ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

"СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ"

Определение
~~РУКОВОДСТВО~~

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

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

РД 31.33.09-87

г. Москва

1987 г.

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер института
Союзморниипроект
Ю.А.Ильницкий
"24" 06 1987 г.

Р У К О В О Д С Т В О
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" мая 1987 г.

Москва 1987

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-изыскательским 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 волноисследовательскои 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. 31.33.09 -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.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. 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*.

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

I.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 расчётной 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.

I.4. Высоту дифрагированной волны $h_{dif,u}$ на акватории порта следует определять по соотношению

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

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

2. РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФРАКЦИИ НА АКВАТОРИИ, ОГРАЖДЕННОЙ ОДИНОЧНЫМ МОЛОМ

2.I. Расчёт коэффициентов дифракции $k_{dif,s}$ на акватории, огражденной одиночным прямолинейным молом, надлежит выполнять, используя графики, приведенные на рис. п.I.I - п.I.9 (приложение I).

2.2. Расчёт коэффициентов дифракции $k_{dif,cr}$ на акватории, огражденной одиночным криволинейным молом, кривизна которого такова, 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.I. Расчёт коэффициентов дифракции $k_{dif,c}$ на акватории, огражденной сходящимися прямолинейными молами, в случае, когда головы молов находятся в одном расчётном створе или голова мола 2 расположена вне зоны дифракции мола I, первого на пути движения волны (рис. 3.I), следует выполнять по формуле:

$$k_{dif,c} = k_{dif,s} \cdot \psi_c , \qquad (3.I)$$

где $k_{dif,s}$ – коэффициент дифракции на акватории, огражденной одиночным прямолинейным молом;

ψ_c – поправочный коэффициент, учитывающий наличие двух молов.

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

а) на плане акватории проводят границы волновой тени молов I и 2, рис. 3.I. Этими границами акватория делится на три зоны: $\mathcal{D}_1$ – зону волновой тени мола I, $\mathcal{D}_2$ – зону волновой тени мола мола 2 и $\mathcal{D}_3$ – промежуточную зону;

б) коэффициент дифракции $k_{dif,c}$ в расчетной точке $\mathcal{P}_1$, расположенной в зоне $\mathcal{D}_1$, следует вычислять по формуле (3.I), где $k_{dif,s}$ – коэффициент дифракции в точке $\mathcal{P}_1$, определяемый согласно п.2 для мола I. Поправочный коэффициент ψ_c в точке $\mathcal{P}_1$ следует определять по графикам приложения I (рис. п.I.IO – п.I.I8) в зависимости от величины b/λ, L_1/b и угла φ_1, где $b, м$ – проекция отрезка, соединяющего головы молов, на фронт исходной волны; $L_1, м$ – 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:

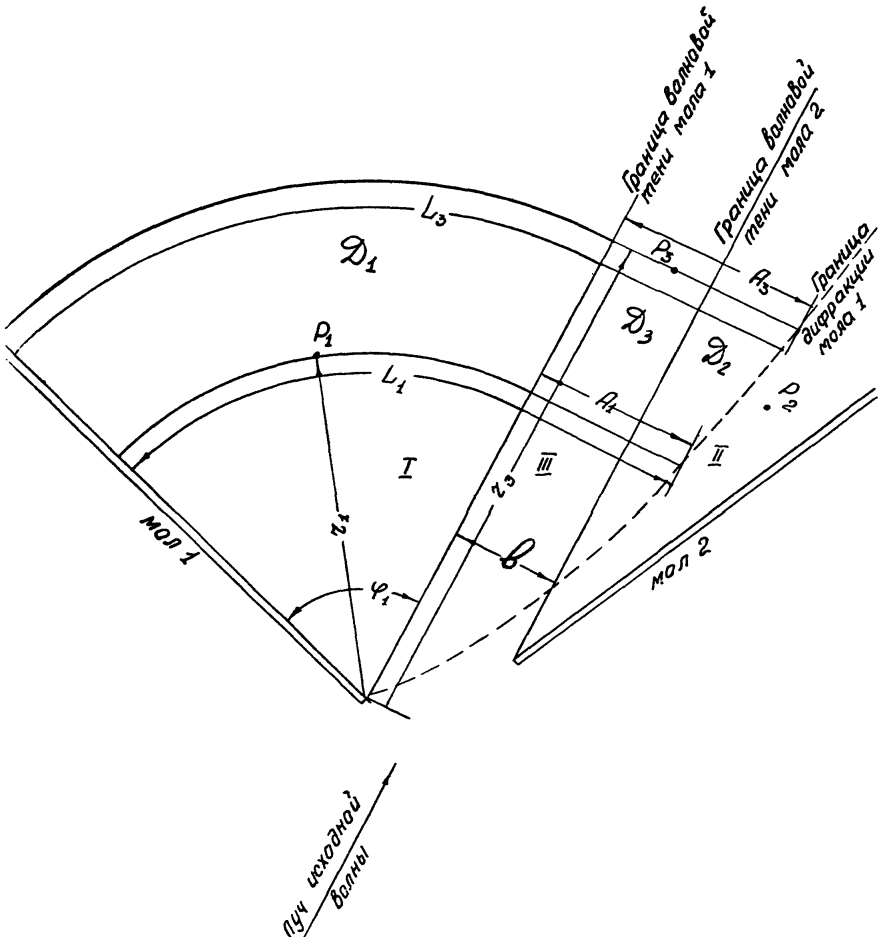


Рис. 3.I. Схема к расчету коэффициентов дифракции на акватории, огражденной сходящимися молами

$$L_1 = \frac{\pi \cdot r_1 \cdot \varphi_1^\circ}{180^\circ} + A_1 , \qquad (3.2)$$

где r_1 - расстояние от головы мола I до расчётного створа, м;

A_1 - длина участка фронта волны, проходящего через расчетную 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 $\mathcal{D}_2$, находят аналогично п.3.2.б.

3.4. Коэффициент дифракции $k_{dif,c}$ в расчётной точке P_3 расположенной в зоне $\mathcal{D}_3$, следует определять вначале по параметрам мола I, а затем по параметрам мола 2, и выбрать наименьший.

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

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

4.I. Под перекрывающимися молами в настоящем руководстве следует понимать два последовательно расположенных прямолинейных мола (рис.4.I) в случае, когда голова мола 2 лежит в зоне дифракции мола I (в зоне набегающих на мол 2 приямолинейных волн или на линии волновой тени мола I).

4.2. Расчет коэффициентов дифракции $k_{dif,r}$ на акватории, ограниченной перекрывающимися молами, надлежит выполнять в расчётной области $\mathcal{D}_c$ (рис.4.2), получаемой из физической области $\mathcal{D}$ (рис. 4.I) по рекомендациям п. 4.3, по формулам раздела 4.4. Расчёт надлежит вести в безразмерных координатах $x = X/\lambda$, $y = Y/\lambda$ (X, Y координаты, имеющие размерность длины, $\lambda, м$ - длина исходной волны),

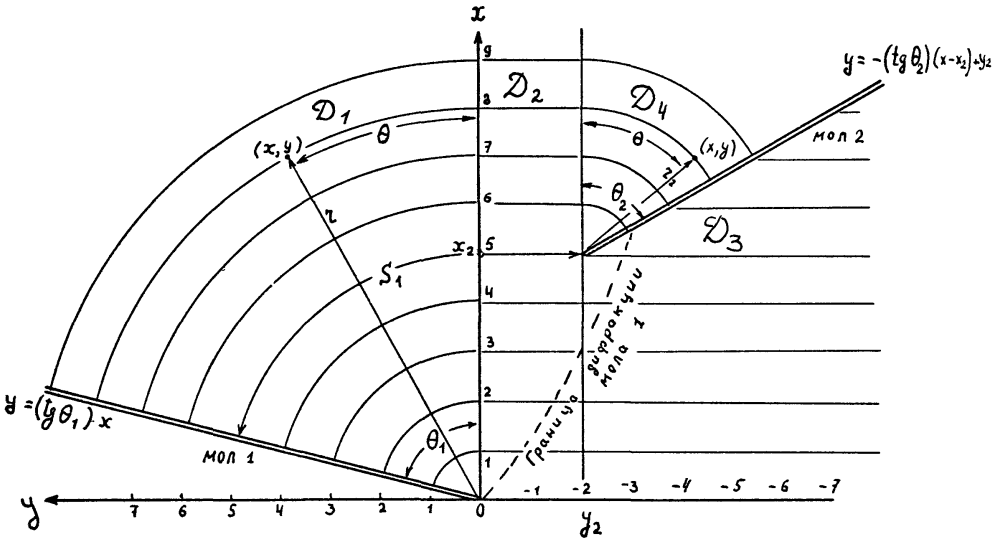


Рис.4.1. Схема физической области $\mathcal{D}$ дифракции волн перекрывающимися молами.

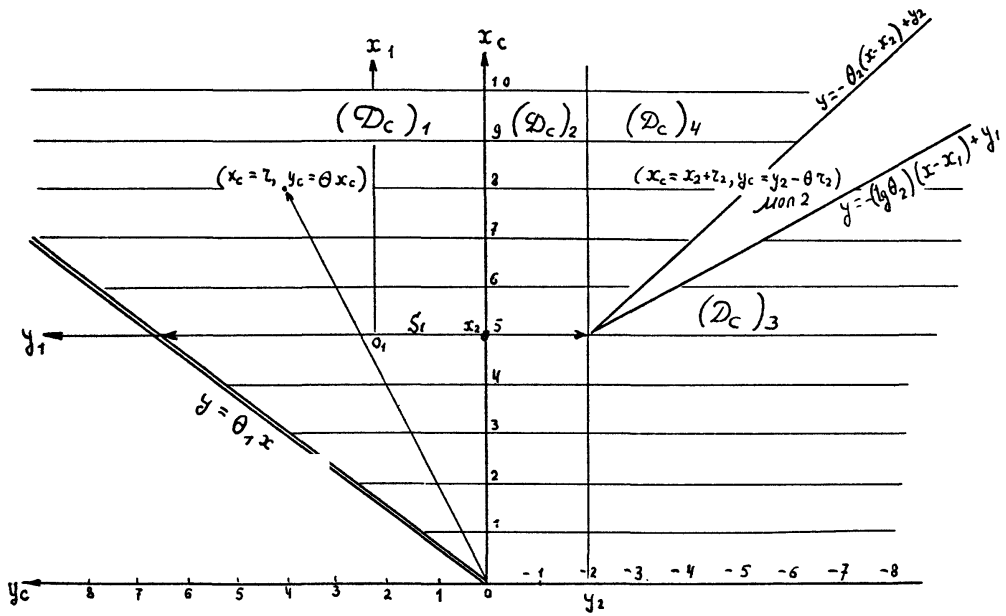


Рис.4.2. Схема расчетной области $\mathcal{D}_c$ дифракции волн перекрывающимися молами.

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 $\mathcal{D}\ (x>0,\ (tg\theta_1)x \geq y > -\infty)$, (рис.4.I), где $y = (tg\theta_1)x$ - уравнение мола I, θ_1, рад - угол между осью мола I и осью x, следует разделить на четыре зоны: $\mathcal{D}_1$ - зона тени мола I: $(x>0,\ (tg\theta_1)x \geq y > 0)$; $\mathcal{D}_2$ - 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: $(-(y-y_2)ctg\theta_2 + x_2 \geq x > 0,\ y_2 > y)$, где x_2 - координата по оси x головы мола 2, θ_2, рад - угол между осью x и осью мола 2; $\mathcal{D}_4$ - зона волновой тени мола 2: $(x > x_2,\ y_2 > y \geq -(x-x_2)tg\theta_2 + y_2)$.

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

4.3.I. Переход от физической области дифракции $\mathcal{D}$ на плоскости xOy к расчётной области $\mathcal{D}_c$ ($x_c > 0,\ \theta_1 x_c \geq y_c > -\infty$) (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

$$x_c = r,\quad y_c = \theta x_c, \tag{4.I}$$

где

$$r = \sqrt{x^2+y^2},\quad \theta = arctg\frac{y}{x} \tag{4.2}$$

- полярные координаты точки x, y в $\mathcal{D}_1$. При этом преобразовании зона $\mathcal{D}_1$ области $\mathcal{D}$ перейдет в зону $(\mathcal{D}_c)_1$ ($x_c > 0$, $\theta_1 x_c \geq y_c > 0$) области $\mathcal{D}_c$; дуги радиуса r : $0 < \ell \leq \theta_1 r$, отвечающие в $\mathcal{D}_1$ кольцевым фронтам волн в зоне тени, перейдут в $(\mathcal{D}_c)_1$ в отрезки прямых: $x_c = r$, $\theta_1 x_c \geq y_c \geq 0$ 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 ($\mathcal{D}_c$)$_1$ в отрезок прямой длины $r\sqrt{1+\theta^2}$, соединяющий начало координат с точкой ($x_c = r$, $y_c = \theta x_c$); уравнение мола I в ($\mathcal{D}_c$)$_1$ приобретает вид: $y_c = \theta_1 x_c$.

Точки (x , y) зоны $\mathcal{D}_2$ останутся неизменными.

Точки (x , y) зоны $\mathcal{D}_3$ также останутся неизменными. Уравнение внешней грани мола 2 в ($\mathcal{D}_c$)$_3$ сохранит вид:

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

Каждой точке (x , y) зоны $\mathcal{D}_4$ с полярными координатами (r_2, $-\theta r_2$), где

$$r_2 = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2}\ , \quad \theta = -\operatorname{arctg}\frac{y-y_2}{x-x_2}\ , \quad 0 \le \theta \le \theta_2 \qquad (4.3)$$

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

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

При этом преобразовании зона $\mathcal{D}_4$ перейдёт в зону ($\mathcal{D}_c$)$_4$ ($x_c > x_2$, $y_2 > y_c > -\theta_2(x_c - x_2)$); дуги радиуса r_2 : $0 \ge \ell \ge \theta_2 r_2$ в зоне $\mathcal{D}_4$ перейдут в ($\mathcal{D}_c$)$_4$ в отрезки прямых: $x_c - x_2 = r_2$, $y_2 \ge$ $\ge y_c \ge -\theta_2(x_c - x_2)$ с сохранением длины; волновой луч длины r_2 , соединяющий в $\mathcal{D}_4$ 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 ($x_c = r_2 + x_2$, $y_c = y_2 - \theta(x_c - x_2)$); уравнение внутренней грани мола 2 в ($\mathcal{D}_c$)$_4$ приобретает вид:

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

Мол 2 в расчётной области $\mathcal{D}_c$ 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 $x_c \ge x_2$) (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

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

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:

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

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

4.4. Расчёт коэффициентов дифракции в области .

4.4.I. 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 (r , θ) в зоне волновой тени мола I (рис.4.I) следует пересчитать в декартовые координаты (x_c , y_c) в области $\mathcal{D}_c$ по правилам 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

$$k^2_{dif,r} = k^2_{s_1}(x_1, y_1) \pm k^2_{s_1,\theta_1}(x_1, y_1) \pm k^2_{s_1,\theta_2}(x_1, y_1), \qquad (4.8)$$

где $k^2_{s_1}$ – 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; $k^2_{s_1,\theta_i}$, $i = 1,2$ – части энергии, зависящие от расположения и типа левого и правого молов. Знак "плюс" отвечает

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha_2 = \frac{E_0^1(\frac{3}{8}S_1) - E_0^1(0)}{\frac{3}{8}S_1}, \qquad (4.13)$$

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

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

$$E_0^1(y_1) = k^2_{дif,s}(x_2, y_1), \qquad (4.14)$$

где $k_{дif,s}(x,y)$- коэффициент дифракции, рассчитанный для области $(x \le x_2)$ согласно п. 4.4.1.

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

$$\Phi(z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{z} \exp(-z^2). \qquad (4.15)$$

Примечание 2. При $z_2 + z_4 \ge 2.5$, $z_1 + z_5 \ge 2.5$ рекомендуется определять $k^2_{S_1,\theta_i}$ $(i=1,2)$ по формулам

$$k^2_{S_1,\theta_1} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{\beta + \alpha_2 \frac{S_1}{2}}{z_2 + z_4} \exp(-z_2^2), \qquad (4.16)$$

$$k^2_{S_1,\theta_2} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{\beta - \alpha_1 \frac{S_1}{2}}{z_1 + z_5} \exp(-z_1^2). \qquad (4.17)$$

4.5. Расчет коэффициентов дифракции в области $\mathcal{D}_c$ позволяет одновременно получить значения этих коэффициентов в области $\mathcal{D}$, т.к. каждой расчетной точке физической области $\mathcal{D}$ согласно п. 4.3 однозначно сопоставима точка области $\mathcal{D}_c$.

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

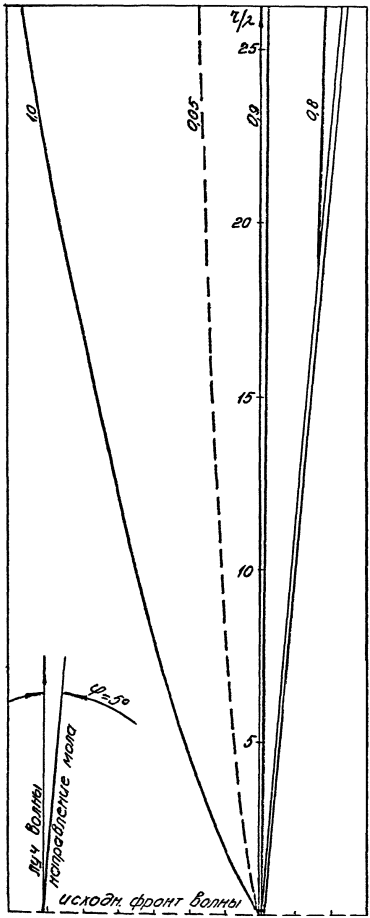


Рис. П.I.I. График для определения коэффициентов дифракции $k_{dif,s}$ для угла $\varphi=5^{\circ}$.

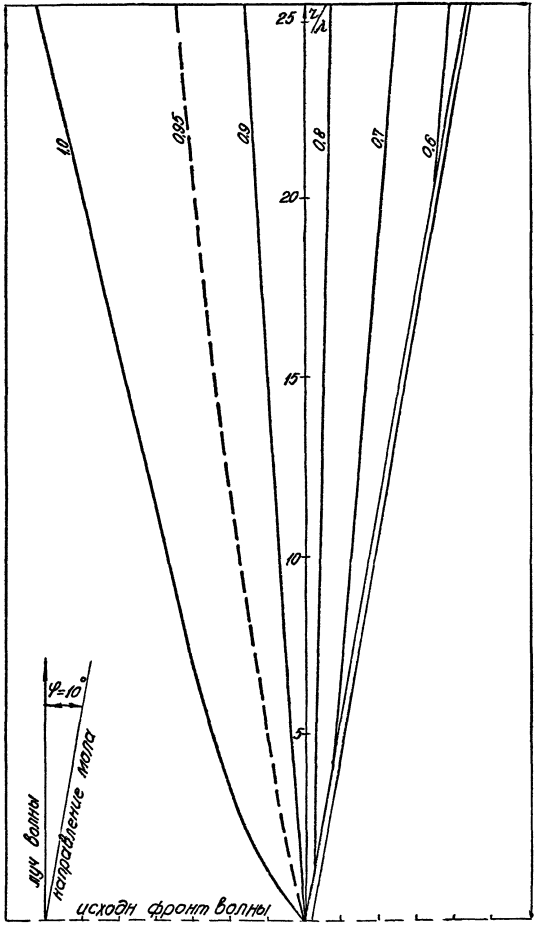


Рис. П.I.2. График для определения коэффициентов дифракции $k_{dif,S}$ для угла $\varphi = 10^{0}$.

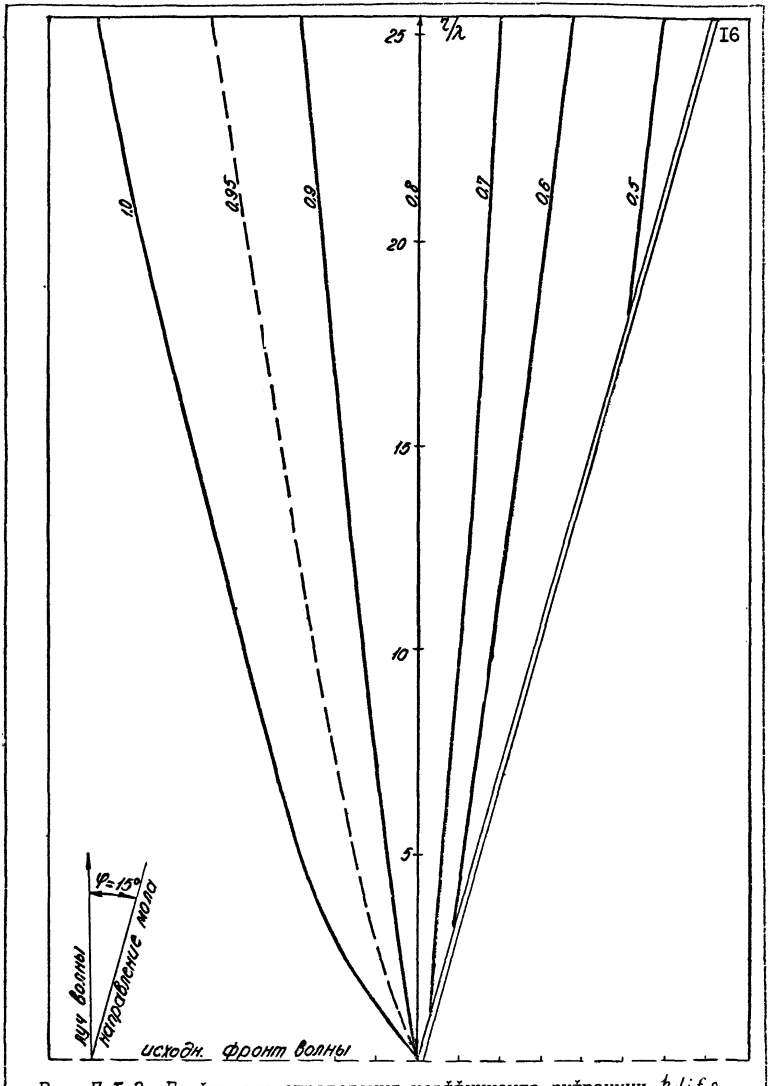


Рис. П.I.3. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для угла $\varphi = 15^{\circ}$.

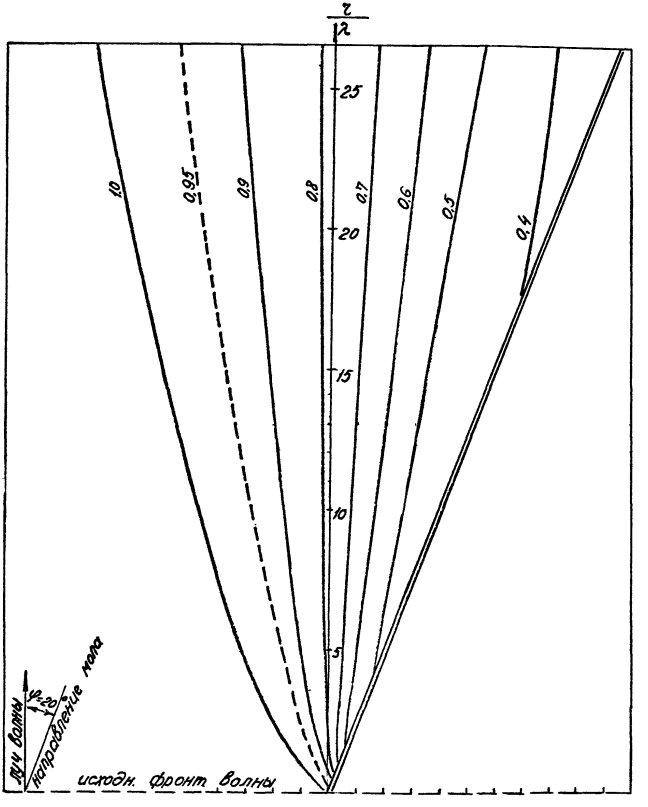


Рис П.I.4. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для $\varphi = 20^{o}$.

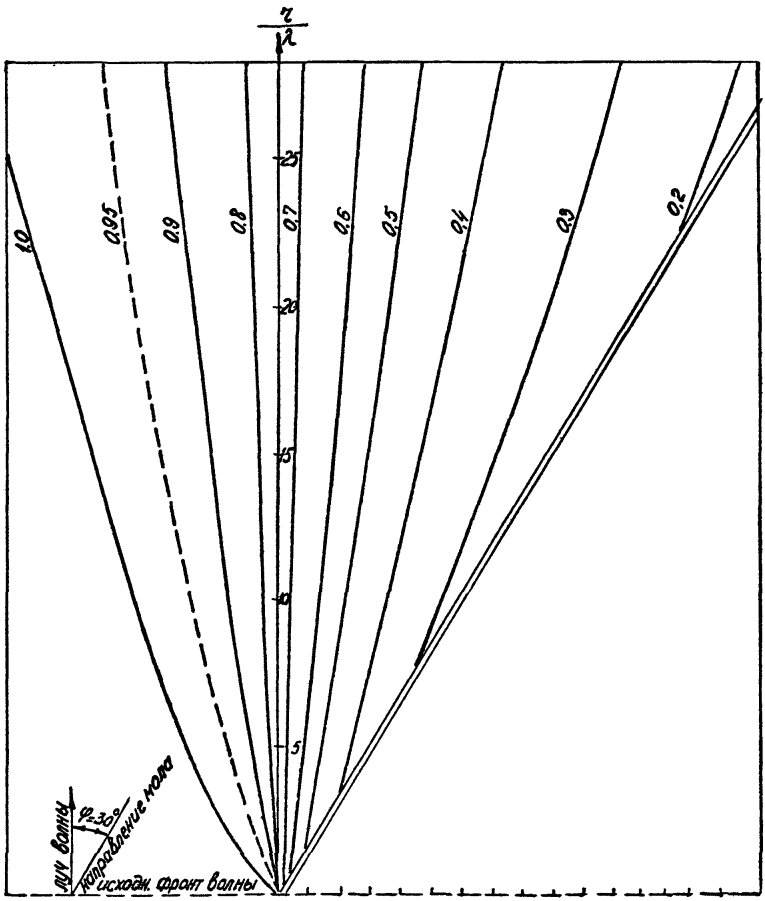


Рис.П.I.5. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для угла $\varphi = 30^{\circ}$.

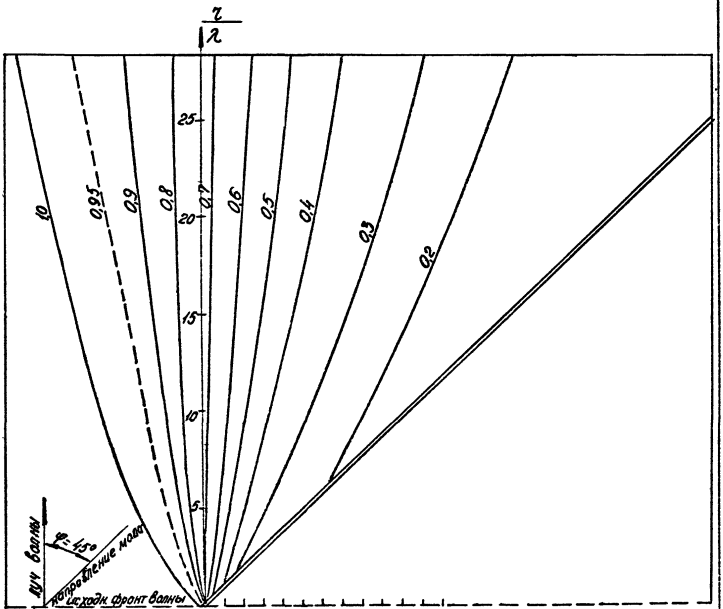


Рис. П.I.6. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для угла $\varphi = 45^{\circ}$.

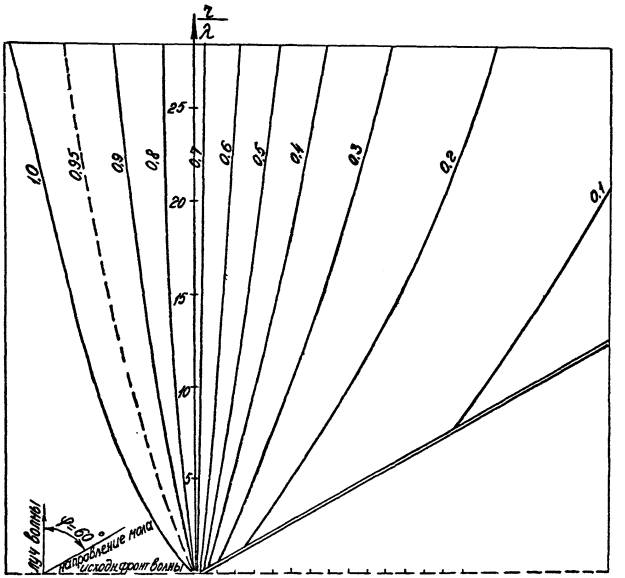


Рис. П.I.7. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для $\varphi = 60^{\circ}$.

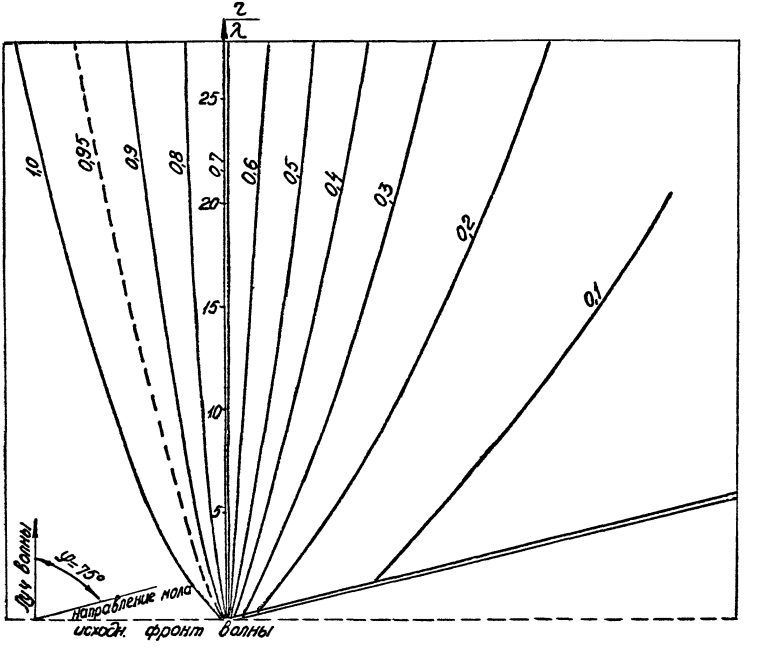


Рис. П.I.8. График для определения коэффициента дифракции $kdif,s$ для угла $\varphi = 75^{\circ}$.

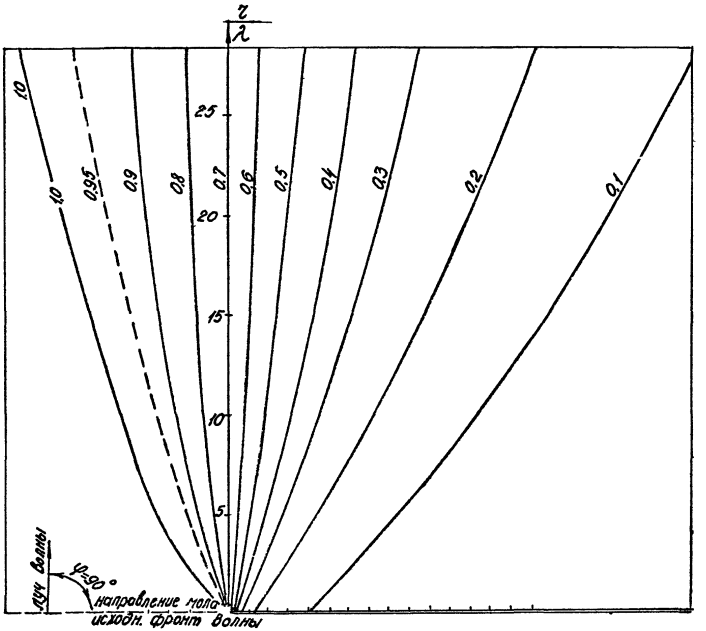


Рис. П.I.9. График для определения коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ для $\varphi = 90^{0}$.

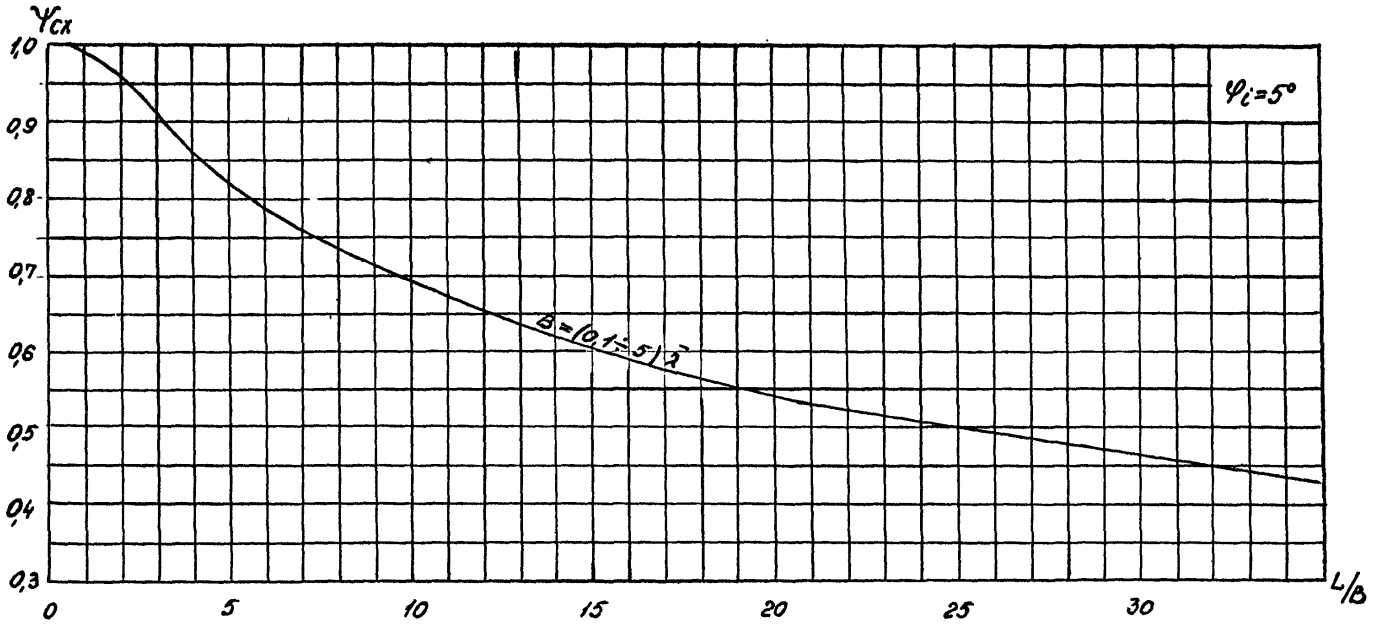


Рис. П.I.IO. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\psi = 5^0$.

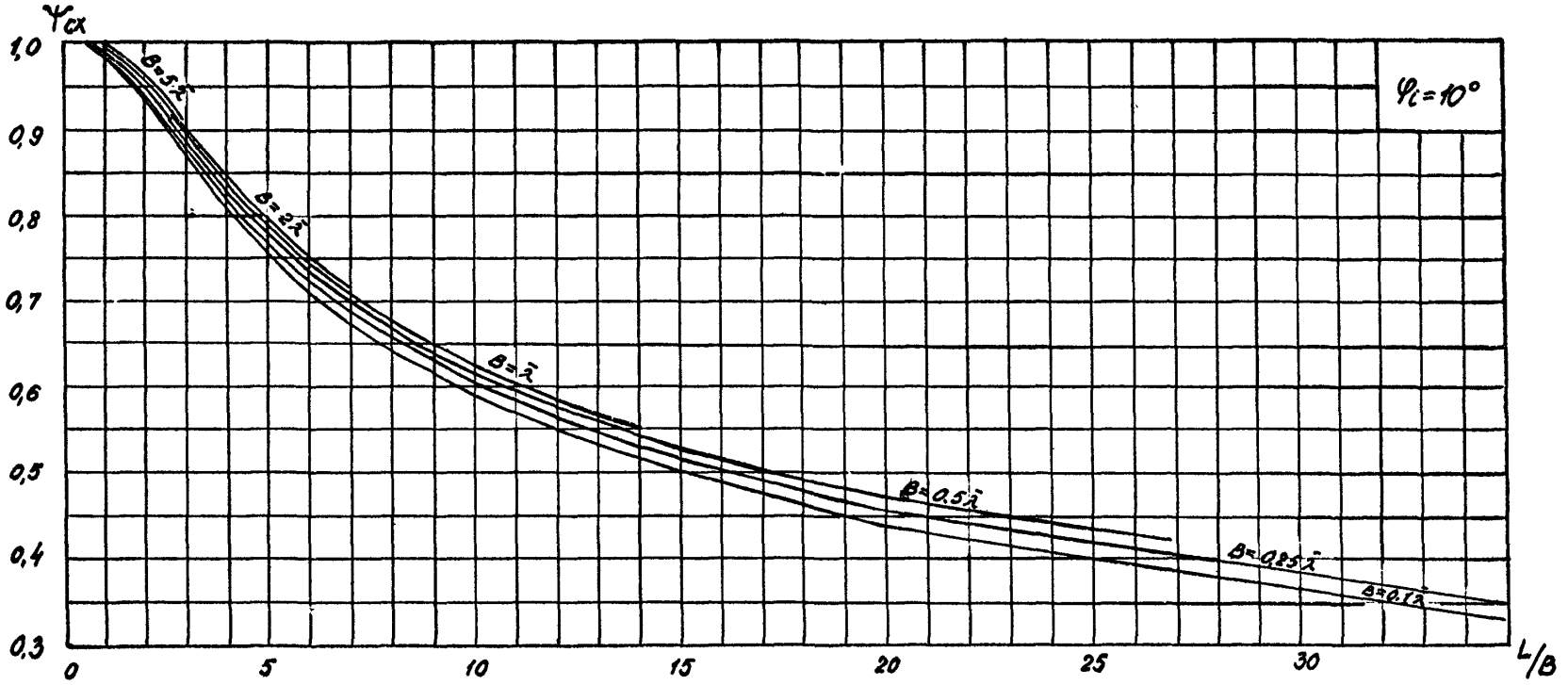


Рис. П.I.II. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\varphi = 10^0$.

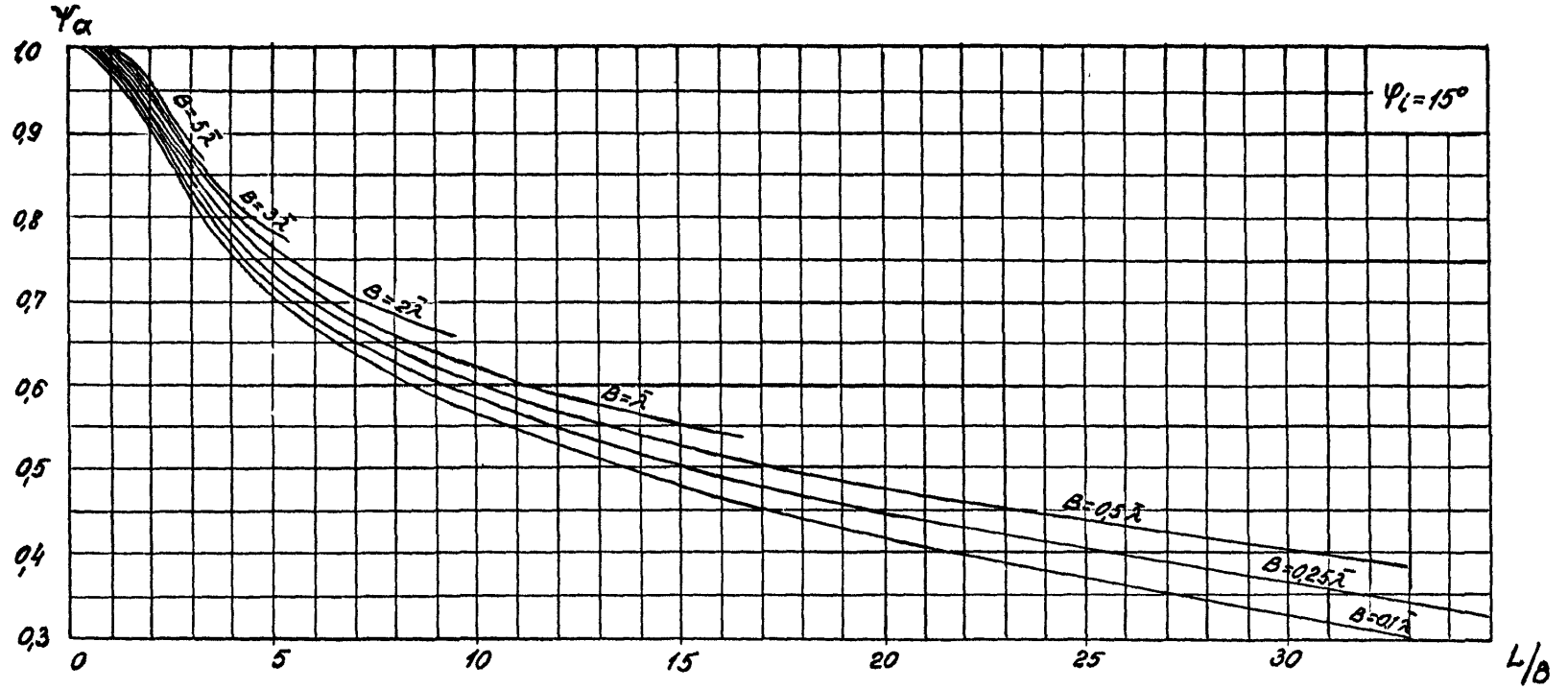


Рис. П.I.I2. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\varphi = 15^0$.

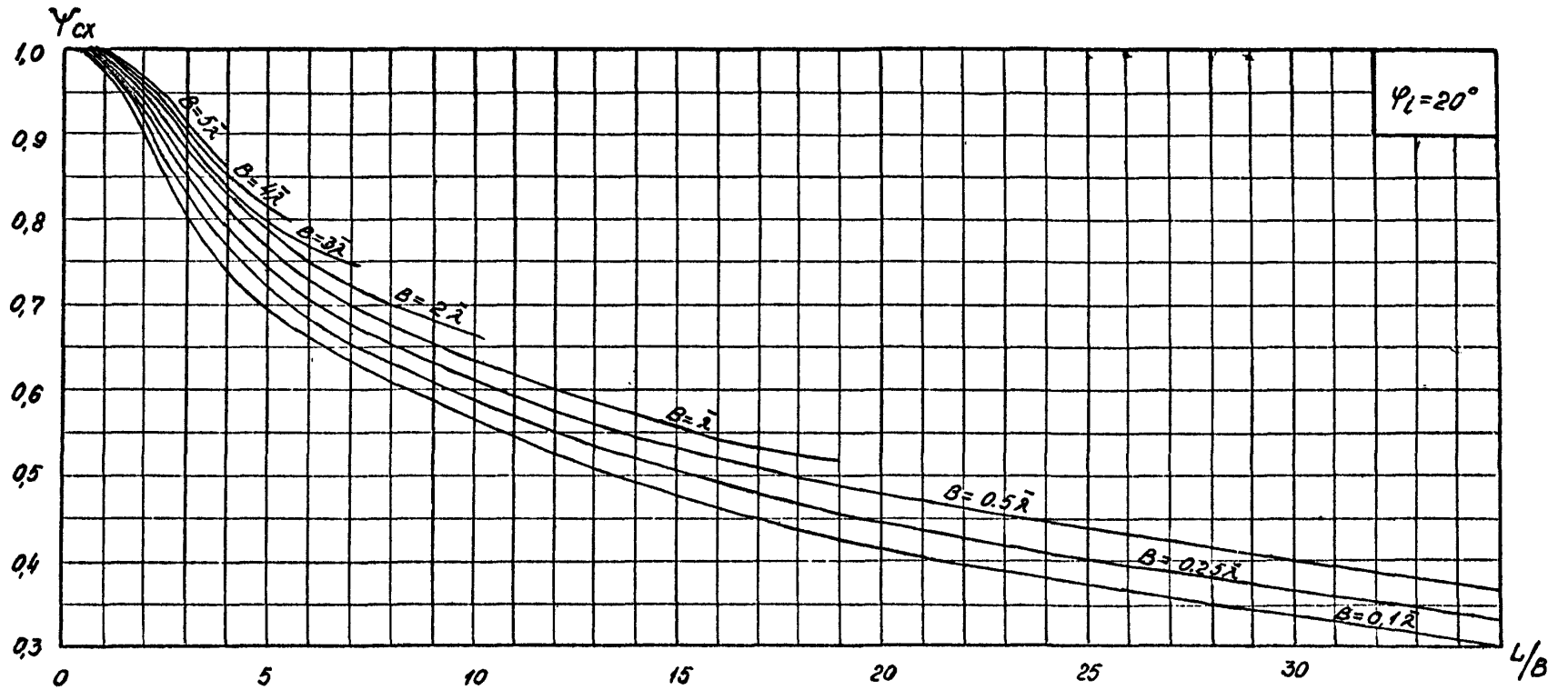


Рис. II.I.I3. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\varphi = 20^0$.

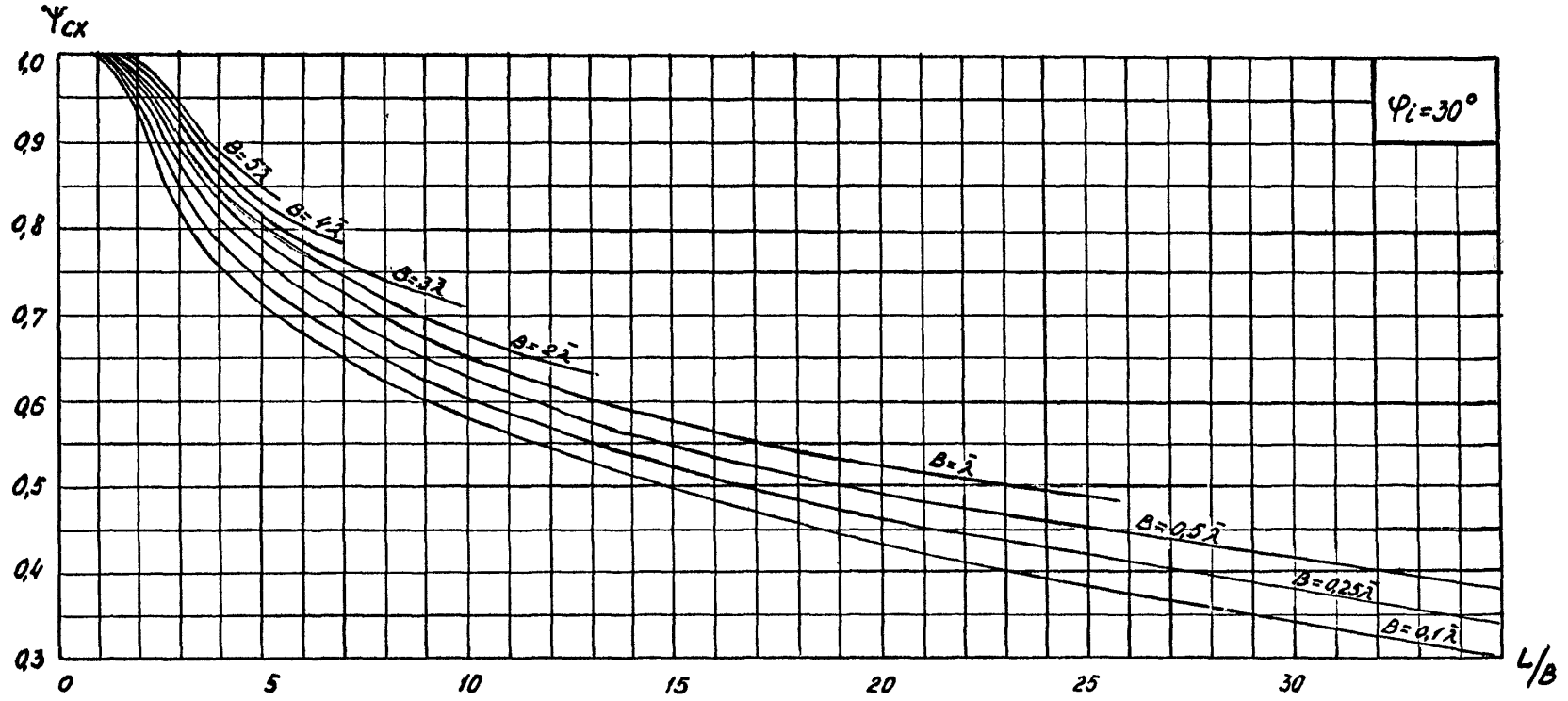


Рис. II.I.I4. График для определения коэффициента Ψ_c при угле $\varphi = 30^0$.

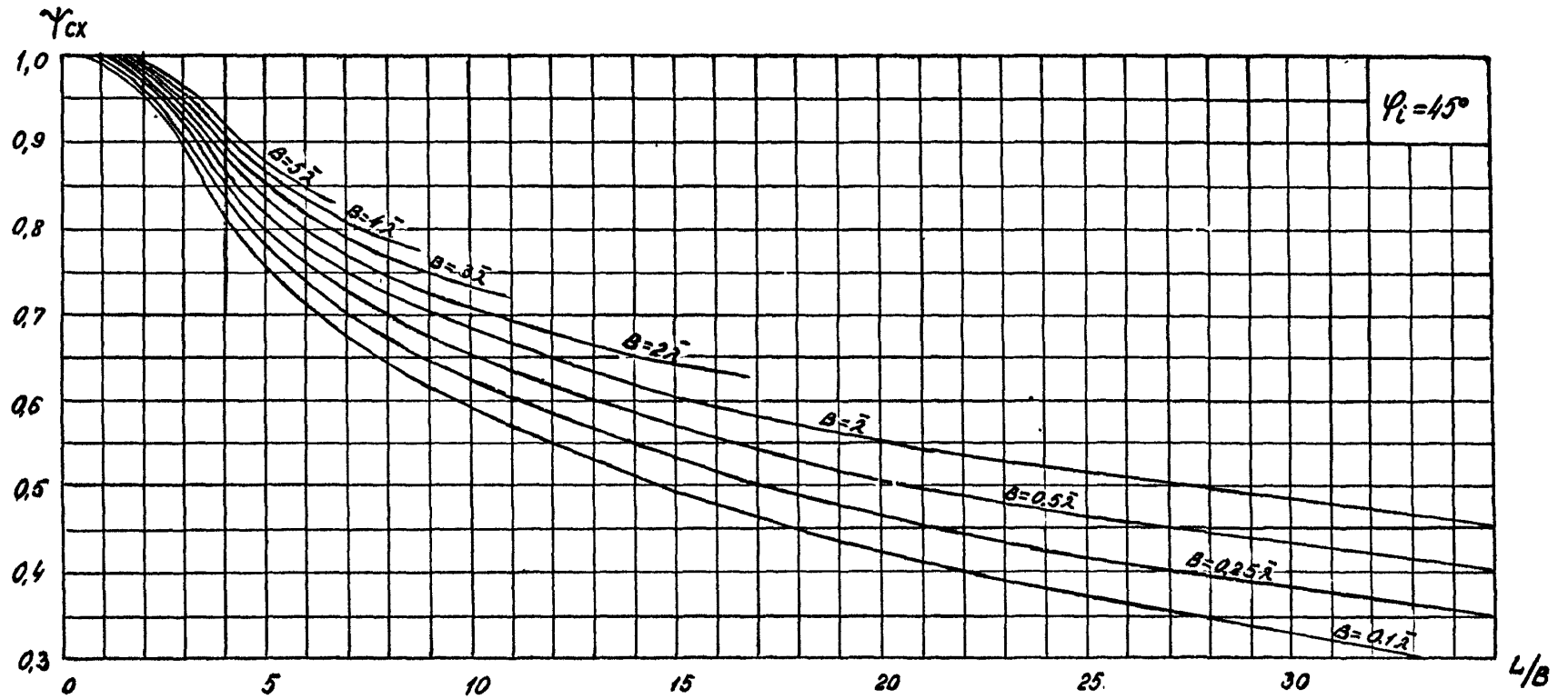


Рис. П.I.I5. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\varphi = 45^0$.

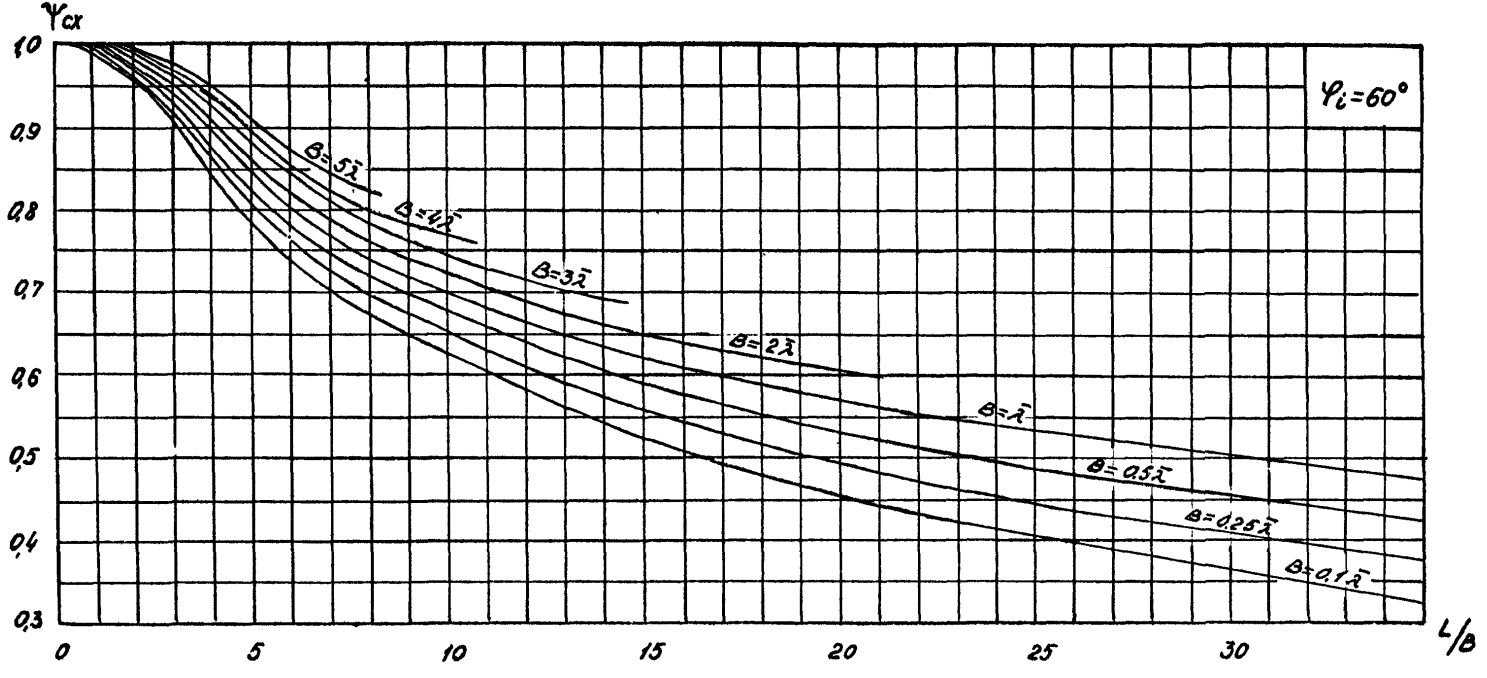


Рис. П.I.I6. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\varphi = 60^0$.

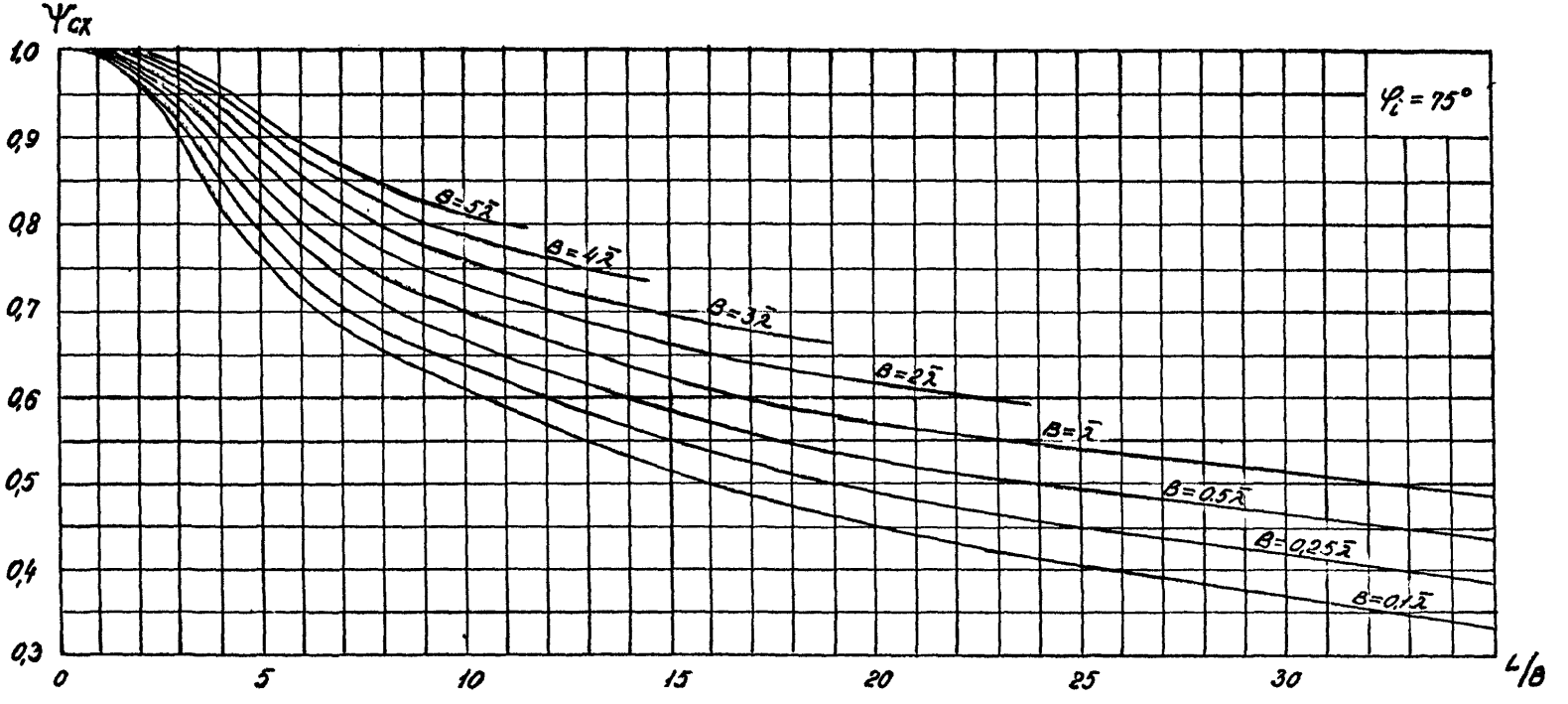


Рис. П.I.I7. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\varphi = 75^0$.

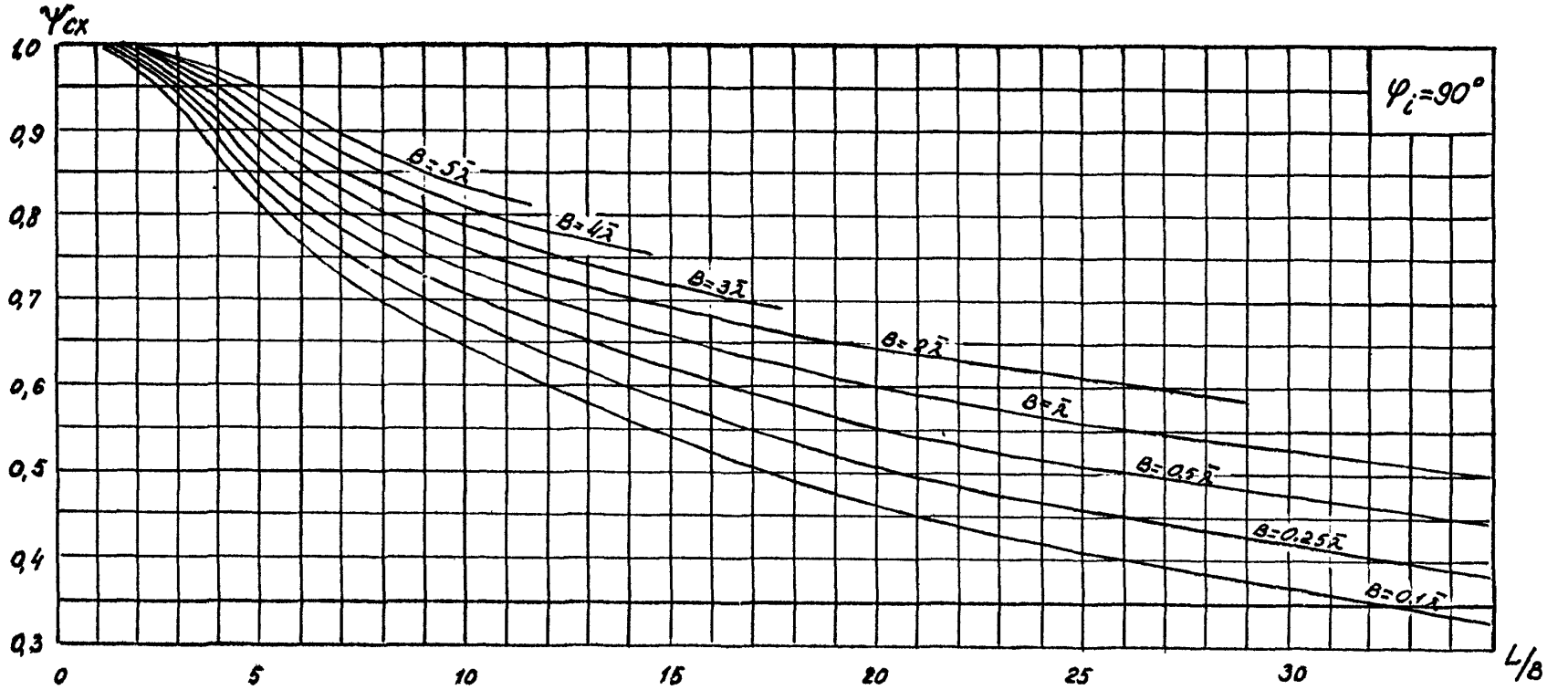


Рис. П.I.I8. График для определения коэффициента ψ_c при угле $\varphi = 90^0$.

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.I). Приведенная в примере 4 таблица коэффициентов дифракции (план акватории) получена на печатающем устройстве ЭВМ; линии молов и изолинии коэффициентов дифракции проведены вручную.

Пример I. Определить коэффициент дифракции на акватории, огражденной одиночным прямолинейным молом. Длина волны $\bar{\lambda}$ = 70 м. Угол подхода волн к молу $\varphi = 90^{\circ}$. Расчётная точка имеет координаты: 9I0 м от головы мола по лучу волнения (по границе волновой тени) и I40 м от границы волновой тени по нормали к ней в сторону мола (рис. п.2.I).

Решение. Выражаем координаты расчётной точки в виде отношения расстояний к длине волны - получаем I3,0 и 2,0, соответственно. Находим на графике (рис. п.I.9 в приложении I) расчётную точку и снимаем величину коэффициента дифракции $k_{df,s}$ = 0,5I.

Пример 2. Определить коэффициент дифракции в точке I акватории, огражденной криволинейным молом в форме дуги окружности радиусом 350 м, сопряженной с прямой линией (рис. п.2.2). Длина волны $\bar{\lambda}$ = 70 м. Координаты расчётной точки: 9I0 м от головы мола по границе волновой тени и I40 м по нормали к границе волновой тени в сторону мола.

Решение. Линия расчётного створа, проходящего через точку I,

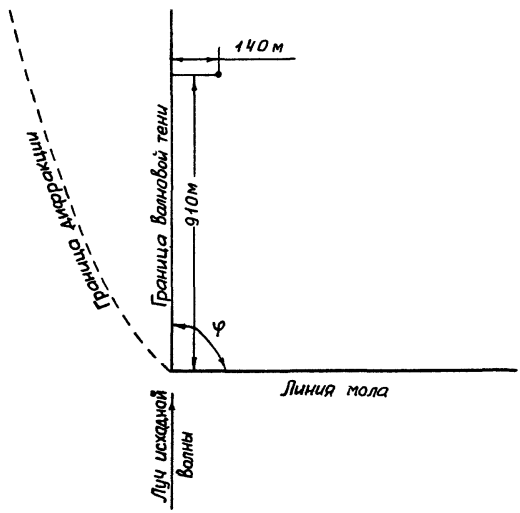


Рис II.2.I . Схема к примеру расчета коэффициентов дифракции на акватории, огражденной одиночным прямолинейным молом.

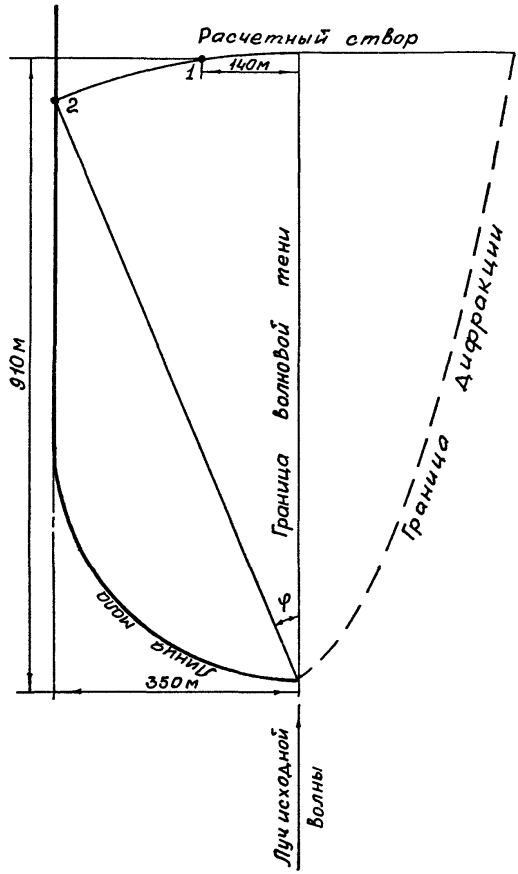


Рис.II.2.2. Схема к примеру расчета коэффициентов дифракции на акватории, огражденной одиночным криволинейным в плане молом.

пересекает линию криволинейного мола в точке 2. Линия апроксимирующего прямолинейного мола проводится из головы криволинейного мола в точку 2. Образовавшийся угол между направлением волнения и линией прямолинейного мола равен приближенно 22^0. Находим на графике (рис. п.I.4. в приложении I) расчётную точку по безразмерным координатам (9I0м/70м = I3,0 и I40м/70м = 2,0) и снимаем величину коэффициента дифракции $k_{dif,\infty}$ = 0,58.

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

Решение. Определим коэффициент дифракции $k_{dif,c}$ в точке I по параметрам мола I. Разделив соответствующие расстояния на длину волны, получим координаты точки I относительно мола I (9I0м/70м = I3,0; I40м/70м = 2,0). На графике (рис. п.I.9, приложение I) найдём по координатам точку I, снимем значение коэффициента дифракции $k_{dif,s}$ = 0,5I и расстояние A = 6,2. Вычислим:

$$L = \frac{\pi \cdot r \cdot \varphi^\circ}{180^\circ} + A = \frac{3.14\sqrt{2.0^2 + 13.0^2} \cdot 90^\circ}{180^\circ} + 6.2 = 26.9,$$

$$B/\bar{\lambda} = 3.0.$$

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

$$L/B = 26.9/3.0 = 9.0.$$

По графику на рис. п.I.I8 (приложение I) по $B/\bar{\lambda}$ = 3,0 и L/B = 9,0 найдём ψ_c = 0,82. Далее получим

$$k_{dif,c} = k_{dif,s} \cdot \psi_c = 0.51 \cdot 0.82 = 0.42.$$

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

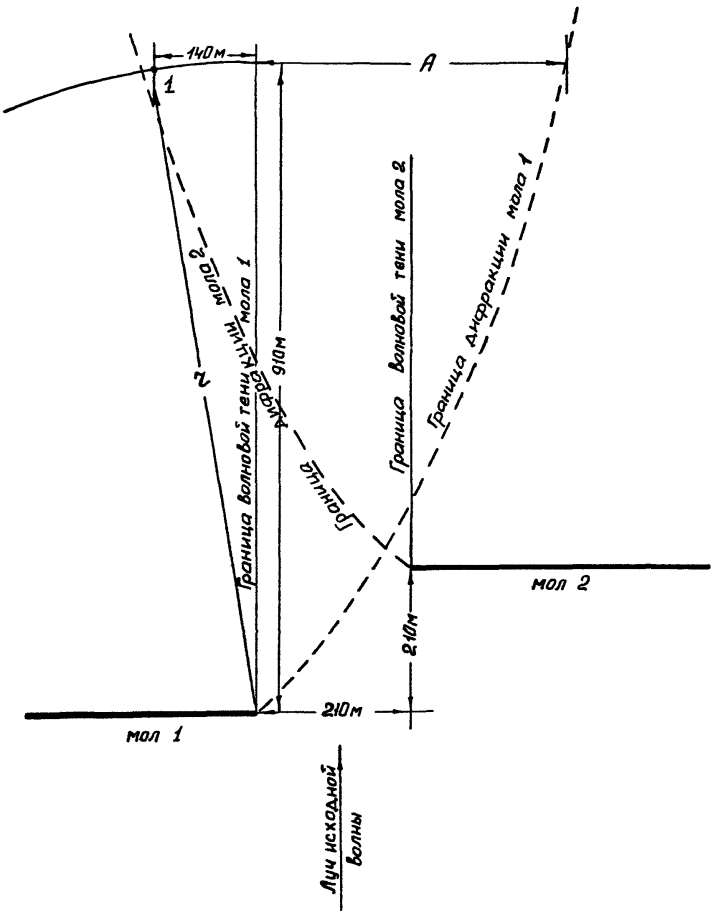


Рис.Д.2.3.Схема к примеру расчета коэффициента дифракции на акватории, огражденной сходящимися молами.

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(гр); ALFA2 = -90.00(гр); ALFA3 = 0.00(гр); DL = 70.00(м); ALAMDA = 70.00(м); 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 $\mathcal{P}$ на акватории, ограждённой перекрывающимися молами, как показано на рис.П.2.6. Расчёт ведётся в безразмерных координатах, отнесённых к длине волны, в расчётной области $\mathcal{D}_C$ (см.п.4).

Решение. Физической области $\mathcal{D}$ соответствует расчётная область $\mathcal{D}_C$, изображенная на рис. П.2.7. Точка расположена в зоне $\mathcal{D}_4$. Её декартовы координаты в области $\mathcal{D}$: (5, -I). Полярные координаты точки $\mathcal{P}$ в зоне $\mathcal{D}_4$: $(r_{\mathcal{P}}, -\theta_{\mathcal{P}} r_{\mathcal{P}})$ = (2,24 - I,04). В области $\mathcal{D}_C$ точке $\mathcal{P}$ соответствует точка $\mathcal{P}_C$ с декартовыми координатами $(x_c^{\mathcal{P}}, y_c^{\mathcal{P}})$ = (5,24, - I.04). Координаты головы мола 2 совпадают в $\mathcal{D}$ и $\mathcal{D}_C$: (x_2, y_2) = (3,0). Углы $\theta_1 = \theta_2 = \frac{\pi}{2}$. Длина расчётного фронта $S = \theta_1 x_2 - y_2 = \pi/2 \cdot 3 = 4.71$. Расчётные координаты (x_1, y_1) в $\mathcal{D}_C$ определяют формулами

$$x_1 = x_c - x_2 = x_c - 3, \quad y_1 = y_c - S_1/2 - y_2 = y_c - 2.36.$$

Уравнение внутренних граней молов I и 2 в области $\mathcal{D}_C$ при $x_c > x_2$ в координатах (x_1, y_1) имеют вид:

$$y_1 = -S_1/2 - \frac{\pi}{2} \cdot x_1, \quad \text{(правый мол)},$$

$$y_1 = S_1/2 + \pi/2 \cdot x_1. \quad \text{(левый мол)}$$

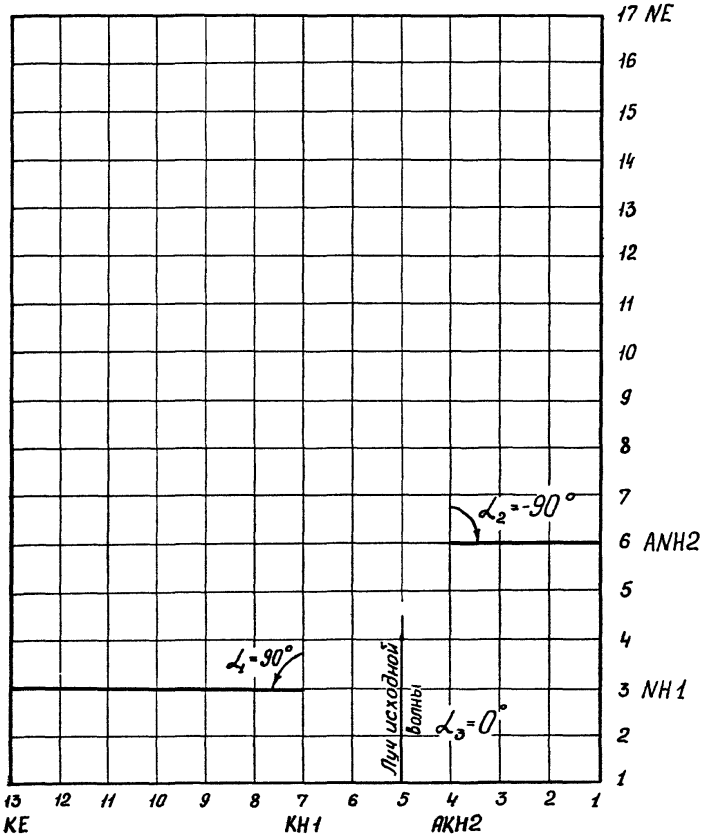


Рис.П.2.4.Пример задания исходных значений для программы расчета коэффициентов дифракции на акватории, огражденной сходящимися молами.

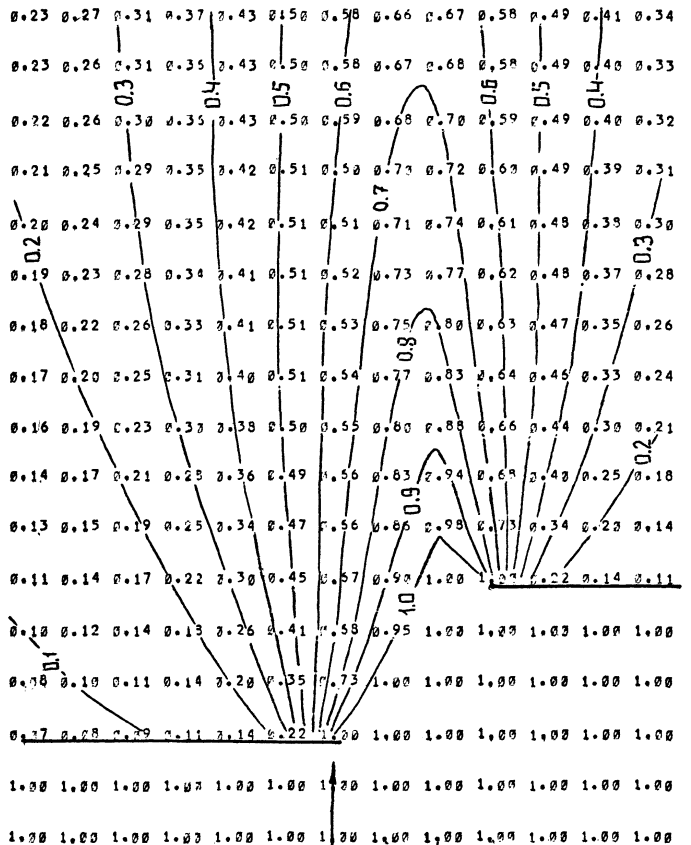
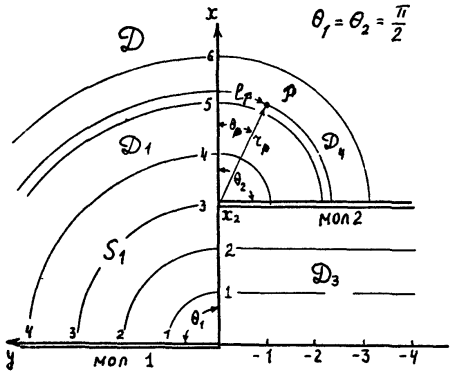


Рис.П.2.5. Коэффициенты дифракции на акватории, огражденной сходящимися молами. Расстояние между узлами сетки DL = 70 м, длина волны λ = 70 м. Стрелкой показано направление исходной волны.



$x_2 = 3,\ y_2 = 0$

$r_p = 2.236 \approx 2.24$

$\theta_p = -\operatorname{arctg} \frac{1}{2} = 0,464$

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

$l_p = -\theta_p r_p = -1,04$

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

Рис.П.2.6. Схема физической области $\mathcal{D}$ к примеру расчета коэффициента дифракции на акватории, ограниченной перекрывающимися молами.

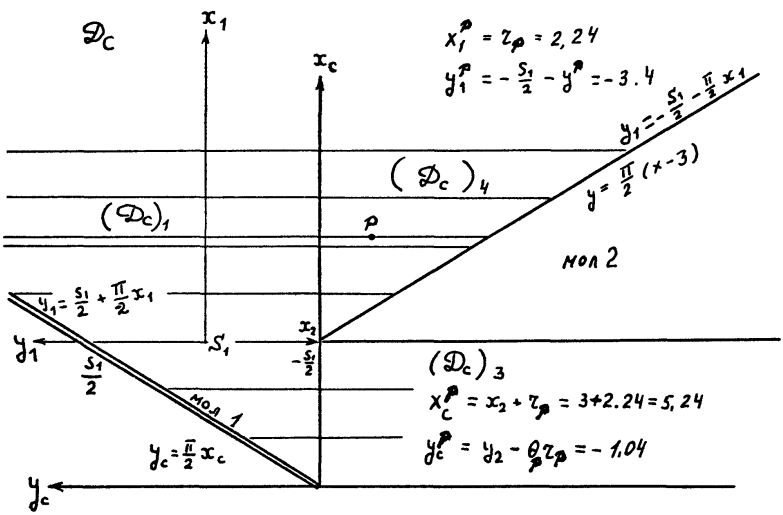


Рис. **П.2.7.** Схема расчетной области $\mathcal{D}_c$ к примеру расчета коэффициента дифракции на акватории, огражденной перекрывающимися молами.

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, расчитанное согласно требованиям п.4.4.I, приведено на рис. п.2.8. Коэффициенты α_1, α_2, β равны: $\alpha_1 = -0{,}I6I$; $\alpha_2 = -0{,}028$; $\beta = 0{,}065$.

Значения переменных z_i ($i = I, \ldots 5$) в точке $\mathcal{P}$:

$z_1 = -0{,}62$; $z_2 = 3{,}4$; $z_3 = -2.0I$; $z_4 = 4{,}I7$; $z_5 = 4{,}I7$;

$z_2 + z_4 = 7{,}57$; $z_1 + z_5 = 3{,}55$.

Расчет квадрата коэффициента дифракции $k^2_{dif,2}$ $(2.24; 3.4)$ в точке $\mathcal{P}$ ведем по формулам (4.9), (4.I6), (4.I7), считая $\Phi(z) = I$ при $z > 3$.

$$k^2_{S_1}\Big|_{\mathcal{P}} = \frac{0.065}{2}\left[1 - \Phi(-0.62)\right] - \frac{3.4}{2}\left[-0.161\cdot\Phi(-0.62) - 0.028 + \right.$$

$$\left. + 0.133\cdot\Phi(-2.01)\right] + 0.4764\left[-0.161\cdot\exp(-0.384) + 0.028 \times \right.$$

$$\left. \times \exp(-11.56) + 0.133\cdot\exp(-4.04)\right] \cong 0.0124 + 0.1029 - 0.0511 \approx 0.64$$

$$k^2_{S_1,\theta_1}\Big|_{\mathcal{P}} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}}\,\frac{0.065 - 0.028\cdot 2.36}{7.57}\cdot 9.5\cdot 10^{-6} = 0.000,$$

$$k^2_{S_1,\theta_2}\Big|_{\mathcal{P}} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}}\,\frac{0.065 + 0.161\cdot 2.36}{3.55}\cdot 0.681 \approx 0.024.$$

Если мол 2 полностью отражает волновую энергию, то

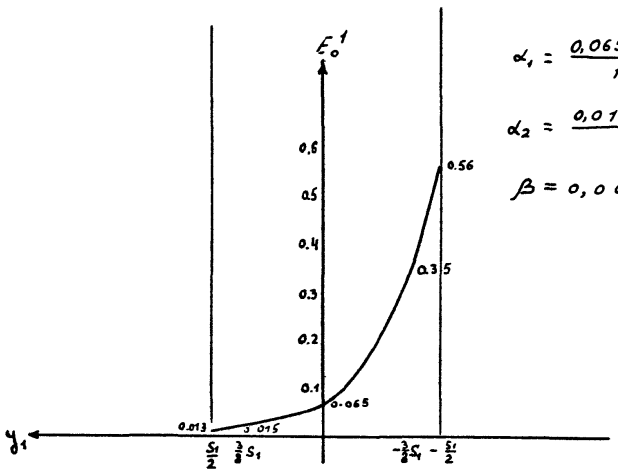
$$k^2_{dif,2}\Big|_{\mathcal{P}} = 0.064 + 0.024 = 0.088,$$

$$k_{dif,2}\Big|_{\mathcal{P}} = 0.297 \approx 0.3.$$

Если мол поглощающего типа, то

$$k^2_{dif,2}\Big|_{\mathcal{P}} = 0.064 - 0.024 = 0.040,$$

$$k_{dif,2}\Big|_{\mathcal{P}} = 0.2.$$



$$\alpha_1 = \frac{0,065 - 0,35}{1,77} = -0,161$$

$$\alpha_2 = \frac{0,015 - 0,065}{1,77} = -0,028$$

$$\beta = 0,065$$

Рис. II.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 ≤ 25) ; NE - число точек расчетной области по вертикали (NE ≤ 35) ; KH1 - координата (номер точки) головы I-го мола (расположенного слева) по горизонтали; NH1 - координата (номер точки) головы I-го мола по вертикали; AKH2 - 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 I-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 $\bar{\lambda}$ в метрах; ICONTR - вспомогательный параметр (если ICONTR = 11 , печатаются промежуточные результаты, позволяющие проконтролировать вычисления). Углы α_1, α_2, α_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         38 READ(5,100,END=34)KE,NE,KH1,NH1,AKH2,ANH2,
               *ALFA1,ALFA2,ALFA3,DL,ALAMDA,ICONTR
0003        100 FORMAT(4I3,7F6.2,I3)
0004            WRITE(6,110)KE,NE,KH1,NH1,AKH2,ANH2,ALFA1,ALFA2,ALFA3,DL,ALAMDA
               *,ICONTR
0005        110 FORMAT(
               *///20X,'РАСЧЕТ ДИФРАКЦИИ ВОЛН ЗА СХОДЯЩИМИСЯ МОЛАМИ ',
               *'ПО СНИП 2.06.04-82'//
               *'  KE  NE KH1 NH1   AKH2    ANH2',
               *'  ALFA1  ALFA2  ALFA3      DL ALAMDA ICONTR'
               */4I4,7F7.2,I7)
0006            ALFA1=(3.141593/180.)*ALFA1
0007            ALFA2=(3.141593/180.)*ALFA2
```

```
      ALFA3=(3.141593/180.)*ALFA3
      FI1=ALFA1-ALFA3
      AM=DL/ALAMDA
      DO 4 N=1,NE
      DO 4 K=1,KE
      IF(N.EQ.NH1.AND.K.EQ.KH1) GOTO 5
      XN1=N-NH1
      YK1=K-KH1
      BETA1=ATAN2(YK1,XN1)-ALFA3
      IF(BETA1.GT.FI1) GOTO 5
      IF(BETA1.LT.-1.57) GOTO 5
      RDL=AM*SQRT(XN1**2+YK1**2)
      IF(BETA1.LT.0.) RDL=RDL*COS(BETA1)
      FI(N,K)=FKDO(FI1,RDL,BETA1)
      GOTO 4
    5 FI(N,K)=1.
    4 CONTINUE
      IF(ICONTR.NE.11) GOTO 40
      DO 19 N=1,NE
      DO 19 K=1,KE
   19 FP(N,K)=FI(NE-N+1,KE-K+1)
      DO 26 N=1,NE
   26 WRITE(6,120) (FP(N,K),K=1,KE)
  120 FORMAT(//25F5.2)
   40 CONTINUE
      XN=ANH2-NH1
      YK=AKH2-KH1
      FI2=ALFA3-ALFA2
      IF(ICONTR.NE.11) GOTO 45
      WRITE(6,115)XN,YK,FI2
  115 FORMAT(//11F11.4)
   45 CONTINUE
      DO 6 N=1,NE
      DO 6 K=1,KE
      XN2=N-ANH2
      YK2=K-AKH2
      IF(YK2.EQ.0..AND.XN2.EQ.0.) GOTO 7
      BETA2=-(ATAN2(YK2,XN2)-ALFA3)
```

```
      IF(BETA2.GT.F12) GOTO 7
      IF(BETA2.LT.-1.57) GOTO 7
      RDL=AM*SQRT(XN2**2+YK2**2)
      IF(BETA2.LT.0.) RDL=RDL*COS(BETA2)
      F2(N,K)=FKOO(F12,RDL,BETA2)
      GOTO 6
    7 F2(N,K)=1.
    6 CONTINUE
      IF(ICONTR.NE.11) GOTO 50
      DO 21 N=1,NE
      DO 21 K=1,KE
   21 FP(N,K)=F2(NE-N+1,KE-K+1)
      DO27 N=1,NE
   27 WRITE(6,120)(FP(N,K),K=1,KE)
   50 CONTINUE
      DXH=ANH2-NH1
      DYH=AKH2-KH1
      ALFA=ATAN2(DYH,DXH)
      AL=SQRT(DXH**2+DYH**2)
      AR=AL*COS(ALFA-ALFA3)
      ARDL=AR*AM
      B=ABS(AL*SIN(ALFA-ALFA3))
      BDL=B*AM
      NS=20
      DO 5 N=1,NE
      DO 5 K=1,KE
      IF(F1(N,K).EQ.1..AND.F2(N,K).EQ.1.) GOTO 9
      XN1=N-NH1
      YK1=K-KH1
      XN2=N-ANH2
      YK2=K-AKH2
      ANR1=ATAN2(YK1,XN1)
      ANR2=ATAN2(YK2,XN2)
      BETA1=ANR1-ALFA3
      BETA2=ALFA3-ANR2
      RDL1=SQRT(XN1**2+YK1**2)*AM
      RDL2=SQRT(XN2**2+YK2**2)*AM
```

Приложение 3
(продолжение)

```
0083            IF(BETA1.GE.0.) GOTO 280
0084            IF(BETA2.GE.0.) GOTO 281
0085            IF(BETA1.LT.0..AND.BETA2.LT.0.) GOTO 282
0086        280 RDL2=RDL1=ARDL
0087            GOTO 283
0088        281 RDL1=RDL2=ARDL
0089            GOTO 283
0090        282 RDL1=RDL1*COS(BETA1)
0091            RDL2=RDL2*COS(BETA2)
0092        283 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=FKDL(BDL,F11,F12,RDL1,RDL2,NS)
0096            A1=1.1*RDL1**(2./3.)*TANH(F11)**0.17
0097            A2=1.1*RDL2**(2./3.)*TANH(F12)**0.17
0098            PSI=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)*PSI
0101            GOTO 8
0102         31 F3(N,K)=F2(N,K)*PSI
0103            GOTO8
0104         10 CONTINUE
0105            A1=1.1*RDL1**(2./3.)*TANH(F11)**0.17
0106            IF(RDL2) 61,61,62
0107         61 A2=0.
0108            GOTO 63
0109         62 A2=1.1*RDL2**(2./3.)*TANH(F12)**0.17
0110         63 CONTINUE
0111            IF(BDL-A1-A2) 74,74,75
0112         74 FKDG=FKDL(BDL,F11,F12,RDL1,RDL2,NS)
0113            GOTO 76
0114         75 FKDG=1.
0115         76 CONTINUE
```

Приложение 3
(продолжение)

```
0116            PSI=SQRT(2.*BDL/(A1+A2+BDL-FKDG*(A1+A2-BDL)))
0117            F3(N,K)=F1(N,K)*PSI
0118            GOTO 8
0119         11 CONTINUE
0120            A2=1.1*RDL2**(2./3.)*TANH(FI2)**0.17
0121            IF(RDL1) 81,81,82
0122         81 A1=0.
0123            GOTO 83
0124         82 A1=1.1*RDL1**(2./3.)*TANH(FI1)**0.17
0125         83 CONTINUE
0126            IF(BDL-A1-A2) 94, 94, 95
0127         94 FKDG=FKDL(BDL,FI1,FI2,RDL1,RDL2,NS)
0128            GOTO 96
0129         95 FKDG=1.
0130         96 CONTINUE
0131            PSI=SQRT(2.*BDL/(A1+A2+BDL-FKDG*(A1+A2-BDL)))
0132            F3(N,K)=F2(N,K)*PSI
0133            GOTO 8
0134          9 F3(N,K)=1.
0135          8 CONTINUE
0136            DO 23 N=1,NE
0137            DO 23 K=1,KE
0138         23 FP(N,K)=F3(NE-N+1,KE-K+1)
0139            DO 29 N=1, NE
0140         29 WRITE(6,120)(FP(N,K),K=1,KE)
0141            GOTO 38
0142         34 STOP
0143            END
```

Приложение 3
(продолжение)

```
0001            FUNCTION FKDD(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            IF(BB)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(BB.LT.0.AND.ABS(AA2).GE.AA3) GOTO 4
0013            FKDD=AA/((AA2+AA3)**2.5*AA)
0014            GOTO 5
0015          4 FKDD=1.
0016          5 RETURN
0017            END
0001            FUNCTION FKDL(BDL,FI1,FI2,RDL1,RDL2,IN)
0002            A=1.
0003            DO 10 I=1,IN
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=FKDD(FI1,R1,BETA1)
0011            AKD2=FKDD(FI2,R2,BETA2)
0012            IF(AKD1.EQ.1..AND.AKD2.EQ.1.) GOTO 13
0013            B=ABS(AKD1-AKD2)
0014            IF(B,GE,A) GOTO 10
0015            A=B
0016            FKDL=(AKD1+AKD2)/2.
0017         10 CONTINUE
0018            GOTO 14
0019         13 FKDL=1.
0020         14 RETURN
0021            END
```

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

I. 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 I (рекомендуемое). Графики для определения коэффициентов дифракции ветровых волн. . . I3

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (рекомендуемое). Примеры расчета высот волн на акватории порта. 32

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (рекомендуемое). Программа расчета коэффициентов дифракции ветровых волн на акватории, огражденной сходящимися молами. . 44

gost.e-ecolog.ru