

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;

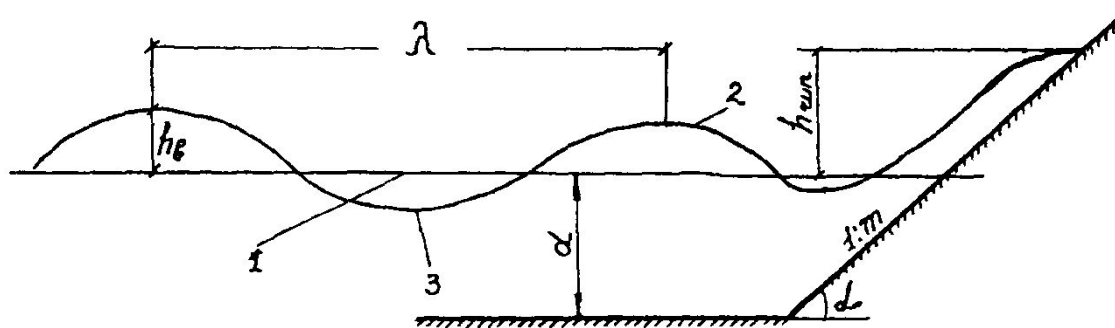
$\lambda/h_B$  - пологость волны; обратная величина называется крутизной волны;

$T$  - 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.

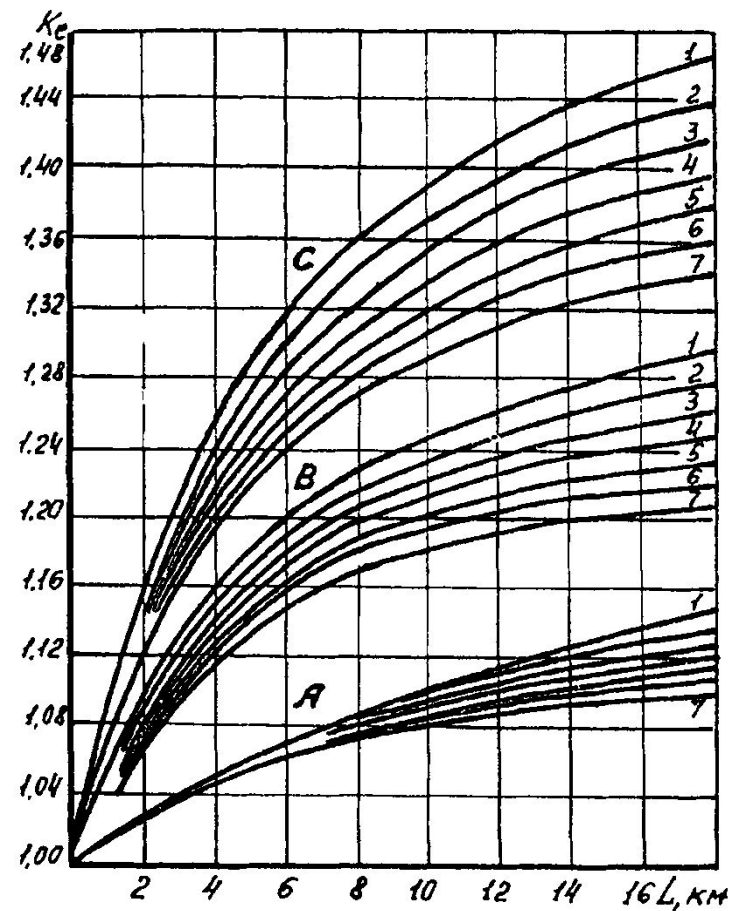
Тип местности принимают:

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.

 (C+1) ▾



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

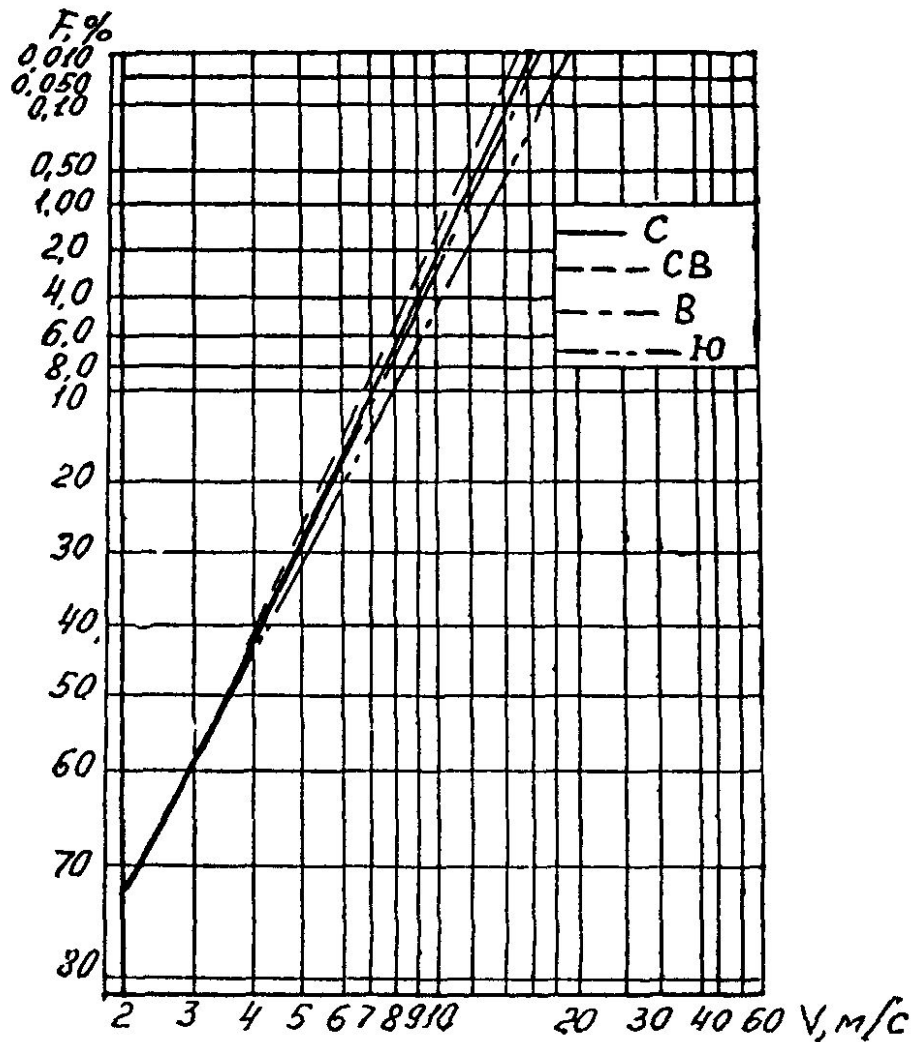
Скорость ветра  $v_{zl}$  нормативной обеспеченности на каждом румбе определяют по режимным функциям (рис.), для построения которых составляют табл. 3. В ней по повторяемости  $P$  каждой градации (в каждом румбе определяется из табл. 2) рассчитана обеспеченность  $F$  градации путем последовательного 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  $F_{1/5}=F_{25}$  для направления С

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

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

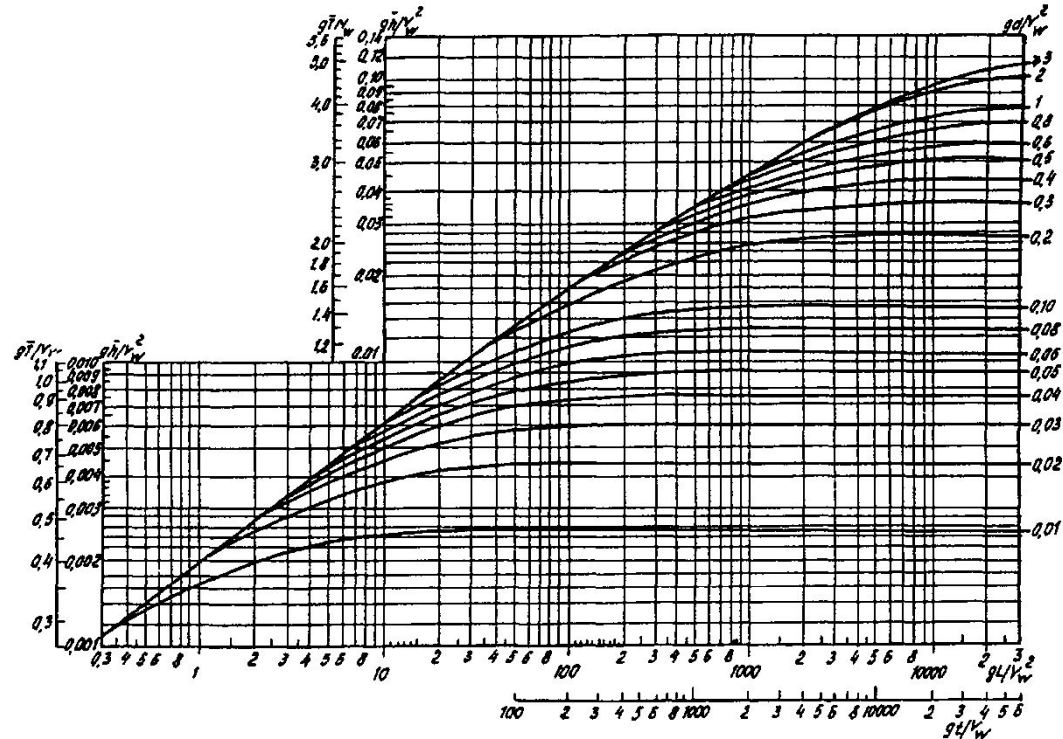
# Расчет элементов ветровой волны

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

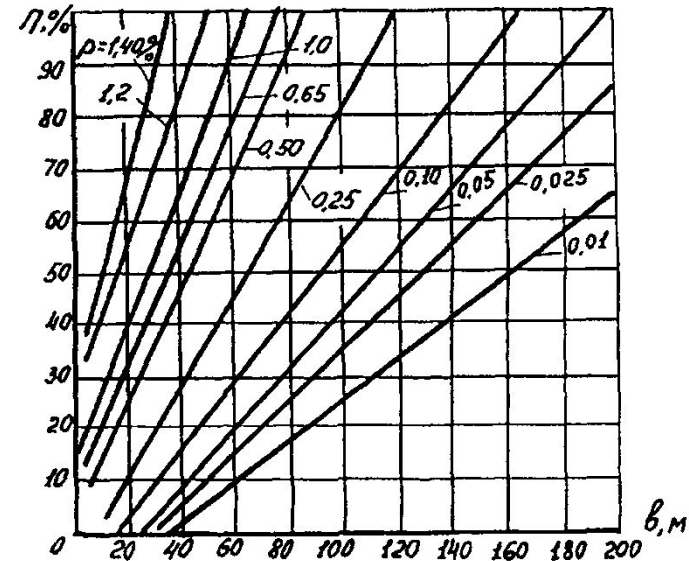
На затопляемой пойме кустарник и лес снижают высоту  $h_{вд}$  подходящих к откосу волн  $h_B$ . Эффект гашения возникает, когда высота растительности будет не менее  $d+0,7h_B$ , и оценивается процентом гашения  $\Pi$  %

$$h_{вд} = h_B(100 - \Pi) : 100.$$

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!***