СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ

Министерство морского флота

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕТРОВЫХ И ВОЛНОВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОРСКИХ ПОРТОВ

РД 31.33.02-81

Москва-1981

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ Государственным проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом морского транспорта "Союзморниипроект". Зам.директора Союзморниипроекта, д.т.н. Костюков В.Д. Руководитель темы д.ф.-м. н., проф.Крылов Ю.М. Исполнители: мл.н.с. Галенин Б.Г., вед.инженер Гончаров Е.И., мл.н.с. Дугинов Б.А., мл.н.с. Кривицкий С.В., ст.н.с., к.г.н. Кузьминская Г.Г., рук.гр.Марков В.В., мл.н.с. Поляков Ю.П., ст.н.с. Попков Р.А., ст.н.с., к.ф.-м.н. Стрекалов С.С.

УТВЕРЖДЕНЫ И.о.гл.инженера Государственного проектно-изыскательского и научно-исследовательского института морского транспорта Т.И.Чодришвили 11 мая 1981 г.

ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ с 1 сентября 1981 г. распоряжением гл.инженера Союзморниипроекта № 28 от 5 июня 1981 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕТРОВЫХ И ВОЛНОВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОРСКИХ ПОРТОВ

РД 31.33.02 - 81
Вводится впервые

Вводится в действие с 01.09 1981 г.

Настоящий руководящий документ (РД) служит для определения расчетных характеристик ветра, ветровых волн, штормовых нагонов и элементов низкочастотных колебаний акваторий, являющихся факторами, определяющими надежность и долговечность гидротехнических сооружений. Отдельные положения РД дополняют главы СНиП [1,2] и "Руководства" [3,4] .

РД предназначен для применения при проектировании морских портов и судоремонтных заводов.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Результаты исследований ветровых и волновых условий в районе строительства или реконструкции объектов морского транспорта представляют в виде режимных функций ветра и волнения, построенных по данным систематических наблюдений. Допускается строить режимные функции элементов волн расчетным путем по ветру; в этом случае обеспеченность волнения определяется по среднему количеству штормовых ситуаций в году.

I.2. Режимные характеристики береговых ветров в удаленном от метеостанции районе получают по исходной режимной функции ветра на метеостанции с учетом характера местности.

I.3. Режимные характеристики элементов волн в заданной точке акватории получают по режимной функции волнения на подходах к порту с учетом их трансформации в прибрежной мелководной зоне.

I.4. При значительных изменениях ветро-волновых условий в течение года, что выясняется при анализе наблюдений, режимные функции допускается строить для характерных периодов года.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРА

Раздел 2 заменен РД 31.33.04-84 см. Извещение №1, ст 10.05.84г - срок

2.I. Основные характеристики ветра

2.I.I. Характеристиками ветра в заданной точке являются:

- осредненные скорость и направление ветра;

- динамическая скорость или скорость трения W_*, определяемая формулой $W_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$, где τ_0 - касательное напряжение на поверхности моря или суши, ρ - плотность воздуха;

- параметр шероховатости z_0 - расстояние от условной невозмущенной поверхности моря или суши до точки, где средняя скорость ветра равна нулю;

- эпюра скорости ветра - вертикальный профиль средней скорости ветра отсчитываемый от уровня z_0.

2.I.2. Характеристиками ветра в заданной точке за интервал времени в несколько десятков лет являются режимные функции обеспеченности скорости ветра фиксированных направлений; при этом в качестве исходных принимают значения скорости ветра, приведенные к показаниям анемометра с десятиминутным (или двухминутным для расчета ветровых нагрузок) интервалом осреднения на высоте I0 м.

Каждую режимную функцию строят на функциональной сетке (рис.2.I), где по оси ординат наносятся характеристики ветра (или элементы волн) по измеренным или вычисленным за многолетний период скоростям ветра (волнению) заданного направле-

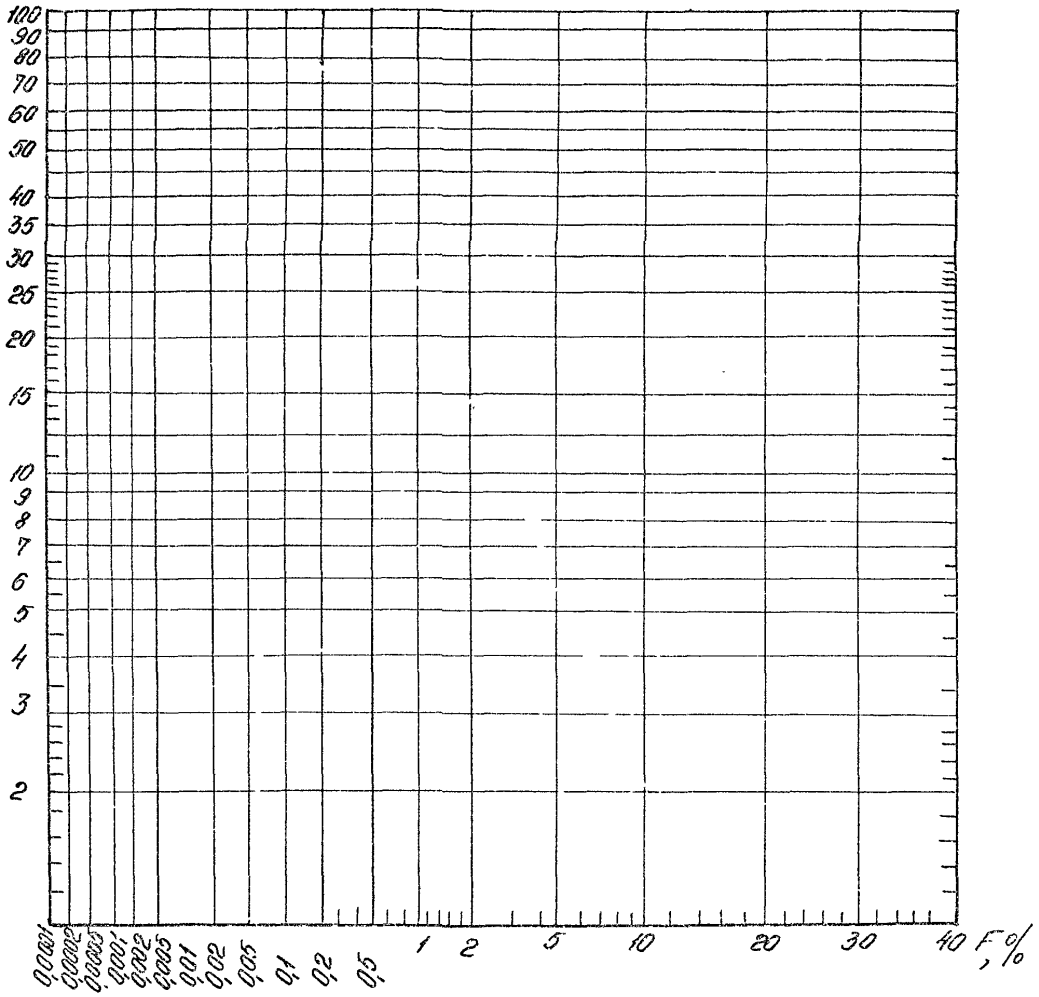


Рис.2.I. Функциональная сетка.

ния. По горизонтальной оси рис.2.I откладывают обеспеченность F в процентах, принимая за I00 % общую продолжительность многолетнего ряда наблюдений над ветром в заданном секторе направлений, по вертикальной - величину скорости ветра в м/с.

Продолжительность используемого многолетнего ряда наблюдений над ветром необходимо определять в соответствии с требованиями главы СНиП [I] .

В области больших скоростей ветра (не менее I5 м/с) режимные функции допускается спрямлять и экстраполировать.

На график режимной функции допускается наносить данные о средней непрерывной продолжительности ветра данной и большей скорости.

По данным о средней непрерывной продолжительности ветра и многолетней обеспеченности F (%) рассчитывают шкалу среднего числа штормовых случаев в году.

2.I.3. Расстояние от метеостанции, наблюдения которой используются для построения режимных функций в расчетной точке, не должно превышать I0 км при отсутствии дополнительных обоснований.

2.I.4. Скорости ветра $W_ф$ более 20 м/с, измеренные по флюгеру, необходимо приводить к показаниям анемометра W_a по табл.2.I.

Таблица 2.I.

$W_ф$, м/с	20	25	30	35	40	45	50
W_a , м/с	20	24	27,5	3I	35	39	42,5

2.I.5. Расчеты характеристик ветра в районе порта необходимо выполнять с учетом деления ветрового потока на морские и

береговые ветры. Морскими - для порта считаются ветры в секторе, открытом со стороны моря, в котором отсутствуют острова и мысы; ветры остальных направлений со стороны суши (мыса, острова) считаются береговыми.

2.2. Расчет характеристик морских ветров в районе порта.

2.2.I. При расчетах характеристик морских ветров допускается использовать как фактические измерения ветра на метеостанциях, так и данные синоптических карт. Если метеостанция расположена на берегу на расстоянии не более 200 м от моря и удалена от порта на расстояние не более I0 км (см.п.2.I.3) и на станции регистрируются ветры морских румбов, характерные для порта, то используют данные наблюдений над ветром на метеостанции. В тех случаях, когда расположение станции не удовлетворяет указанным требованиям или ветры отдельных румбов морских направлений в порту являются береговыми для метеостанции, то для этих румбов используются расчетные данные по ветру, получаемые по синоптическим картам.

2.2.2. Определение расчетной скорости ветра W на стандартной высоте I0 м над уровнем моря можно производить по скорости ветра, измеренной на метеостанции на любой высоте, по формуле

$$W = k_z W_z , \qquad (2.I)$$

где k_z - коэффициент "приведения" скорости ветра к стандартной высоте.

Коэффициент k_z для нейтральной стратификации необходимо принимать по табл.2.2.

Таблица 2.2

Высота над уровнем моря z, м	Значения k_z при скорости ветра W_z, м/с				
	10	20	30	40	50
2	1,20	1,25	1,32	1,40	1,52
4	1,10	1,12	1,15	1,18	1,20
6	1,05	1,07	1,08	1,09	1,10
8	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04
10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
12	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97
14	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95
16	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93
18	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
20	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90
30	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86
40	0,89	0,87	0,85	0,84	0,83
50	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81
100	0,83	0,80	0,78	0,76	0,75

В таблицу 2.2 входят по значению скорости ветра W_z, измеренной на высоте z, и определяют значение коэффициента k_z. Далее по формуле (2.1) вычисляют значение скорости ветра W на высоте $z = 10$ м.

Коэффициент k_z при наличии температурной стратификации необходимо определять при скорости ветра менее 20 м/с по табл. 2.3 (где t_w – температура воды, t_a – температура воздуха), а при скоростях ветра 20 м/с и более – по табл. 2.2.

Таблица 2.3.

Соотношение температур воды и воздуха	Значения коэффициента k_z на высоте z, м						
	2	4	6	8	I0	I2	I4
$t_w > t_a$	I,I2	I,08	I,04	I,0I	I,0	0,99	0,98
$t_w < t_a$	I,43	I,22	I,I0	I,04	I,0	0,97	0,94
	I6	I8	20	30	40	50	I00
$t_w > t_a$	0,97	0,96	0,95	0,93	0,9I	0,89	0,84
$t_w < t_a$	0,93	0,90	0,89	0,8I	0,76	0,73	0,65

2.2.3. При расчетах скорости ветра W на высоте I0 м по синоптическим картам в расчетной точке необходимо учитывать расстояние между изобарами d_n, измеренное в град.меридиана, широту места φ, град., радиус кривизны изобар $R_{ки}$, град. меридиана, и при ветрах менее 20 м/с соотношение температур воды и воздуха. Расчет осуществляют последовательно: из рис.2.2 определяют скорость геострофического ветра $W_г$ – по расстоянию между изобарами d_n и широте места φ; по рис.2.3 находят отношение скорости градиентного ветра $W_{гр}$ к скорости геострофического ветра $W_г$ в зависимости от широты места φ, отношения скорости геострофического ветра $W_г$ к радиусу кривизны изобар $R_{ки}$ с учетом характера кривизны – циклонической или антициклонической, – и затем определяют скорость градиентного ветра $W_{гр}$; из рис.2.4 определяют скорость ветра W на высоте z = I0 м в зависимости от скорости градиентного ветра.

Влияние температурной стратификации учитывают по соотношению температур воды и воздуха при скоростях ветра $W < 20$ м/с путем умножения скорости ветра на коэффициент k_c, принимаемый равным:

– при температуре воды большей температуры воздуха – k_c = I,I4;

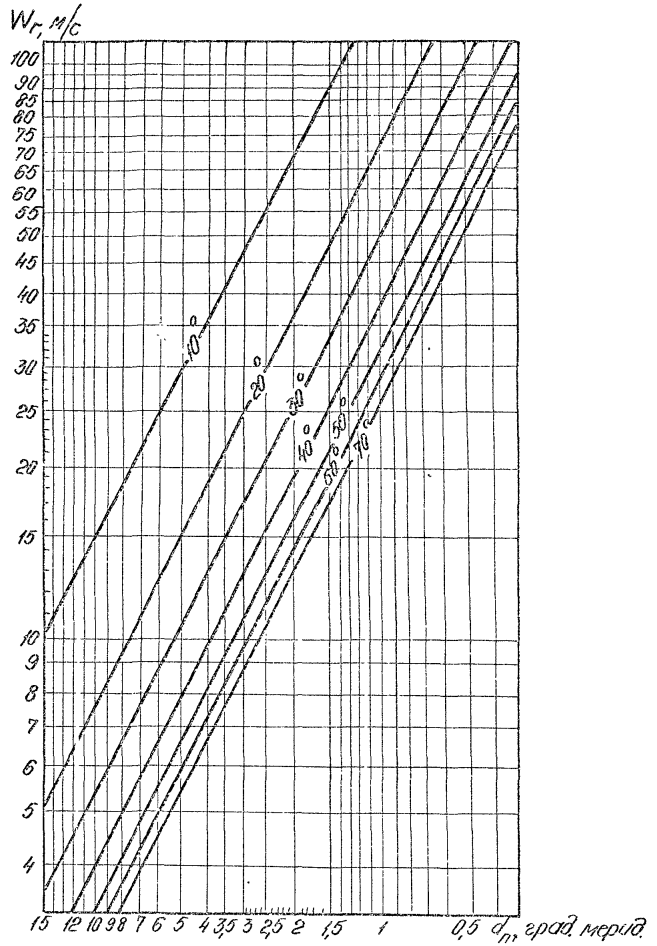


Рис. 2.2 График для определения скорости геострофического ветра $W_г$, м/с, по расстоянию между изобарами d_n, град.мерид., и широте места φ, град.

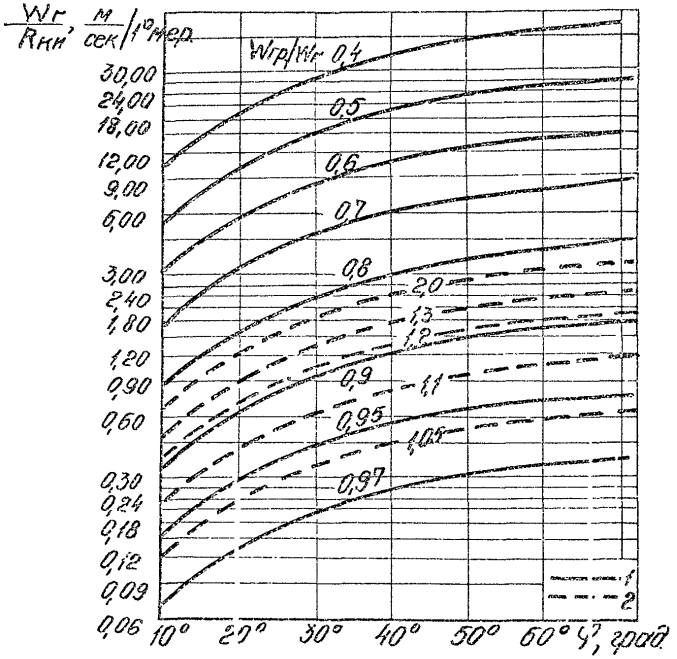


Рис.2.3 График для определения отношения скорости градиентного ветра $W_{гр}$, м/с, к скорости геострофического ветра $W_г$, м/с, по широте места φ и отношению $W_г/R_{ки}$ ($R_{ки}$ - радиус кривизны изобар, град. керид.):

I - циклоническая кривизна;

2 - антициклоническая кривизна.

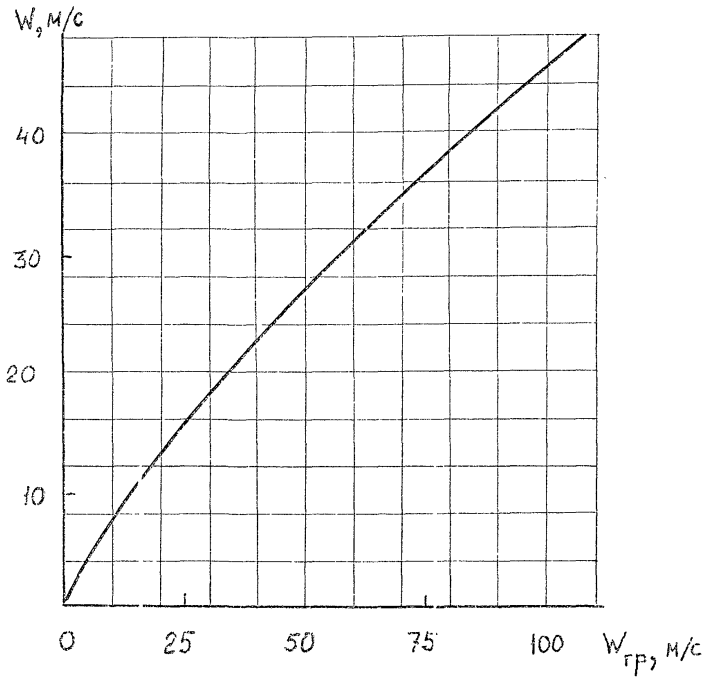


Рис.2.4 График для определения скорости ветра W, м/с, на горизонте 10 и по скорости градиентного ветра $W_{гр}$, м/с.

-при температуре воды равной температуре воздуха – $k_c = 1,0$;

-при температуре воды меньшей температуры воздуха – $k_c = 0,86$.

Направление ветра отклоняют от изобары на угол 10 град. в сторону низкого давления.

2.2.4. Динамическую скорость ветрового потока W_* необходимо принимать по расчетной скорости ветра W согласно рис.2.5. (линия 1).

2.2.5. Параметр шероховатости z_0 необходимо принимать по расчетной скорости ветра W согласно рис. 2.5. (линия 2).

2.2.6. Построение эпюры скорости ветра в приводном слое должно выполняться с учетом расчетной скорости ветра W, динамической скорости W_* и параметра шероховатости z_0, определяемых по пп.2.2.2.-2.2.5. настоящих "Указаний". Скорость ветра на горизонте z приводного слоя необходимо определять по формуле:

$$W_z = 5.75\, W_* \lg \frac{z}{z_0} \qquad (2.2.)$$

2.3. Расчет характеристик береговых ветров в районе порта.

2.3.1. При расчете характеристик береговых ветров используют данные наблюдений метеостанций, удаленных от порта на расстояние не более 10 км (см. пункт 2.1.3); при этом в радиусе 10км от станции и порта не должно быть возвышенностей высотой более 100 м. Если указанные требования не выполняются, необходимо проводить наблюдения за ветром в районе порта, при этом допускается использовать данные метеостанции для тех направлений, которые не искажены влиянием орографии.

2.3.2. При расчетах характеристик ветра необходимо учитывать характер местности, на которой расположена метеостанция. Местность по характеру подстилающей поверхности подразделяют на три типа: А, Б и В.

К типу А относят открытую местность (пустыни, степи);

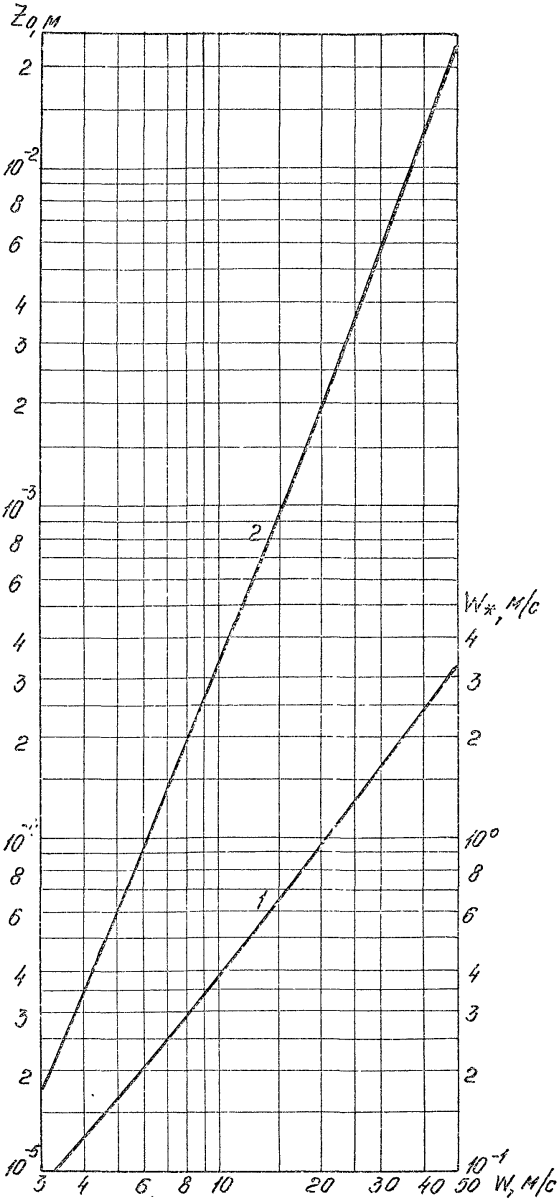


Рис.2.5 График для определения динамической скорости W_*, м/с, (линия I) и параметра шероховатости Z_0, м, (линия 2) по скорости ветра W, м/с, на горизонте 10 м.

при этом z_0= 0,03м.

К типу Б относят лесистую местность, проселки и районы городов с малоэтажной застройкой; в этом случае z_0 = 0,3 м.

К типу В относят районы крупных городов со зданиями повышенной этажности; при этом z_0= I м.

2.3.3. Расчет скорости ветра W на высоте I0 м по данным наблюдений на метеостанции на высоте, отличающейся от стандартной, необходимо выполнять по формуле (2.I).

Коэффициент "приведения" ветра к стандартному горизонту принимают по данным табл. 2.4. для разных типов местности А, Б и В.

Таблица 2.4.

Высота наблюдения z, м	Значение k_z для типа местности			Высота наблюдения z, м	Значение k_z для типа местности		
	А	Б	В		А	Б	В
2	I,29	I,42	I,70	I6	0,93	0,90	0,86
4	I,I6	I,22	I,35	I8	0,9I	0,88	0,83
6	I,08	I,I2	I,I8	20	0,90	0,86	0,80
8	I,04	I,05	I,08	30	0,84	0,78	0,70
I0	I,00	I,00	I,00	40	0,80	0,74	0,63
I2	0,97	0,96	0,94	50	0,77	0,70	0,59
I4	0,95	0,93	0,89	I00	0,69	0,60	0,47

2.3.4. Динамическую скорость ветрового потока W_* следует определять по рис. 2.6. в зависимости от скорости ветра на высоте I0 м и типа местности.

2.3.5. Построение эпюры скорости ветра в приземном слое следует выполнять с учетом типа местности и скорости ветра на горизонте I0 м, определяемых по пп.2.3.2. и 2.3.3. Расчет скорости ветра W_z на горизонте z следует выполнять по формуле

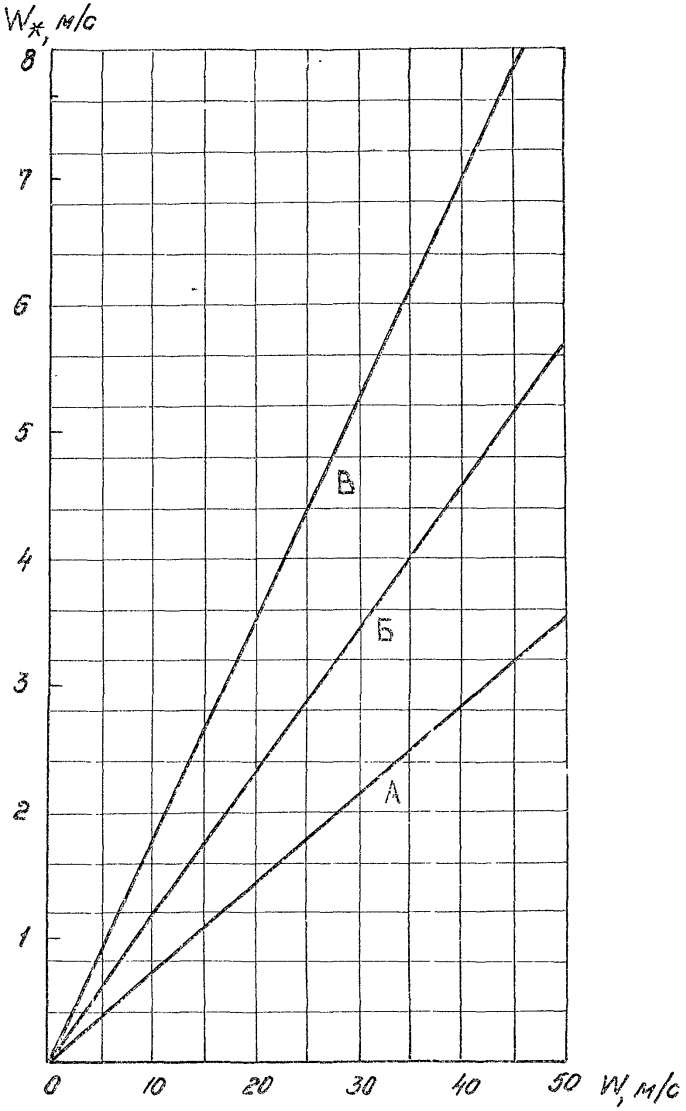


Рис.2.6. График для определения динамической скорости W_*, м/с, по скорости ветра W, м/с, на горизонте IO и для разных типов местности.

$$W_z = K_э W , \qquad (2.3)$$

где коэффициент $K_э$ принимается по табл. 2.5.

Таблица 2.5.

Высота наблюдения (сооружения) z, м	Значения $K_э$ для типа местности			Высота наблюдения (сооружения) z, м	Значения $K_э$ для типа местности		
	А	Б	В		А	Б	В
2	0,78	0,70	0,59	I6	I,08	I,II	I,I6
4	0,86	0,82	0,74	I8	I,I0	I,I4	I,2I
6	0,92	0,89	0,85	20	I,II	I,I6	I,25
8	0,96	0,95	0,92	30	I,I9	I,28	I,43
I0	I,0	I,0	I,0	40	I,25	I,35	I,59
I2	I,03	I,04	I,06	50	I,30	I,43	I,69
I4	I,05	I,08	I,I2	I00	I,45	I,67	2,I3

2.3.6. При расчетах характеристик ветра в различных районах порта, отличающихся по типу местности от района расположения метеостанции, допускается данные наблюдений метеостанции корректировать с учетом типа местности в данном районе порта. Пересчет следует производить по схеме от А к Б, от Б к В или от В к Б и Б к А; при этом водная поверхность относится к типу А. Тип местности выделяют в том случае, если ее протяженность по направлению ветра составляет не менее 0,2 км.

Расчет скорости ветра в удаленном от метеостанции районе порта, отличающимся по типу шероховатости, осуществляют в такой последовательности:

– в соответствии с п.2.3.4. определяют динамическую скорость в районе метеостанции $(W_*)_1$;

– для перехода к динамической скорости для местности другого типа (по направлению ветра) используют коэффициент перехода $K_п$; при этом принимают:

при переходе от А к Б , $K_n = 1{,}38$;

–"– Б к В $K_n = 1{,}26$;

–"– В к Б $K_n = 0{,}79$;

–"– Б к А $K_n = 0{,}69$.

Динамическую скорость $(W_*)_2$ вычисляют по формуле:

$$(W_*)_2 = K_n (W_*)_1 \quad ; \qquad (2.4)$$

– по рис. 2.6. по значению $(W_*)_2$ определяют скорость ветра W на высоте 10 м.

Эпюру скорости ветра в данном районе определяют в соответствии с требованиями п.2.3.5.

При чередовании типов местности расчет выполняют последовательно. Сначала от А к Б, затем от Б к В или в обратном порядке.

2.4. Определение характеристик ветра для расчета режима ветровых волн перед портом

2.4.1. В тех случаях, когда разгоны волн для района моря перед портом по всем волноопасным направлениям не превышают 100 км, характеристики ветра для расчета режима ветровых волн перед портом следует определять по данным наблюдений за ветром на метеостанции, расположение которой удовлетворяет требованиям п.2.2.1. настоящих "Указаний".

2.4.2. Обработку наблюдений метеостанции производят за безледный период для волноопасных направлений. К одному типу волноопасного направления относят все наблюдения со скоростью ветра свыше 6–8 м/с, при которых направление ветра совпадало с одним из основных восьми румбов или отличалось от него менее чем на $22{,}5^{\circ}$.

По всему ряду наблюдений продолжительностью n лет опре-

деляют количество n_w и среднюю непрерывную продолжительность $\bar{t}_w$, час, ситуаций, в течение которых скорость ветра была равна и выше заданного значения W (например ≥ 6, ≥ 11 ≥ 16 и т.д., м/с).

После чего находят обеспеченность F_w, в процентах, для соответствующего значения W по формуле:

$$F_w = \frac{4.17\,\bar{t}_w\,n_w}{N\,n\,P}, \qquad (2.5)$$

где N – средняя многолетняя продолжительность безледного периода в году, суток;

P – повторяемость данного типа волноопасного направления ветра в долях единицы.

Полученные значения F наносят на функциональную сетку (рис.2.1). Участок функции с малыми F получают путем линейной экстраполяции. Далее строят в графической форме зависимость значений $F_n = \frac{n_w}{n}$ от W и таким образом получают среднее число штормовых ситуаций в году, в течение которых скорость ветра фиксированного волноопасного направления равнялась или превышала заданное значение W. Участок функции с малыми значениями F_n получают путем экстраполяции.

2.4.3. В том случае, если имеются данные о средней непрерывной продолжительности и повторяемости ветра по направлениям и градациям скорости, удовлетворяющие требованиям главы СНиП [1], строят режимные функции по этим данным, принимая каждое волноопасное направление за 100%.

При этом количество штормовых ситуаций в году F_n определяют по формуле:

$$F_n = \frac{F_w\,N\,P}{4.17\,\bar{t}_w} \qquad (2.6)$$

2.4.4. В тех случаях, когда разгоны по всем волноопасным направлениям не превышают 100 км, но требования п.2.2.1. по расположению метеостанции не выполняются, режимные функции обеспеченности скорости ветра строят указанными в п.2.4.2. приемами, используя не наблюдения метеостанции, а синоптические карты. Расчет характеристик ветра по синоптическим картам следует выполнять в соответствии с требованиями пп. 2.2.3.-2.2.6.

Примечание. При надлежащем обосновании характеристики ветра для расчета режима ветровых волн допускается определять по наблюдениям метеостанций и в тех случаях, когда положение станции не удовлетворяет требованиям п.2.2.1., а разгоны волн по волноопасным направлениям превышают 100 км.

2.4.5. В тех случаях, когда разгоны волн перед портом превышают 100 км хотя бы по одному волноопасному направлению, характеристики ветра для расчета режима ветровых волн, как правило, следует определять с учетом пространственной и горизонтальной неоднородности ветрового потока над морем на основе анализа массива синоптических карт за период времени, регламентированный главой СНиП [1].

2.4.6. В тех случаях, когда разгоны волн перед портом лежат в пределах от 100 до 1000 км (что обычно бывает, если порт расположен на открытом побережье моря, практически изолированного от волн из океана), характеристики ветра надлежит получать следующим образом.

Вначале намечают тот район открытого моря перед портом, по которому затем производят сортировку синоптических карт. Размер района выбирают таким, чтобы в его пределах направление ветра волноопасных румбов при скорости не менее 6-8 м/с на любой карте менялось не более чем на 45°, а величина скорости - не более чем на 5 м/с.

Затем производят сортировку всех синоптических карт по основным волноопасным для данного района румбам и по выбранным градациям скорости ветра. Обычно принимают следующие градации: 6–10, 11–15, 16–20, 21–25, > 25 м/с.

Выбор района перед портом и сортировку синоптических карт производят с помощью заранее составленной таблицы. Входными данными в таблицу служат: расстояние между изобарами, в градусах меридиана, радиус кривизны изобар $R_{ки}$, в градусах меридиана, и характер кривизны изобар (циклоническая или антициклоническая), а выходной информацией является та или иная градация скорости ветра.

Таблицу составляют согласно п.2.2.3.

В итоге получают не более восьми типов карт, отвечающих основным волноопасным румбам, и несколько групп для каждого типа, отвечающих различным градациям скорости ветра. При этом синоптические карты в любой группе должны относиться не менее чем к трем различным штормам. Из синоптических карт каждой группы выбирают характерную карту, оптимально близкую ко всем картам данной группы.

Если в пределах какой-то группы синоптических карт не удается выделить одну характерную карту, необходимо выделить несколько таких карт. При этом каждая характерная карта должна быть представительницей группы карт, охватывающих не менее трех различных штормов.

Каждую характерную синоптическую карту принимают за типовую для карт, попавших в каждую группу, и, разделив эти количества на общее число карт данного типа, получают частоту, в процентах, появления каждой типовой синоптической ситуации в рамках данного типа. Для каждой типовой синоптической ситуации

строят соответствующее типовое поле ветра (расчеты выполняют в соответствии с требованиями п.2.2.3.) и отмечают на каждом поле найденную выше частоту его появления, в процентах.

Кроме того, путем просмотра массива синоптических карт каждого типа определяют среднюю непрерывную продолжительность $\bar{t}_i$ штормовых ситуаций, в течение которых скорость ветра в выбранном районе открытого моря перед портом была выше нижней границы каждой градации скорости ветра. Далее строят в графической форме зависимость найденных значений $\bar{t}_i$ от W_i и экстраполируют ее в область высоких значений W .

Построенные типовые поля ветра вместе с зависимостью $\bar{t}_i$ от W_i принимаются за основу последующих расчетов режима ветровых волн перед портом.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ И ВЫСОТЫ ВЕТРОВОГО НАГОНА

3.I. Расчетные уровни воды.

3.I.I. Расчетные уровни воды необходимо определять по результатам статистической обработки данных многолетних (не менее 25 лет) рядов наблюдений. При отсутствии данных натурных наблюдений расчетные уровни определяют с учетом приливо-отливных, сгонно-нагонных, сезонных и годовых колебаний уровней.

3.I.2. Максимальный расчетный уровень воды необходимо принимать для сооружения I класса - I% (I раз в I00 лет), II класса - 5% (I раз в 20 лет), а для III и IУ классов - I0% (I раз в I0 лет) по наивысшим годовым уровням.

Примечание. При проектировании берегоукрепительных сооружений обеспеченность расчетных уровней воды необходимо принимать в соответствии с требованиями главы СНиП [I].

3.2. Высота ветрового нагона.

3.2.I. Высоту ветрового нагона Δh, м, следует, как правило, принимать по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии в соответствии с требованиями настоящего раздела.

3.2.2. Высоту ветрового нагона для замкнутых водоемов с горизонтальным дном без учета конфигурации береговой линии при ветре, направленном вдоль оси водоема, допускается определять по графику рис.3.I. По безразмерным величинам:

$$\frac{X}{L} \quad \text{и} \quad \mathcal{J}_1 = 1{,}1 \cdot 10^{-3} \frac{W_*^2 L}{g \bar{H}^2},$$

где X - расстояние от подветренного берега, м;

L - длина водоема, м; $\bar{H}$ - средняя глубина водоема, м;

W_* - динамическая скорость, м/с, определяемая по п.2.2.4 настоящих указаний, и графикам рис.2.5., получают безразмерную

величину $\frac{\Delta h}{H}$ и вычисляют высоту ветрового нагона – Δh, м.

Примечание: Дно считается горизонтальным, если выполняется условие: $H_{max}/H_{min} \leq 1.5$, где H_{max} и H_{min} – соответственно максимальная и минимальная глубины.

3.2.3. Высоту ветрового нагона для замкнутых водоемов с переменными глубинами и сложной конфигурацией береговой линии при ветре, направленном вдоль оси водоема, допускается определять методом последовательных приближений.

В первом приближении определяют среднюю глубину водоема и по величине J_1, и графику рис.3.2. находят безразмерную величину $\frac{X_0}{L}$ и X_0–положение узловой точки на оси водоема. Величины Δh, рассчитанные от узловой точки в направлении действия ветра, принимают положительные значения (нагон), а в противоположном направлении – отрицательные значения (сгон). Начиная с X_0, водоем разбивают на отдельные участки таким образом, чтобы учесть изменение его глубины и конфигурации береговой линии. Безразмерные величины $\Delta h_i^*/H_i$ получают с помощью графика рис.3.I по величине $X/L = I$ и величине

$$J_2 = 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{W_*^2 \Delta X_i}{g H_i^2},$$

где $i = \pm 1; \pm 2 \ldots$ – номер участка, причем знак соответствует положительным или отрицательным значениям Δh; H_i – средняя глубина на i –том участке с учетом повышения (понижения) уровня на предыдущем участке, м. Величину нарастания (убывания) уровня на i – том участке Δh_i^*, м, вычисляют по отношению $\Delta h_i^*/H_i$. Высоту ветрового нагона (сгона) на i –том участке определяют по формуле:

$$\Delta h_i = \sum_{i=1}^{i} \Delta h_i^*. \qquad (3.I.)$$

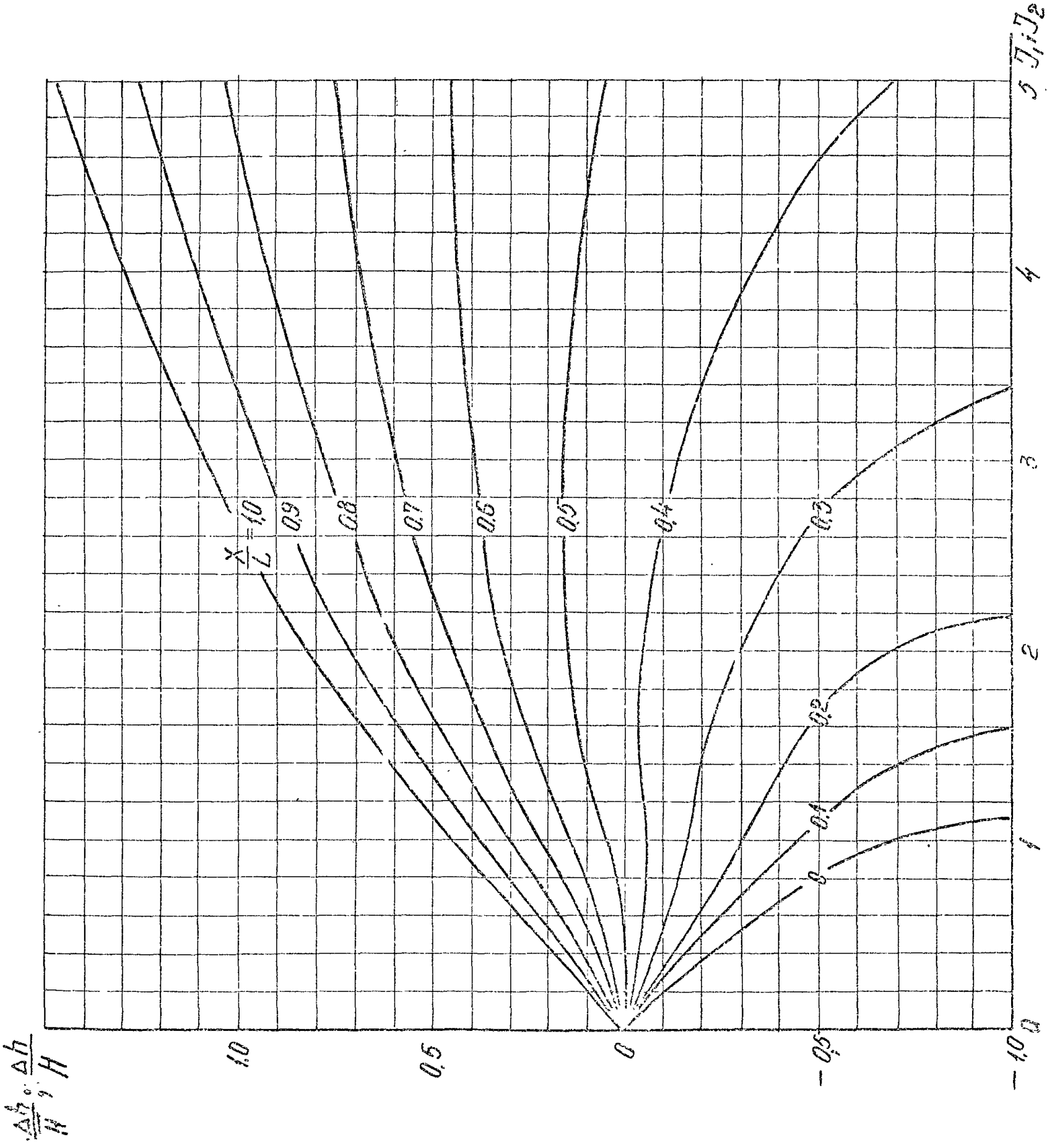


Рис.3.1. График для определения высоты ветрового напора.

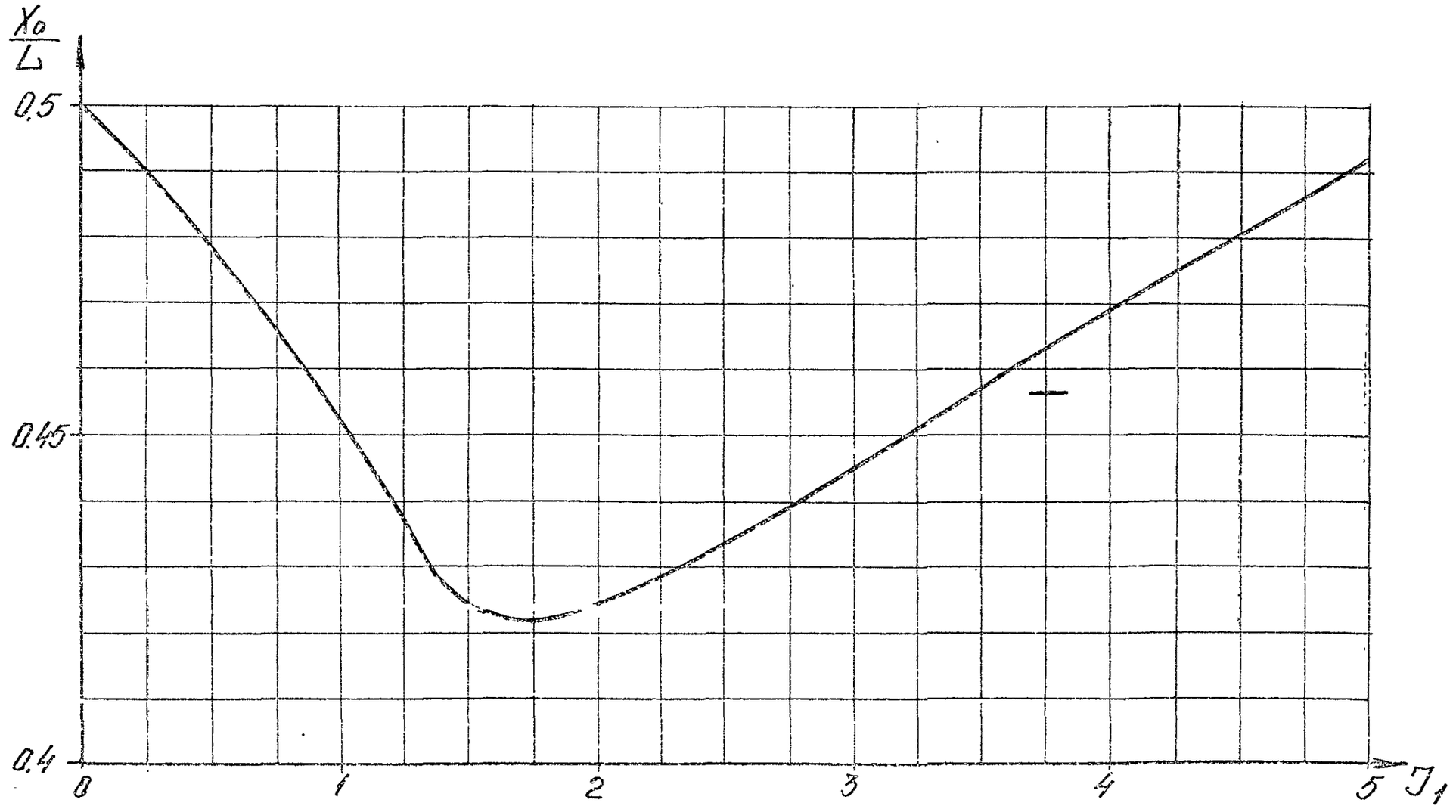


Рис.3.2. График для определения положения узловой точки.

Последующие приближения выполняют аналогичным образом, используя для определения положения узловой точки – X_0 соотношения:

$$V_{(+)} + V_{(-)} = 0 , \qquad (3.2.)$$

$$V_{(\pm)} = \sum_{i=1}^{i} B_i \Delta h_i \Delta X_i , \qquad (3.3.)$$

где B_i – средняя ширина водоема на i-том участке, а знаки (+) и (–) означают суммирование соответственно с положительными и с отрицательными значениями Δh_i. Расчет заканчивают при выполнении требования:

$$\frac{|V_{(+)} + V_{(-)}|}{V_{(+)}} \leq 0.1. \qquad (3.4.)$$

3.2.4. Высоту ветрового нагона для замкнутых водоемов при ветре, направленном под углом к оси водоема, допускается рассчитывать согласно требованиям п.п. 3.2.2. и 3.2.3.; вместо величины W^2 принимают ее проекцию на ось водоема.

3.2.5. Расчет высоты ветрового нагона для открытых акваторий допускается выполнять согласно п.п. 3.2.2.–3.2.4., используя первое приближение. Положение узловой точки в этом случае определяют из условия:

$$\frac{g H_0}{W^2} = 3 , \qquad (3.5.)$$

где W – расчетная скорость ветра, м/с;

H_0 – глубина, которой соответствует величина X_0 – кратчайшее расстояние от расчетной точки до узловой.

3.2.6. Результаты расчетов допускается корректировать по данным натурных измерений.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВЫХ ВОЛН

4.I. Расчет характеристик ветровых волн на подходах к порту.

4.I.I. Построение режимных функций элементов волн перед портом в тех случаях, когда разгоны волн по всем волноопасным направлениям не превышают I00 км, надлежит выполнять следующим образом.

С графика режимной функции скорости ветра W, построенной в соответствии с требованиями п.2.4.2. и п.2.4.3., снимают ряд величин W_i и соответствующих им величин F_i (в % от общей длительности данного типа штормов и в числе штормовых ситуаций, когда скорость ветра непрерывно превышает уровень W_i). По снятым W_i для данного волноопасного направления с учетом контура береговой черты и в соответствии с требованиями главы СНиП[I] и "Руководства" к нему[3] вычисляют соответствующие значения средних высот h_i и средних периодов $\bar{\tau}_i$ в системе волн. Приписав вычисленным элементам волн обеспеченности F_i, на функциональной сетке (рис.2.I.) строят графики искомых режимных функций.

4.I.2. Построение режимных функций элементов волн перед портом в тех случаях, когда разгоны волн перед портом более I00 км, но менее I000км, надлежит выполнять следующим образом.

В соответствии с требованиями [I,3] вычисляют элементы волн в расчетной точке перед портом для каждого типового поля ветра, построенного согласно п.2.4.6. Вычисленным элементам волн присваивают повторяемости соответствующих типовых полей ветра, и затем строят на функциональной сетке (рис.2.I.) графики

режимных функций обеспеченности элементов волн для каждого типа ветровых полей. При этом по горизонтальной оси рис.2.I откладывают обеспеченности F в процентах от общей длительности данного типа, а по вертикали - значения данного элемента волн.

На горизонтальную ось каждого графика, кроме того, необходимо нанести шкалу среднего числа штормовых случаев, когда данный элемент волн непрерывно превышал его фиксированное значение. Переход от F в % к числу таких случаев осуществляют с помощью построенной согласно рекомендациям п.2.4.6. зависимости между скоростью ветра (фиксированного румба в районе перед портом) и средней продолжительностью штормовой ситуации со скоростью этого ветра, большей заданного значения. Для этого в расчетной точке перед портом для каждого типа ветровых полей строят вспомогательную зависимость скорости ветра от рассматриваемого элемента волн, что позволяет установить зависимость этого элемента от среднего интервала времени $\bar{t}$, в течение которого элемент превышает заданное значение. Последнюю зависимость используют при расчете по формуле (2.3) требуемой шкалы.

4.I.2. Среднее значение разгона при предварительном определении элементов волн для заданной расчетной скорости ветра W, м/с, определяют по формуле

$$\frac{D_{нв} W}{\nu} = 5 \cdot 10^6, \qquad (4.I.)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости воздуха, принимаемый $I0^{-5}$ м^2/с.

4.I.3. Значения предельного разгона $D_{пр}$, м, допускается принимать по табл. 4.I. для заданной расчетной скорости ветра W, м/с.

Таблица 4.I.

Скорость ветра W, м/с	20	25	30	40	50
Значения предельного разгона $D_{пр} \cdot 10^{-3}$, м	I600	I200	600	200	I00

Примечание. Рассчитанные значения среднего $D_{нв}$ и предельного $D_{пр}$ разгонов для ограниченных акваторий не должны превышать величины разгона, измеренной по направлению ветра от расчетной точки до береговой черты.

4.I.4. Частотный спектр ветровых волн допускается рассчитывать по формуле:

$$\frac{S(\omega)\bar{\omega}}{\sigma^2} = 2.29 \exp\left\{-34.7\left(\frac{\omega}{\bar{\omega}} - 0.8\right)^2\right\} + 1.38\left(\frac{\omega}{\bar{\omega}}\right)^{-5} \exp\left[-1.34\left(\frac{\omega}{\bar{\omega}}\right)^{-8}\right], \quad (4.2.)$$

где $S(\omega)$ – спектральная плотность, $\frac{м^2 с}{рад}$; ω – текущая частота, $\frac{рад}{с}$; $\bar{\omega} = \frac{2\pi}{\bar{\tau}}$, $\sigma^2 = \frac{\bar{h}^2}{2\pi}$, $\bar{h}$ и $\bar{\tau}$ – средние высота и период волн, определяемые в соответствии с требованиями главы СНиП [I] по заданной расчетной скорости ветра W и разгону (или продолжительности t).

4.I.5. Допускается при расчетах частотного спектра ветровых волн использовать график рис.4.I., причем $S(\omega)/S(\omega_0)$ определяют по безразмерной частоте ω/ω_0, где $S(\omega_0)$ – спектральная плотность на частоте максимума, $\frac{м^2 с}{рад}$, ω_0 – частота максимума $\frac{рад}{с}$.

Спектральную плотность $S(\omega_0)$ и частоту максимума определяют по формулам:

$$S(\omega_0) = 0.058\,\bar{h}^2\bar{\tau}, \quad (4.3.)$$

$$\omega_0 = 5/\bar{\tau}. \quad (4.4.)$$

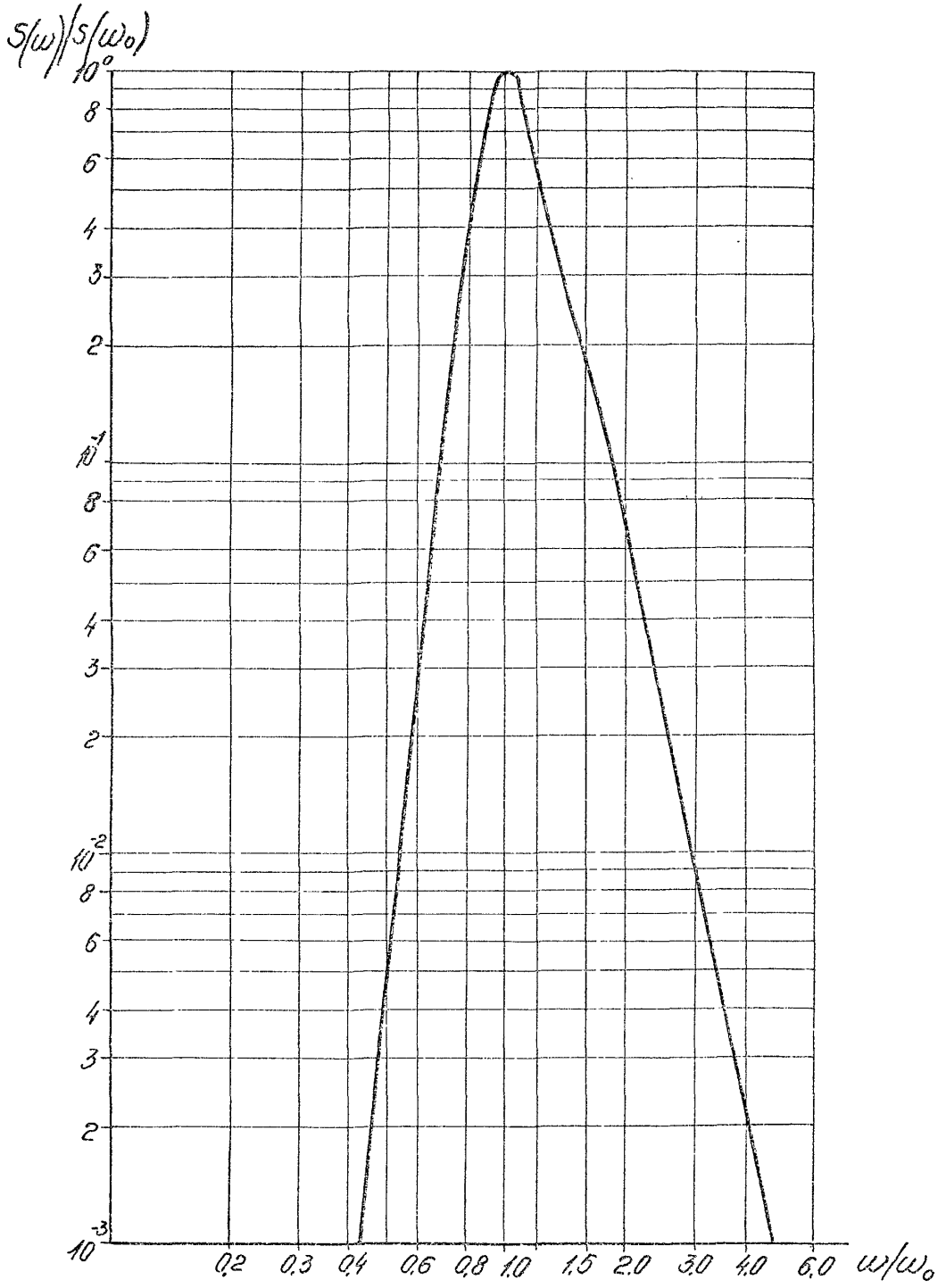


Рис.4.I. График зависимости безразмерной спектральной плотности $S(\omega)/S(\omega_0)$ от безразмерной частоты ω/ω_0.

4.I.6. Угловое распределение энергии волн на глубокой воде допускается определять по формуле:

$$\Delta E_n = \left[E(\theta_j) - E(\theta_{j+1})\right] \bar{h}_n^2 \quad , \qquad (4.5)$$

где

$$E(\theta_j) = \frac{1}{2}\left[1 - \frac{\theta_j}{90^\circ} - \frac{\sin\theta_j}{\pi}\right] \quad , \qquad (4.6)$$

$n = 0; \pm 1; \pm 2; \ldots$ номер луча, знак которого определяет его положение относительного главного луча, проведенного по направлению действия ветра;

$j, j+1$ – номера лучей, ограничивающих расчётный сектор;

θ_j – угол между главным лучом и лучом с соответствующим номером; град;

$\bar{h}_n$ – средние высоты волн, определяемые в соответствии с требованиями главы СНиП[I] по проекциям разгонов $D_n^* = D_n \cos\theta_n$. Величины D_n определяют по направлению соответствующих лучей.

4.I.7. Угловое распределение энергии волн в мелководной зоне допускается определять согласно формулам (4.5) и (4.6), в которых величины θ_j и $\bar{h}_n$ определяют по результатам расчета рефракции и трансформации волн для каждого луча согласно положениям [I].

4.I.8. При определении элементов волн зыби необходимо учитывать элементы ветровых волн в штормовой зоне – среднюю высоту $\bar{h}_в$ и средний период $\bar{\tau}_в$, определяемые по требованиям главы СНиП[I], размеры штормовой зоны вдоль направления ветра D_m и расстояние от границы штормовой зоны до расчетной точки $D_з$.

Примечание: Границы штормовой зоны приближенно оценивают из условия равенства скорости ветра и фазовой скорости ветровых волн $\bar{C}_в = g\bar{\tau}_в/2\pi$.

4.I.9. Элементы волн зыби следует определять по рис.4.2, где верхняя часть графика служит для определения среднего пе-

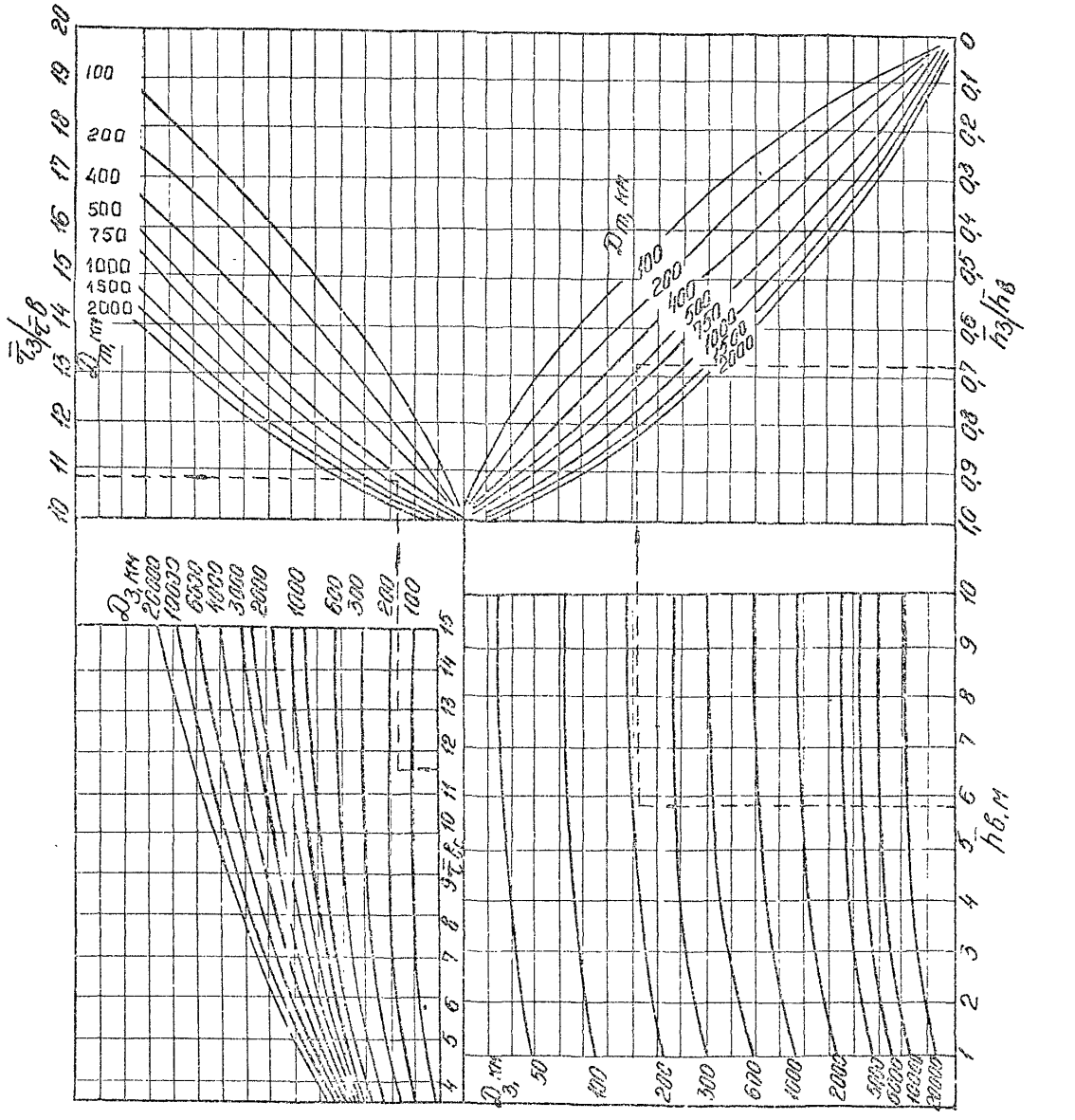


Рис.4.2. График для определения периода и высоты волн зыби.

риода зыби $\bar{\tau}_з$, нижняя – средней высоты зыби $\bar{h}_з$.

4.I.I0. Период зыби получают путем следующих построений: из точки, соответствующей величине $\bar{\tau}_в$ на верхней левой горизонтальной шкале, проводят вертикаль до пересечения с кривой, соответствующей расстоянию $D_з$, откуда проводят горизонтальную прямую до пересечения с линией, отвечающей размеру штормовой зоны D_m (правая часть графика); из точки пересечения проводят вертикальную прямую, а затем в верхней части графика определяют величину $\bar{\tau}_з/\bar{\tau}_в$ и значение $\bar{\tau}_з$.

4.I.II. Высоту зыби определяют путем аналогичных построений в нижней части графика.

4.I.I2. Коэффициент рефракции $K_р$ ветровых волн при угле между волновым лучом и линией берега менее 60^0 надлежит определять согласно требованиям главы СНиП [I]. В тех случаях, когда угол превышает 60^0, определенный в соответствии с [I], коэффициент умножают на поправочный множитель Кпм, принимаемый по данным таблицы 4.2.

Таблица 4.2.

Относительная глубина H/λ_0	Значения коэффициента Кпм при углах $\alpha_р$ (при $\frac{H}{\lambda_0} \geq 0,5$)	
	$60^0 \leq \alpha_р^\circ \leq 70^0$	$75^0 \leq \alpha_р^\circ \leq 85^0$
0,06	I,I2	I,20
0,08	I,I3	I,25
0,I	I,I3	I,3
0,I2	I,I4	I,23
0,I4	I,I2	I,2
0,I6	I,I0	I,I8
0,2	I.09	I,I6
0,25	I,00	I,I3
0,3	I,00	I,07
≥0,4	I,00	I,00

4.2. Расчет характеристик ветровых волн на акватории порта

4.2.I. Высоту дифрагированной волны $h_д$,м, на акватории, огражденной одиночным молом или двумя сходящимися молами, необходимо определять по формуле:

$$h_д = K_д \cdot h_{i\%} \quad , \qquad (4.7.)$$

где $K_д$ – коэффициент дифракции волн;

$h_{i\%}$ высота исходной волны $i\%$-ой обеспеченности.

В качестве исходных элементов волн принимают $\bar{\lambda}$ и h_i на входе в акваторию. Длину $\bar{\lambda}$ допускается определять по периоду $\bar{\tau}$ и глубине моря H перед портом с помощью рис.4.3. Линия фронта дифрагированной волны должна приниматься:

а) в зоне волновой тени – по окружности с центром в голове оградительного сооружения с радиусом, равным расстоянию от головы сооружения до расчетной точки;

б) вне зоны волновой тени (до границы дифракции волн) – по прямой, нормальной к исходному лучу волн.

4.2.2. Коэффициент дифракции волн $K_д$ для акватории, огражденной одиночным молом, следует определять с помощью основного набора диаграмм (приложение I, рис.I–9), выполненных на прозрачной основе (кальке, пленке и т.п.). Набор диаграмм отвечает следующим значениям угла φ,град., между линией волновой тени и внутренней стороной оградительного сооружения: 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 30^0, 45^0, 60^0, 75^0 и 90^0 – и длине волны $\bar{\lambda}$ = 100м в масштабе I:10000. Для других длин волн диаграммы следует подвергнуть соответствующему уменьшению или увеличению.

На планах акватории за одиночным молом наносят расчетные точки и линию исходного волнового луча, проходящую через оголовок мола. Продолжение линии волнового луча принимают за границу волновой тени. Между внутренней стороной мола и границей волновой тени определяют угол φ. По заданным величинам масштаба пла-

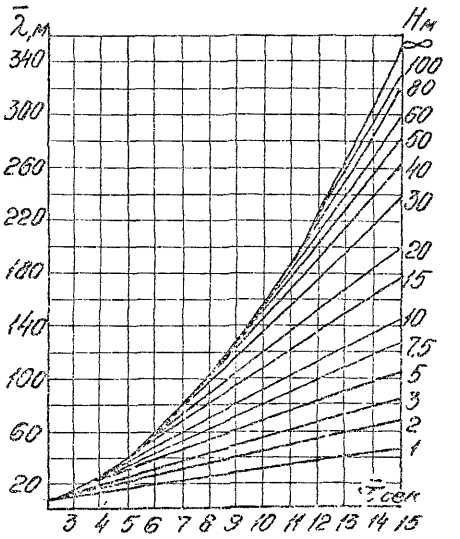


Рис.4.3. График для определения средней длины ветровых волн $\bar{\lambda}$, м, по среднему периоду $\bar{\tau}$, с, и глубине H, м.

на огражденной акватории, исходной длины волн $\bar{\lambda}$ и угла φ подбирают диаграмму, ближайшую к этим величинам. Диаграмму накладывают на план, совмещая оголовок мола и линию волновой тени на плане и на диаграмме. С диаграммы снимают значения Кдо для любой заданной точки акватории.

4.2.3. Коэффициент дифракции волн Кдс на акватории, огражденной двумя сходящимися молами, необходимо определять по формуле:

$$K_{дс} = K_{до} \cdot \psi_{сх} \quad , \qquad (4.8.)$$

где $K_{до}$ – коэффициент дифракции в заданной точке акватории для случая одиночного мола;

$\psi_{сх}$ – поправочный коэффициент, учитывающий наличие двух молов.

На плане акватории за двумя молами через их оголовки проводят два луча, параллельных лучу исходной волны, называемых границами волновой тени молов. Этими лучами акватория делится на три зоны: зону первого мола (I), зону второго мола (II) и промежуточную зону (III) (рис.4.4.). Коэффициент $K_{дс}$ в расчетной точке P_I, расположенной в зоне I, надлежит находить по формуле (4.8.). Поправочный коэффициент $\psi_{сх}$ в формуле (4.8.) для мола I находят по графикам приложения I, рис.10–18, в зависимости от безразмерных величин $B/\bar{\lambda}$, Δ/B и угла φ_1, где B – проекция отрезка, соединяющая оголовки молов, на фронт исходной волны; Δ – длина участка фронта волны, проходящего через расчетную точку, от мола I до границы зоны дифракции для этого мола; φ_1 – угол между направлением мола и лучом волны.

Величину Δ надлежит вычислять по формуле:

$$\Delta = \frac{\pi r \varphi_1}{180} + A \quad , \qquad (4.9.)$$

где r – расстояние от оголовка мола I до расчетной точки P_I;

A – длина участка фронта между точками его пересечения с границей волновой тени и границей зоны дифракции.

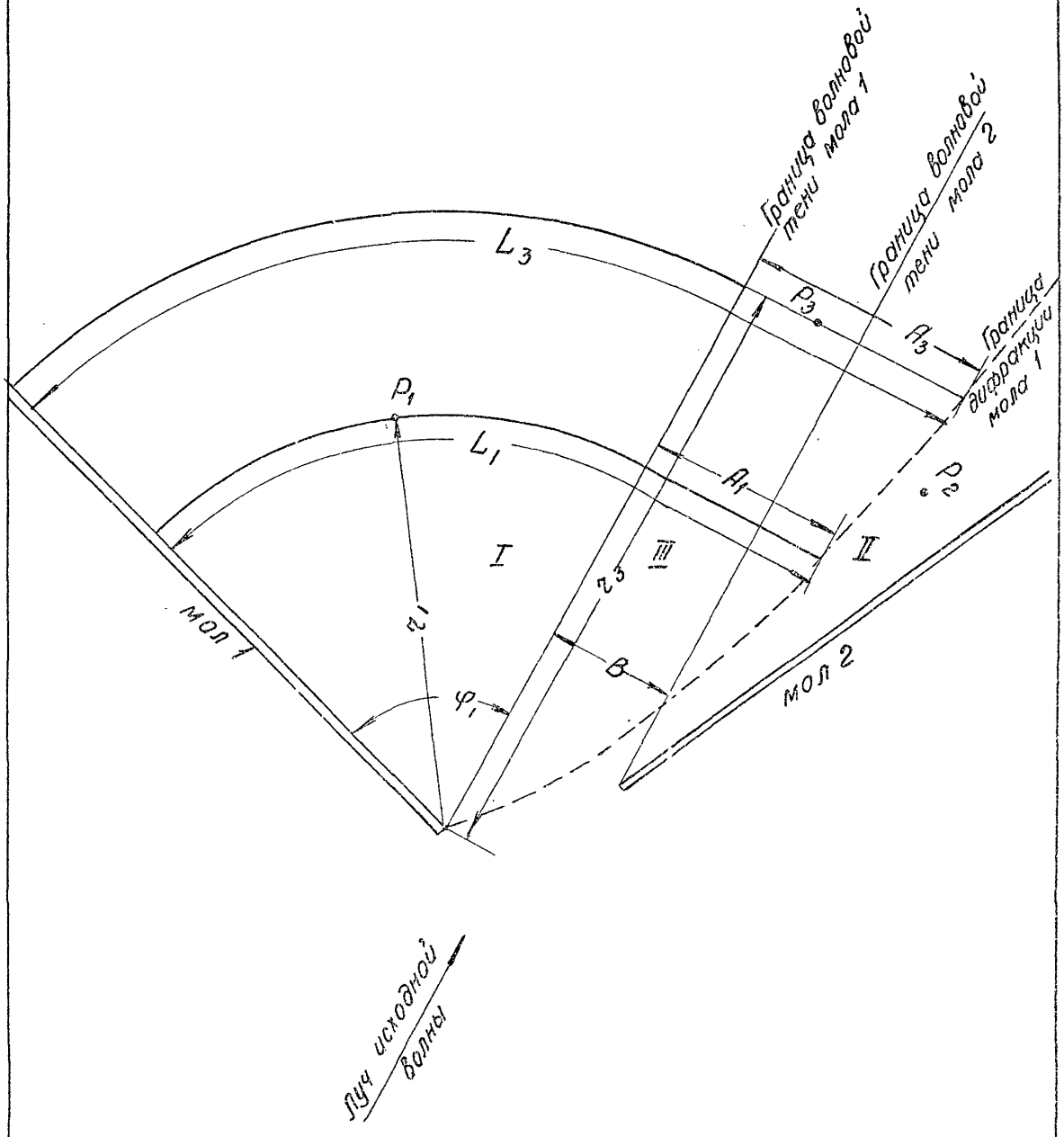


Рис.4.4. Схема акватории порта, огражденного двумя сходящимися молами

Коэффициент $K_{дс}$ в расчетной точке P_{III}, расположенной в зоне III, находят аналогичным образом.

Коэффициент дифракции $K_{дс}$ в расчетной точке P_{III}, расположенной в зоне III, определяют вначале по параметрам мола I, а затем – мола 2, и в итоге принимают наименьший .

4.2.4. При расчете трансформации нерегулярных волн на акватории порта допускается учитывать угловой спектр на подходах к порту.

4.2.5. Возвышение вершины нерегулярной стоячей волны около вертикальной стенки допускается определять по формуле:

$$h_в = K_a \cdot h \quad , \qquad (4.10)$$

где h – высота нерегулярной волны около вертикальной стенки;

K_a – коэффициент асимметрии стоячей волны.

При определении возвышения вершины стоячей волны над спокойным уровнем моря следует рассматривать волны обеспеченностью в системе менее 10%.

4.2.6. Коэффициент K_a следует определять по графику рис.4.5. в зависимости от безразмерной глубины $H/g\tau_p^2$ и параметра $h/g\tau_p^2$,

где H – глубина,

g – ускорение свободного падения,

τ_p – период расчетных волн.

4.2.7. Период расчетных стоячих волн следует определять по формуле:

$$\tau_p = 1.17\,\bar{\tau} \quad . \qquad (4.11)$$

4.2.8. Режимные функции волнения на огражденной акватории необходимо строить на функциональной сетке (рис.2.1.) на основании заданных режимных функций волнения на входе в порт. Режим-

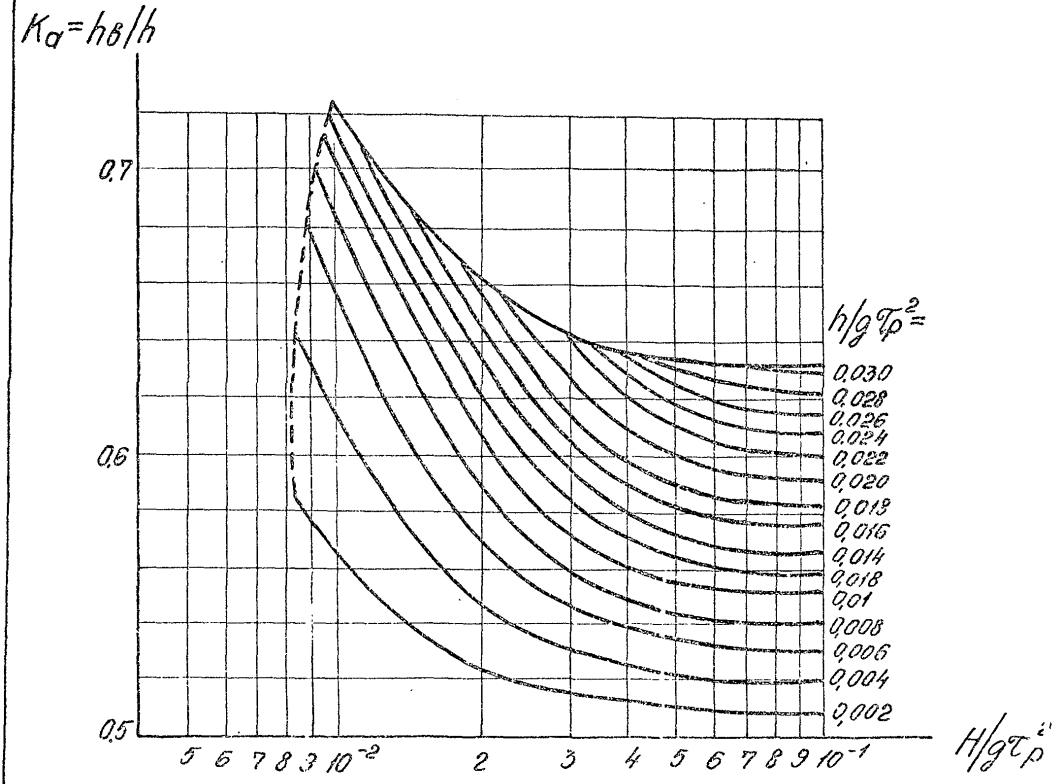


Рис. 4.5. График для определения возвышения вершины стоячей волны по безразмерной глубине $H/g\tau_p^2$ и параметру $h/g\tau_p^2$.

ные функции периодов волн в расчетной точке принимают такими же, как и на входе в порт. Режимные функции высот волн трансформируют путем умножения исходных режимных функций на коэффициенты дифракции K_β в расчетных точках.

4.3. Определение режима низкочастотных колебаний в порту, вызывающих явление тягуна

4.3.1. Режим элементов низкочастотных колебаний масс воды на подходах и на акватории порта необходимо определять на основе режимных сведений об элементах ветровых волн. Повторяемость и обеспеченность элементов низкочастотных колебаний в режимном плане принимают равным повторяемости и обеспеченности соответствующих элементов ветровых волн.

4.3.2. Средние высоты $\bar{h}_{нч}$ и средние периоды $\bar{\tau}_{нч}$ низкочастотных колебаний на подходах к порту в узкой прибрежной зоне с уклонами дна 0,01 и более глубоководного водоема необходимо определить по формулам:

$$\bar{h}_{нч} = 11 \frac{\bar{h}^2}{g\bar{\tau}^2} \quad ; \qquad (4.12)$$

$$\bar{\tau}_{нч} = 12\bar{\tau} \quad , \qquad (4.13)$$

при разгонах более 100 км и устойчивых продолжительных ветрах (более суток) со скоростями более 15 м/с. Средний период $\bar{\tau}$ и среднюю высоту $\bar{h}$ ветровых волн определяют в соответствии с требованиями главы СНиП [1].

4.3.3. Элементы низкочастотных колебаний на подходах к порту в широкой прибрежной зоне при глубине H (уклоны дна 0,001 и менее) следует вычислять по формулам:

$$\bar{h}_{нч} = 11 \frac{\bar{h}^2}{g\bar{\tau}^2} f(H/g\bar{\tau}^2) \quad , \qquad (4.14)$$

$$\bar{\tau}_{нч} = 12\bar{\tau} \quad , \qquad (4.15)$$

где значения функции $f(H/g\bar{\tau}^2)$, учитывающей влияние дна моря на высоту низкочастотных колебаний, принимают по графику рис. 4.6.

4.3.4. Среднюю высоту низкочастотных колебаний (сейшевых) акватории порта необходимо определять по формуле:

$$\bar{h}_c = R_H \cdot \bar{h}_{H\tau} , \qquad (4.16.)$$

где R_H – коэффициент усиления нерегулярных низкочастотных колебаний.

4.3.5. Коэффициент усиления R_H следует устанавливать из отношения R_H / R_R, определяемому из графика рис.4.7 в зависимости от резонансного коэффициента усиления R_R и отношения резонансного периода τ_R к периоду $\bar{\tau}_{H\tau}$.

4.3.6. Резонансный период τ_R следует принимать равным среднему периоду сейшевых колебаний и определять по формуле:

$$\tau_R = \frac{2\pi}{K_R \sqrt{gH}} , \qquad (4.17)$$

где K_R – резонансное волновое число.

4.3.7. Резонансное волновое число K_R и резонансный коэффициент усиления R_R для портовых акваторий, очертания которых близки к прямоугольным, следует принимать для заданных геометрических параметров порта $c/2d$ и $2d/\ell$ в соответствии со схемой и графиками рис. 4.8, где c – ширина входа в порт, $2d$ и ℓ – размеры порта в плане.

4.3.8. Защищенность порта от тягуна считают неудовлетворительной, если средний период сейшевых колебаний акватории находится в интервале от 0,5 до 2,5 мин., а средняя высота сейшевых колебаний $\bar{h}_c$ превышает 30 см со средней повторяемостью один раз в год и чаще.

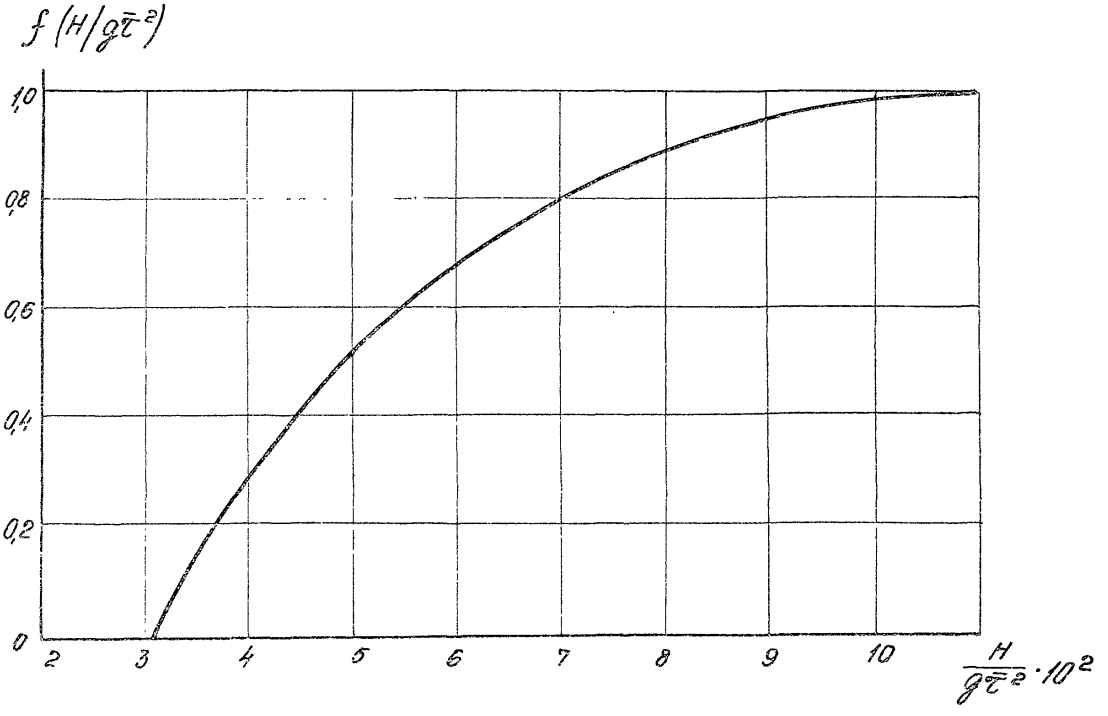


Рис. 4. 6. Зависимость функции $f(H/g\bar{\tau}^2)$ от параметра безразмерной глубины моря.

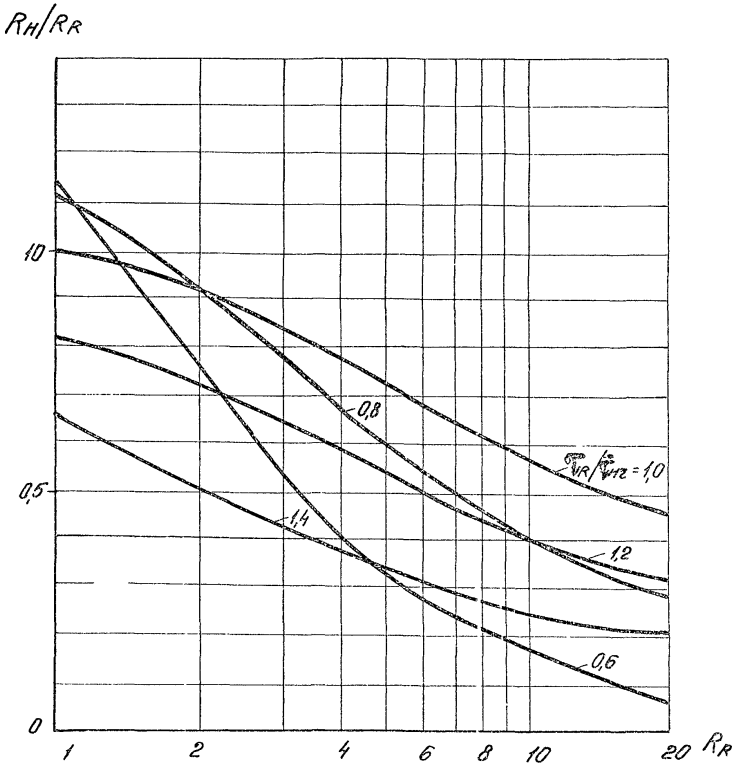


Рис. 4.7. Зависимость отношения R_H/R_R от резонансного коэффициента усиления R_R при различных значениях τ_R/τ_{H2}.

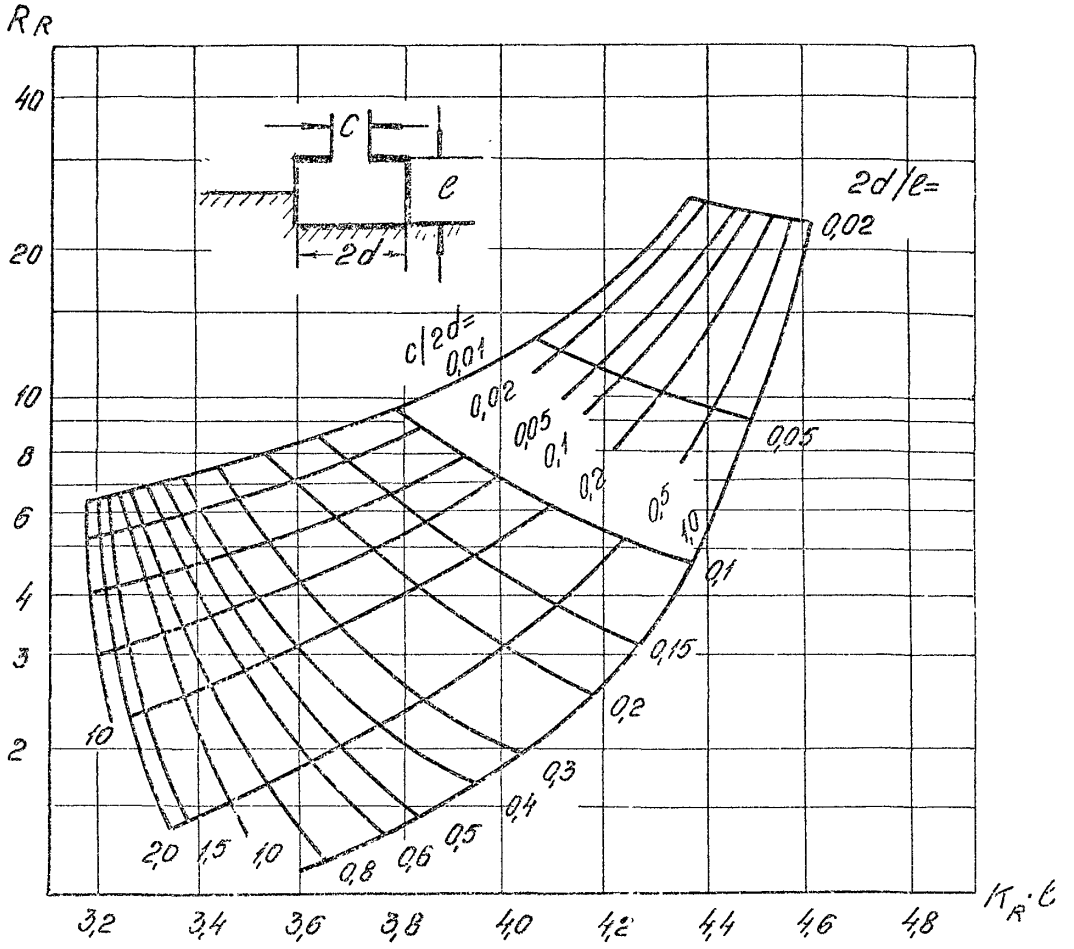


Рис. 4. 8. Номограмма для определения резонансного волнового числа K_R и резонансного коэффициента усиления R_R для акватории прямоугольной формы по заданным линейным размерам порта .

5. МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ ВОЛН НА ПОРТОВЫХ АКВАТОРИЯХ

5.I. Определение исходных параметров для моделирования

5.I.I. В качестве основного критерия моделирования ветровых волн на акватории порта необходимо использовать критерий Фруда. Согласно этому критерию, размеры сооружений на модели, глубины и элементы волн принимают в линейном масштабе. Время моделируют как квадратный корень из масштаба. На подходах к порту воспроизводится система регулярных волн.

5.I.2. В основу моделирования защищенности портовых акваторий от ветровых волн необходимо класть информацию об угловых спектрах.

5.I.3. Модель акватории порта и подходов к нему необходимо сооружать в масштабе, выбор которого определяется размерами акватории и элементами волн. Обычно масштабы моделирования принимаются равными I:40 ÷ I:I00.

5.I.4. Дно модели необходимо изготовлять жестким (из цементной стяжки с железнением). Модель рассчитывают таким образом, чтобы на ней разместились подходы к порту, протяженностью не менее 5 длин волн.

5.I.5. Для избежания отражения волн от волнопродуктора вдоль вертикальных стенок оградительных сооружений с внешней их стороны необходимо устраивать гасители из отсыпки камня. Для сохранения аналогии с натурой в явлении дифракции у голов оградительных сооружений отсыпка не устраивается.

5.I.6. Высоты и длины исходных для моделирования волн надлежит получать расчетным путем.

Высоту волны принимают 5% обеспеченности в системе, длину волны - среднюю в системе.

5.I.7. Необходимо моделировать три волновых режима: максимальный (обеспеченностью I раз в 50 лет для сооружений I-II класса и I раз в 25 лет для сооружений III-IУ класса), средний и минимальный. Последние два режима выбирают таким образом, чтобы охватить весь диапазон волн, возможных на подходах к исследуемому порту.

При расположении входа в порт в прибойной зоне максимальный волновой режим выбирают таким образом, чтобы на модели не происходило забурунивания волн при максимальной высоте волн. Затем по рекомендациям главы СНиП [I]определяют высоту волн, подходящих к воротам порта без забурунивания, а по режимным функциям определяют повторяемость такой высоты и соответствующую длину волн.

5.I.8. Угловой спектр волн в районе установки волнопродуктора для каждого из моделируемых режимов необходимо определять расчетным путем в соответствии с приемами, изложенными в п. 4.I.6 настоящих указаний.

5.I.9. В тех случаях, когда более 90% энергии исходных волн концентрируется в секторе менее 40° (узкий угловой спектр),моделирование следует выполнять без учета спектральной структуры волн. Если же угловое распределение энергии волн в районе установки волнопродуктора охватывает сектор большей величины (90% энергии концентрируется в секторе равном или более 40° - широкий угловой спектр), моделирование надлежит выполнять с учетом углового спектра.

5.I.IO. При спектральной методике моделирования каждую систему волн, идущую от волнопродуктора, рассматривают не в качестве реального волнения в природных условиях, а как картину дефор-

мации отдельных составляющих спектра волн. В результате моделирования получают коэффициенты изменения высоты составляющих спектра K_h (отношения высоты волн в данной точке акватории к высоте волн у входа в порт или бухту). В отдельных случаях допускается увеличивать высоты исходных волн на модели, чтобы их значения не были менее I см. Коэффициент изменения высоты волн с учетом спектра K_h^S вычисляется по формуле:

$$K_h^S = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \Delta E_j (K_h)_j^2} \quad ,$$

где $j = 1 \div n$ номер составляющей;

E_j – доля энергии углового спектра j -ой составляющей.

5.2. Измерения на модели

5.2.I. Измерение высот волн на модели необходимо производить волномерами с записью на осциллограф. Волномеры располагают таким образом, чтобы высота исходных волн измерялась не менее, чем в двух точках, а также чтобы производить измерение высоты волн на входе в порт, на акватории и у причалов.

При производстве записи волнения включают волномеры таким образом, чтобы зафиксировать начало работы волнопродукторов и движение первых волн.

5.2.2. Оптимальное число повторений опыта необходимо устанавливать в лаборатории при многократном (не менее I0) повторении записи в одних и тех же условиях и вычислении ошибок моделирования для I0, 9, 8 и т.д. повторений (запусков).

5.2.3. Запись волнения в бассейне необходимо сопровождать фотографированием и киносъемкой. Длину волн фиксируют съемкой вблизи исходных волномеров на фоне сетки на стене бассейна или

на фоне горизонтальной рейки, расположенной выше уровня воды.

Длину волн допускается измерять также специальным прибором, состоящим из рейки с укрепленными на ней двумя электродами, один из которых неподвижен, а второй передвигается. При одновременном соприкосновении гребней волн с обоими электродами цепь замыкается и подается сигнал на измерительный прибор. Отсчет длин производится по расстоянию между электродами в момент сигнала.

5.2.4. Тарировки датчиков высот волн допускается производить путем ступенчатого погружения электродов на определенную глубину, или на специальном приборе, погружающем датчик на заданную глубину с частотой, ствечающей периоду моделируемых волн. Тарировочные зависимости должны быть прямолинейными. Частота тарировок зависит от устойчивости характеристик во времени. Рекомендуется проводить тарировки ежедневно.

5.3. Обработка результатов

5.3.I. Высоту волн следует определять путем обработки осциллограмм. Первым шагом обработки является построение тарировочных зависимостей между отклонением светового луча на записи и глубиной погружения электродов. Если по оси ординат откладывается высота волн (погружение волномера), а по оси абсцисс – отклонение светового луча осциллографа, то крутые тарировочные зависимости допустимы у волномеров перед входом в бухту, где высоты волн велики.

Пологие тарировочные зависимости подбирают предварительно для волномеров, стоящих в глубине бухты или порта. Для остальных волномеров запись производят в масштабе I:I, т.е. I см погружения волномеров соответствует I см отклонения светового луча осциллографа, и тарировочная зависимость идет под углом 45°.

5.3.2. При обработке осциллограмм следует прежде всего выделить рабочую часть записи, содержащую 10–20 волн, примерно равных по высоте. Рабочая часть записи начинается после прохождения первых волн, идущих по невозмущенной поверхности и имеющих меньшую высоту, и заканчивается до подхода волн, возникающих вследствие отражения от стенок бассейна (так как нет абсолютно надежных гасителей) и от волнопродуктора.

В рабочей части записи принимают для каждого из волномеров среднюю из амплитуд отклонения светового луча, эту величину переносят на тарировочную характеристику волномера, по которой определяют высоту волн h в точке установки волномера.

5.3.3. Вычисление режимных функций высот волн на акватории порта необходимо проводить путем умножения высот волн, снятых с режимных функций волнения на подходах к порту, на коэффициенты изменения высот волн, полученные на модели, для каждого из трех выбранных для моделирования режимов.

5.4. Тарировка модели

5.4.1. Тарировку модели рекомендуется производить с целью доказательства правомерности получения характеристик волнения для проектных вариантов порта.

5.4.2. Сущность тарировки заключается в воспроизводстве условий, при которых проводились наблюдения над волнением в натуре.

С этой целью на модели следует воспроизвести естественный рельеф дна и вид оградительных и причальных сооружений, при которых проводились наблюдения. Затем воспроизводят волны, но не расчетные, которые будут моделироваться далее, а наблюдавшиеся в период конкретных штормов.

5.4.3. В случае совпадения коэффициентов изменения высоты волны на модели и в натуре поправок на приведение лабораторных данных к натуре не вводят. В случаях несовпадения вопрос решается в каждом конкретном случае отдельно. Перед началом моделирования проектного рельефа дна и положения портовых сооружений проводят моделирование тех условий, которые были при натурных наблюдениях над волнением.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

(рекомендуемое)

Г Р А Ф И К И

для определения коэффициентов дифракции ветровых волн на акватории порта

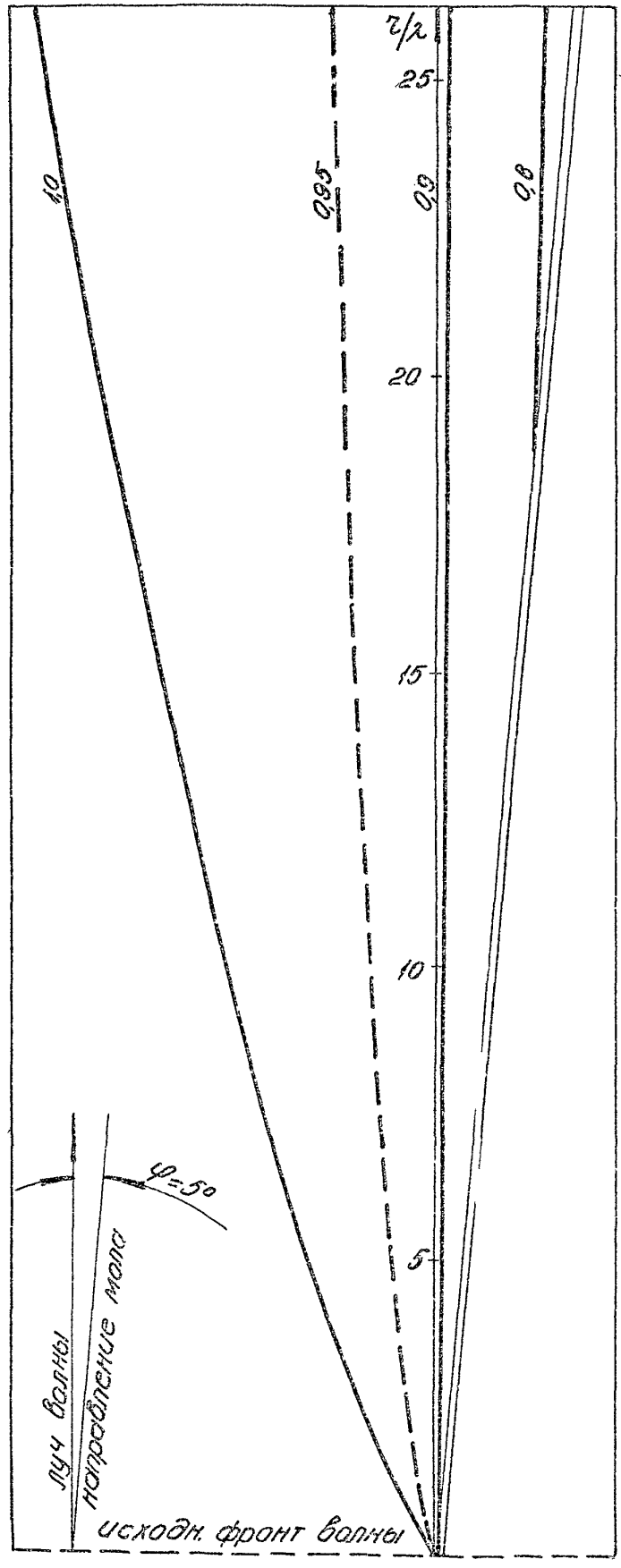


Рис.I. График для определения коэффициента дифракции $K_{до}$ для угла $\varphi = 5^0$.

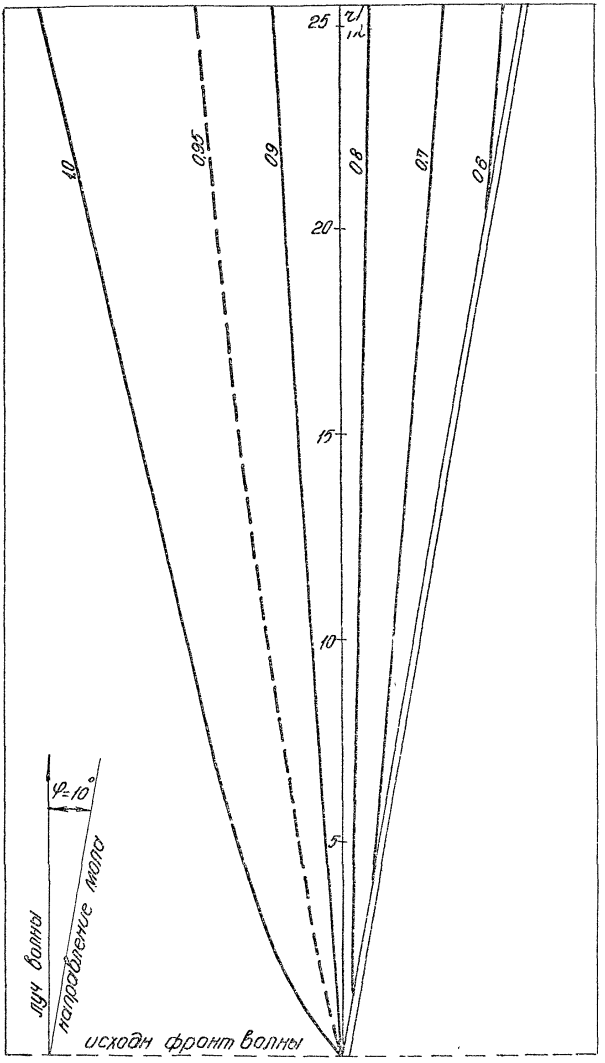


Рис.2. График для определения коэффициента дифракции $K_{до}$ для угла $\varphi = 10^{0}$.

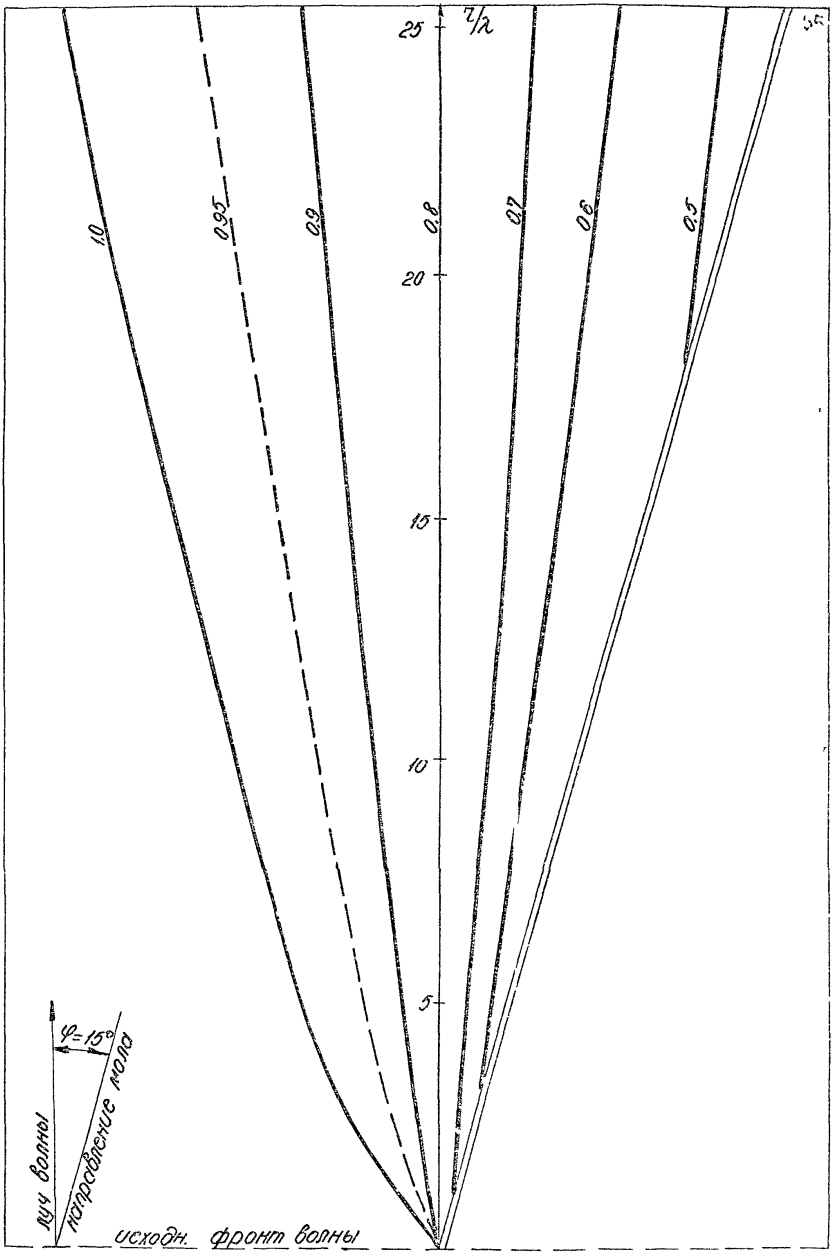


Рис. 3. График для определения коэффициента дифракции $K_{до}$ для угла $\varphi = 15^{0}$.

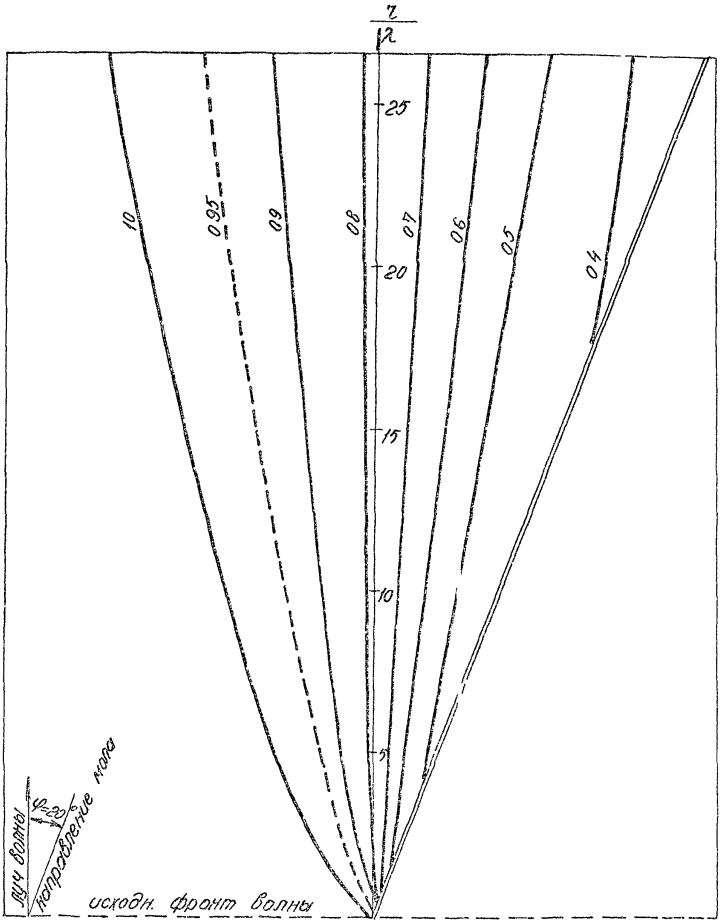


Рис.4. График для определения коэффициента дифракции $K_{до}$ для угла $\varphi = 20^{0}$.

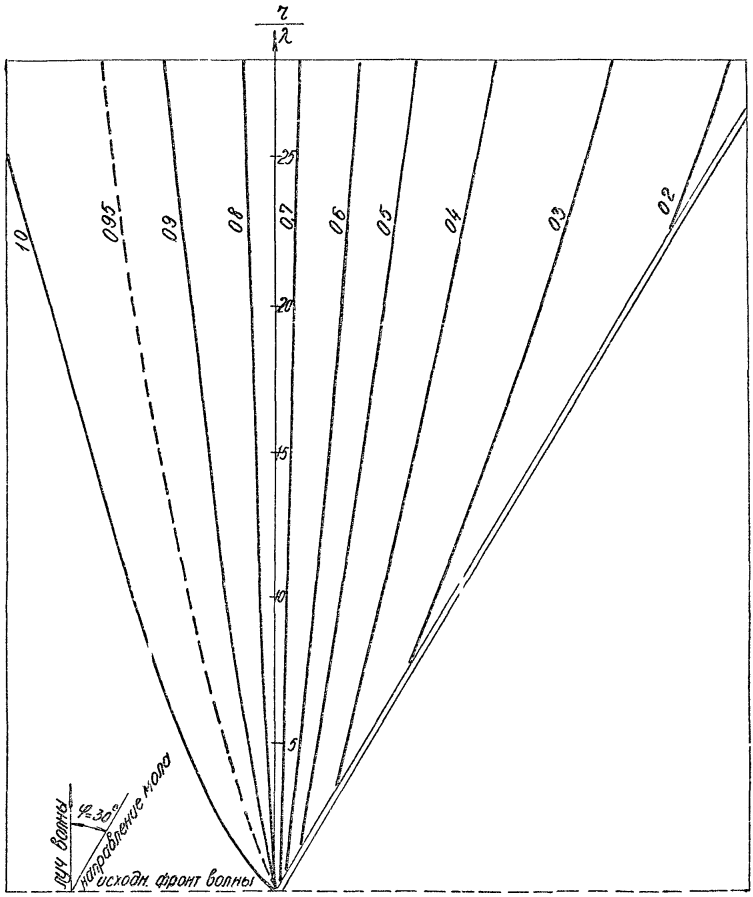


Рис.5. График для определения коэффициента дифракции $K_{до}$ для угла $\varphi = 30^{\circ}$.

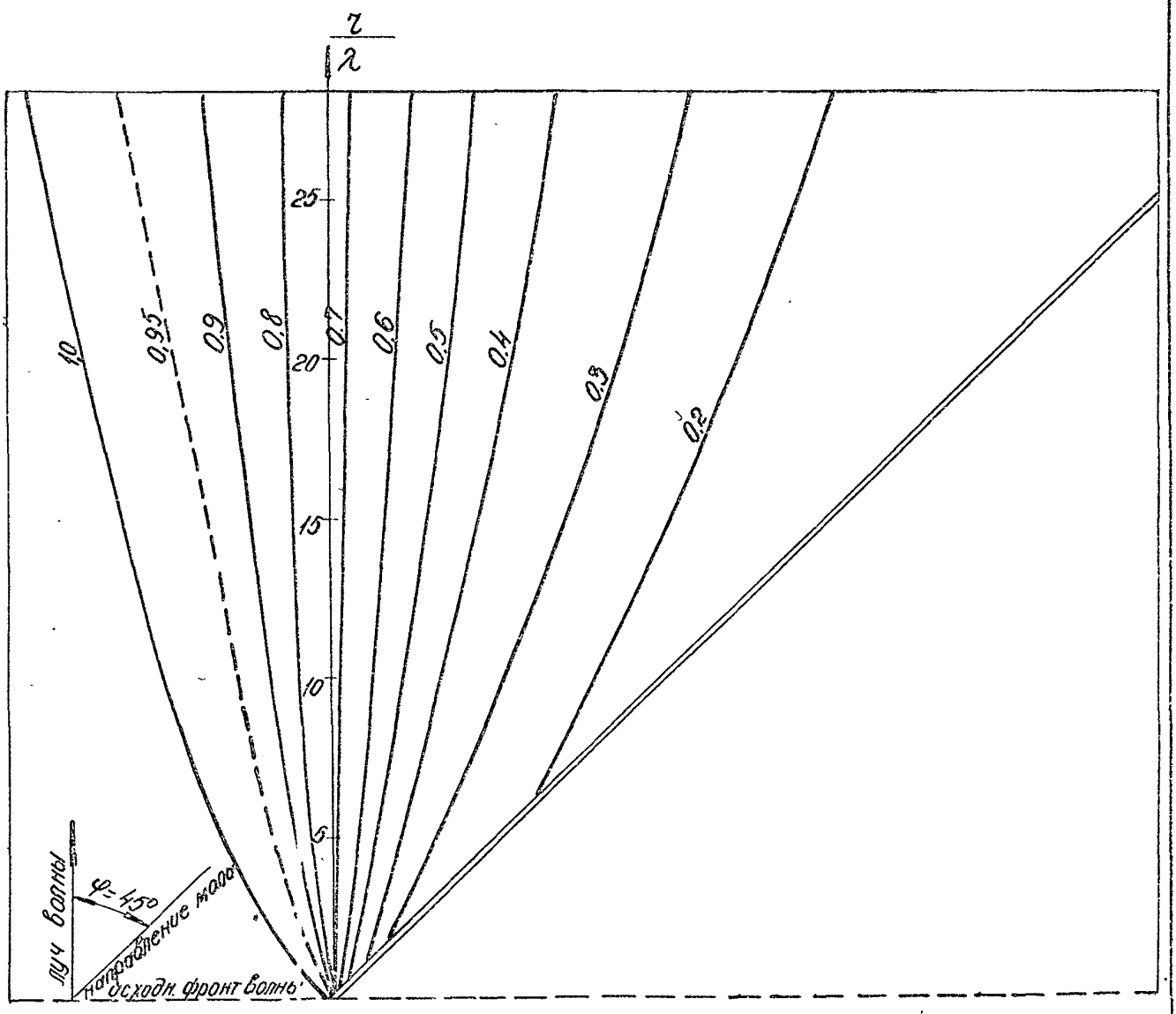


Рис.6. График для определения коэффициента дифракции $K_{до}$ для угла $\varphi = 45^0$.

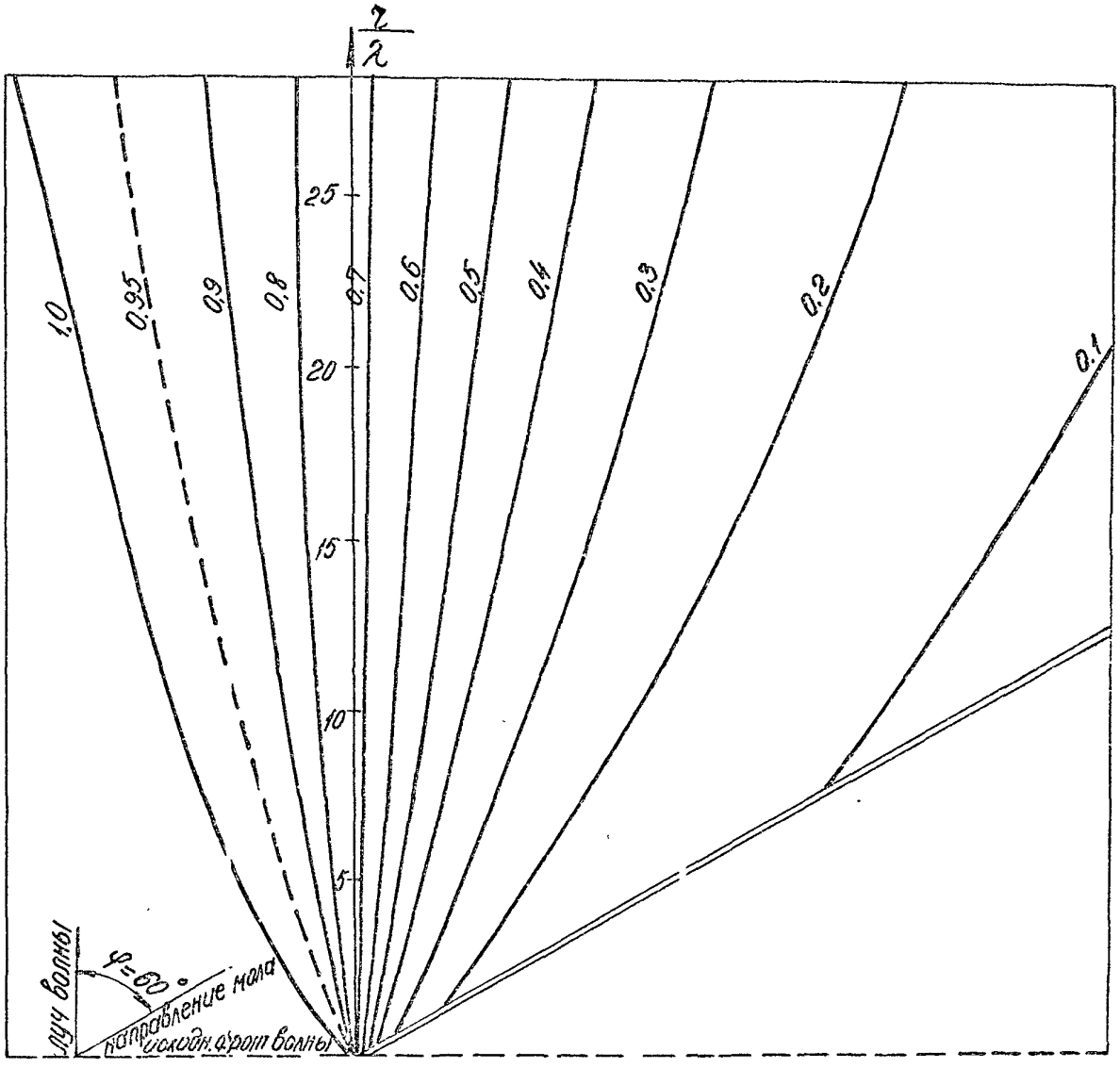


Рис. 7. График для определения коэффициента дифракции $K_{до}$ для угла $\varphi = 60^{0}$.

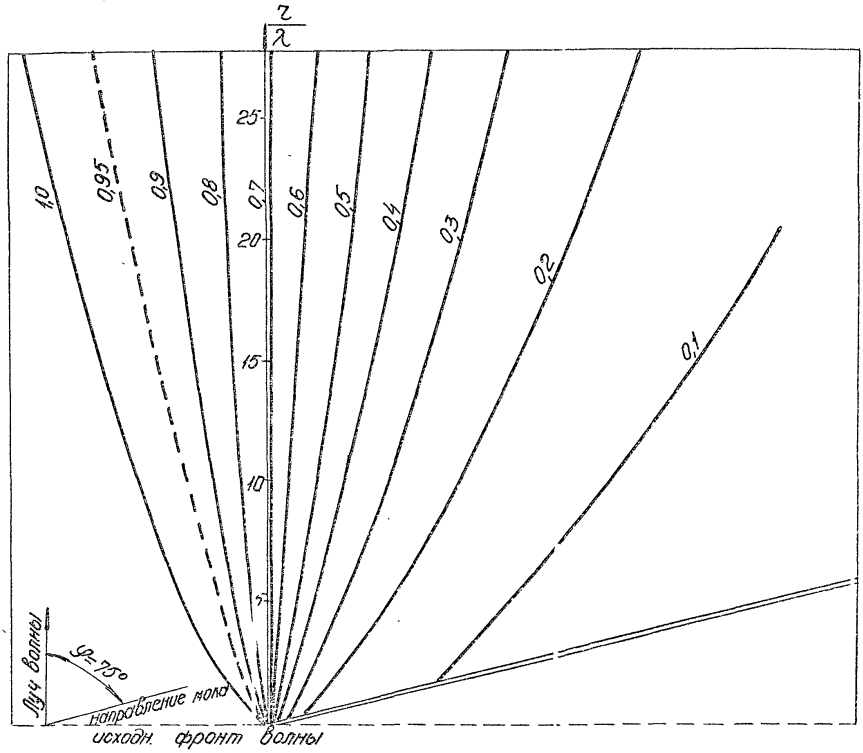


Рис.8. График для определения коэффициента дифракции $K_{до}$ для угла $\varphi = 75^{0}$.

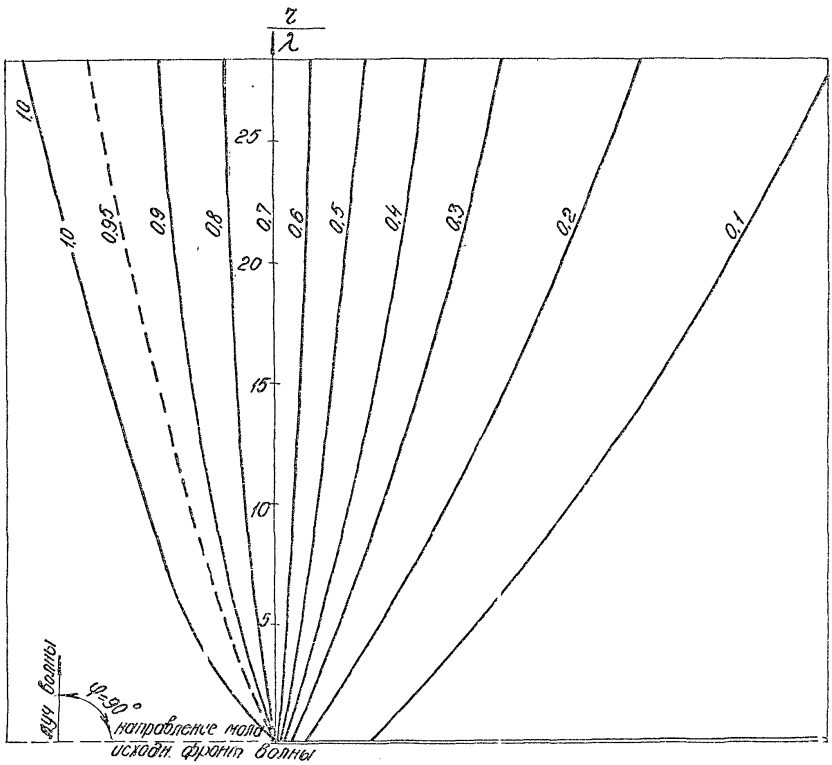


Рис. 9. График для определения коэффициента дифракции $K_{дс}$ для угла $\varphi = 90^{\circ}$.

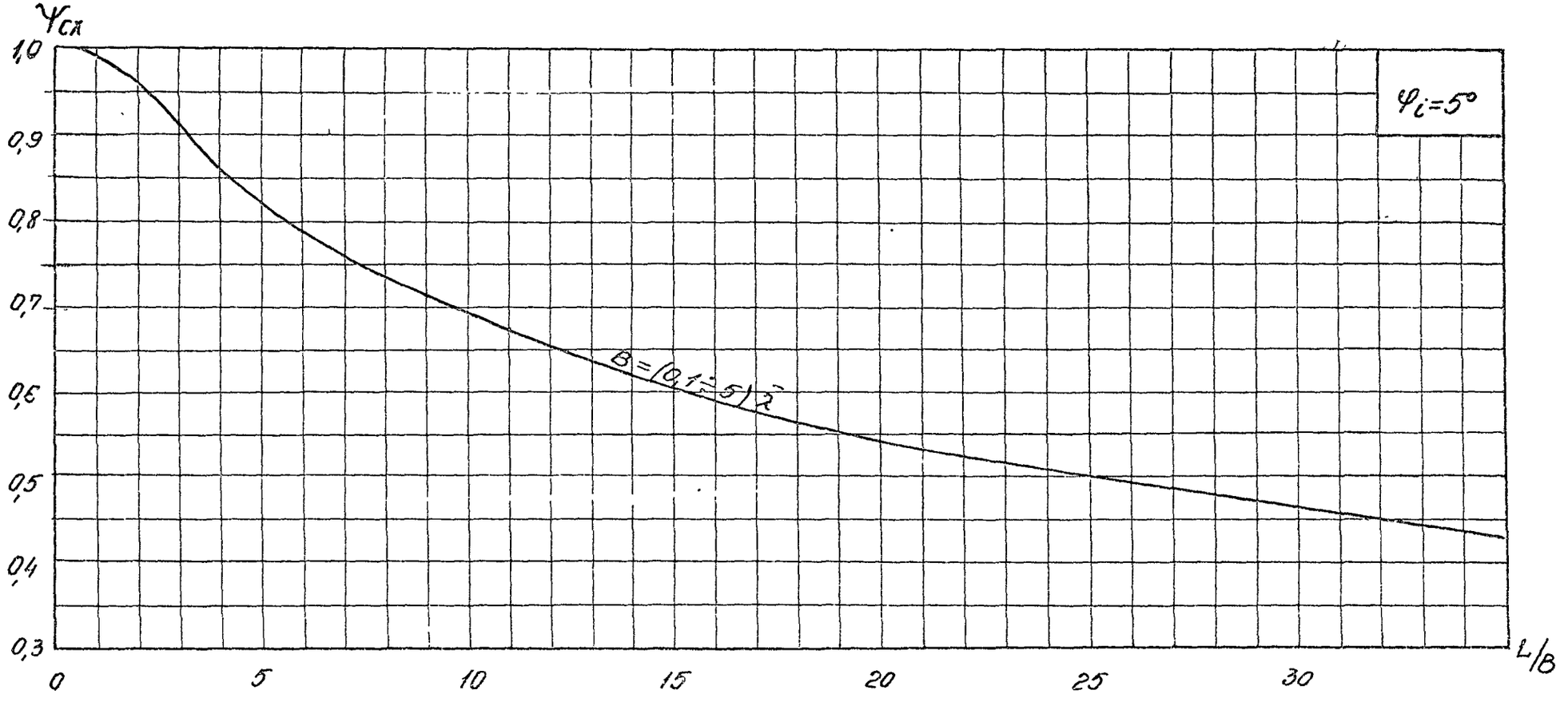


Рис. 10. График для определения коэффициента $\Psi_{сх}$ при угле $\varphi_i=5°$.

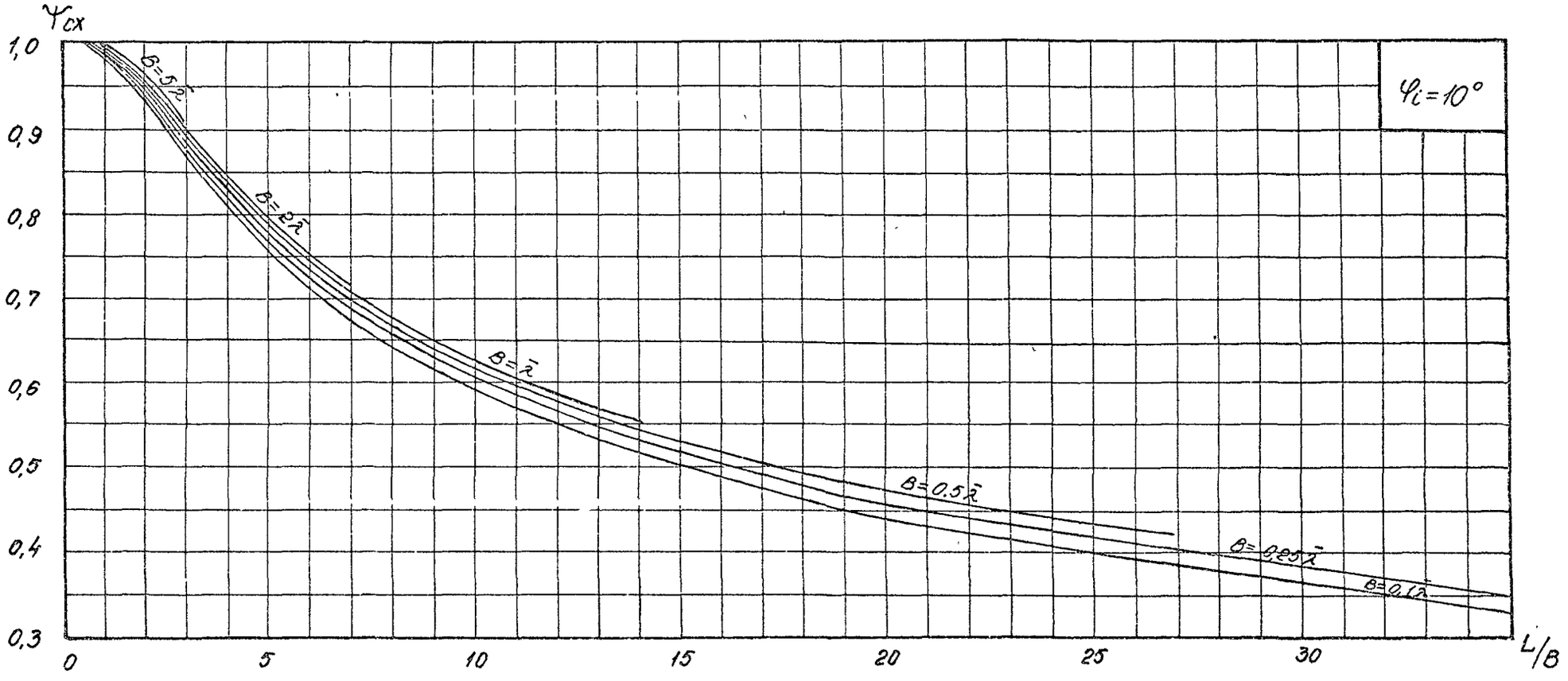


Рис. II. График для определения Ψ_{cx} при угле $\varphi_i = 10°$.

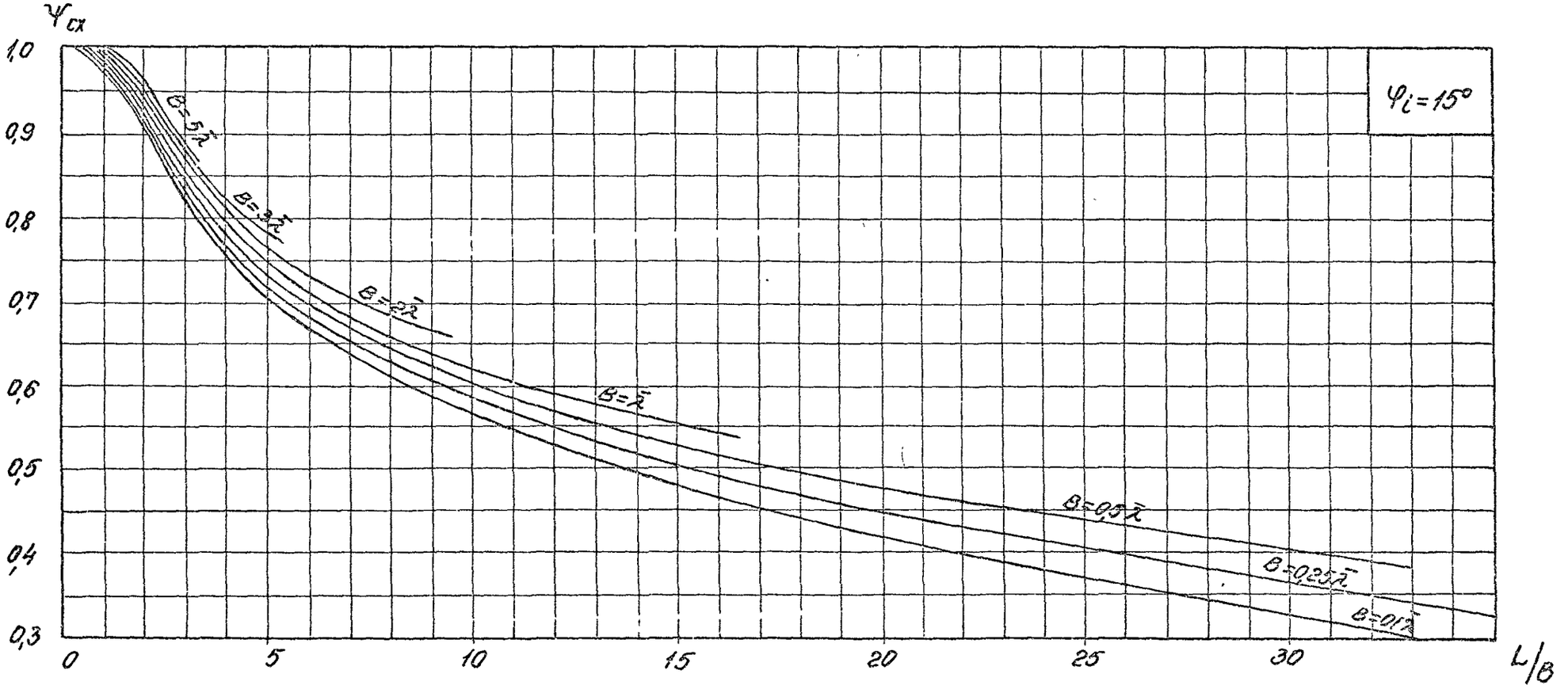


Рис.12. График для определения ψ_{cx} при угле $\varphi_i = 15°$.

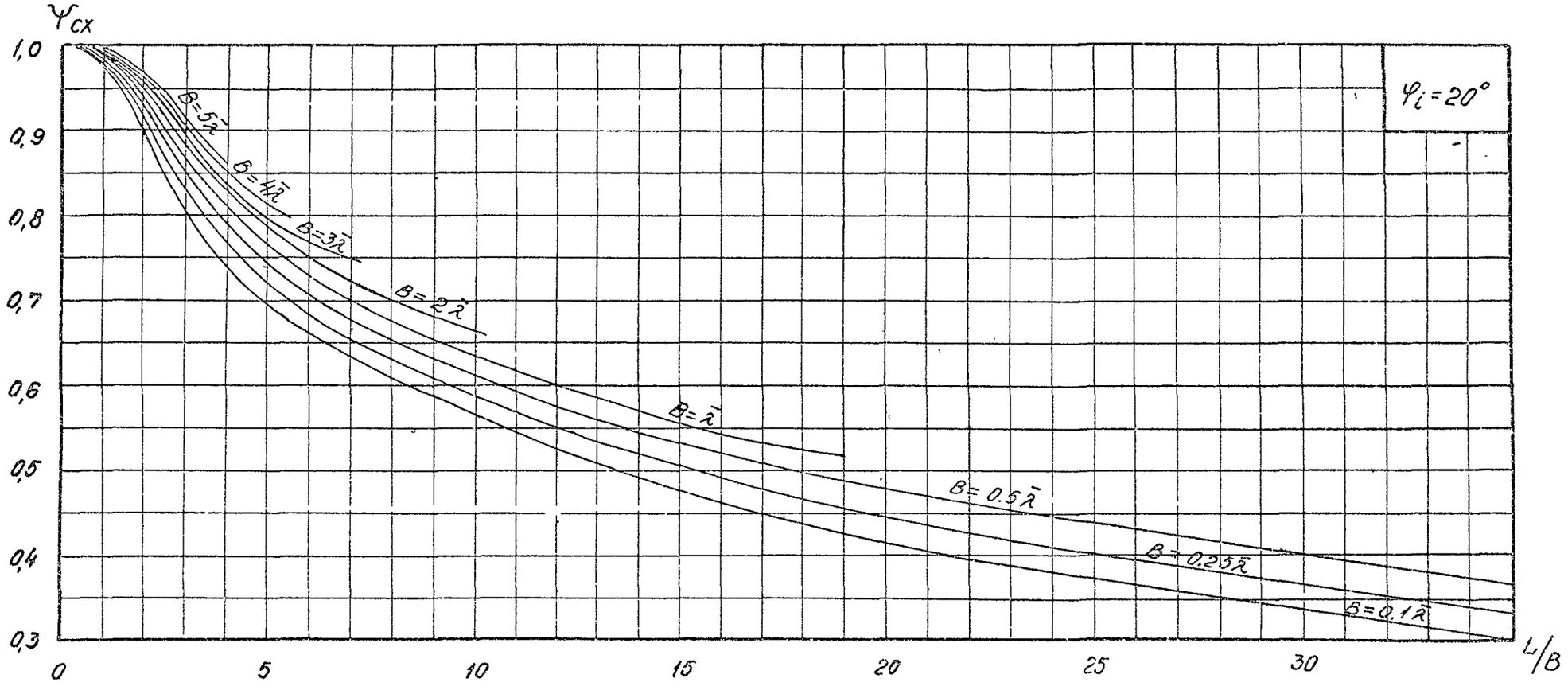


Рис.13. График для определения коэффициента Ψ_{cx} при угле $\varphi_i = 20°$.

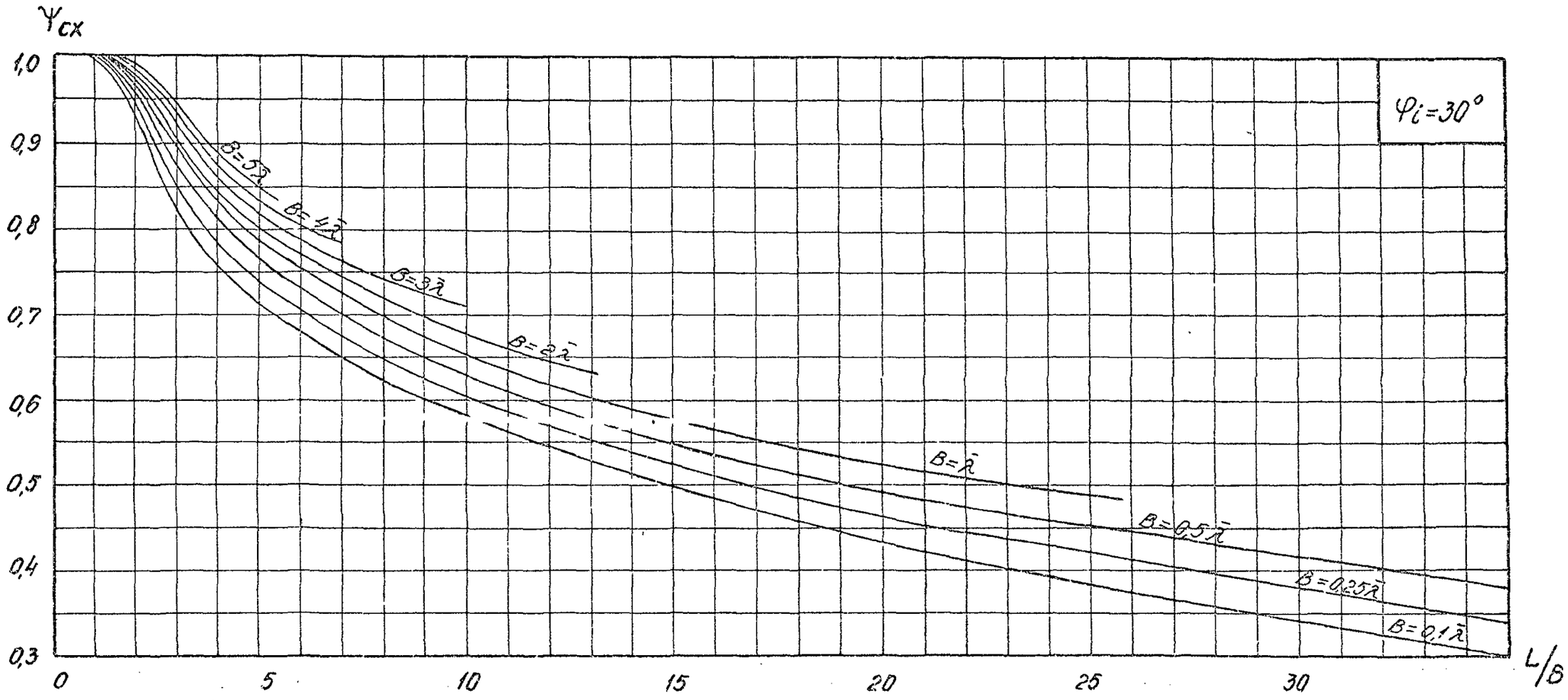


Рис.I4. График для определения коэффициента Ψ_{cx} при угле $\varphi_i=30°$.

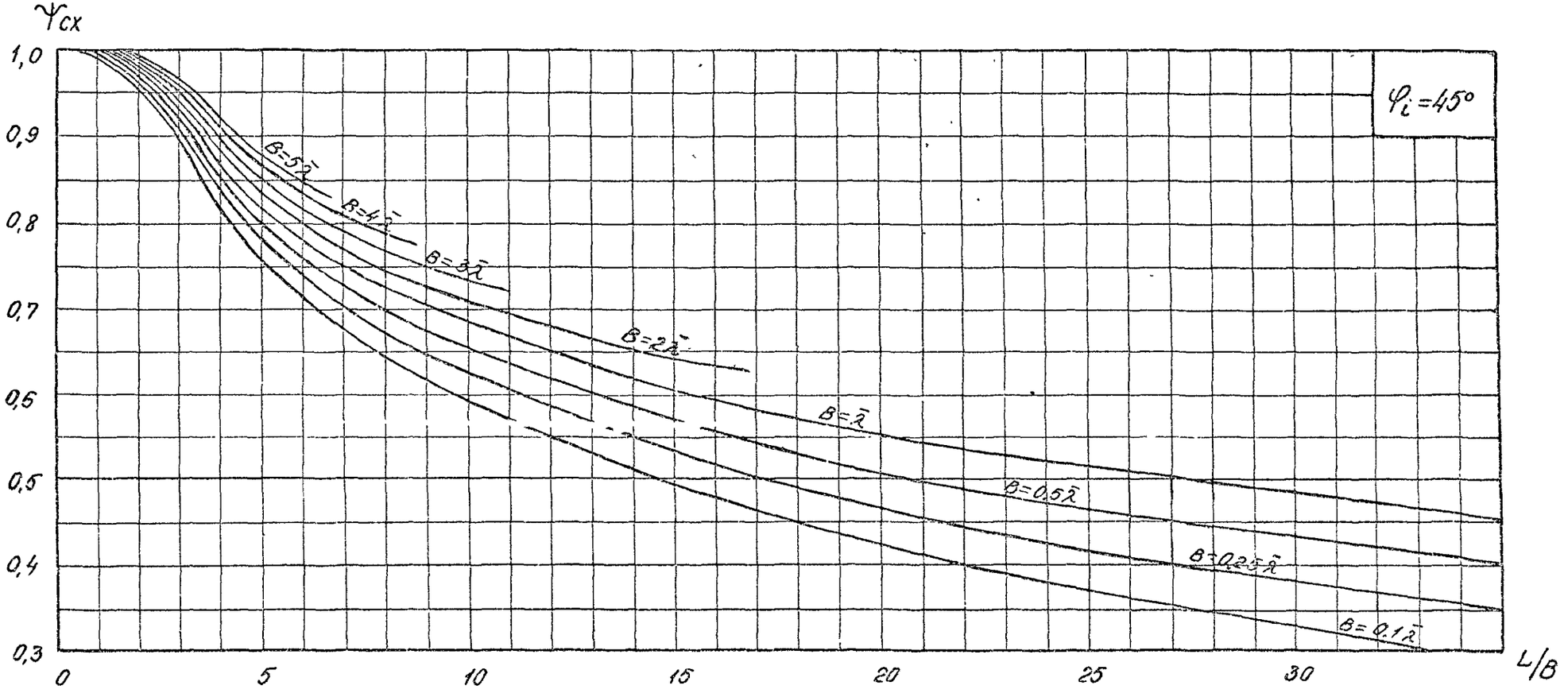


Рис. 15. График для определения коэффициента Ψ_{cx} при угле $\varphi_i=45°$.

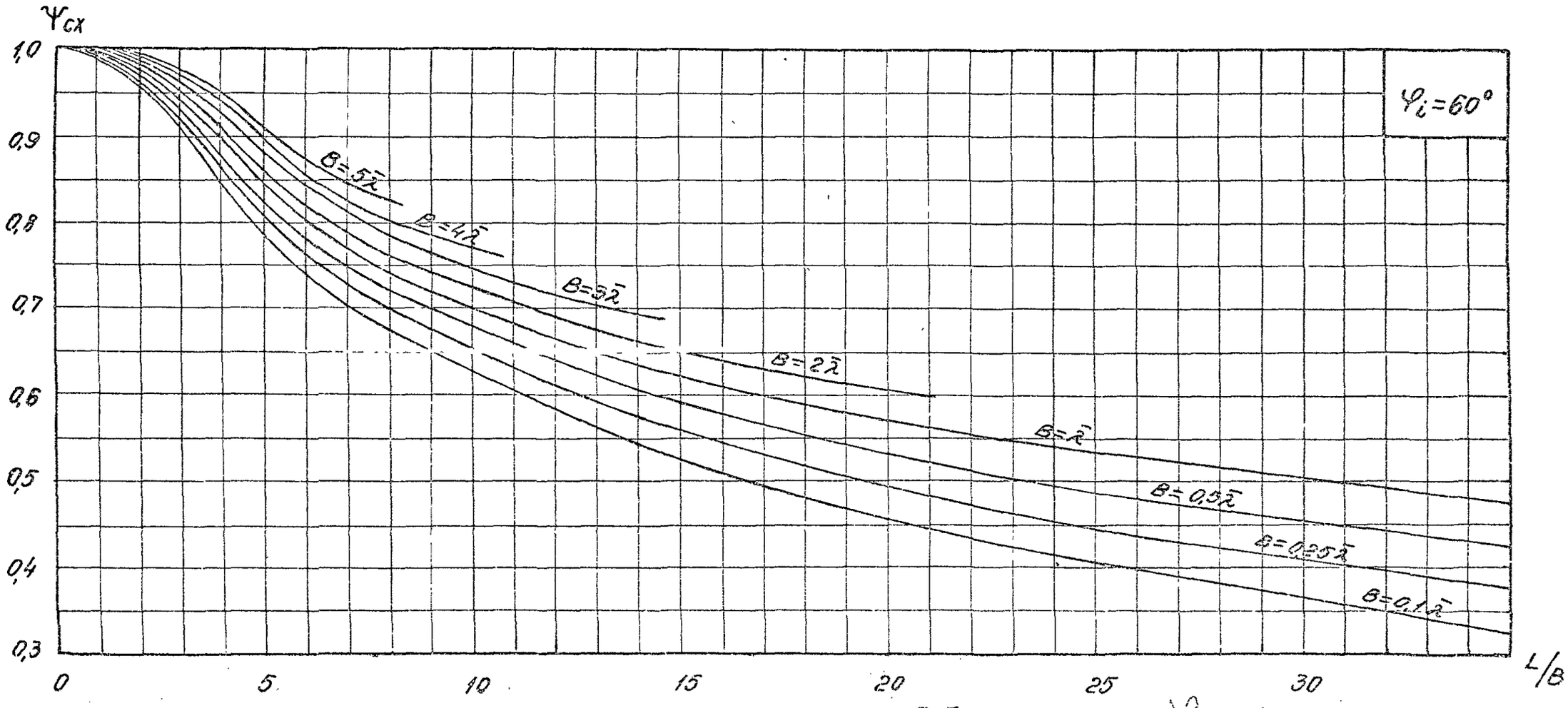


Рис.16. График для определения коффициента Ψ_{cx} при угле $\varphi_1=60°$.

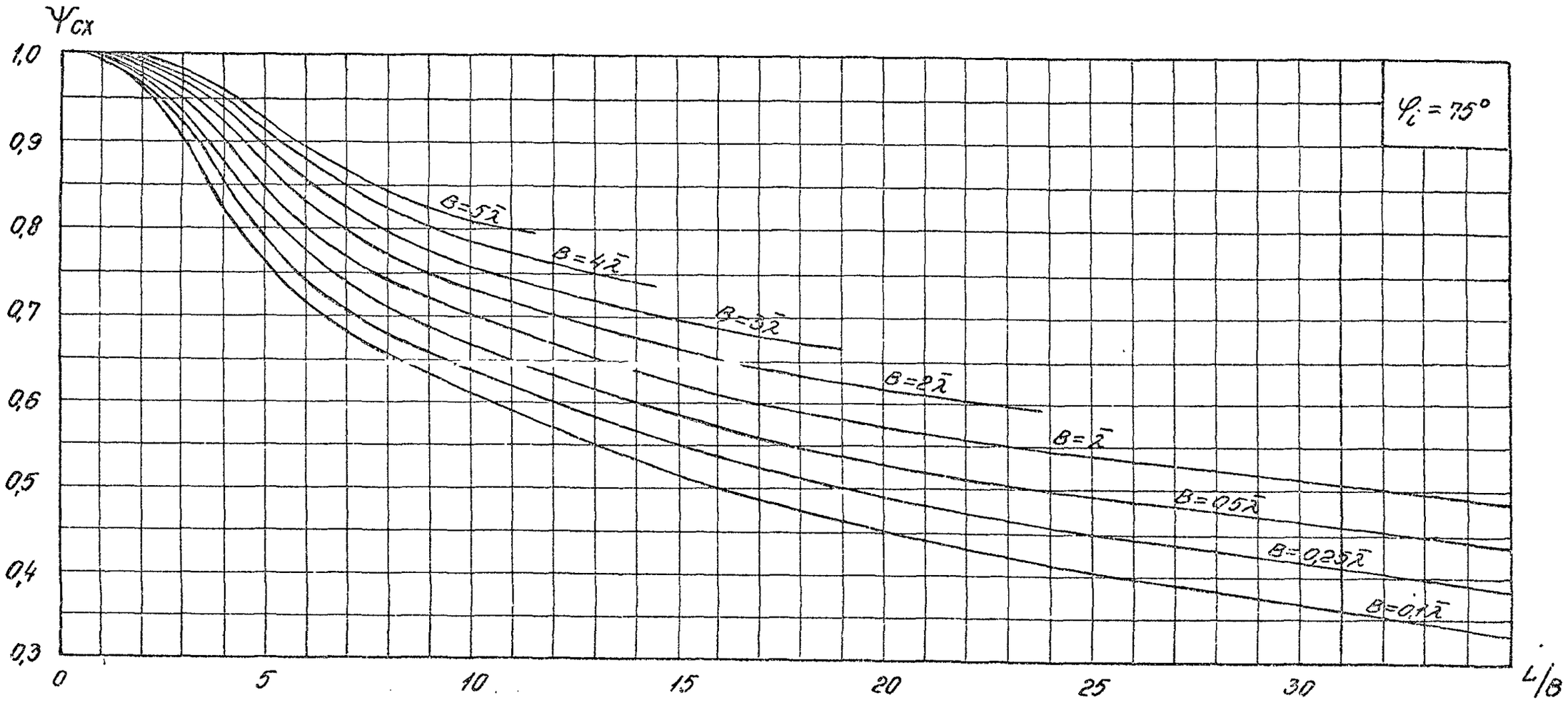


Рис.17. График для определения коэффициента ψ_{cx} при угле $\varphi_c = 75^0$.

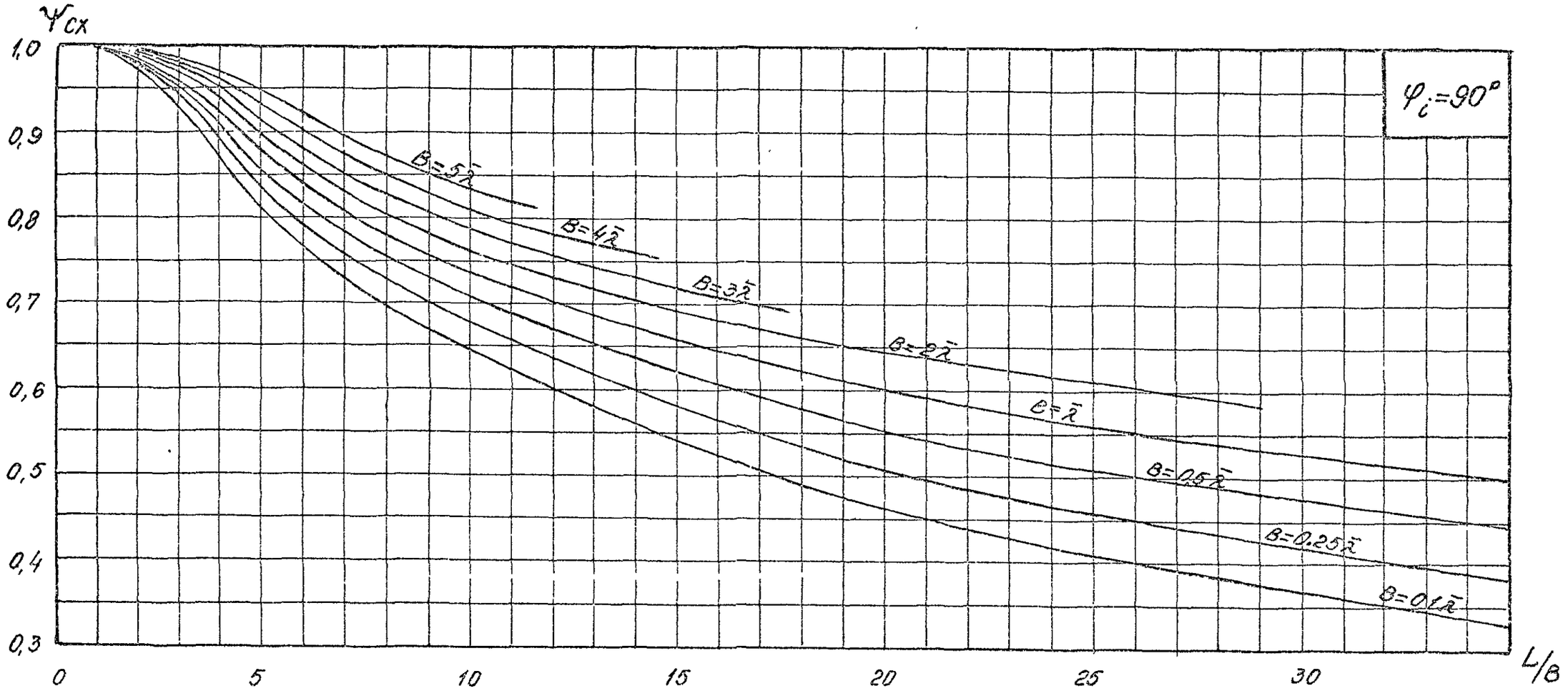


Рис.18. График для определения коэффициента ψ_{cx} при угле $\varphi_i = 90^0$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(Справочное)

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

1. Определение характеристик морского ветра.

Требуется найти следующие характеристики морского ветра: среднюю за 10 мин. скорость ветра W на высоте 10 м, динамическую скорость W_* и параметр шероховатости для широты φ =40 град. при циклонической кривизне изобар, радиусе кривизны изобар $R_{ки}$ =10 град.мерид. при температуре воды большей, чем температура воздуха. Расстояние между изобарами d_n в окрестности расчетной точки равно 1,5 град.мерид.

Решение:

Используя график на рис. 2.2, по расстоянию между изобарами d_n =1,5 град.мерид. и широте места φ =40 град., определяем скорость геострофического ветра $W_г$ =25 м/с. По отношению $W_г/R_{ки}$ =2,5 и широте места φ =40° при циклонической кривизне изобар из рис. 2.3 получаем, что отношение $W_{гр}/W_г$ = = 0,83, откуда $W_{гр}$=0,83 . 25 = 20,8 м/с. Используя график рис. 2.4 и значение скорости градиентного ветра $W_{гр}$ =20,8 м/с определяем скорость ветра W на горизонте 10 м; W =13 м/с. Вводим поправку на стратификацию согласно п.2.2.3, учитывая, что температура воды выше температуры воздуха: W =1,14 . 13 = = 14,8 м/с. По линии 1 рис. 2.5 снимаем значение динамической скорости W_* =0,65 м/с, а по линии 2 - параметра шероховатости Z_o=9,6 : 10^{-4} м для W =14,8 м/с.

2. Определение характеристик берегового ветра.

Требуется определить характеристики берегового ветра на маяке оградительного мола (высота 50 м), когда скорость ветра

Приложение 2
(продолжение)

W_z =40 м/с была измерена на высоте 100 м в центре города, застроенного многоэтажными зданиями. Вдоль направления ветра находится парк и далее акватория порта.

Решение:

Определяем скорость ветра для местности типа В на высоте 10 м, используя формулу (2.1) и принимая значение коэффициента K_z = 0,47 из табл. 2.4: $W_в$ =0,47 . 40 = 18,8 м/с. Из рис.2.6 определяем по значению $W_в$ =18,8 м/с для типа В динамическую скорость $(W_*)_в$ = 3,3 м/с. При переходе от местности типа В к местности типа Б (парк) коэффициент $K_п$ =0,79, а от местности типа Б к местности типа А (порт) $K_п$ =0,69 (п.2.3.6). Динамическая скорость на уровне 10 м у маяка $(W_*)_А$ = = 0,79 . 0,69 . 3,3 = 1,80 м/с. Согласно рис. 2.6 получаем при $(W_*)_А$ =1,80 м/с. $W_А$ =26 м/с. Используя данные табл.2.5 определяем, что скорость ветра на маяке при высоте 50 м W_{50}=26 м/с . 1,30 = 34 м/с.

3. Определение характеристик ветра для расчета ветровых волн.

Требуется определить типовые поля ветра и вероятность их появления для расчета элементов волн на подходах к порту Латакия. Разгоны волн по основным румбам составляют от 125 до 1000 км.

Решение:

Поскольку разгоны волн по волноопасным направлениям превышают 100 км, расчет волнового режима производят на основе анализа синоптических карт восточной части Средиземного моря, отобранных за период 25 лет (с 1951 по 1975 гг.).

Приложение 2
(продолжение)

Синоптические карты группируют по основным направлениям ветров, создающих волнение над морем: Ю, ЮЗ, З, СЗ, - и градациям его скоростей: 8 -I2, I2-I6, I6-20 и более 20 м/с.

Для каждой группы синоптических карт выбирают наиболее характерную. Этой карте присваивают вероятность появления, отвечающую данной группе, и считают ее типовой синоптической картой.

Выбранные типовые синоптические карты и построенные по ним поля ветра над восточной частью Средиземного моря показаны на рис.I. На этом рисунке типовые поля для СЗ румба не приведены, поскольку для этого направления ветер практически однороден.

Результаты подсчета интегральной вероятности появления типовых полей по градациям скоростей и направлений ветра, позволяющие определить волновой режим на подходах к порту, сведены в табл. I.

Обеспеченность скорости ветра (F в случаях в год) над восточной частью Средиземного моря).

Таблица I

Скорость ветра, м/с	F , при направлениях ветра в румбах			
	Ю	ЮЗ	З	СЗ
20	-	0,I	0,05	0,05
I6	0,I	0,4	0,I5	0,II
I2	0,55	I,70	0,55	0,40
8	3,00	9,50	2,90	2,00

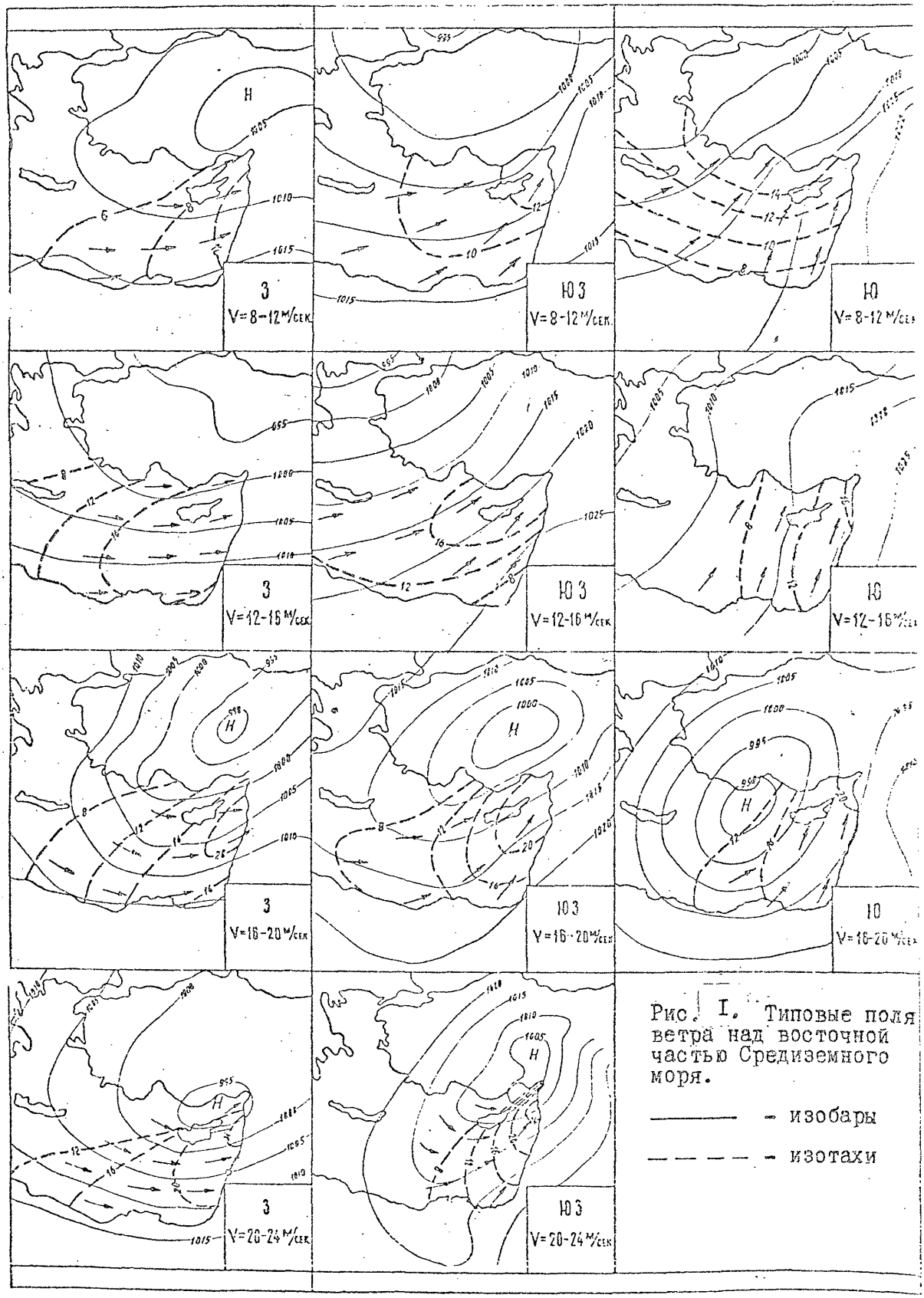


Рис. I. Типовые поля ветра над восточной частью Средиземного моря.

——— – изобары

– – – – – – изотахи

Приложение 2
(продолжение)

4. Определение высоты ветрового нагона без учета конфигурации береговой линии.

Требуется определить высоту ветрового нагона для замкнутого водоема без учета конфигурации береговой линии.

Ветер со скоростью 25 м/с направлен под углом $\alpha = 30^0$ к оси водоема. Протяженность водоема $L = 5 \cdot 10^4$ м; расчетный створ находится на расстоянии $X = 4 \cdot 10^4$ м от подветренного берега. Средняя глубина водоема $\overline{H} = 5$ м, максимальная глубина $H_{max} = 6$м минимальная $H_{min} = 4{,}5$ м.

Решение:

Находим отношение $\frac{H_{max}}{H_{min}} = \frac{6}{4.5} = 1.33 < 1.5$ и устанавливаем, что дно водоема можно считать горизонтальным. Согласно п.2.4.4 определяем величину $W_* = 1{,}25$ м/с и находим проекцию W_*^2 на ось водоема:

$$W_*^2 \cdot \cos\alpha = 1.25^2 \cdot \cos 30^\circ = 1.35 \ м^2/с^2 .$$

Рассчитываем величины:

$$\frac{X}{L} = \frac{4 \cdot 10^4}{5 \cdot 10^4} = 0.8$$

$$y_1 = 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{1.35 \cdot 5 \cdot 10^4}{9.81 \cdot 5^2} = 0.303$$

и по графику рис. 3.1 находим:

$$\frac{\Delta h}{\overline{H}} = 0.082 , \quad \Delta h = 0{,}41 \text{ м}.$$

5. Определение высоты ветрового нагона при сложной конфигурации береговой линии и переменных глубинах.

Приложение 2
(продолжение)

Требуется определить высоту ветрового нагона в пункте водоема, изображенного на рис.2, при ветре со скоростью 25 м/с, направленном вдоль оси водоема.

Решение:

Согласно требованиям п.2.2.4 определяем

$W_* = 1{,}25$ м/с.

В первом приближении определяем величины

$$H = \frac{H_1 + H_2}{2} = \frac{2.5 + 5.0}{2} = 3.75\ ; \quad \mathcal{Y}_1 = 1{,}1 \cdot 10^{-3} \frac{1.25^2 \cdot 5 \cdot 10^4}{9.81 \cdot 3.75^2} = 0.623$$

и по графику рис. 3.2 находим положение узловой точки.

$$\frac{X_0}{\Sigma} = 0.474\ ; \quad X_0 = 0.474 \cdot 5 \cdot 10^4 = 2.37 \cdot 10^4 \text{ м}.$$

Разбиваем водоем на три участка:

$\Delta X_{-1} = 2.37 \cdot 10^4$ м; $H_{-1} = 5$ м; $B_{-1} = 5 \cdot 10^3$ м;

$$\mathcal{Y}_2 = 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{1.25^2 \cdot 2.37 \cdot 10^4}{9.81 \cdot 5^2} = 0.166; \quad \frac{\Delta h^*_{-1}}{H_{-1}} = 0.09$$

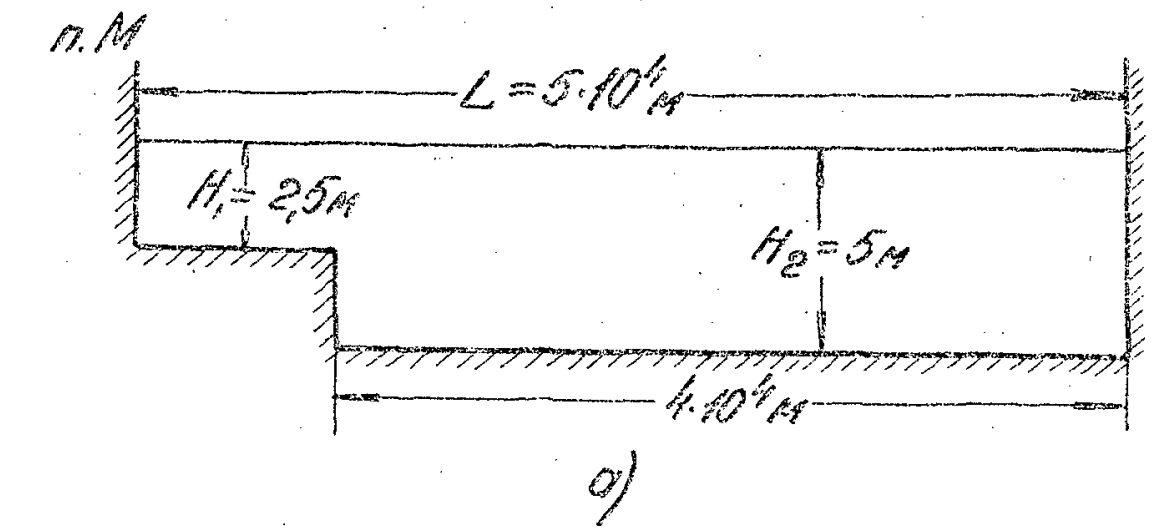
и $\Delta h^*_{-1} = \Delta h_{-1} = -0.45$ м.

$\Delta X_1 = 1.63 \cdot 10^4$ м; $H_1 = 5$м; $B_1 = 5 \cdot 10^3$ м;

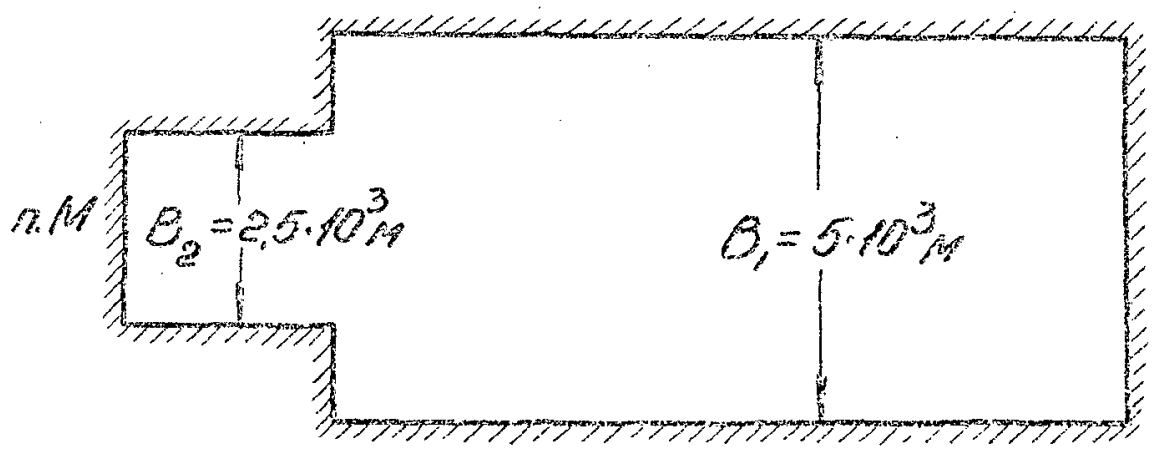
$$\mathcal{Y}_2 = 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{1.25^2 \cdot 1.63 \cdot 10^4}{9.81 \cdot 5^2} = 0.114; \quad \frac{\Delta h^*_1}{H_1} = 0.07$$

и $\Delta h^*_1 = 0.35$м.

$\Delta X_2 = 1{,}0 \cdot 10^4$м; $H_2 = 2.5 + \Delta h^*_1 = 2.5 + 0.35 = 2.85$м;



а)



б)

Рис. 12. Расчетная схема к примеру 2:
а) вертикальный разрез по оси водоема;
б) план водоема.

Приложение 2
(продолжение)

$B_2 = 2.5 \cdot 10^3$ м; $J_2 = 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{1.25^2 \cdot 10^4}{9.81 \cdot 2.85^2} = 0.216$;

$\frac{\Delta h_2^*}{H_2} = 0.11$ и $\Delta h_2^* = 0.31$ м,

откуда:

$\Delta h_2 = \Delta h_1^* + \Delta h_2^* = 0.35 + 0.31 = 0.66$ м.

Находим $V_{(+)}$ и $V_{(-)}$:

$$V_{(+)} = B_1 \Delta h_1 \Delta X_1 + B_2 \Delta h_2 \Delta X_2 = 5 \cdot 10^3 \cdot 0.35 \cdot 1.63 \cdot 10^4 + 2.5 \cdot 10^3 \cdot 0.66 \cdot 10^4 = 4.5 \cdot 10^7, \text{ м}^3;$$

$$V_{(-)} = B_{-1} \Delta h_{-1} \Delta X_{-1} = -5.34 \cdot 10^7, \text{ м}^3.$$

Поскольку $\frac{|V_{(+)} + V_{(-)}|}{V_{(+)}} = \frac{0.84}{4.5} = 0,19 > 0,1$, выполняем расчет второго приближения. Пусть $X_0 = 2,2 \cdot 10^4$ м. В этом случае имеем следующие три участка:

$\Delta X_{-1} = 2.2 \cdot 10^4$ м; $H_{-1} = 5$ м; $B_{-1} = 5 \cdot 10^3$ м и

$J_2 = 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{1.25^2 \cdot 2.2 \cdot 10^4}{9.81 \cdot 5^2} = 0.154$; $\frac{\Delta h_{-1}}{H_{-1}} = 0.085$

и $\Delta h_{-1} = 0.425$ м.

$\Delta X_1 = 1.8 \cdot 10^4$ м; $H_1 = 5$ м; $B_1 = 5 \cdot 10^3$ м и

$J_2 = 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{1.25^2 \cdot 1.8 \cdot 10^4}{9.81 \cdot 5^2} = 0.126$; $\frac{\Delta h_{+1}^*}{H_{+1}} = 0.075$; $\Delta h_{+1}^* = 0.375$ м

$\Delta X_2 = 10^4$ м; $H_2 = 2,5 + 0.375 = 2.875$ м; $B_2 = 2.5 \cdot 10^3$ м;

$J_2 = 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{1.25^2 \cdot 10^4}{9.81 \cdot 2.875^2} = 0.212$; $\frac{\Delta h_{+2}^*}{H_{+2}} = 0.11$; $\Delta h_{+2}^* = 0.31$ м;

Приложение 2
(продолжение)

$$\Delta h_{+2} = \Delta h^{*}_{+1} + \Delta h^{*}_{+2} = 0.375 + 0.31 = 0.685 \text{ м.}$$

Находим величины $V_{(+)}$ и $V_{(-)}$.

$$V_{(+)} = 5 \cdot 10^3 \cdot 0.375 \cdot 1.8 \cdot 10^4 + 2.5 \cdot 10^3 \cdot 0.685 \cdot 10^4 = 5.09 \cdot 10^7, \text{ м}^3;$$

$$V_{(-)} = -5 \cdot 10^3 \cdot 0.425 \cdot 2.2 \cdot 10^4 = -4.68 \cdot 10^7, \text{ м}^3.$$

Поскольку $\frac{|V_{(+)} + V_{(-)}|}{V_{(+)}} = 0{,}081 < 0{,}1$, ограничимся расчетом второго приближения и принимаем величину нагона в п.М (рис.2).

$\Delta h = 0{,}685$ м.

6. Расчет частотного спектра волн.

Требуется рассчитать частотный спектр по заданным средней высоте $\bar{h} = 2{,}6$ м и среднему периоду $\bar{\tau} = 7{,}2$ с ветровых волн.

Решение:

Согласно пункту 4.1.5 определяем частоту максимума $\omega_0 = 5/7{,}2 = 0{,}7$ рад/с и спектральную плотность на частоте максимума $S(\omega_0) = 0{,}058 \cdot 2{,}6^2 \cdot 7{,}2 = 2{,}82 \frac{м^2 \cdot с}{рад}$. Задаемся характерными частотами $\omega = 0{,}4; 0{,}5; \ldots 1{,}0; 1{,}2; \ldots 2{,}0$. Для каждой частоты находим отношение ω/ω_0 и по рис.4.1 определяем соответствующее значение отношения $S(\omega)/S(\omega_0)$ и величину $S(\omega)$. Например, для $\omega = 1{,}4$ находим $\omega/\omega_0 = 1{,}4/0{,}7 = 2{,}0$ по графику на рис. 4.1 получаем $S(\omega)/S(\omega_0) = 7.4 \cdot 10^{-2}$, откуда $S(\omega) = 7{,}4 \cdot 10^{-2} \cdot 2{,}82 = 0{,}209 \frac{м^2 \cdot с}{рад}$.

Аналогичные расчеты дают такие значения спектральной плотности $S(\omega)$ по частотам:

Приложение 2
(продолжение)

$S(0,4)=0,04$; $S(0,5)=0,42$; $S(0,6)=1,68$; $S(0,8)=1,96$;
$S(0,9)=1,21$; $S(1,0)=0,73$; $S(1,2)=0,41$; $S(1,4)=1,21$;
$S(1,6)=0,10$; $S(1,8)=0,06$; $S(2,0)=0,03$ $\frac{м^2 \cdot с}{рад.}$

7. Расчет углового распределения энергии волн.

Требуется рассчитать количество энергии, приходящей в точку на глубокой воде в секторе, ограниченном лучами, составляющими углы $\Theta_j = 11,2^0$ и $\Theta_{j+1} = 33,7^0$ с направлением ветра. Скорость ветра составляет $W = 14$ м/с, а разгон волн $D_n = 2,5 \cdot 10^5$ м при $\Theta_n = 22,5^0$.

Решение:

Находим проекцию разгона

$$D_n^* = D_n \cdot \cos\Theta_n = 2,5 \cdot 10^5 \cdot \cos 22,5^0 = 2,5 \cdot 10^5 \cdot 0,923 =$$

$= 2,31 \cdot 10^5$ м и в соответствии с требованиями СНиП П-57-75 определяем $\bar{h}_n = 1,96$ м. Вычисляем величину:

$$E(11,2^0) - E(33,7^0) = 0,21,$$

откуда находим $\Delta E_n = 0,21 \cdot 1,96^2 = 0,81$ м2.

8. Расчет элементов волн зыби.

Требуется определить период $\bar{\tau}_з$ и высоту $\bar{h}_з$ волн зыби по элементам ветровых волн в области шторма $\bar{h}_в = 3,0$ м и $\bar{\tau}_в = 7,2$ с. Размер штормовой зоны $D_m = 100$ км, расстояние от границы штормовой зоны до расчетной точки $D_з = 500$ км.

Решение:

По номограмме на рис.4.2 согласно ключу определяем $\bar{\tau}_з / \bar{\tau}_в = 1,39$; $\bar{h}_з / \bar{h}_в = 0,33$. Отсюда $\bar{\tau}_з = 1,38 \cdot 7,2 = 10$ с; $\bar{h}_з = 0,33 \cdot 3,0 = 0,99$ м.

Приложение 2
(Продолжение)

9. Определение коэффициентов дифракции.

Дана акватория в масштабе I:I0 000, огражденная двумя сходящимися молами. Заданы направление (луч) исходной волны и длина $\bar{\lambda}$ =I00 м. Требуется определить коэффициенты дифракции $K_{дс}$ в расчетных точках P_I,P_2 и P_3 (рис. 4.4).

Решение:

а) На плане акватории через оголовки молов параллельно заданному лучу исходной волны проводим два отрезка, каждый из которых принимаем за границу волновой тени соответствующего мола. Проведенные отрезки разделяют акваторию на три зоны: I,П и Ш (рис. 4.4).

б) Определяем углы φ между границей волновой тени и направлением соответствующего мола. Получаем для первого мола φ_1 = 72°, для второго - φ_2 =27°.

в) Определяем коэффициент $K_{до}$ в расчетной точке P_I, находящейся в зоне I, для чего в соответствии с рекомендациями п.4.2.2 накладываем на план акватории диаграмму на прозрачной основе для φ =75°. Получаем в точке P_I $K_{до}$=0,2. Аналогичным образом в расчетной точке P_2 с помощью диаграммы для φ =30° получаем $K_{до}$ =0,4. В точке P_3, расположенной в зоне Ш, определяем два коэффициента дифракции $K_{до}$: первый-по диаграмме с углом φ =75°, второй-по диаграмме с углом φ =30°. Получаем в точке P_3 $K_{до}$ соответственно 0,85 и 0,83. Результаты вычислений представлены в столбце 2 табл.2.

Приложение 2
(продолжение)

Таблица 2

	$K_{д0}$	τ, м	R, м	Δ, м	Δ/B	ψ_{cx}	$K_{дс}$
P_I	0,2	750	340	1280	5,6	0.86	0,17
P_2	0,4	750	320	670	2,9	0,92	0,37
P_3	0,85	1100	430	1810	7,9	0,78	0,66
	0,83	950	390	840	3,6	0,87	0,72

г) Определяем поправочный коэффициент ψ_{cx} для расчетной точки P_I. Вначале на плане акватории с наложенной на него диаграммой измеряем радиус τ_1 и длину отрезка фронта A_I, показанные на рис.4.4. Получаем τ_1=750 м и A_I = 340 м. По этим величинам, пользуясь формулой (4.9), находим длину фронта Δ_1 =1280 м, проходящего через точку P_I от мола I до границы зоны дифракции ($K_{д0}$ =1), отвечающей этому молу (рис. 4.4).

Затем измеряем расстояние B между границами волновой тени. Получаем B=230 м. Наконец,по отношениям Δ/B=5,6, $B/\bar{\lambda} = \frac{230}{100}$ = =2,3 и углу φ =75° с помощью графика на рис.17 находим ψ_{cx}=0,86 для точки P_I.

Аналогичными приемами определяем значения $K_{д0}$; τ, м; A, м; Δ м; Δ/B и ψ_{cx} в точках P_2 и P_3. При этом в точке P_3 все операции выполняем дважды, один раз по диаграмме с углом φ =75°, а другой - по диаграмме с φ =30°. Результаты вычислений помещены в столбцах 3-7 табл.2.

д) Искомые величины $K_{дс}$ в точках P_I, P_2 и P_3 определяем по формуле (4.8) (см. столбец 8 табл.2). В точке P_3 в качестве $K_{дс}$ берем наименьшее из двух значений (0,66).

Приложение 2
(продолжение)

I0. Расчет возвышения вершины стоячей волны.

Определить возвышение вершины стоячей нерегулярной волны 5% обеспеченности около ограцительного сооружения типа вертикальной стенки.

Исходные данные: высота волны h =6 м; средний период волны $\bar{\tau}$ =8 с; глубина моря у сооружения H = I0 м.

Решение:

Определяем период расчетной волны по формуле (4.II) при $\bar{\tau}$ =8 с:

$$\tau_p = 1.17 \cdot \bar{\tau} = 9.4 \text{ с}.$$

Значение коэффициента k_a определяем по графику на рис.4.5 при

$$H/g\tau_p^2 = \frac{10}{9.8 \cdot 9.4^2} = 1.1 \cdot 10^{-2} \quad \text{и}$$

$$h/g\tau_p^2 = \frac{6}{9.8 \cdot 9.4^2} = 7 \cdot 10^{-3}.$$

Для таких значений параметров коэффициент k_a=0,63.

Возвышение вершины стоячей нерегулярной волны около вертикальной стенки определяем по формуле (4.I0):

$h_в$ = 0,63 x 6 = 3,8 м.

II. Построение режимных функций высот волн у причала.

Построить по заданным режимным функциям (рис. 3) высот и длин волн на входе в порт, огражденный двумя сходящимися молами, режимные функции высот волн у трех причалов X_1, X_2, X_3.

Решение:

По нескольким значениям F с исходных режимных функций снимаем соответствующие $\bar{\lambda}$, $h_{1\%}$ и $h_{5\%}$. Например, для F =0,2;

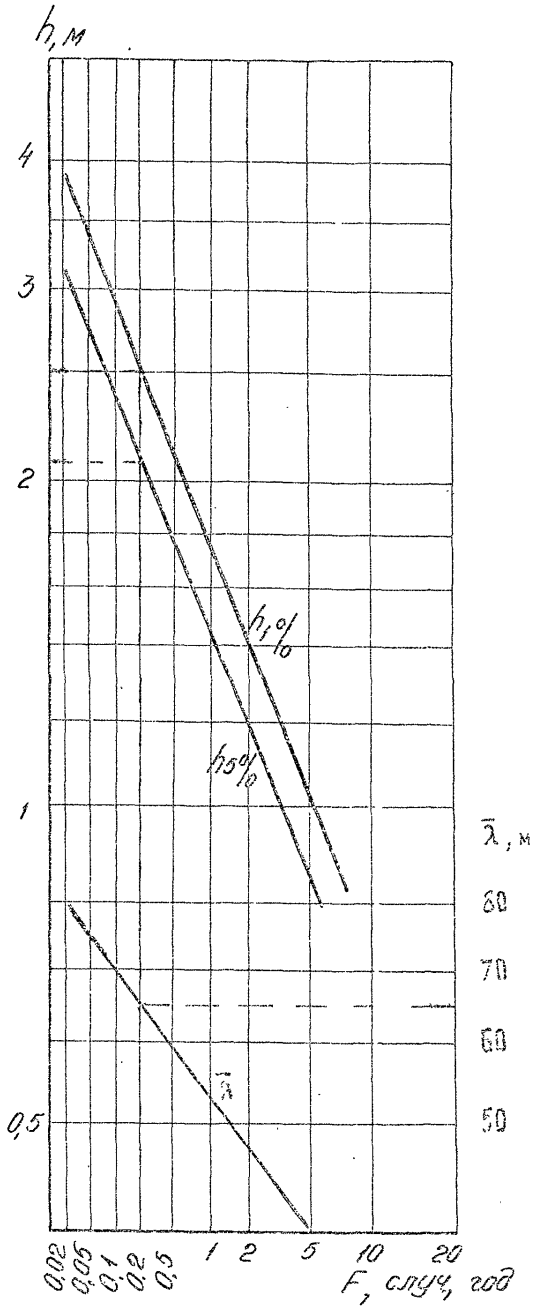


Рис.3. Режимные функции высот волн $h_{1\%}$, $h_{5\%}$ и длин волн $\bar{\lambda}$ на входе в порт при западных штормах.

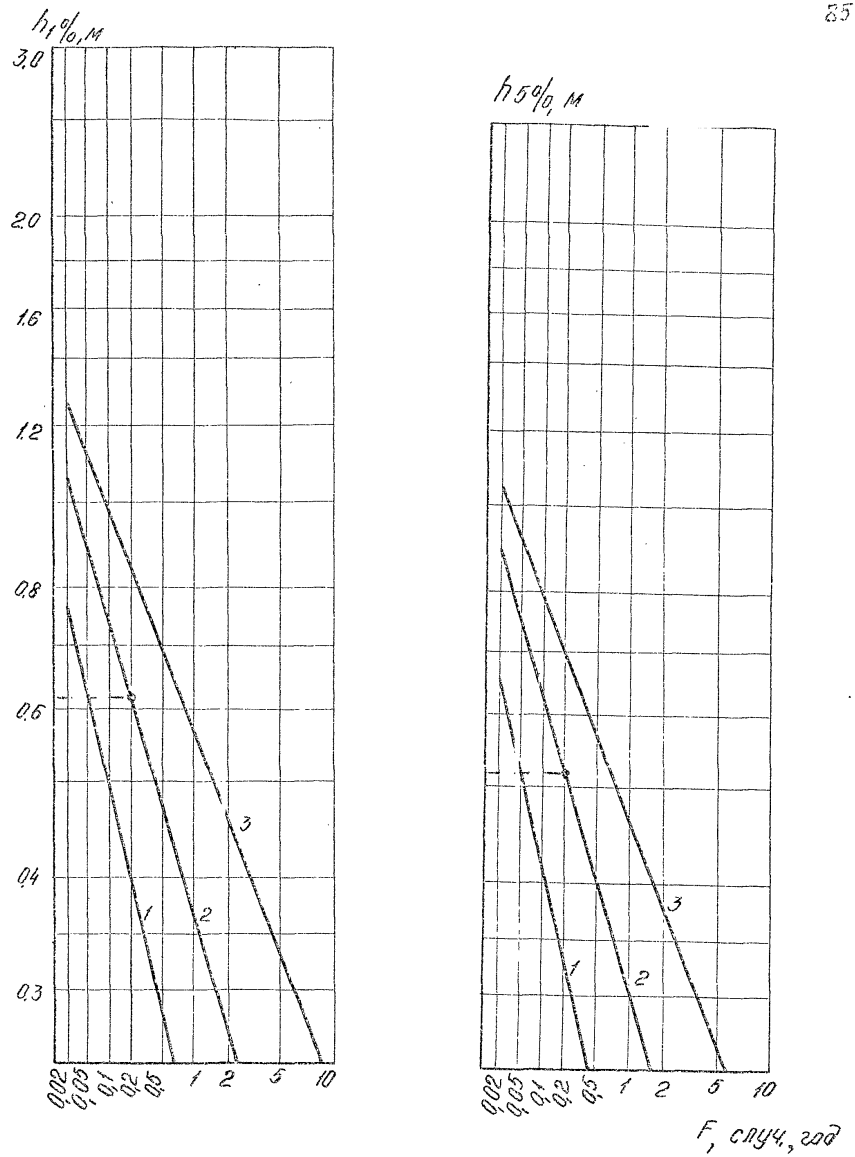


Рис.4. Режимные функции высот волн $h_{1\%}$ и $h_{5\%}$ в расчетных точках I–3 акватории порта.

Приложение 2
(продолжение)

$\bar{\lambda}$ =65 м, $h_{1\%}$=2,5 м, $h_{5\%}$=2,I м (см. рис. 3).

В соответствии с п.4.2.3 по $\bar{\lambda}$ и направлению подхода волн определяем K_{gc} в расчетных точках I-3. Например, для $\bar{\lambda}$ =65 м в точке 2 K_{gc} =0,25, поэтому величине F =0,2 слу/год на рис. 4 в соответствии с формулой (4.7) отвечают $h_{1\%}$=2,5 х х 0,25 = 0,62 м и $h_{5\%}$=2,Iх0,25=0,52 м. По определенным подобным образом точкам строят режимные функции у причалов (рис.4).

I2. Определение режима сейшевых колебаний.

Требуется определить режим средних высот $\bar{h}_c$ и периодов $\bar{\tau}_c$ сейшевых колебаний с повторяемостью I0 раз в год, I раз в год, I раз в 5 лет, I раз в I0 лет на акватории прямоугольного порта.

Исходные данные: порт расположен в узкой прибрежной зоне глубоководной акватории с уклоном дна 0,02. Глубина акватории порта H=I0 м. Размеры порта: c=300 м, ℓ =400 м, 2α =2000 м (рис.4.8). В открытом море при разгонах D > I00 км и скоростях ветра W > I5 м/с наблюдаются ветровые волны с параметрами:

I0 раз в год	$\bar{h}$ =2,3 м,	$\bar{\tau}$ =7 с;
I раз в год	$\bar{h}$ =3,5 м,	$\bar{\tau}$ =8,5 с;
I раз в 5 лет	$\bar{h}$ =3,95 м,	$\bar{\tau}$ =8,75 с;
I раз в I0 лет	$\bar{h}$ =4,8 м,	$\bar{\tau}$ =9,7 с.

Продолжительность действия штормового ветра для всех случаев превышает I0 час.

Решение.

В соответствии с формулами (4.I2) и (4.I3) вычисляем средние высоты $\bar{h}_{нч}$ и средние периоды $\bar{\tau}_{нч}$ низкочастотных волн на подходах к порту:

Приложение 2
(продолжение)

I0 раз в год $\bar{h}_{нг} = \frac{II \cdot (2,3)^2}{9,8 \cdot 7^2} = 0,I2$ м;

$\bar{\tau}_{нг} = I2 \times 7 = 84$ с.

I раз в год $\bar{h}_{нг} = \frac{II \cdot (3,5)^2}{9,8(8,5)^2} = 0,I9$;

$\bar{\tau}_{нг} = I2 \cdot 8,5 = I02$ с.

I раз в 5 лет $\bar{h}_{нг} = \frac{II \cdot (3,95)^2}{9,8(8,75)^2} = 0,23$ м;

$\bar{\tau}_{нг} = I2 \cdot 8,75 = I05$ с.

I раз в I0 лет $\bar{h}_{нг} = \frac{II \cdot (4,8)^2}{9,8 \cdot (9,7)^2} = 0,27$ м;

$\bar{\tau}_{нг} = I2 \cdot 9,7 = II6$ с.

По номограмме (рис. 4.8) определяем при

$2d/\ell = 2000/400 = 5$ и $c/2d = 300/2000 = 0,I5$

резонансный коэффициент усиления $R_R = 2,5$ и произведение $K_R \ell = 3,23$, тогда

$$K_R = \frac{3,23}{400} = 8,I \cdot I0^{-3}.$$

Период резонансных колебаний порта находим по формуле (4.I7):

$$\tau_R = \frac{2,3 \cdot I4}{8,I \cdot I0^{-3} \sqrt{9,8 \cdot I0}} = 78 \text{ с}.$$

В соответствии с п.4.3.6 определяем средний период сейшевых колебаний

$$\bar{\tau}_c = \bar{\tau}_R = 78 \text{ с}.$$

С помощью номограммы на рис.4.8 при $R_R = 2,5$ и формулы (4.I6) определяем средние высоты сейшевых колебаний акватории:

Приложение 2
(продолжение)

Десять раз в год

при $\tau_R / \bar{\tau}_{нг} = 78/84 = 0,93$ и

$R_н = (R_н/R_R)\, R_R = 0,87 \cdot 2,5 = 2,17,$

$\bar{h}_c = R_н \cdot \bar{h}_{нг} = 2,17 \cdot 0,12 = 0,26$ м

Один раз в год

при $\tau_R / \bar{\tau}_{нг} = 78/102 = 0,76$ и

$R_н = (R_н/R_R)\, R_R = 0,85 \cdot 2,5 = 2,12,$

$\bar{h}_c = R_н \cdot \bar{h}_{нг} = 2,12 \cdot 0,19 = 0,40$ м

Один раз в 5 лет

при $\tau_R / \bar{\tau}_{нг} = 78/105 = 0,74$ и

$R_н = (R_н/R_R) \cdot R_R = 0,80 \cdot 2,5 = 2,02,$

$\bar{h}_c = R_н \cdot \bar{h}_{нг} = 2,02 \cdot 0,23 = 0,46$ м

Один раз в 10 лет

при $\tau_R / \bar{\tau}_{нг} = 78/116 = 0,67$ и

$R_н = (R_н/R_R)\, R_R = 0,74 \cdot 2,5 = 1,85,$

$\bar{h}_c = R_н \cdot \bar{h}_{нг} = 1,85 \cdot 0,27 = 0,50$ м.

Защищенность порта от тягуна согласно требованиям п.4.3.3 оцениваем как неудовлетворительную.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(справочное)

Список
нормативно-технических документов, на которые имеются ссылки в тексте

I. Глава СНиП II-57-75 "Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М., Стройиздат, 1976.

2. Глава СНиП II-6-74 "Нагрузки и воздействия". М., Стройиздат 1976.

3. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов). Л., Стройиздат, 1977.

4. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. М., Стройиздат, 1978.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общие положения 3

2. Определение характеристик ветра 4

2.I. Основные характеристики ветра 4

2.2. Расчет характеристик морских ветров в районе порта 7

2.3. Расчет характеристик береговых ветров в районе порта I3

2.4. Определение характеристик ветра для расчета ветровых волн перед портом I8

3. Определение расчетных уровней воды и высоты ветрового нагона 23

3.I. Расчетные уровни воды 23

3.2. Высота ветрового нагона 23

4. Определение характеристик ветровых волн 28

4.I. Расчет характеристик ветровых волн на подходах к порту 28

4.2. Расчет характеристик ветровых волн на акватории порта 35

4.3. Определение режима низкочастотных колебаний в порту, вызывающих явление тягуна 4I

5. Методика гидравлического моделирования ветровых волн на портовых акваториях 46

5.I. Определение исходных параметров для моделирования 46

5.2. Измерения на модели 48

5.3. Обработка результатов 49

5.4. Тарировка модели 50

Раздел 2 заменен см. Извещение №1 от 10.05.84г. № 91.35.04-84

Приложение I. Графики для определения характеристик ветровых волн на акватории порта 52

Приложение 2. Примеры расчета 7I

I. Определение характеристик морского ветра 7I

2. Определение характеристик берегового ветра 7I

3. Определение характеристик ветра для расчета ветровых волн 72

4. Определение высоты ветрового нагона без учета конфигурации береговой линии 75

5. Определение высоты ветрового нагона при сложной конфигурации береговой линии и переменных глубинах 75

6. Расчет частотного спектра 79

7. Расчет углового распределения энергии волн 80

8. Расчет элементов волн зыби 80

9. Определение коэффициентов дифракции 8I

I0. Расчет возвышения вершины стоячей волны 83

II. Построение режимных функций высот волн у причала 83

I2. Определение режима сейшевых колебаний 86

Приложение 3. Список нормативно-технических документов, на которые имеются ссылки в тексте 89

gost.e-ecolog.ru

Подписано к печати 19/У1-1981 г. Л-88021

СМНИИП Ротатор 3. 224 Т. 63