

к.г.н., доц. Клименко Дмитрий Евгеньевич

**РАСЧЕТЫ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ,  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ  
СТРОИТЕЛЬНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

---

**ТЕМА №3.**

**РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРА И ВЕТРОВОГО**

**СССР  
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
НАУЧНО—ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**ВЕДОМСТВЕННЫЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ**

**НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**ПАРАМЕТРЫ ВЕТРОВЫХ ВОЛН,  
ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТКОСЫ  
ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИИ НА РЕКАХ**

**ВСН 206—87**

**Минтрансстрой**

**Издание официальное**

**Москва 1987**

# Расчет ветровых и судовых волн и их наката на откосы сооружений

Волна и ее воздействие имеет характеристики:

$h_B$  - высота волны - превышение гребня над подошвой;

$\lambda$  - длина волны - расстояние между смежными вершинами волны;

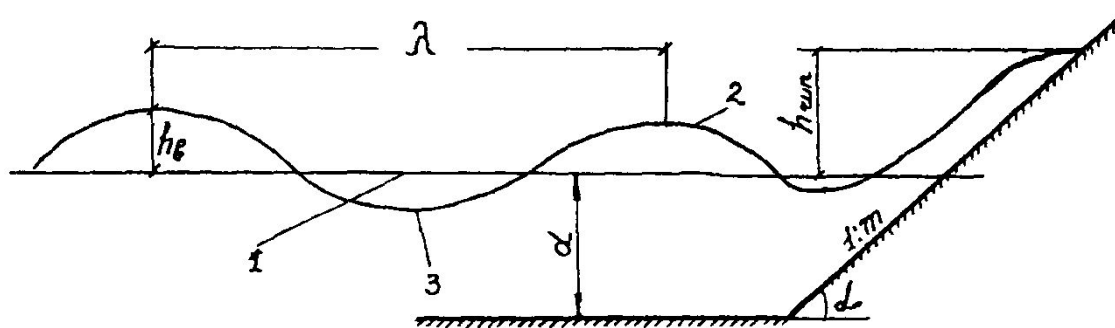
$\lambda/h_B$  - пологость волны; обратная величина называется крутизной волны;

$T$  - период волны (время перемещения волны на свою длину  $\lambda$ );

$h_{run}$  - высота наката волны на откос;

$L$  - разгон волны - протяженность водной поверхности вдоль вектора скорости ветра (как правило по румбу);

$d$  - глубина на акватории по линии разгона волны (можно принимать глубину на конце участков линии разгона).



## ***Расчет ветровых и судовых волн и их наката на откосы сооружений***

---

Для практических расчетов воздействия волн на сооружения мостовых переходов акваторию достаточно подразделять по глубине на глубоководную и мелководную зоны:

глубоководная с глубиной  $\lambda > 0,5\lambda_d$ , где дно водоема практически не влияет на характер волнения (здесь - средняя длина волны для глубоководной зоны);  
мелководная с глубиной  $0,5\lambda_d \geq d$ .

Наиболее частыми при проектировании мостовых переходов являются случаи расчета ветровых волн на мелководной зоне.

Для расчета параметров волны по каждому из рассматриваемых румбов необходимо иметь следующие исходные данные: длину разгона волны (расстояние по румбу от уреза берега до откоса  $L$ ; глубины в водоеме по рассматриваемому румбу  $d$ ; скорость ветра над водной поверхностью на высоте 10 м, вектор которой совпадает с рассматриваемым румбом  $v_w$ .

## ***Расчет ветровых и судовых волн и их наката на откосы сооружений***

---

Параметры волн и высоту наката на откосы сооружений мостового перехода определяют с учетом подпора и нагона на уровнях УВВ, соответствующих расходам воды:

наибольшим для железных дорог и расчетным для автомобильных дорог при назначении бровки и верха укрепления (исходя из высоты наката волны на откос);

расчетным при расчете мощности укрепления.

При определении отметки бровки сооружения и верха крепления принимают шторм обеспеченностью 50% (т.е. раз в два года). В этой системе шторма высоту волны принимают обеспеченностью 1%, а в системе наката - 1% обеспеченности высоты наката.

При длительно стоящих уровнях (НПУ в водохранилищах) бровку и верх укрепления сооружения следует также определять при шторме 4% обеспеченности (один раз в 25 лет) и 1% обеспеченности волн и наката в соответствующих системах. К расчету принимают наиболее неблагоприятные условия.

# Расчет скорости ветра на высоте 10 м

На каждом открытом румбе расчетную скорость ветра на высоте 10 м над водной поверхностью определяют по формуле

$$v_W = k_z k_{fl} k_l v_{zi}$$

где  $v_{zi}$  - скорость, измеренная на метеостанции по флюгеру на высоте  $z$ ;  $k_z$  - коэффициент приведения к высоте 10 м, принимаемый равным: при  $z=5$  м - 1,1; при

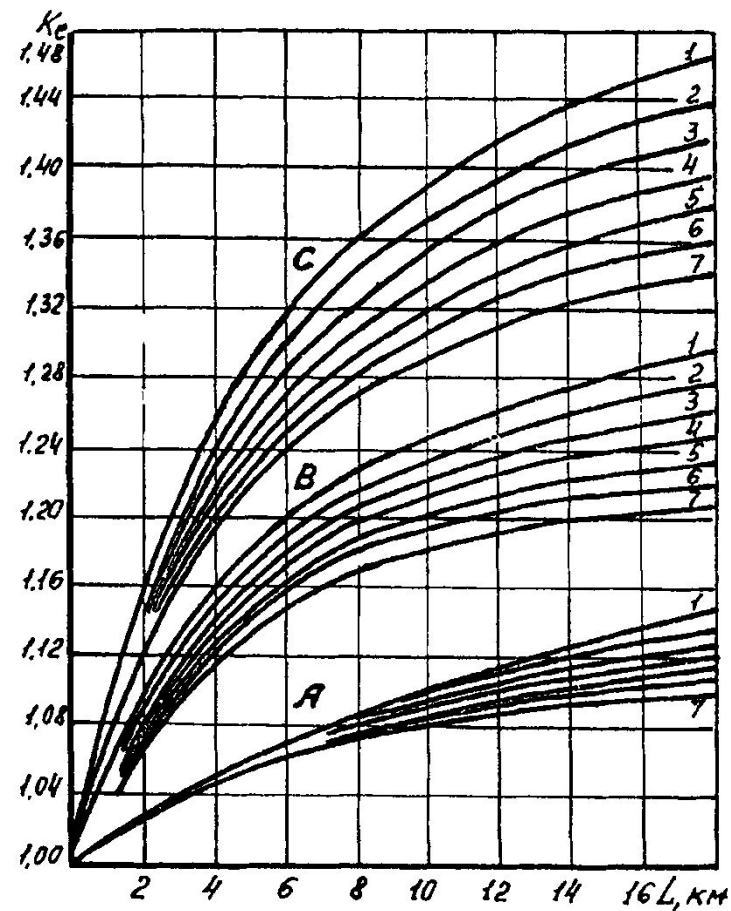
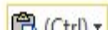
$z=10$  м - 1; при  $z=20$  м и более - 0,9;  $k_{fl} = 0,675 + \frac{4,75}{k_z v_{zi}}$  (но не более 1);  $k_l$  - коэффициент приведения скорости ветра к условиям водной поверхности определяют по [рис 12.2](#) для разгонов длиной менее 20 км в зависимости от значения скорости  $k_z v_{zi}$  и типа местности, в которой расположена метеостанция.

Тип местности принимают:

А - открытые местности (степи, лесостепи, пустыни, открытые побережья морей, озер, водохранилищ);

В - территории малых и средних городов, больших и крупных городов, застроенных зданиями высотой до 20 м;

С - территории больших, крупных и крупнейших городов, застроенных зданиями высотой свыше 20 м.



1 - 10; 2 - 15; 3 - 20; 4 - 25; 5 - 30; 6 - 35; 7 - 40; А, В, С - тип местности

## Определение расчетной скорости ветра

Полученные в результате обработки статистического ряда повторяемости градаций ветра по скоростям и направлениям за каждый из трех паводочных месяцев приведены в [табл. 1](#). Повторяемости градаций скоростей ветра всех направлений за период апрель-июнь в целом (как среднеарифметическое) приведены в [табл. 2](#).

Градации скорости ветра, м/с	Средняя за три месяца повторяемость, градации ветра, в %, по направлениям (румбам)								Итого
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0-1	3,8	2,7	3,27	2,87	3,47	2,5	3,23	3,8	25,64
2-5	8,7	6,5	6,73	6,3	7,2	5,3	7,07	9,14	56,94
6-9	1,97	1,33	1,83	1,83	2,2	1,17	2,10	2,93	15,36
10-13	0,17	0,11	0,20	0,20	0,25	0,17	0,13	0,37	1,6
14-17	0,05	0,1	0,07	0,01	0,09	0,05	0,08	0,08	0,44
18-20	-	-	-	-	0,01	-	0,01	-	0,22
Всего	14,69	10,65	12,1	11,21	18,22	9,19	12,62	16,32	100,0

## Определение расчетной скорости ветра

Повторяемости градаций скоростей ветра всех направлений за период апрель-июнь в целом (как среднеарифметическое) приведены в табл.

Градации скорости ветра, м/с	Средняя за три месяца повторяемость, градации ветра, в %, по направлениям (румбам)								Итого
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0-1	3,8	2,7	3,27	2,87	3,47	2,5	3,23	3,8	25,64
2-5	8,7	6,5	6,73	6,3	7,2	5,3	7,07	9,14	56,94
6-9	1,97	1,33	1,83	1,83	2,2	1,17	2,10	2,93	15,36
10-13	0,17	0,11	0,20	0,20	0,25	0,17	0,13	0,37	1,6
14-17	0,05	0,1	0,07	0,01	0,09	0,05	0,08	0,08	0,44
18-20	-	-	-	-	0,01	-	0,01	-	0,22
Всего	14,69	10,65	12,1	11,21	18,22	9,19	12,62	16,32	100,0



## Определение расчетной скорости ветра

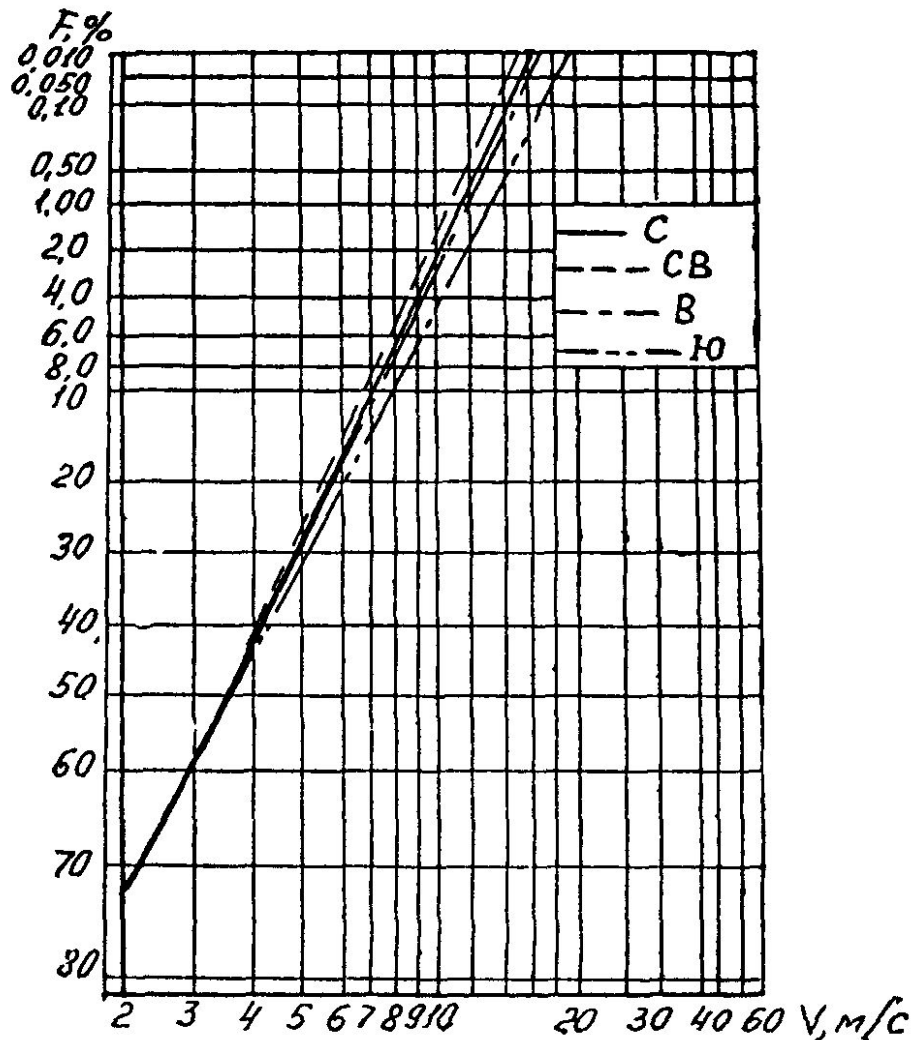
Скорость ветра  $v_{zl}$  нормативной обеспеченности на каждом румбе определяют по режимным функциям (рис.), для построения которых составляют табл. 3. В ней по повторяемости  $P$  каждой градации (в каждом румбе определяется из табл. 2) рассчитана обеспеченность  $F$  градации путем последовательного суммирования повторяемостей от больших скоростей ветра к меньшим.

Градации скорости ветра, м/с	С		СВ		В		ЮВ	
	P, %	F, %	P, %	F, %	P, %	F, %	P, %	F, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-1	25,87	100,0	25,36	100,0	27,03	100,0	25,60	100,0
2-5	59,22	74,13	61,03	74,64	55,62	72,97	56,20	74,40
6-9	13,41	14,91	12,49	13,61	15,12	17,35	16,33	18,20
10-13	1,16	1,50	1,03	1,12	1,65	2,23	1,78	1,87
14-17	0,34	0,34	0,09	0,09	0,58	0,58	0,09	0,09
18 и более	-	-	-	-	-	-	-	-

Градации скорости ветра, м/с	Ю		ЮЗ		З		СЗ	
	P, %	F, %	P, %	F, %	P, %	F, %	P, %	F, %
1	10	11	12	13	14	15	16	17
0-1	26,25	100,0	27,20	100,0	25,60	100,0	23,28	100,0
2-5	54,46	73,75	57,67	72,80	56,02	74,40	56,01	76,72
6-9	16,64	19,29	12,73	15,13	16,64	18,38	17,95	20,71
10-13	1,89	2,65	1,85	2,40	1,03	1,74	2,27	2,76
14-17	0,68	0,76	0,55	0,55	0,63	0,71	0,49	0,49
18 и более	0,08	0,08	-	-	0,08	0,08	-	-

## Определение расчетной скорости ветра

Приведенные в табл. суммы повторяемости всех градаций ветра по одному направлению (например, для С сумма равна 14,69%) принимают за 100% и соответственно увеличивают повторяемости рассматриваемых градаций (для С в  $1/0,1469$  раз). Так, из столбца С табл. повторяемость 0,05 градации 14-17 м/с переносится в соответствующую графу табл. 3 равной  $0,05 \cdot 1/0,1469 = 0,34$ , для градации 10-13 м/с -  $0,17 \cdot 1/0,1469 = 1,16$  и т.д. По значениям F и градациям скорости строятся для каждого румба режимные функции (рис.). При построении режимной функции на графике откладывают для соответствующего F минимальное значение скорости в градации.



# Определение расчетной скорости ветра

Для определения скорости  $v_{zi}$  заданной обеспеченности  $i\%$  определяют для каждого румба значение обеспеченности по формуле

$$F_{1/i} = 4,17 \frac{t}{N n_t P_w},$$

где  $t$  - продолжительность шторма; для речных пойм принимают  $t=6$  ч;  $N$  - число дней наблюдений в году за паводочный период;  $n_t$  - нормативная повторяемость в годах;  $P_w$  - повторяемость ветра рассматриваемого румба в долях единицы от ветра по всем румбам.

В рассматриваемом примере принимаем число суток за полные месяцы апрель-июнь ( $N=91$  день); нормативная повторяемость равна один раз в 25 лет ( $n_t=25$  лет); доля повторяемости ветра по каждому румбу от ветра по всем румбам подсчитана в табл. 2 (см. последнюю строчку).

Результаты расчета  $F_{1/i}$  по каждому румбу приведены в табл. 4. В качестве примера определим значение  $F_{1/25}=F_{25}$  для направления C

$$F_{25} = 4,17 \cdot \frac{6}{91 \cdot 25 \cdot 0,1469} = 0,0749.$$

На каждом румбе расчетные обеспеченности ветра  $F_{25}$ , определенные по ним по режимным функциям (рис.) скорости  $v_{zi}$ , коэффициенты  $k_z$ ,  $k_l$ ,  $k_f$  и скорости ветра  $v_w$  приведены в табл..

Направление ветра (румб)	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
$F_{25}$	0,0749	0,1033	0,0908	0,0981	0,0832	0,1197	0,0872	0,0674
$v_{zi}$ , м/с	14,5	13,0	14,5	14,5	17,0	14,5	16,0	16,0
$k_z$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$k_{fl}$	0,985	1,021	0,985	0,985	0,94	0,985	0,956	0,956
$k_l$	1,226	1,148	1,112	1,058	1,256	1,056	1,17	1,234
$v_w$ , м/с	17,5	14,9	15,9	15,1	20,1	15,1	17,8	18,9

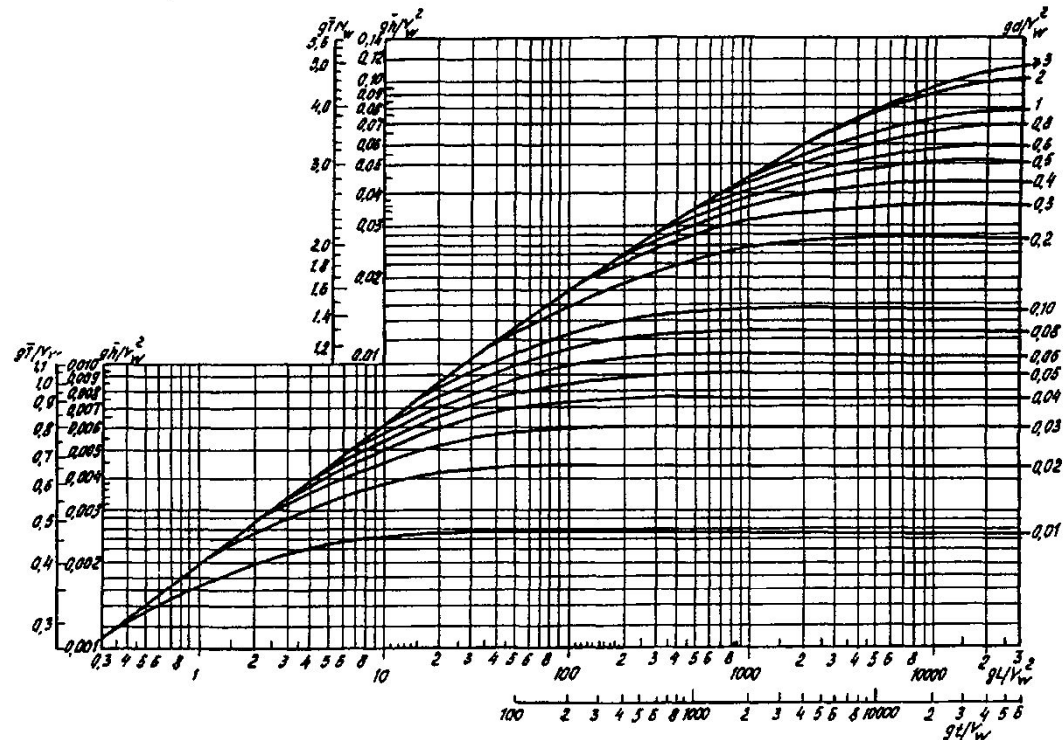
# Расчет элементов ветровой волны

Элементы ветровой волны для глубоководной и мелководной зон водоема на каждом открытом румбе определяют по графику в зависимости от волнообразующих факторов

$v_w$ ,  $d$  и  $L$ . По их безразмерным характеристикам  $\frac{gL}{v_w^2}$  и  $\frac{gd}{v_w^2}$  с графика снимают

безразмерные характеристики средних значений элементов волны  $\frac{g\bar{h}}{v_w^2}$  и  $\frac{g\bar{T}}{v_w^2}$ , а затем рассчитывают средние высоту волны  $\bar{h}$  и ее период  $\bar{T}$ . Среднюю длину волны  $\bar{\lambda}$

определяют по формуле 
$$\bar{\lambda} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi}$$



## Расчет элементов ветровой волны

---

Волна расчетной обеспеченности 1% и 5% в системе волн шторма имеет значение  $h_{1\%}=2,07 \bar{h}$  и  $h_{5\%}=1,76 \bar{h}$ .

Целесообразно при сложном рельефе дна на акватории вместо средней глубины учитывать изменение глубин по румбу, ведя расчет изменения высоты волны последовательно по участкам.

Румб с наибольшей волной в секторе  $\pm 22,5^\circ$  от нормали к оси насыпи в рассматриваемой точке трассы мостового перехода является волноопасным и, как для случая фронтального подхода, на эту волну ведется расчет наката (на  $h_{1\%}$ ) и мощности укрепления (на  $h_{5\%}$ ). При косом подходе главного (с большой волной) луча должна учитываться рефракция волны.

В случае сложного очертания береговой линии следует расчетные параметры волны определять с учетом влияния разгонов смежных через  $\pm 22,5^\circ$  трех лучей. Мощность укрепления можно рассчитывать по волне  $h_{5\%}$ , откорректированной в связи с ее трансформацией, рефракцией и обобщенными потерями по прил. 1 в [80].

# Снижение высоты волны кустарником

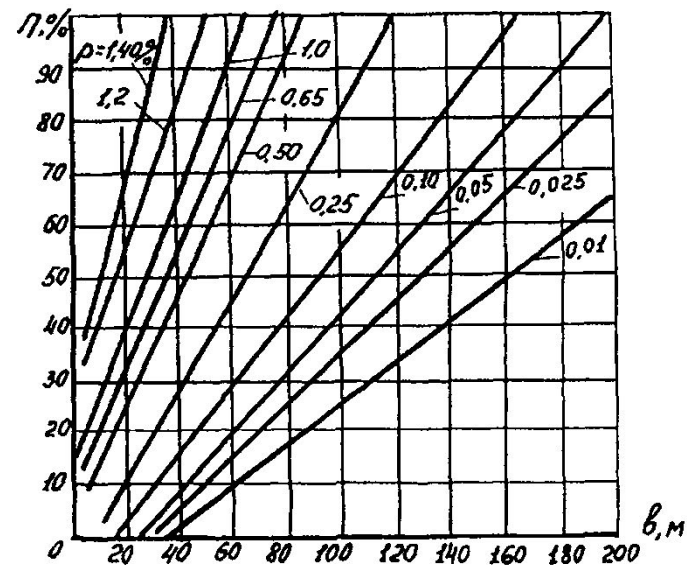
На затопляемой пойме кустарник и лес снижают высоту  $h_{вд}$  подходящих к откосу волн  $h_B$ . Эффект гашения возникает, когда высота растительности будет не менее  $d+0,7h_B$ , и оценивается процентом гашения  $\Pi$  %

$$h_{вд} = h_B(100 - \Pi) : 100.$$

Волногасящий эффект определяется густотой зарослей  $p$ % и зависит от ширины участка заселенности  $b$  по направлению расчетного румба, диаметра (измеряется ниже первых веток) и числа стволов на  $1 \text{ м}^2$ . При наличии в зарослях прогалин густоту зарослей снижают пропорционально площади.

Диаметр стволов, см	Густота зарослей $p$ , %, при количестве стволов на $1 \text{ м}^2$			
	1	5	10	15
1,0	0,008	0,01	0,079	0,119
1,5	0,018	0,088	0,177	0,265
2,0	0,031	0,157	0,314	0,472
3,0	0,071	0,353	0,707	1,15
4,0	0,126	0,6128	1,26	-
5,0	0,196	0,982	-	-

Определение коэффициента гашения высоты волны  $\Pi$  в зависимости от ширины полосы кустарника  $b$  и процента густоты зарослей  $p$



# Определение высоты наката

Высоту наката  $h_{гн1\%}$  (обеспеченность по накату 1%) на откос заложением  $m$  фронтально подходящей волны  $h_B$  определяют по формуле

$$h_{гн1\%} = k_r \cdot k_{sp} \cdot k_{гн} h_{1\%}$$

где  $k_r$  - коэффициент шероховатости и проницаемости откоса, принимаемый по [табл.](#);  $k_{sp}$  - коэффициент, принимаемый по [табл.](#);  $k_{гн}$  - коэффициент, принимаемый по [табл.](#) в зависимости от пологости волны  $\lambda/h_{1\%}$ .

Конструкция укрепления откоса	Относительная шероховатость $r/h_{1\%}$	Коэффициент $k_r$
Бетонные плиты	-	0,9
Каменная наброска	$\leq 0,002$	0,9
	0,005-0,01	0,81
	0,02	0,72
	0,5	0,56
	0,1	0,45
	$\geq 0,2$	0,35

Примечание. Размер  $r$  принимают равным среднему диаметру частиц в материале наброски.

Скорость ветра $v_w$ , м/с	Коэффициент $k_{sp}$ при заложении откоса $m$		
	1-2	3-5	>5
$\geq 20$	1,4	1,5	1,6
10	1,1	1,1	1,2
<5	1,0	0,8	0,6

$\lambda/h_{1\%}$	$k_{гн}$ при заложении откоса $m$				
	2	3	5	20	
7	1,6	1,0	0,65	0,33	0,17
10	1,8	1,2	0,77	0,38	0,20
15	2,4	1,5	0,88	0,46	0,23

При подходе фронта волны к откосу под углом  $\alpha$  град высоту наката уменьшают умножением на коэффициент  $k_\alpha$ :

$\alpha^\circ$ .....	0	10	20	30	40	50	60
$k_\alpha$ .....	1	0,98	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76

---

***Благодарю за внимание!***