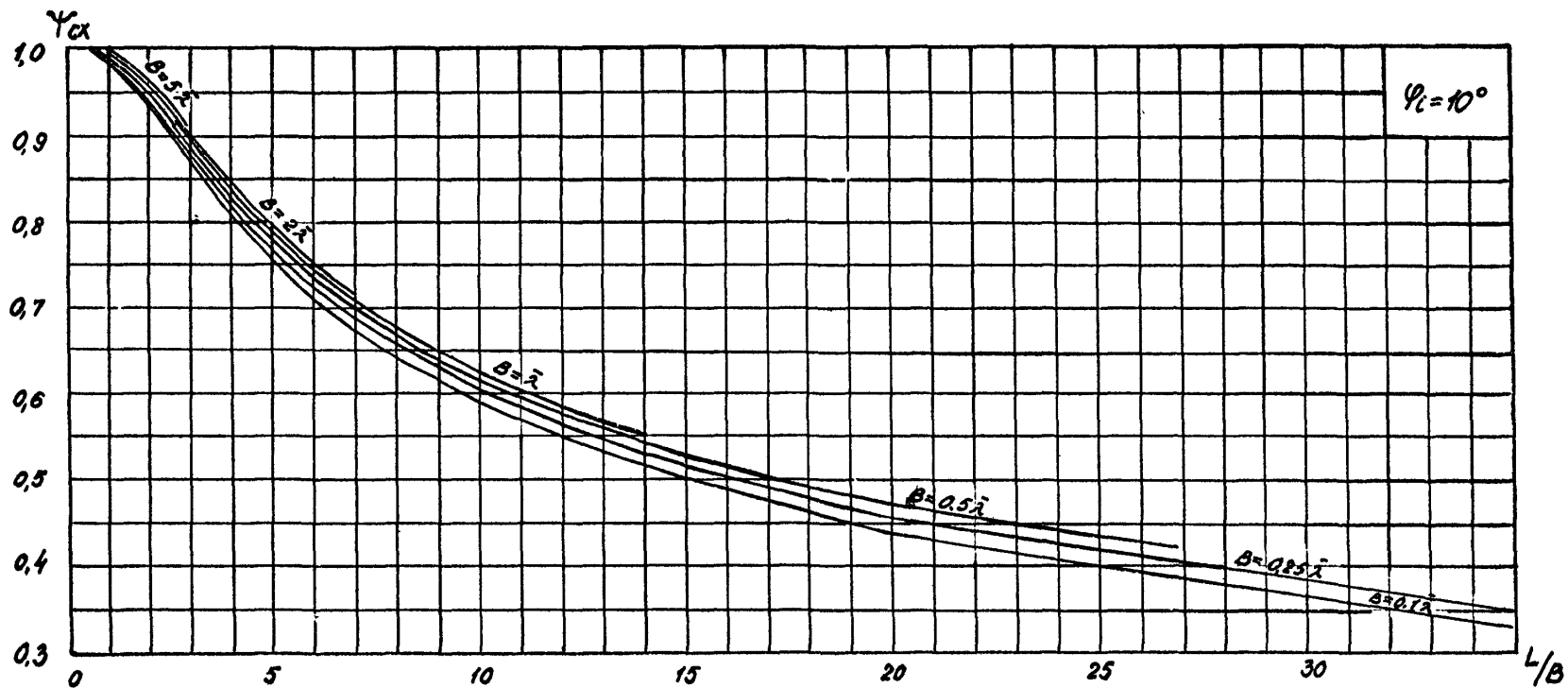


Рис. П. I. II. График для определения коэффициента χ_c при угле $\psi = 10^\circ$.

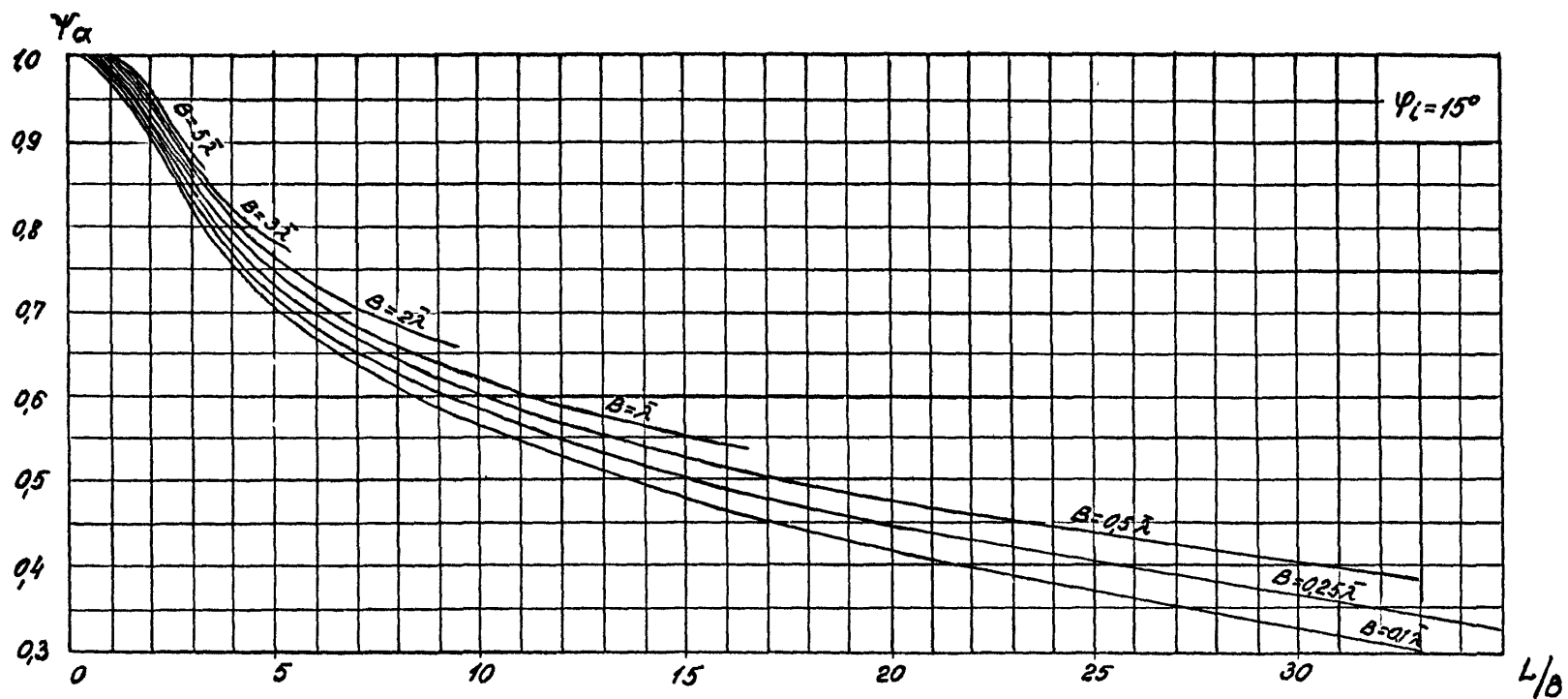


Рис. П.І.12. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\psi = 15^\circ$.

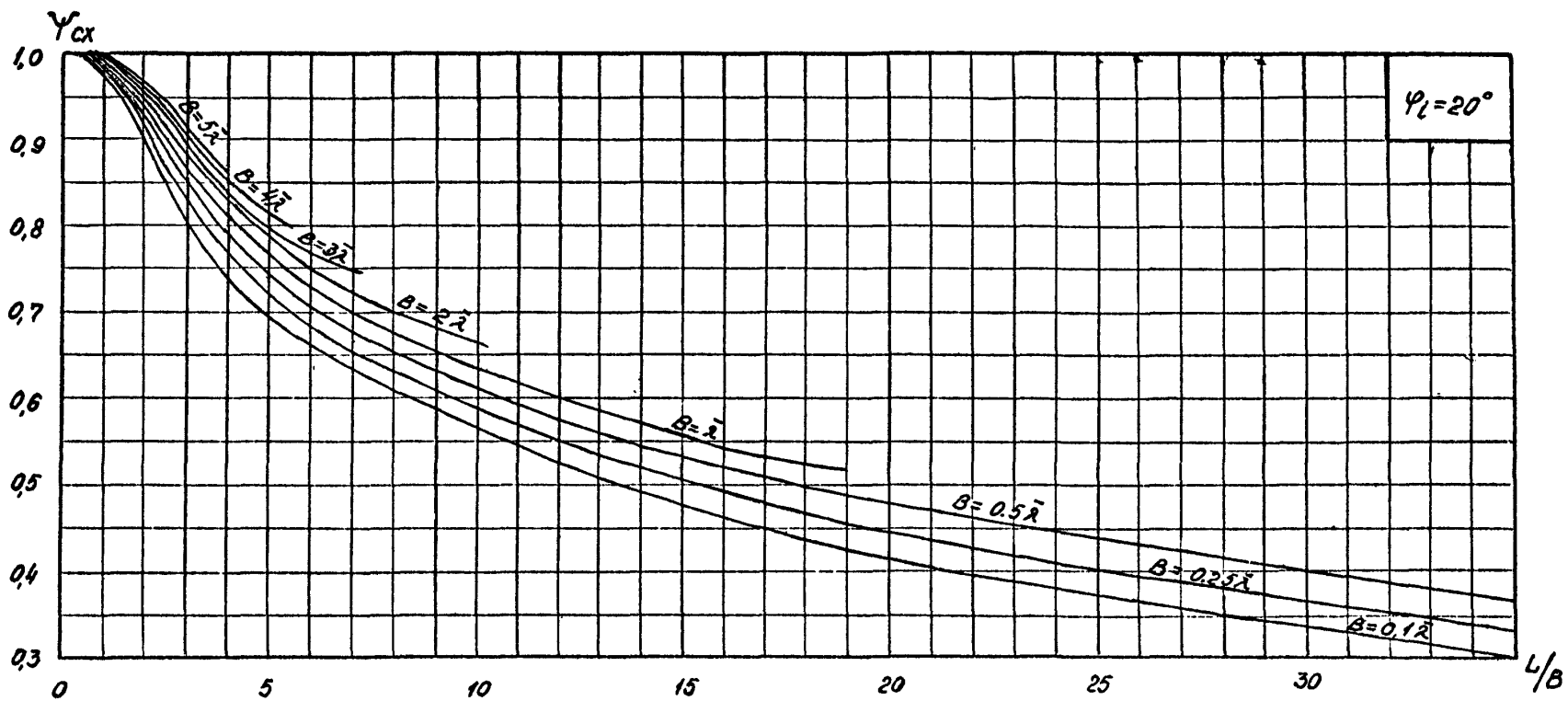


Рис. П. 1.13. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\psi = 20^\circ$.

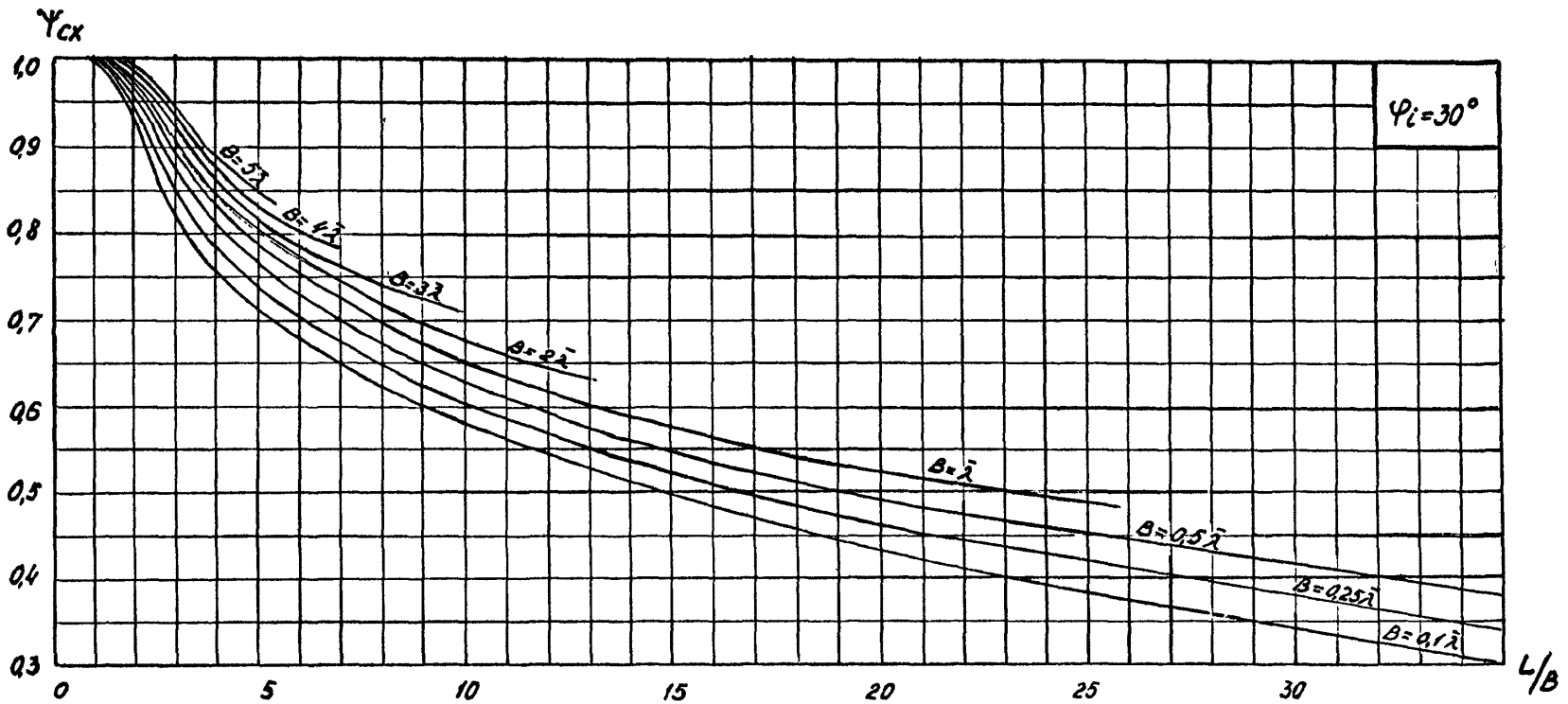


Рис. П.Г.ИИ. График для определения коэффициента $\gamma_{сх}$ при угле $\varphi = 30^\circ$.

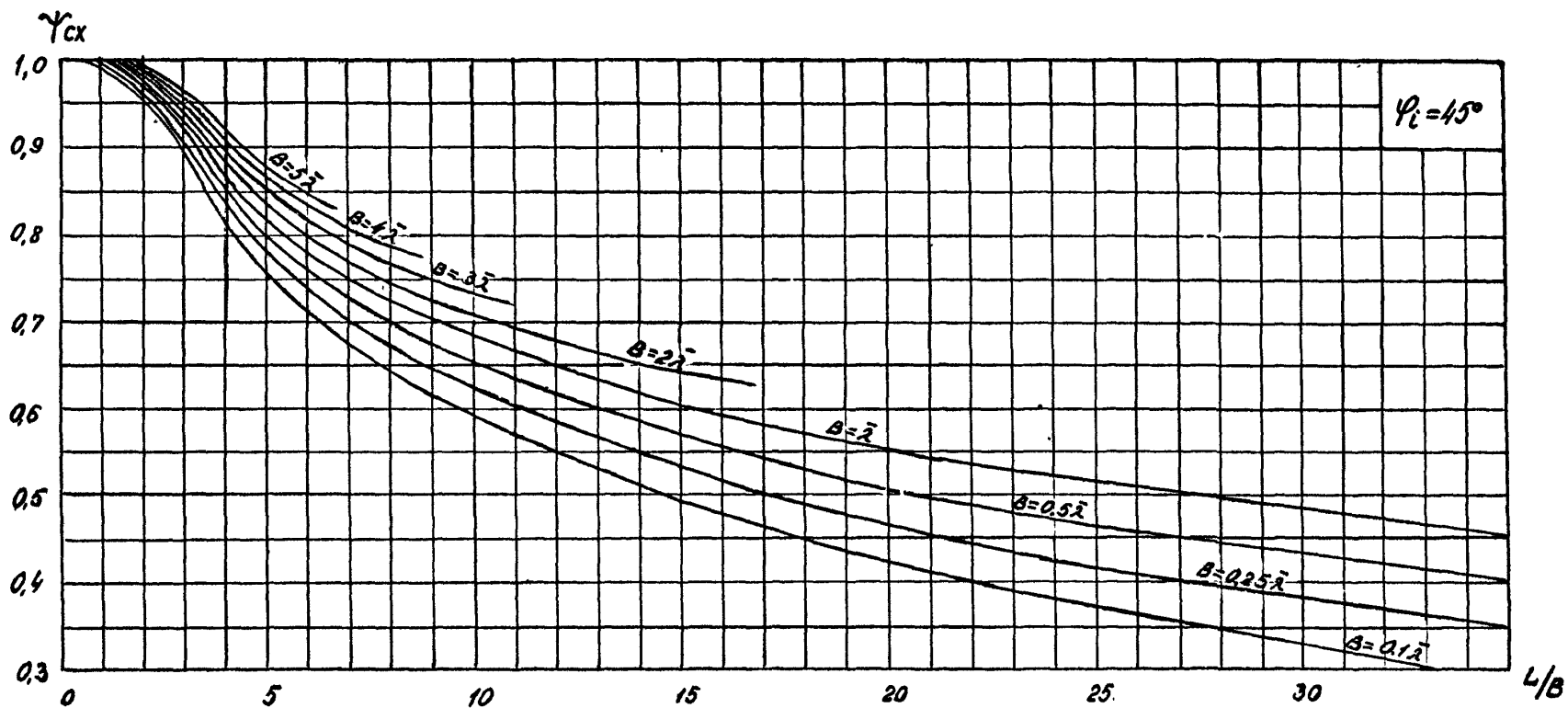


Рис. П.1.15. График для определения коэффициента γ_c при угле $\varphi = 45^\circ$.

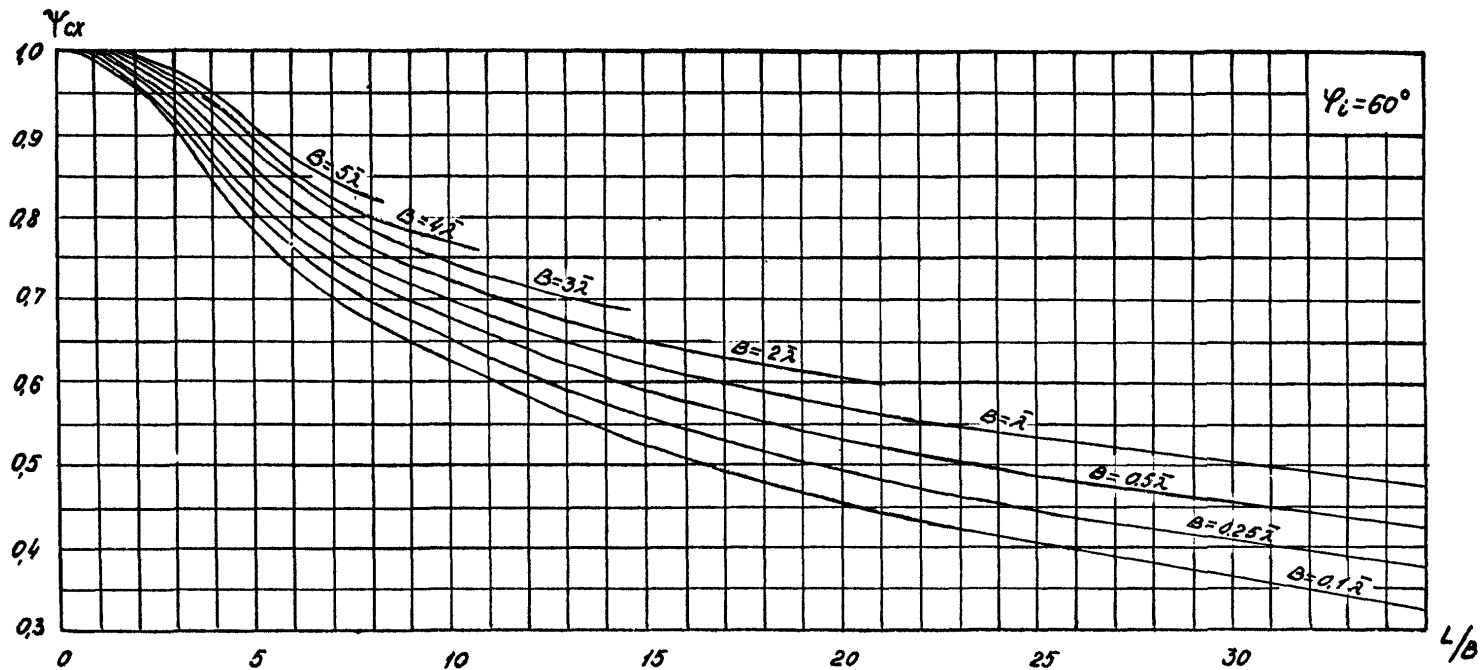


Рис. П.І.ІБ. График для определения коэффициента γ_c при угле $\psi = 60^\circ$.

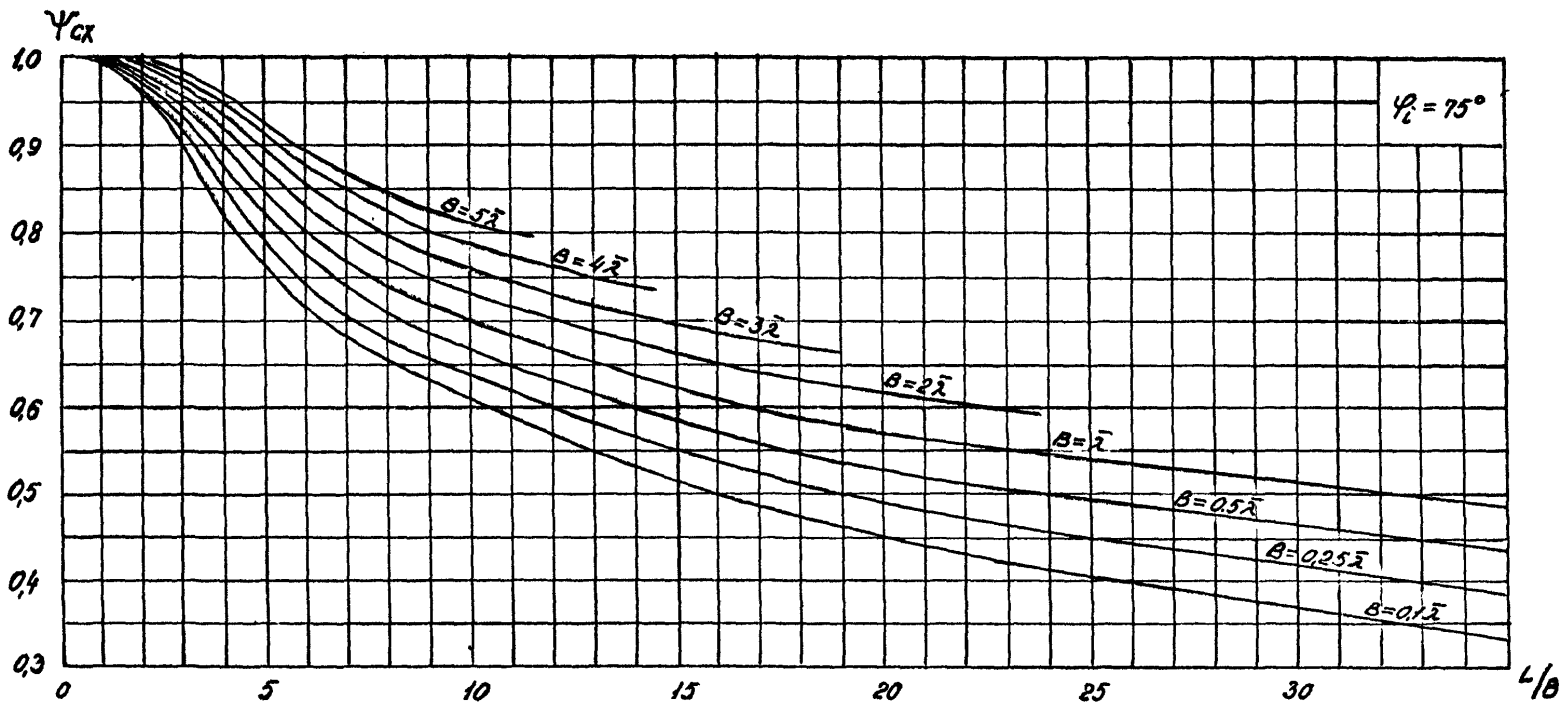


Рис. П.І.17. График для определения коэффициента Ψ_c при угле $\varphi = 75^\circ$.

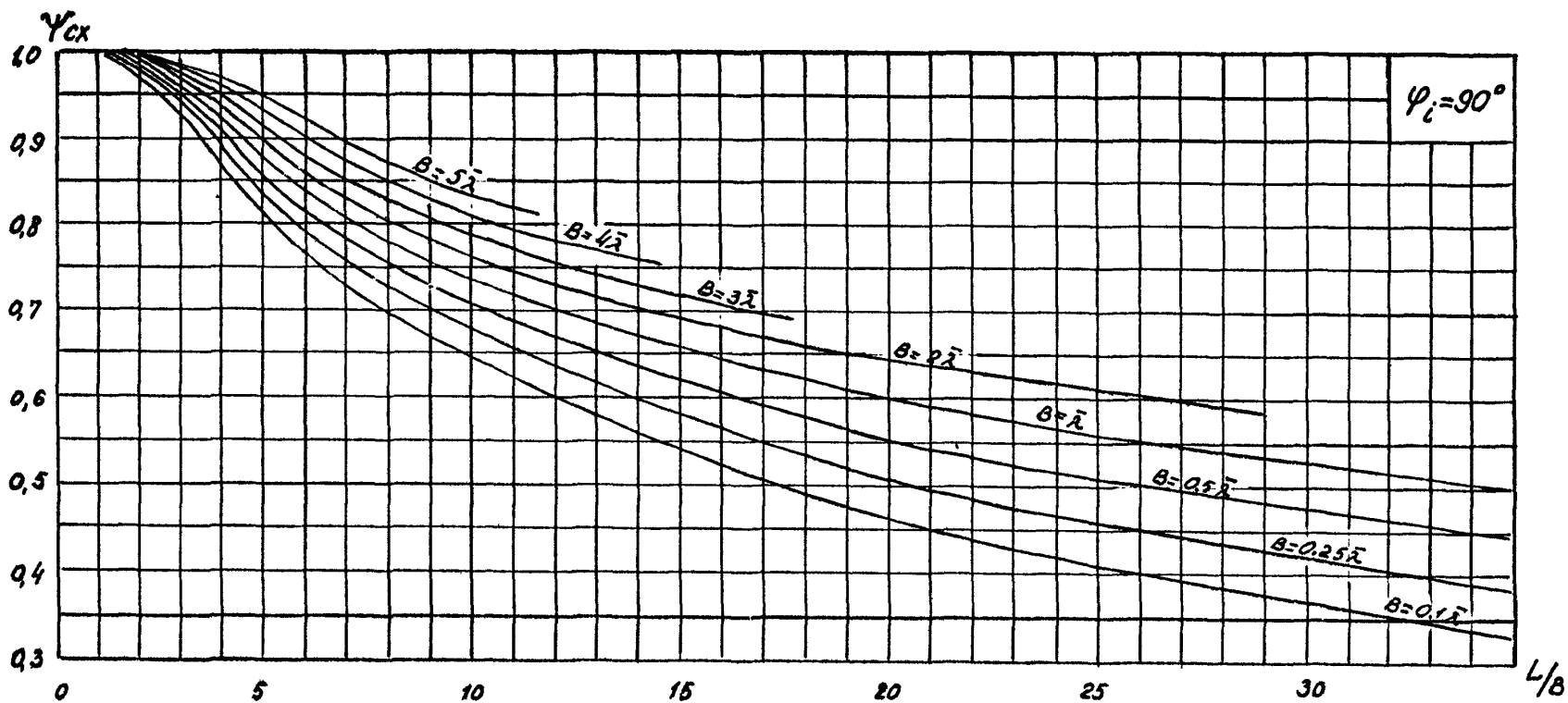


Рис. П. I. 18. График для определения коэффициента Ψ_c при угле $\varphi = 90^\circ$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(рекомендуемое)

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ВЫСОТ ВОЛН НА АКВАТОРИИ ПОРТА

В приведенных ниже примерах рассмотрены характерные случаи вычисления коэффициентов дифракции волн. Высоты волн на акватории определяются произведением высоты исходной волны на соответствующий коэффициент дифракции, формула (I.1). Приведенная в примере 4 таблица коэффициентов дифракции (план акватории) получена на печатающем устройстве ЭВМ; линии молов и изолинии коэффициентов дифракции проведены вручную.

Пример 1. Определить коэффициент дифракции на акватории, огороженной одиночным прямолинейным молотом. Длина волны $\bar{\lambda} = 70$ м. Угол подхода волн к молу $\psi = 90^\circ$. Расчетная точка имеет координаты: 910 м от головы мола по лучу волнения (по границе волновой тени) и 140 м от границы волновой тени по нормали к ней в сторону мола (рис. п.2.1).

Решение. Выражаем координаты расчетной точки в виде отношения расстояний к длине волны — получаем 13,0 и 2,0, соответственно. Находим на графике (рис. п.1.9 в приложении I) расчетную точку и снимаем величину коэффициента дифракции $K_{dф,с} = 0,51$.

Пример 2. Определить коэффициент дифракции в точке I акватории, огороженной криволинейным молотом в форме дуги окружности радиусом 350 м, сопряженной с прямой линией (рис. п.2.2). Длина волны $\bar{\lambda} = 70$ м. Координаты расчетной точки: 910 м от головы мола по границе волновой тени и 140 м по нормали к границе волновой тени в сторону мола.

Решение. Линия расчетного створа, проходящего через точку I,

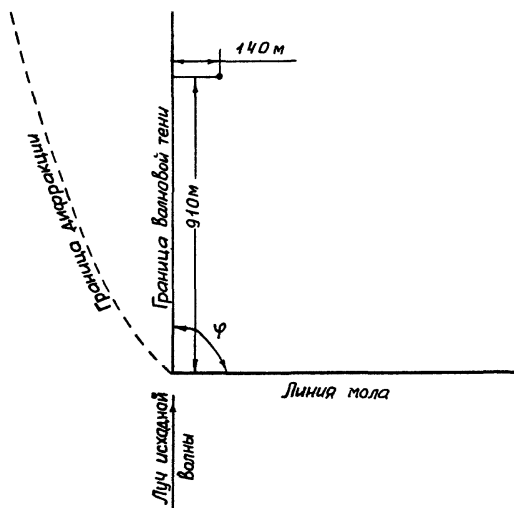


Рис П.2.1 . Схема к примеру расчета коэффициентов дифракции на акватории, огражденной одиночным прямолинейным молотом.

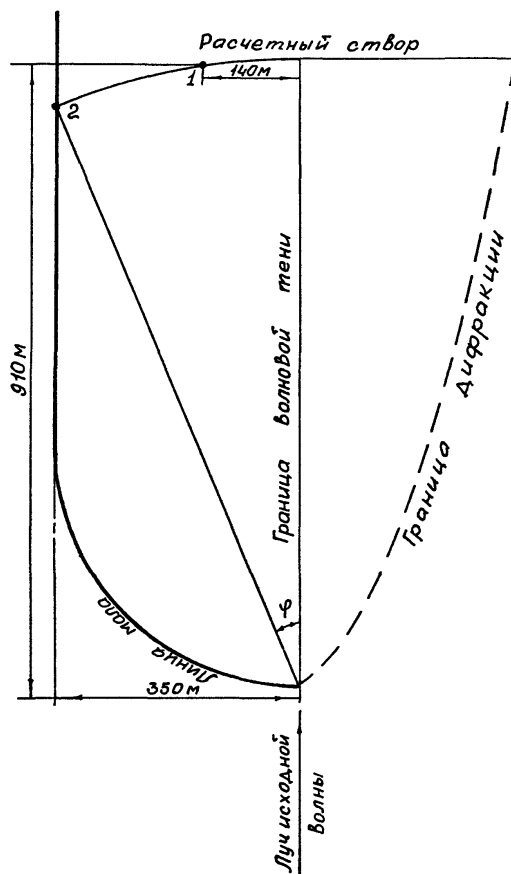


Рис. П.2.2. Схема к ^{примеру} расчету коэффициентов дифракции на акватории, огражденной одиночным криволинейным в плане молом.

пересекает линию криволинейного мола в точке 2. Линия аппроксимирующего прямолинейного мола проводится из головы криволинейного мола в точку 2. Образовавшийся угол между направлением волнения и линией прямолинейного мола равен приблизительно 22° . Находим на графике (рис. п.1.4. в приложении I) расчётную точку по безразмерным координатам ($910\text{м}/70\text{м} = 13,0$ и $140\text{м}/70\text{м} = 2,0$) и снимаем величину коэффициента дифракции $K_{дф,с} = 0,58$.

Пример 3. Определить коэффициент дифракции в точке I, расположенной на экватории, огражденной прямолинейными сходящимися молами, как показано на рис. п.2.3. Длина волны $\bar{\lambda} = 70 \text{ м}$.

Решение. Определим коэффициент дифракции $K_{дф,с}$ в точке I по параметрам мола I. Разделив соответствующие расстояния на длину волны, получим координаты точки I относительно мола I ($910\text{м}/70\text{м} = 13,0$; $140\text{м}/70\text{м} = 2,0$). На графике (рис. п.1.9, приложение I) найдём по координатам точку I, снимем значение коэффициента дифракции $K_{дф,с} = 0,51$ и расстояние $A = 6,2$. Вычислим:

$$L = \frac{\pi \cdot 2 \cdot 90^{\circ}}{180^{\circ}} + A = \frac{3,14 \sqrt{2,0^2 + 13,0^2} \cdot 90^{\circ}}{180^{\circ}} + 6,2 = 26,9,$$

$$B/\bar{\lambda} = 3,0.$$

Принимая во внимание, что расстояние L получено в безразмерном виде, имеем:

$$L/B = 26,9/3,0 = 9,0.$$

По графику на рис. п.1.18 (приложение I) по $B/\bar{\lambda} = 3,0$ и $L/B = 9,0$ найдём $\psi_c = 0,82$. Далее получим

$$K_{дф,с} = K_{дф,с} \cdot \psi_c = 0,51 \cdot 0,82 = 0,42.$$

Пример 4. В условиях предыдущего примера рассчитать поле коэффициентов дифракции.

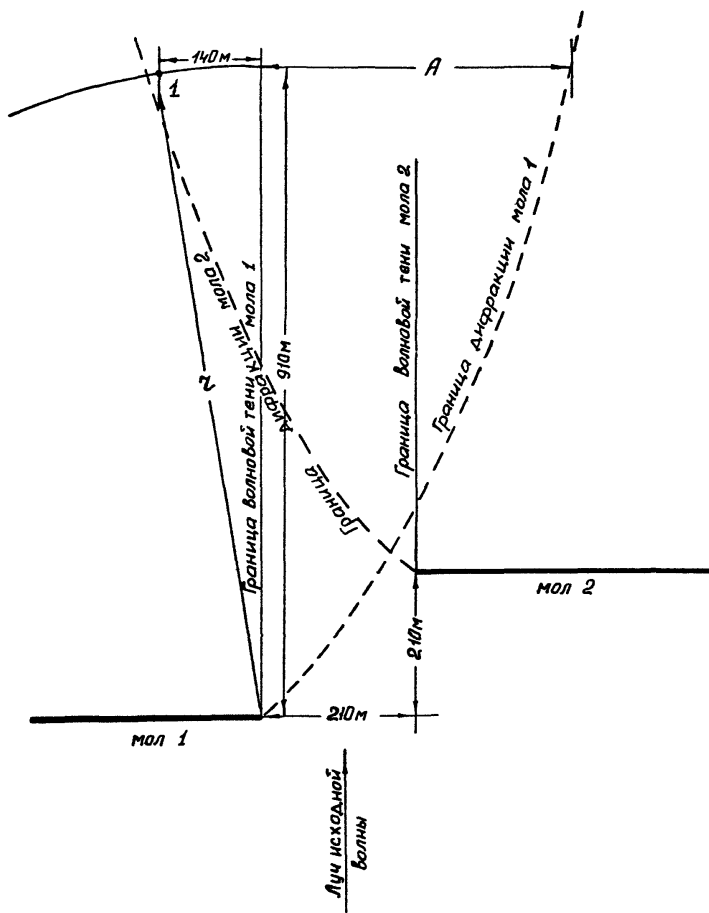


Рис. П.2.3. Схема к примеру расчета коэффициента дифракции на акватории, огражденной сходящимися молами.

Решение. Задаются следующие исходные данные (рис. П.2.4):
 $KE = 13$; $NE = 17$; $KH1 = 7$; $NH1 = 3$; $AKH2 = 4.00$; $ANH2 = 6.00$; $ALFA1 = 90.00(\text{cp})$;
 $ALFA2 = -90.00(\text{cp})$; $ALFA3 = 0.00(\text{cp})$; $DL = 70.00(\text{m})$; $ALAMDA = 70.00(\text{m})$;
 $ICONTR = 10$ (промежуточные результаты не печатаются). Эти данные
 перфорируются на одну перфокарту в следующем виде (знак " _ " обозначает пробел).

_13_17_7_3_4.00_6.00_90.00_-90.00_0.00_70.00_70.00_10
 В результате работы программы (приложение 3) печатается план со значениями коэффициентов дифракции (рис. П.2.5).

Пример.5. Определить коэффициент дифракции в точке P на акватории, ограждённой перекрывающимися молами, как показано на рис. П.2.6. Расчёт ведётся в безразмерных координатах, отнесённых к длине волны, в расчётной области D_c (см. п.4).

Решение. Физической области D соответствует расчётная область D_c , изображенная на рис. П.2.7. Точка расположена в зоне D_4 . Её декартовы координаты в области D : $(x_p, -\theta_p z_p) = (2, 24 - 1, 04)$. В области D_c точке P соответствует точка P_c с декартовыми координатами $(x_c^p, y_c^p) = (5, 24, -1.04)$. Координаты головы мола 2 совпадают в D и D_c : $(x_2, y_2) = (3, 0)$. Углы $\theta_1 = \theta_2 = \frac{\pi}{2}$. Длина расчётного фронта $S = \theta_1 x_2 - y_2 = \frac{\pi}{2} \cdot 3 = 4.71$. Расчётные координаты (x_1, y_1) в D_c определяют формулами

$$x_1 = x_c - x_2 = x_c - 3, \quad y_1 = y_c - S/2 - y_2 = y_c - 2.36.$$

Уравнение внутренних границ молов 1 и 2 в области D_c при $x_2 > x_1$ в координатах (x_1, y_1) имеют вид:

$$y_1 = -S/2 - \frac{\pi}{2} \cdot x_1, \quad (\text{правый мол}),$$

$$y_1 = S/2 + \frac{\pi}{2} \cdot x_1. \quad (\text{левый мол})$$

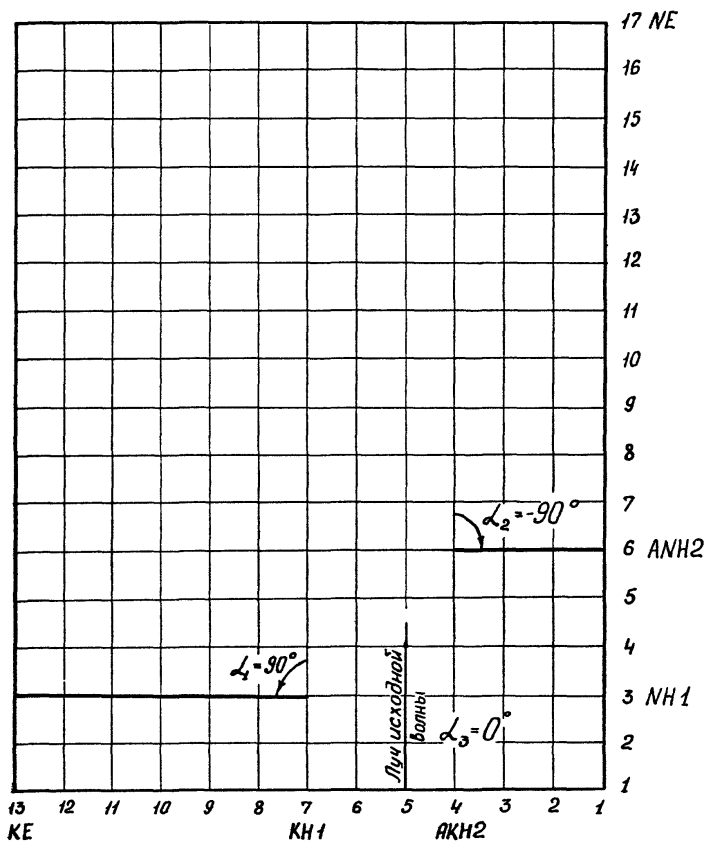


Рис. П.2.4. Пример задания исходных значений для программы расчета коэффициентов дифракции на акватории, огражденной сходящимися молами.

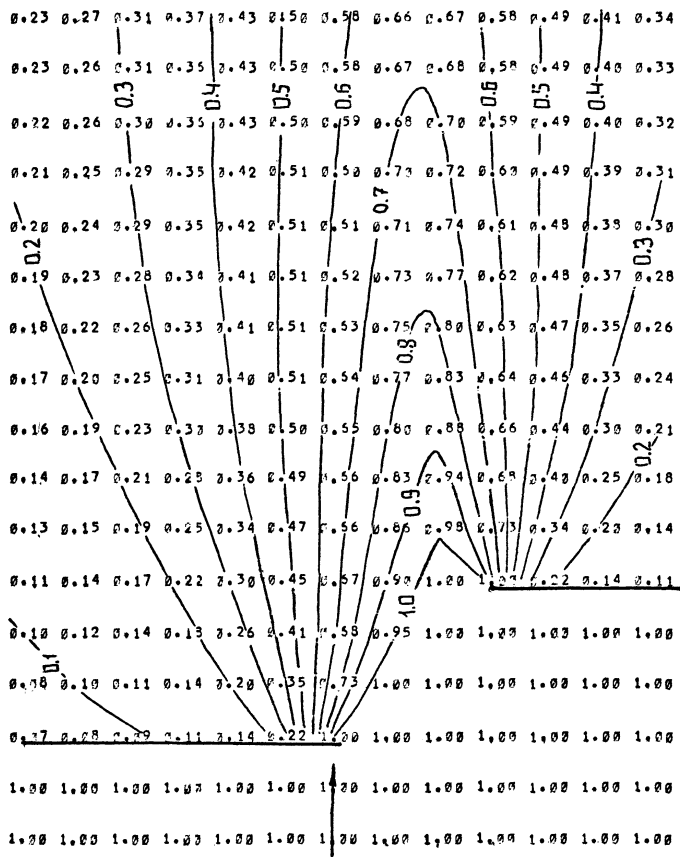
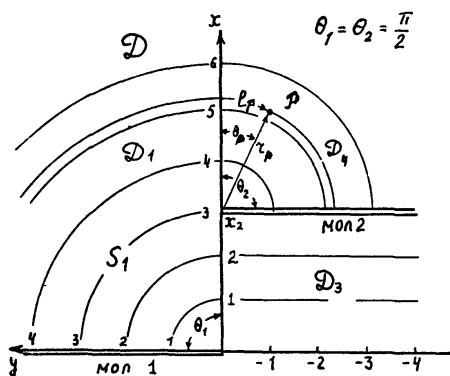


Рис Д.2.5. Коэффициенты дифракции на акватории, огражденной сходящимися молами. Расстояние между узлами сетки $DL = 70$ м, длина волны $\lambda = 70$ м. Стрелкой показано направление исходной волны.



$$x_2 = 3, y_2 = 0$$

$$r_p = 2.236 \approx 2.24$$

$$\theta_p = -\arctg \frac{1}{2} = 0.464$$

$$P(r_p, -\theta_p) = P(2.24, -1.04)$$

$$l_p = -\theta_p r_p = -1.04$$

$$S_1 = x_2 \theta_1 - y_2 = 3 \cdot \frac{\pi}{2} = 4.71$$

Рис. П.2.6. Схема физической области D к примеру расчета коэффициента дифракции на акватории, огражденной перекрывающимися молами.

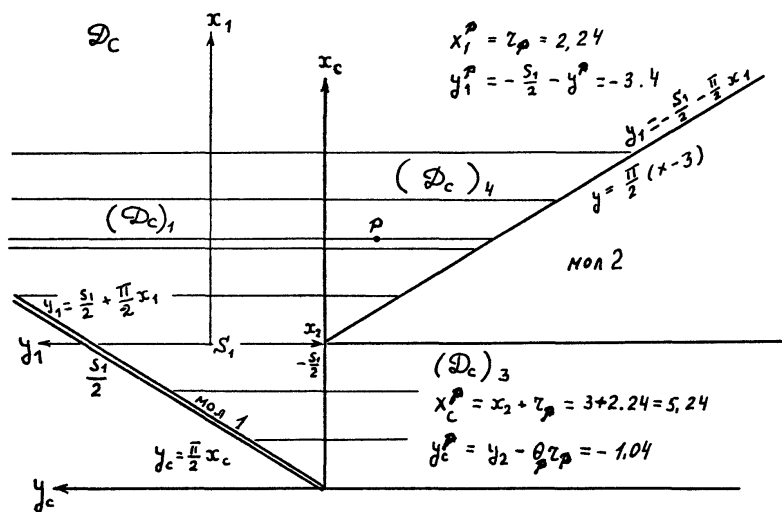


Рис. П.2.7. Схема расчетной области D_c к примеру расчета коэффициента дифракции на акватории, огражденной перекрывающимися молами.

Координаты (x_1, y_1) точки \mathcal{P} : $x_1 = 2,24$; $y_1 = -3,4$. Распределение энергии $E_0^1(y_1)$ на фронте S_1 , рассчитанное согласно требованиям п.4.4.1, приведено на рис. п.2.8. Коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ равны: $\alpha_1 = -0,161$; $\alpha_2 = -0,028$; $\beta = 0,065$.

Значения переменных Z_i ($i = 1, \dots, 5$) в точке \mathcal{P} :

$$Z_1 = -0,62; Z_2 = 3,4; Z_3 = -2,01; Z_4 = 4,17; Z_5 = 4,17;$$

$$Z_2 + Z_4 = 7,57; Z_1 + Z_5 = 3,55.$$

Расчет квадрата коэффициента дифракции $k_{diff, z}^2(2,24; -3,4)$ в точке \mathcal{P} ведем по формулам (4.9), (4.16), (4.17), считая $\mathcal{P}(z) = 1$ при $z \geq 3$.

$$k_{S_1}^2 \Big|_{\mathcal{P}} = \frac{0,065}{2} [1 - \mathcal{P}(-0,62)] - \frac{3,4}{2} [-0,161 \cdot \mathcal{P}(-0,62) - 0,028 + 0,133 \cdot \mathcal{P}(-2,01)] + 0,4764 [-0,161 \cdot \exp(-0,384) + 0,028 \times \exp(-11,56) + 0,133 \cdot \exp(-4,04)] \approx 0,0124 + 0,1029 - 0,0511 \approx 0,064$$

$$k_{S_1, \theta_1}^2 \Big|_{\mathcal{P}} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{0,065 - 0,028 \cdot 2,36}{7,57} \cdot 9,5 \cdot 10^{-6} = 0,000,$$

$$k_{S_1, \theta_2}^2 \Big|_{\mathcal{P}} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{0,065 + 0,161 \cdot 2,36}{3,55} \cdot 0,681 \approx 0,024.$$

Если мол 2 полностью отражает волновую энергию, то

$$k_{diff, z}^2 \Big|_{\mathcal{P}} = 0,064 + 0,024 = 0,088,$$

$$k_{diff, z} \Big|_{\mathcal{P}} = 0,297 \approx 0,3.$$

Если мол поглощающего типа, то

$$k_{diff, z}^2 \Big|_{\mathcal{P}} = 0,064 - 0,024 = 0,040,$$

$$k_{diff, z} \Big|_{\mathcal{P}} = 0,2.$$

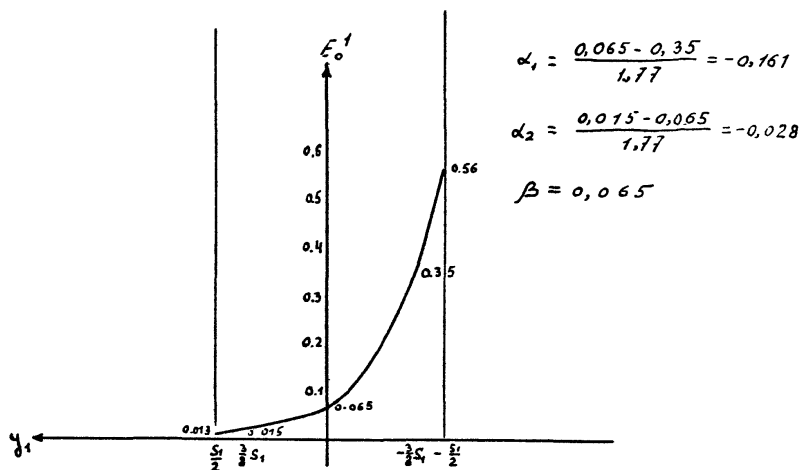


Рис. П.2.8. Схема распределения начальной энергии на фронте S_1 , к примеру расчета коэффициента дифракции на акватории, огражденной перекрывающимися молами.

П Р О Г Р А М М А

ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФРАКЦИИ ВЕТРОВЫХ ВОЛН НА АКВАТОРИИ, ОГРАЖДЕННОЙ СХОДЯЩИМИСЯ МОЛАМИ.

Исходными данными для работы программы служат: KE - число точек расчетной области по горизонтали ($KE \leq 25$); NE - число точек расчетной области по вертикали ($NE \leq 35$); $KN1$ - координата (номер точки) головы 1-го мола (расположенного слева) по горизонтали; $NH1$ - координата (номер точки) головы 1-го мола по вертикали; $AKN2$ - координата головы 2-го мола по горизонтали - номер точки и дробная часть (координата задается с дробной частью, так как положение головы 2-го мола может не совпадать с узлом сетки); $ANH2$ - координата головы 2-го мола по вертикали (номер точки и дробная часть); $ALFA1$ - угол α_1 между вертикальной линией расчетной сетки и линией 1-го мола; $ALFA2$ - угол α_2 между вертикальной линией расчетной сетки и линией 2-го мола; $ALFA3$ - угол α_3 между вертикальной линией расчетной сетки и направлением волнения; DL - расстояние между узлами сетки в метрах; $ALAMDA$ - длина волны λ в метрах; $ICONTR$ - вспомогательный параметр (если $ICONTR = 11$, печатаются промежуточные результаты, позволяющие проконтролировать вычисления). Углы $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ отсчитываются от вертикальной линии расчетной сетки против часовой стрелки со знаком "+", по часовой стрелке - со знаком "-". Исходные данные для работы программы задаются на одной перфокарте в формате (4I3,7F6.2,I3). Язык программирования Фортран IV.

```

0001      DIMENSION F1(35,25),F2(35,25),F3(35,25),FP(35,25)
0002      30 READ(5,100,END=34)KE,NE,KN1,NH1,AKN2,ANH2,
        *ALFA1,ALFA2,ALFA3,DL,ALAMDA,ICONTR
0003      100 FORMAT(4I3,7F6.2,I3)
0004      WRITE(6,110)KE,NE,KN1,NH1,AKN2,ANH2,ALFA1,ALFA2,ALFA3,DL,ALAMDA
        * ,ICONTR
0005      110 FORMAT(
        *///20X,'РАСЧЕТ ДИФРАКЦИИ ВОЛН ЗА СХОДЯЩИМИСЯ МОЛАМИ ',
        *'ПО СНИП 2.86,84-82'//
        *' KE NE KN1 NH1 AKN2 ANH2',
        *' ALFA1 ALFA2 ALFA3 DL ALAMDA ICONTR'
        *//4I,7F7.2,I7)
0006      ALFA1=(3.141593/180.)*ALFA1
0007      ALFA2=(3.141593/180.)*ALFA2

```

Приложение 3
(рекомендуемое)


```

0008      ALFA3=(5.141593/100.)*ALFA3
0009      F1:=ALFA1:=ALFA3
0010      AN=DL/ALAMDA
0011      DO 4 N=1,NE
0012      DO 4 K=1,KE
0013      IF(N,EG,4H1,AND,K,RQ,KH1) GOTO 5
0014      XN1=N-NH1
0015      YK1=K-KH1
0016      BETA1=ATAN2(YK1,XN1)=ALFA3
0017      IF(BETA1,GT,F11) GOTO 5
0018      IF(BETA1,LT,=.57) GOTO 5
0019      RDL=AN+SQR(XN1**2+YK1**2)
0020      IF(BETA1,LT,0.) RDL=RDL=COS(BETA1)
0021      F1(N,K)=FKD3(F11,RDL,BETA1)
0022      GOTO 4
0023      5 F1(N,K)=1.
0024      4 CONTINUE
0025      IF(ICONTR,NE,11) GOTO 40
0026      DO 19 N=1,NE
0027      DO 19 K=1,KE
0028      19 F1(N,K)=F1(NE-N+1,KE-K+1)
0029      DO 26 N=1,NE
0030      26 WRITE(6,120) (F1(N,K),K=1,KE)
0031      120 FORMAT(/25F5,2)
0032      40 CONTINUE
0033      XN=ANH2-4H1
0034      YK=AKH2-KH1
0035      F12=ALFA3=ALFA2
0036      IF(ICONTR,NE,11) GOTO 45
0037      WRITE(6,115) XN,YK,F12
0038      115 FORMAT(/11F11,4)
0039      45 CONTINUE
0040      DO 6 N=1,NE
0041      DO 6 K=1,KE
0042      XN2=N-ANH2
0043      YK2=K-AKH2
0044      IF(YK2,EG,0.,AND,XN2,EG,0.) GOTO 7
0045      BETA2=ATAN2(YK2,XN2)=ALFA3)

```

```

0046      IP(BETA2,GT,F12) GOTO 7
0047      IP(BETA2,LT,-1.57) GOTO 7
0048      RDL=AM*SQRT(XN2**2+YK2**2)
0049      IP(BETA2,LT,0.) RDL=RDL*COS(BETA2)
0050      F2(N,K)=FKDD(F12,RDL,BETA2)
0051      GOTO 6
0052      7 F2(N,K)=1.
0053      6 CONTINUE
0054      IF(ICONTR,NE,11) GOTO 50
0055      DO 21 N=1,NE
0056      DO 21 K=1,KE
0057      21 F2(N,K)=F2(NE-N+1,KE-K+1)
0058      DO 27 N=1,NE
0059      27 WRTE(6,120) (FP(N,K),K=1,KE)
0060      50 CONTINUE
0061      DXH=ANH2=NH1
0062      DYH=AKH2=KH1
0063      ALFA=ATAN2(DYH,DXH)
0064      AL=SQRT(JXH**2+DYH**2)
0065      AR=AL*COS(ALFA=ALFA3)
0066      ARDL=AR*AM
0067      B=AS(AL*AS[4(ALFA=ALFA3)])
0068      BDL=BB*AM
0069      NS=20
0070      DO 9 N=1,NE
0071      DO 9 K=1,KE
0072      IF(F1(N,K),EA,1.,.AND,F2(N,K),EA,1.) GOTO 9
0073      X41=N-NH1
0074      Y41=K-KH1
0075      X42=N-ANH2
0076      Y42=K-AKH2
0077      AVR1=ATAN2(Y41,XN1)
0078      AVR2=ATAN2(Y42,XN2)
0079      BETA1=ANR11=ALFA3
0080      BETA2=ALFA3=AVR21
0081      RDL1=SQRT(X41**2+Y41**2)*AM
0082      RDL2=SQRT(X42**2+Y42**2)*AM

```

```

0083      IF(BETA1,GE,0.) GOTO 200
0084      IF(BETA2,GE,0.) GOTO 201
0085      IF(BETA1,LT,0.,AND,BETA2,LT,0.) GOTO 202
0086 200 RDL2#RDL1#A#RDL
0087      GOTO 203
0088 201 RDL1#RDL2#A#RDL
0089      GOTO 203
0090 202 RDL1#RDL1#COS(BETA1)
0091      RDL2#RDL2#COS(BETA2)
0092 203 CONTINUE
0093      IF(F1(N,K),LT,1.,AND,F2(N,K),EQ,1.) GOTO 10
0094      IF(F1(N,K),EQ,1.,AND,F2(N,K),LT,1.) GOTO 11
0095      FKDG#PKDL(BDL,F11,F12,RDL1,RDL2,NS)
0096      A1#1.1#RDL1**(.2,.75)*TANH(F11)**0.17
0097      A2#1.1#RDL2**(.2,.75)*TANH(F12)**0.17
0098      PS1#SQRT(2.*BDL/(A1+A2+BDL)#FKDG*(A1+A2+BDL))
0099      IF(F1(N,K)-F2(N,K)) 30,30,31
0100 30 F3(N,K)#F1(N,K)*PS1
0101      GOTO 8
0102 31 F3(N,K)#F2(N,K)*PS1
0103      GOTO 8
0104 10 CONTINUE
0105      A1#1.1#RDL1**(.2,.75)*TANH(F11)**0.17
0106      IF(RDL2) 61,61,62
0107 61 A2#0.
0108      GOTO 63
0109 62 A2#1.1#RDL2**(.2,.75)*TANH(F12)**0.17
0110 63 CONTINUE
0111      IF(BDL=A1=A2) 74,74,75
0112 74 FKDG#PKDL(BDL,F11,F12,RDL1,RDL2,NS)
0113      GOTO 76
0114 75 FKDG#1.
0115 76 CONTINUE

```

```

0116      PS=SQRT(2.*BDL/(A1+A2+BDL*FKDQ*(A1+A2*BDL)))
0117      F3(N,K)=F1(N,K)*PS
0118      GOTO 8
0119  11 CONTINUE
0120      A2=1,1*ROLD**((2./3.)*TANH(FI2)**0.17
0121      IF(ROLD) 81,81,82
0122  81 A1=0
0123      GOTO 83
0124  82 A1=1,1*ROLD**((2./3.)*TANH(FI1)**0.17
0125  83 CONTINUE
0126      IF(BDL=A1=A2) 94, 94, 95
0127  94 FKDQ=FKDL(BDL,FI1,FI2,ROLD,ROLD,NS)
0128      GOTO 96
0129  95 FKDQ=1
0130  96 CONTINUE
0131      PS=SQRT(2.*BDL/(A1+A2+BDL*FKDQ*(A1+A2*BDL)))
0132      F3(N,K)=F2(N,K)*PS
0133      GOTO 8
0134  9 F3(N,K)=1
0135  8 CONTINUE
0136  DD 23 N=1,NE
0137  DD 23 K=1,KE
0138  23 FP(N,K)=F3(N=N+1,KE=K+1)
0139  DD 29 N=1, NE
0140  29 WRITE(6,120)(FP(N,K),K=1,KE)
0141      GOTO 30
0142  34 STOP
0143      END

```

Приложение 3
(продолжение)

```

0001      FUNCTION FK00(FI,RDL,BETA)
0002      FF=TANH(FI)**0.17*1.1
0003      RR=RDL
0004      BB=BETA
0005      AA=RR**(.5/.3)**2.3*1.
0006      AA1=RR**(.2/.3)
0007      IP(SB)1,2:2
0008      1 AA2=SIN(BB)/COS(BB)*RR
0009      GOTO 3
0010      2 AA2=RR*BB
0011      3 AA3=AA1*FF
0012      IF(SB.LT.0.AND.ABS(AA2).GE.AA3) GOTO 4
0013      FK00=AA/((AA2+AA3)**2.5*AA)
0014      GOTO 5
0015      4 FK00=1.
0016      5 RETURN
0017      END
0001      FUNCTION FK01(BDL,FI1,FI2,RDL1,RDL2,IN)
0002      A=1.
0003      DO 10 I=1,4
0004      Y1=(BDL/FLOAT(IN))*I
0005      Y2=BDL-Y1
0006      BETA1=ATAN2(Y1,RDL1)
0007      BETA2=ATAN2(Y2,RDL2)
0008      R1=SQRT(Y1**2+RDL1**2)
0009      R2=SQRT(Y2**2+RDL2**2)
0010      AKD1=FK00(FI1,R1,BETA1)
0011      AKD2=FK00(FI2,R2,BETA2)
0012      IF(AKD1.EQ.1..AND.AKD2.EQ.1.) GOTO 13
0013      B=ASS(AKD1=AKD2)
0014      IF(B.GE.A) GOTO 10
0015      A=B
0016      FK01=(AKD1+AKD2)/2.
0017      10 CONTINUE
0018      GOTO 14
0019      13 FK01=1.
0020      14 RETURN
0021      END

```

Приложение 3
(продолжение)

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.	I
2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФРАКЦИИ ВОЛН НА АКВАТОРИИ, ОГРАЖДЕННОЙ ОДИНОЧНЫМ МОЛОМ.	2
3. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФРАКЦИИ ВОЛН НА АКВАТОРИИ, ОГРАЖДЕННОЙ СХОДЯЩИМИСЯ ПРЯМОЛИНЕЙНЫМИ МОЛАМИ.	3
4. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФРАКЦИИ ВОЛН НА АКВАТОРИИ, ОГРАЖДЕННОЙ ПЕРЕКРЫВАЮЩИМИСЯ МОЛАМИ.	5
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (рекомендуемое). Графики для определения коэффициентов дифракции ветровых волн.	13
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (рекомендуемое). Примеры расчета высот волн на акватории порта.	32
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (рекомендуемое). Программа расчета коэф- фициентов дифракции ветровых волн на ак- ватории, огражденной сходящимися молами.	44