ВНИИ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА МИНТРАНССТРОЯ

СОЮЗГИПРОВОДХОЗ МИНВОДХОЗА СССР

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора института
Г.Д. Хасхачих

УТВЕРЖДАЮ
Зам.директора Союзгипроводхоза
В.С. Алтунин

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВЫХ ВОЛН, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТКОСЫ КАНАЛОВ

Москва 1985

оборудование справочных юстиций

УДК 532.591:626.1 (083.75)

© Всесоюзный ордена Октябрьской Революции
научно-исследовательский институт
транспортного строительства, 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Методические рекомендации предназначены для использования проектными институтами Минтрансстроя и Минводхоза при проектировании больших водохозяйственных каналов, а также подтопляемых насыпей транспортных сооружений.

В Методических рекомендациях рассмотрены методы расчета ветровых волн, воздействующих на откосы каналов и подтопляемых насыпей на прямолинейных частях и на поворотах.

Методические рекомендации составлены в развитие существующих нормативных документов применительно к специфическим условиям волнообразования в каналах и основаны на известных теоретических разработках и экспериментальных исследованиях ГОИНа, Союзморниипроекта, ВНИИГа и других институтов.

В приложениях приводятся примеры расчета параметров ветровых волн по методам, изложенным в настоящих Методических рекомендациях, а также по методу приближенной оценки максимально возможных параметров ветрового волнения при данных размерах канала, базирующемуся на результатах лабораторных исследований и некоторых (не строгих) теоретических зависимостях. Этот метод благодаря своей простоте может быть полезен на стадии прикидочных расчетов.

Методические рекомендации разработаны инженерами К.М.Орловой, Л.Н.Юдиным, кандидатами техн наук М.Э.Плакидой, Ю.К.Балуновым (ВНИИ транспортного строительства) и инженерами В.И.Демидовым и В.Г.Хачихом (Союзгипроводхоз).

Замечания и предложения **просьба направлять по** адресу: 129329, Москва, **ул.Кольская, 1, ВНИИ транспортного** строительства.

Зав.отделением
транспортных гидротехнических
сооружений ВНИИ
транспортного строительства **А.И.Кузнецов**

Начальник отдела
инженерных конструкций
и индустриализации
строительства **В.Г.Ганчиков**

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Методические рекомендации разработаны для использования при расчетах конструкций, защищающих откосы каналов от действия ветровой волны, а также могут быть применены в расчетах параметров волнения, воздействующего на подтопляемые откосы транспортных гидротехнических сооружений.

1.2. В Методических рекомендациях рассматриваются вопросы определения: параметров ветровых волн, возникающих в каналах (исходные параметры); расчетных параметров волн, воздействующих на откосы каналов (путем расчета рефракции и трансформации исходных волн); параметров ветровых волн, максимально-возможных при данных параметрах канала.

1.3. Схемы расчетов базируются в основном на методах, рекомендуемых в приложении 1 СНиП 2.06.04-82 [1] для расчетов ветровых волн при сложной конфигурации очертаний водного бассейна.

1.4. Терминология и буквенные обозначения, используемые в Методических рекомендациях, приняты из справочного приложения 2 [1], а недостающие названия и буквенные обозначения взяты из Сборника [2] и стандарта СЭВ [3].

1.5. К необходимым исходным данным для расчета относятся схема трассы канала с длинами прямолинейных участков $l_к$, м, азимутом прямолинейного участка в начале или конце канала и углами поворота между прямолинейными участками β, град; глубина канала $d_к$, м; ширина канала B, м; заложение откоса m_φ ($m_\varphi = ctg\,\varphi$, где φ - угол наклона откоса к горизонту); скорость течения воды в канале $v_к$, м/с, а также расчетная скорость ветра V_{wj}, м/с (j - расчетная обеспеченность ветра в режиме) и его направление в румбах или азимутах.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ВЕТРА И ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ УЧАСТКОВ

2.1. Расчет ветра начинают с определения обеспеченности в режиме расчетного шторма по пп. 7 и 8 приложения 1 [1] .

2.2. Расчетную скорость ветра определяют по пп. 9-12 того же приложения и приложению 1 Руководства [4]

В качестве расчетного направления принимают наиболее волноопасное.

2.3. При достаточно большой длине канала и существенных изменениях ветровых характеристик вдоль него трассу канала делят на части, для каждой из которых определяют свою расчетную скорость ветра.

2.4. Если направления ветра (в материалах наблюдений, полученных в Гидрометслужбе) разбиты на 16 румбов, то направление ветра и прямолинейного участка канала считают совпадающими при условии

$$\psi < 11{,}25^{\circ}, \qquad (1)$$

где ψ - угол между направлением оси канала и направлением расчетного ветра.

Если же разбивка возможна только на 8 румбов (наблюдения по флюгеру), то условие (1) выглядит так:

$$\psi < 22{,}5^{\circ}. \qquad (2)$$

2.5. Расчетный участок состоит из прямолинейного участка $L_к$, м и примыкающего к нему с подветренной стороны поворота угла β , град.

При выборе расчетных участков близкие по величинам прямолинейные части каналов и углы поворотов в зоне действия каждого расчетного ветра группируют. Из каждой группы выбирают участок и угол наибольшей величины.

2.6. Величину разгона волн по генеральному направлению L_1 , м определяют из соотношения

$$L_1 = L_K = \cos(\psi - 11{,}25^\circ) \qquad (3)$$

или

$$L_1 = L_K \cos(\psi - 22{,}5^\circ) \qquad (4)$$

согласно пункту 2.4.

В случае выполнения условий (1) или (2)

$$L_1 = L_K. \qquad (5)$$

2.7. Если полученное в п.2.6 значение L_1 превышает величину критического разгона L_{cr}, м, для данного расчетного ветра и глубины канала, то в качестве расчетного принимают предельный разгон

$$L_1 = L_{cr}. \qquad (6)$$

В приложении 1 настоящих Методических рекомендаций приведена таблица значений критических разгонов и средних высот волн для различных скоростей ветра и глубин водоема [5], по которой и корректируют величину L_1.

2.8. По найденным расчетным величинам: скорости ветра V_w, м/с, разгона L_1, м, глубины канала d_K, м, а также учитывая скорость течения воды в канале v_K, м/с, и заложение откосов канала m_φ, определяют сначала исходные (раздел 3), а затем расчетные (разделы 4,5) параметры волнения.

2.9. Если скорость течения в канале не превышает 0,5 м/с, то ее в расчетах можно не учитывать.

2.10. Если $0{,}5 < v_K \leq 1{,}5$ м/с, то:

при $V_w < 15$ м/с высоту расчетной волны определяют [6] по формуле

$$\bar{h}_d = \bar{h}_{dv}\left(1 \pm \frac{v_K}{V_w - c_v}\right)^*, \qquad (7)$$

Плюс - при встречном течении; минус - при попутном.

где $\bar{h}_{d\upsilon}$ – высота волны, определенная при $\upsilon_к = 0$;

c_υ – фазовая скорость волны при $\upsilon_к = 0$;

при $V_w \geqslant 15$ м/с наличие течения можно учитывать, корректируя скорость расчетного ветра, т.е. прибавляя к ней скорость встречного течения в канале и отнимая скорость попутного.

2.11. Если $\upsilon_к > 1{,}5$ м/с, то формулой (7) нужно пользоваться при скоростях ветра $V_w \leqslant 20$ м/с.

При больших скоростях ветра влияние скорости течения в канале можно учитывать корректировкой скорости расчетного ветра, как в п.2.10 при $V_w \geqslant 15$ м/с.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВЫХ ВОЛН, ВОЗНИКАЮЩИХ В КАНАЛАХ (ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ)

3.1. Расчет средней высоты волны в канале начинают с определения ее величины без учета ограничений, налагаемых конфигурацией канала, и выполняют по п.13 или 19 приложения 1 [1] .

Если разгон L_1 определен из приложения 1 настоящих Методических рекомендаций, то высоту волны можно, не рассчитывая, взять из этого же приложения.

3.2. Среднюю высоту ветровой волны в канале при значениях отношения $\frac{0{,}5B}{L_1} \geqslant 0{,}1$ нужно определять [7] по кривой, представленной на рис. 1, а при $\frac{0{,}5B}{L_1} < 0{,}1$ высоту волны определяют по формуле из [7]

$$\bar{h}_к = \bar{h}_d \left(\frac{M_0}{m_0}\right)^{1/2}, \qquad (8)$$

где $\bar{h}_d$ – средняя высота волны в предельно широком бассейне, определенная по п. 3.1;

M_0 и m_0 – моменты частотного спектра нулевого порядка в узком и широком бассейне соответственно.

$$\frac{M_0}{m_0} = \left[2\Phi\left(\frac{\theta}{2}\right) - 1\right] - \left(\frac{0{,}5B}{L_1}\right)^{\frac{2}{3}} \int_{\frac{\theta}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2(\mathrm{ctg}\,\theta)^{\frac{2}{3}} d\theta, \qquad (9)$$

где θ - угол центрального сектора(см.рис.1);

$\Phi\left(\frac{\theta}{2}\right)$ - дифференциальная функция углового распределения энергии. Значения ее даны в приложении 2 к настоящим Методическим рекомендациям.

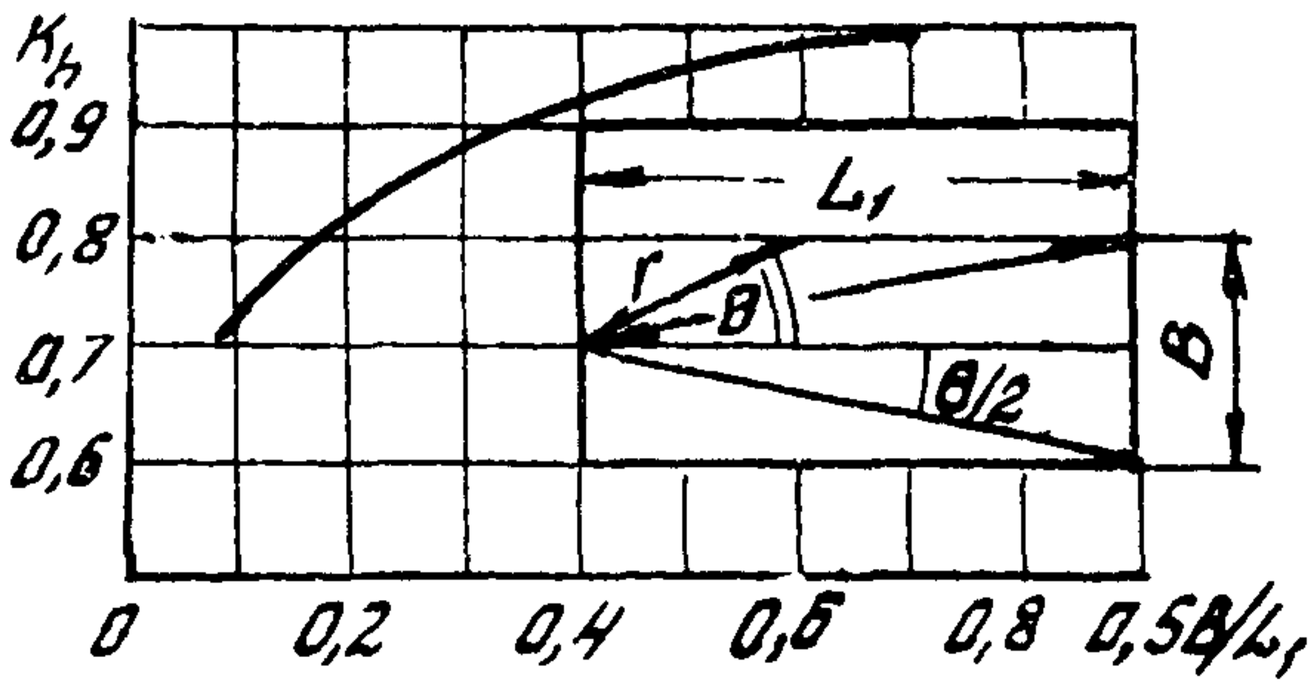


Рис. 1. Коэффициенты K_h снижения высот волн в узком бассейне

3.3. Ввиду сложности вычисления коэффициента уменьшения высоты волны в узких водоемах по приведенной выше формуле и отсутствия программы для вычисления его на ЭВМ, среднюю высоту ветровой волны в канале при $\frac{0,5B}{L_1} < 0,1$ можно определять по упрощенной формуле

$$\bar{h}_к = K_{Bc} K_{Bк} \bar{h}_d , \qquad (10)$$

где

$$K_{Bc} = \left[\Phi\left(-\frac{\theta}{2}\right) - \Phi\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \text{ и } K_{Bк} = \left(\frac{B}{L_1 \operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}\right)^{\frac{1}{6}}.$$

При этом угол θ, являясь центральным углом сектора, не связан с размерами бассейна, как это обозначено на рис. 1. При расчете по формуле (10) величину угла θ назначают произвольно (об определении коэффициентов $K_{\theta c}$ и $K_{\theta к}$ см.в приложении 3).

3.4. При проведении лучей спектральных составляющих с интервалом $\theta = \pm 22{,}5^{\circ}$, как это рекомендуется в [1], формула (10) принимает вид

$$\bar{h}_к = 0{,}5\,\bar{h}_d \sqrt[6]{\frac{5B}{L_1}}\ , \text{ м} . \qquad (11)$$

3.5. Высоту волны $i\%$ -ной обеспеченности в системе определяют по найденному значению средней высоты волны и коэффициенту K_i, принимаемому по величине $\frac{gL_1}{V_{10}^2}$ и по рис.2 приложения 1 [1].

3.6. Средний период волн ($\bar{T}_к$, с) определяют по рис. 1 приложения 1 [1] и величине $g\bar{h}_к / V_w^2$.

Среднюю длину $\bar{\lambda}_к$, м, при известном значении $\bar{T}_к$ находят по формуле (151) приложения 1 [1], имеющей вид

$$\bar{\lambda}_к = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi}\ , \text{ м} . \qquad (12)$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛН, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТКОСЫ КАНАЛОВ НА ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ

4.1. Исходные параметры волн, генерированные ветром в центральной, имеющей плоское дно, части канала, определены в разделе 3 настоящих Методических рекомендаций.

До обрушения на откосе канала волны проходят по классификации [1] следующие зоны: глубоководную с глубинами $d > 0{,}5\,\bar{\lambda}_d$; мелководную с глубинами $0{,}5\,\bar{\lambda}_d \geqslant d > d_{cr}$, где d_{cr} - критическая глубина, на которой

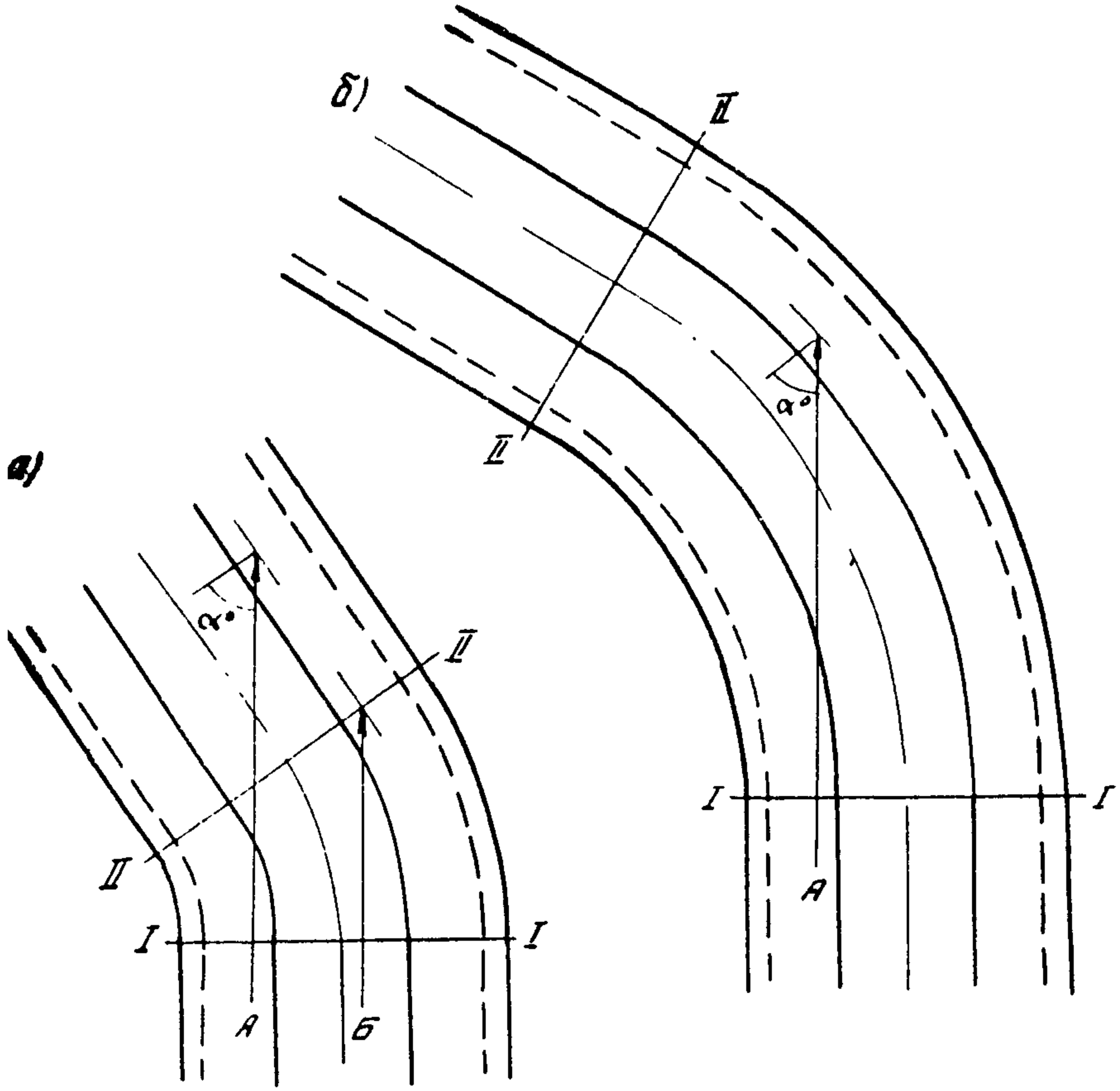


Рис. 2. Различные случаи трансформации волн на откосе вогнутой части канала при повороте: а – часть волнового фронта (от луча А до луча Б) выходит на прямолинейную часть откоса за поворотом; б – весь фронт волн исходных параметров выходит на криволинейную часть откоса (на поворот)

происходит первое обрушение волны; прибойную с глубинами $d_{cr} \geqslant d \geqslant d_{cr,u}$, где $d_{cr,u}$ - критическая глубина, на которой происходит последнее обрушение волн (далее идет зона наката волнового потока, образовавшегося после обрушения).

При заложении откоса $m_\varphi < 20$ происходит только одно обрушение волны, т.е.

$$d_{cr} = d_{cr,u} \qquad (13)$$

и прибойная зона превращается в линию или точнее полосу прибоя.

В каналах заложение откосов всегда меньше 20 и обычно $m_\varphi \leq 5 \div 6$.

4.2. Расчетными являются параметры волн на глубине $d_{cr,u}$. Следовательно, к первому этапу расчетов относится нахождение величины $d_{cr,u}$ для исходной высоты волны, определенной в разделе 3.

4.3. Поскольку для откосов каналов всегда выполняют условие (13), то в каналах эти глубины относятся к мелководной зоне и глубину $d_{cr,u}$ можно определять по п. 21 приложения 1 [1], относящемуся к определению d_{cr} с учетом рефракции.

4.4. Высоту волны, проходящей над откосом в мелководной зоне, определяют по формуле (153) приложения 1 [1], которая применительно к каналам принимает вид

$$h_{ki} = K_\ell K_t K_r K_i \bar{h}_k , \qquad (14)$$

где K_ℓ - обобщенный хоэффициент потерь, который в условиях канала равен 1;

K_t - коэффициент трансформации, определяемый по кривой 1 на рис. 5 приложения 1 [1];

K_r - коэффициент рефракции, определяемый по траектории луча волны, рефрагирующей на откосе. Рассчитывают его по формуле (154) приложения 1 [1]

$$K_r = \sqrt{\frac{a_d}{a}} \quad ; \qquad (15)$$

$K_i, \bar{h}_к$ – высота волны расчетной обеспеченности в "глубоководной" зоне канала, определенная в разделе 3 настоящих Методических рекомендаций.

4.5. Траекторию луча волны рассчитывают по формуле акад. В.В.Шулейкина [8]

$$\sin\alpha_n = \frac{d_n(d_{n-1} + 0{,}05T^2)}{d_{n-1}(d_n + 0{,}05T^2)} \sin\alpha_{n-1}, \qquad (16)$$

где d_{n-1} и d_n – глубины на изобатах, для которых проводят расчет;

α_{n-1} и α_n – углы между направлением луча волны и нормалью к соответствующей изобате.

Луч волны направлен от глубокой воды к берегу, т.е. индекс $n-1$ относится к изобате более далекой от берега, чем изобата с индексом n

4.6. Расчеты траектории луча проводят поэтапно. Этапность введена в расчет для более правильного определения траектории луча, поскольку в натуре она представляет собой плавную кривую.

Глубину канала делят на n ступеней (этапов), начиная от полной глубины канала $d_к = d'_1$ до глубины обрушения волн $d_{cr,u} = d_n$.

На прямолинейных участках каналов, где луч исходной расчетной волны параллелен изобатам на откосе, для глубины канала расстояние между лучами, рефракцию которых рассчитывают, неопределенно. Поэтому за начальную для расчета глубину d_1 принимают не глубину канала $d_к$, а дополнительную начальную глубину $d_1 < d_к$, для которой $\alpha_1 < 90^\circ$.

Практически за d_1 удобно принимать глубину, равную 0,5 $d_к$ или $\frac{3}{4}\lambda_d$ в зависимости от величин $d_к$ и $\bar{\lambda}_d$, а за d_2 – границу глубокой воды (по [1]), т.е. $d_2 = 0{,}5\,\bar{\lambda}_d$. Последняя глубина $d_n = d_{cr.u}$, а предпоследняя $d_{n-1} \approx h_{iк}$ (чуть больше). Если в канале $d_к \leq \frac{3}{4}\bar{\lambda}_d$, то принимают $d_i = 0{,}5\,\bar{\lambda}_d$.

Количество промежуточных этапов между d_2 и d_{n-1} зависит от величины $\bar{\lambda}_d$ и обычно не превышает двух (см.приложение 4 настоящих Методических рекомендаций).

Если требуется знать параметры волн не только на линии их обрушения, но и на каких-либо других глубинах (например, для уменьшения мощности крепления с увеличением глубины или для определения нижней границы крепления), то разбивку на этапы делают с учетом этих глубин.

4.7. По формуле (16) для каждого из $n-1$ этапа последовательно определяют углы α и $\Delta\alpha$, где $\Delta\alpha$ поворот луча волны за каждый этап.

4.8. Коэффициент рефракции для каждого этапа вычисляют по следующей приближенной формуле:

$$K_{rn} = \sqrt{\frac{a_i}{a_n}} = \sqrt{\frac{\cos\alpha_1 \cos\alpha_2 (\cos\alpha_n + \cos\alpha_{n+1})}{(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2)\cos\alpha_n \cos\alpha_{n+1}}}, \quad (17)$$

полученной из геометрических построений к планам рефракции двух параллельных лучей, рефрагирующих на прямолинейном откосе.

П р и м е ч а н и е. Для расчета рефракции волн по работам [9, 10] разработана программа для ЭВМ и передана в ГосФАП СССР под регистрационным №П007703 [11]. При расчете по ней определяют сразу коэффициент уменьшения высоты волны на мелководье: $K_{mn} = K_{rn} K_{tn}$, т.е. отдельно находить K_{tn} не требуется.

4.9. При расчете величины $K_{r(n-1)}$ необходимо знать величину поворота луча волны на глубине $d_{cr,u}$, которая еще не определена, а поэтому берут приближенное

значение $\Delta\alpha_n = \Delta\alpha'_n$.

Величину $\Delta\alpha'_n$ назначают близкой или равной величине $\Delta\alpha_{n-1}$, и обычно не превышая 10–15° (см.приложение 4 настоящих Методических рекомендаций).

По значению $\Delta\alpha'_n$ рассчитывают приближенное значение $K_{r(n-1)}$, т.е. $K'_{r(n-1)}$.

4.10. Величину $d_{cr,u}$ определяют (согласно п. 21 приложения 1 [1]) методом последовательных приближений. Первое приближение $d'_{cr,u}$ находят по $h'_{i(n-1)}$, рассчитанной по формуле (14) с подстановкой в нее коэффициентов $K_{t(n-1)}$ и $K'_{r(n-1)}$ и по рис. 5 приложения 1 [1].

4.11. По найденной $d'_{cr,u}$ определяют второе приближение высоты волны $h''_{i(n-1)}$. Расчет ведут в следующем порядке: 1) по формуле (16) находят $\Delta\alpha''_{(n-1)}$; 2) по формуле (17) – $K''_{r(n-1)}$ и 3) по формуле (14) – $h''_{i(n-1)}$.

При правильном выборе величины d_{n-1} значение $h''_{i(n-1)}$ должно быть равно $h'_{i(n-1)}$ или незначительно отличаться от него (эта разница не сказывается на величине $d'_{cr,u}$). Тогда второе приближение $d''_{cr,u}$ не рассчитывают: $d_{cr,u} = d'_{cr,u}$.

Если же величина $h''_{i(n-1)}$ существенно отличается от $h'_{i(n-1)}$, то определяют $d''_{cr,u}$ и расчет повторяют до тех пор, пока не сравняются предыдущее и последующее приближения высот волн. Тогда $d_{cr,u} = d^{к}_{cr,u}$ и расчет заканчивают.

4.12. Высоту волны на глубине обрушения находят по формуле (14) с подстановкой в нее $K_{tn} = K_{tcr,u}$ и $K_{rn} = K_{rcr,u}$, причем для определения коэффициента $K_{rcr,u}$ формула (17) принимает вид

$$K_{rn} = K_{rcr,u} = \sqrt{\frac{\cos\alpha_1 \cos\alpha_2 \cdot 2\cos\alpha_n}{(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2)\cdot \cos^2\alpha_n}}, \quad (18)$$

так как после обрушения волновой поток двигается по направлению, которое имела волна на линии обрушения.

Длину волны в прибойной зоне рассчитывают по п.20 приложения 1 [1].

4.13. Найденные расчетные параметры волн $h_{icr,u}$, $\bar{\lambda}_{cr,u}$, $\bar{T}_к$ и $m_ф$ используют в формулах для расчета

воздействия волн на откосы и укрепительных конструкций на прямолинейных участках каналов по соответствующим нормативным документам.

4.14. Пример расчета параметров волн, воздействующих на откосы каналов на прямолинейных участках, дан в приложении 4.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛН, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТКОСЫ КАНАЛОВ НА ПОВОРОТАХ

5.1. Выпуклую сторону откосов каналов на повороте крепят так же, как примыкающий к ней прямолинейный участок.

5.2. Рефракцию волн на вогнутой стороне откоса канала при повороте рассчитывают по лучу А (рис. 2), идущему по глубине $d_к$ от прямолинейной расчетной части канала с внутренней, выпуклой стороны поворота до пересечения с изобатой на той же глубине на прямолинейной части канала за поворотом (рис. 2,а) или на вогнутой стороне поворота (рис. 2,б).

5.3. Расчет рефракции волн на криволинейной части откоса канала в принципе не отличается от расчета рефракции волн на прямолинейной части канала (см.раздел 4).

Однако в этом случае необходимо вычерчивание планов рефракции, так как из-за криволинейности изобат луч подходит к последующей $к$ -й изобате не под углом $\alpha_к = \alpha_{к-1} = \Delta\alpha_к$, как в случае прямолинейных изобат, а с добавлением к $\Delta\alpha_к$ поправки на поворот $к$-й изобаты относительно $(к-1)$-й. Поэтому угол подхода волнового луча к последующей изобате снимают с плана рефракции, на который наносят последовательно (поэтапно) траекторию луча.

5.4. Угол α_1 между рассматриваемым лучом и нормалью к донной изобате откоса

$$\alpha_1 = 90^\circ - \beta \qquad (19)$$

и вводить дополнительную исходную глубину d_1' не требуется, т.е.

$$d_1 = d_к . \qquad (20)$$

5.5. Если часть фронта исходной волны или весь фронт этих волн выходит на прямолинейную часть канала за поворотом, то рассчитывают траекторию по разделу 4 настоящих Методических рекомендаций с учетом равенств (18) и (20).

5.6. Для избежания графических построений планов рефракции расчет рефракции волн на криволинейных изобатах допускается проводить по п. 5.5. Угол α_1 при этом снимают с плана поворота канала.

Рефракция волн на прямолинейных изобатах несколько меньше, чем на криволинейных, что ведет к увеличению высоты расчетной волны. Однако увеличение это незначительное и не превышает 10%.

5.7. Параметры волн на траектории луча рассчитывают по разделу 4 настоящих Методических рекомендаций.

5.8. Пример расчета параметров волн, воздействующих на откосы каналов на поворотах, дан в приложении 4.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ (ПРЕДЕЛЬНЫХ) ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВЫХ ВОЛН В КАНАЛАХ ПРИБЛИЖЕННЫМ МЕТОДОМ

6.1. Метод основан на следующих положениях [12]: глубина воды $d_к$ – ограничена; скорость ветра – максимально возможная; разгон – неограничен. Следовательно, параметры волн определяются параметрами самого канала.

6.2. При максимальном ветре и неограниченном разгоне, но ограниченной глубине, длина ветровой волны, согласно наблюдениям, не может превышать двойной глубины воды, т.е.

$$\lambda_{max} = 2 d_к . \qquad (21)$$

6.3. Согласно экспериментальным данным, полученным в гидравлических лабораториях при различных волновых режимах, установлено, что наибольшая крутизна для устойчивой системы волн составляет:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{1}{10} \quad . \qquad (22)$$

6.4. Из выражений (21) и (22) получено соотношение для определения высоты волны

$$h_{max} = 0{,}2\, d_к \, . \qquad (23)$$

6.5. Период волны предлагается определять по формуле

$$T_{max} = \sqrt{\frac{2\pi}{g} \lambda_{max}} \qquad (24)$$

6.6. Максимальной высоте волны, получаемой при статистической обработке натурных наблюдений, рекомендуется придавать обеспеченность в системе 0,1%.

6.7. Высоты волн любой другой обеспеченности в системе рекомендуется определять по рис.2 приложения 1 [1].

6.8. Поскольку в расчете не участвует скорость ветра, обеспеченность в режиме полученной системы остается неопределенной.

6.9. В каждом конкретном случае обеспеченность в режиме полученных приближенным методом параметров волн можно определить подбором скорости ветра, генерирующего в канале систему волн с аналогичными параметрами и с обеспеченностью в системе 0,1%.

Обеспеченность в режиме найденной системы волн равна обеспеченности генерирующего ее ветра.

6.10. Пример расчета параметров ветровых волн предельной высоты приближенным методом дан в приложении 5.

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНИХ ВЫСОТ $\bar{h}_d$, СРЕДНИХ ПЕРИОДОВ ВОЛН Т И КРИТИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ РАЗГОНОВ L_{cr} ДЛЯ МЕЛКОВОДНЫХ АКВАТОРИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОЧЕТАНИЯХ ГЛУБИН И СКОРОСТЕЙ ВЕТРА

Глубина воды d, м	$\bar{h}_d$, м (в числителе) и L_{cr}, км (в знаменателе) при скорости ветра V_w, м/с										Т, с
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
1,0	0,11 / 5,0	0,13 / 2,0	0,14 / 0,8	0,16 / 0,6	0,17 / 0,5	0,18 / 0,4	0,19 / 0,4	0,20 / 0,3	0,21 / 0,3	0,22 / 0,3	1,5
1,5	0,15 / 12	0,18 / 4,5	0,20 / 2,5	0,22 / 1,5	0,24 / 1,0	0,25 / 0,9	0,28 / 0,8	0,28 / 0,7	0,29 / 0,6	0,30 / 0,5	1,8
2,0	0,19 / 50	0,22 / 7,5	0,25 / 4,0	0,28 / 2,5	0,30 / 2,0	0,31 / 1,5	0,33 / 1,0	0,35 / 1,0	0,36 / 1,0	0,38 / 0,9	2,1
2,5	0,23 / 150	0,27 / 14	0,30 / 6,5	0,33 / 4,5	0,36 / 3,0	0,38 / 2,5	0,40 / 1,5	0,41 / 1,5	0,43 / 1,5	0,44 / 1,0	2,3
3,0	–	0,31 / 20	0,34 / 9,0	0,38 / 6,0	0,42 / 4,5	0,44 / 3,5	0,46 / 2,5	0,49 / 2,0	0,50 / 2,0	0,52 / 1,5	2,5
3,5	–	0,35 / 35	0,39 / 12	0,43 / 8,5	0,47 / 6,0	0,49 / 4,5	0,51 / 3,5	0,54 / 3,0	0,57 / 2,5	0,60 / 2,5	2,7
4,0	–	0,40 / 65	0,44 / 20	0,48 / 12	0,51 / 7,0	0,55 / 5,5	0,58 / 4,5	0,61 / 4,0	0,64 / 3,0	0,65 / 2,5	2,9
4,5	–	0,45 / 110	0,48 / 26	0,52 / 14	0,56 / 9,0	0,61 / 7,0	0,64 / 5,5	0,66 / 4,5	0,69 / 4,0	0,73 / 3,5	3,1
5,0	–	0,47 / 200	0,52 / 30	0,57 / 16	0,61 / 12	0,66 / 8,5	0,69 / 7,0	0,73 / 6,0	0,76 / 5,0	0,79 / 4,0	3,3
6,0	–	0,54 / 700	0,60 / 50	0,66 / 26	0,70 / 18	0,75 / 12	0,81 / 9,5	0,84 / 7,5	0,88 / 7,0	0,92 / 6,0	3,6
7,0	–	–	0,70 / 110	0,75 / 40	0,81 / 24	0,85 / 18	0,91 / 12	0,94 / 10	1,00 / 9,0	1,04 / 7,5	3,9
8,0	–	–	0,77 / 190	0,83 / 50	0,89 / 30	0,96 / 24	1,00 / 16	1,05 / 14	1,10 / 12	1,16 / 9,5	4,2
9,0	–	–	0,83 / 320	0,90 / 70	0,98 / 45	1,04 / 28	1,10 / 22	1,15 / 16	1,22 / 14	1,26 / 12	4,4
10,0	–	–	0,97 / 1300	1,00 / 100	1,06 / 55	1,14 / 35	1,20 / 28	1,26 / 22	1,32 / 18	1,35 / 14	4,6
12,0	–	–	–	1,15 / 150	1,22 / 80	1,31 / 55	1,38 / 40	1,46 / 30	1,52 / 24	1,60 / 22	5,1
14,0	–	–	–	1,30 / 500	1,40 / 140	1,47 / 80	1,56 / 52	1,62 / 44	1,72 / 34	1,79 / 26	5,5
16,0	–	–	–	1,45 / 1600	1,58 / 220	1,65 / 110	1,74 / 75	1,81 / 55	1,92 / 45	1,98 / 35	5,9
18,0	–	–	–	–	1,66 / 430	1,80 / 150	1,92 / 100	2,01 / 70	2,08 / 55	2,18 / 45	6,2

Глубина воды d, м	$\bar{h}_d$, м (в числителе) и L_{cr}, км (в знаменателе) при скорости ветра V_w, м/с										$\bar{T}$, с
	4	6	8	I0	I2	I4	I6	I8	20	22	
20,0	–	–	–	–	I,87	I,96	2,I0	2,20	2,28	2,37	6.6
					720	200	I30	95	65	60	
25,0	–	–	–	–	2,I6	2,25	2,48	2,59	2,72	2,85	7,3
					I900	290	230	I60	I20	85	
30,0	–	–	–	–	–	2,74	2,94	2,98	3,I6	3,29	8,0
						2200	380	240	I90	I50	

	При скорости ветра V_w, м/с										
	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	
I,0	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	I,5
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,I	0,I	0,I	0,I	
I,5	0,3I	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37	0,38	0,38	I,8
	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	
2,0	0,39	0,40	0,42	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,48	0,48	2,I
	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	
2,5	0,46	0,48	0,49	0,5I	0,52	0,53	0,54	0,56	0,58	0,58	2,3
	I,0	I,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	
3,0	0,54	0,55	0,57	0,58	0,60	0,62	0,63	0,65	0,66	0,67	2,5
	I,5	I,5	I,0	I,0	I,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	
3,5	0,60	0,63	0,64	0,67	0,67	0,69	0,72	0,72	0,75	0,76	2,7
	2,0	I,5	I,5	I,5	I,5	I,0	I,0	I,0	I,0	0,9	
4,0	0,67	0,70	0,7I	0,74	0,76	0,77	0,80	0,8I	0,83	0,85	2,9
	2,0	2,0	2,0	2,0	I,5	I,5	I,5	I,5	I,0	I,0	
4,5	0,75	0,78	0,78	0,8I	0,83	0,86	0,87	0,89	0,9I	0,93	3,I
	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	I,5	I,5	I,5	I,5	
5,0	0,8I	0,83	0,84	0,88	0,9I	0,92	0,95	0,97	0,99	I,02	3,3
	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	I,5	
0	0,95	0,98	0,99	I,03	I,05	I,07	I,I0	I,I3	I,I5	I,64	3,6
	5,0	4,5	3,5	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	
7,0	I,06	I,08	I,I4	I,I7	I,I8	I,2I	I,26	I,27	I,3I	I,32	3,9
	6,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	
2,0	I,I7	I,22	I,25	I,30	I,33	I,36	I,39	I,4I	I,44	I,48	4,2
	8,0	7,5	6,5	6,0	5,0	4,5	4,5	4,0	4,0	3,5	

20

Глубина воды d, м	$\bar{h}_d$, м (в числителе) и L_{cr}, км (в знаменателе) при скорости ветра V_w, м/с										T, с
	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	
9,0	1,30	1,35	1,37	1,44	1,46	1,50	1,53	1,56	1,60	1,62	4,4
	10	9,0	7,5	7,0	6,5	5,5	5,0	5,0	5,0	4,5	
10,0	1,44	1,45	1,49	1,53	1,59	1,62	1,68	1,70	1,76	1,76	6
	12	12	9,5	8,0	7,5	7,5	6,5	6,0	5,5	5,0	
12,0	1,64	1,69	1,72	1,80	1,84	1,91	1,94	1,98	2,00	2,03	5,1
	18	14	14	12	12	10	9,0	8,5	7,5	6,5	
14,0	1,87	1,93	1,96	2,02	2,05	2,14	2,20	2,24	2,24	2,29	5,5
	24	20	18	16	14	14	12	10	9,5	9,0	
16,0	2,04	2,13	2,19	2,25	2,30	2,37	2,46	2,46	2,56	2,59	5,9
	28	26	24	20	18	16	16	12	12	12	
18,0	2,25	2,33	2,43	2,47	2,56	2,60	2,66	2,74	2,77	2,82	6,2
	35	30	30	26	22	20	18	18	16	14	
20,0	2,42	2,53	2,63	2,70	2,76	2,89	2,92	2,96	3,04	3,09	6,6
	45	40	35	30	28	26	22	20	20	16	
25,0	2,94	3,04	3,14	3,24	3,33	3,35	3,50	3,61	3,63	3,70	7,3
	80	60	55	45	45	35	35	30	28	26	
30,0	3,40	3,45	3,61	3,69	3,84	3,93	4,02	4,11	4,16	4,23	8,0
	100	95	75	65	60	50	50	45	40	35	

Приложение 2
Обязательное

ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИИ $\Phi(\theta)=\frac{1}{2}-\frac{\theta^\circ}{180^\circ}-\frac{\sin 2\theta}{2\pi}$

θ°	$\Phi(\theta)$	θ°	$\Phi(\theta)$	θ°	$\Phi(\theta)$
90	0,000	22	0,270	-24	0,751
85	0,001	20	0,287	-26	0,770
80	0,002	18	0,306	-28	0,787
75	0,004	16	0,326	-30	0,804
70	0,009	14	0,348	-32	0,821
65	0,017	12	0,368	-34	0,835
60	0,029	10	0,391	-36	0,851
58	0,036	8	0,412	-38	0,866
56	0,042	6	0,434	-40	0,879
54	0,048	4	0,456	-42	0,889
52	0,056	2	0,478	-44	0,903
50	0,065	1	0,489	-46	0,915
48	0,075	0	0,500	-48	0,925
46	0,085	-1	0,511	-50	0,935
44	0,087	-2	0,522	-52	0,944
42	0,111	-4	0,544	-54	0,952
40	0,121	-6	0,566	-56	0,958
38	0,134	-8	0,588	-58	0,964
36	0,149	-10	0,609	-60	0,971
34	0,165	-12	0,632	-65	0,983
32	0,179	-14	0,652	-70	0,991
30	0,196	-16	0,674	-75	0,996
28	0,213	-18	0,694	-80	0,998
26	0,230	-20	0,713	-85	0,999
24	0,249	-22	0,730	-90	1,000

Приложение 3
Справочное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ $K_{вс}$ и $K_{вк}$

Как указано в п. 3.1, канал, благодаря своей конфигурации, выделяет из общей энергии ветра, действующего на неограниченную акваторию, только часть центрального сектора, т.е. сектора, отнесенного к генеральной составляющей (см.п.14 приложения 1 [1]), направленной вдоль прямолинейной части канала, для которой производится расчет.

При интервале между спектральными составляющими, равном $\pm\theta$, границами центрального сектора будут $-\frac{\theta}{2}$ и $\frac{\theta}{2}$.

Согласно [13] имеем:

$$\bar{h} = \sqrt{2\pi E}\ , \qquad (1)$$

где E – полная энергия образования данной системы волн.

Применив интегральную функцию углового распределения энергии $\Phi(\theta)$ [13], найдем отношение средних высот систем волн, образованных полной энергией и частью ее, заключенной в центральном секторе.

Для полной энергии

$$\bar{h}_d = \sqrt{2\pi[\Phi(-90^\circ)-\Phi(90^\circ)]E} = \sqrt{2\pi E}\ ,$$

так как

$$\Phi(-90^\circ) - \Phi(90^\circ) = 1\ ,$$

а для центрального сектора

$$\bar{h}_{\theta,1} = \sqrt{2\pi\left[\Phi(-\frac{\theta}{2}) - \Phi(\frac{\theta}{2})\right]E}\ , \qquad (2)$$

откуда отношение высот волн

$$\frac{\bar{h}_{\theta,1}}{\bar{h}_d} = \sqrt{\Phi(-\frac{\theta}{2}) - \Phi(\frac{\theta}{2})}$$

или

$$\bar{h}_{\theta,1} = \bar{h}_d \sqrt{\Phi(-\frac{\theta}{2}) - \Phi(\frac{\theta}{2})} = \bar{h}_d K_{вс}. \quad (3)$$

При проведении спектральных составляющих через $22,5^{\circ}$ на долю центрального сектора приходится четверть общей энергии (см.приложение 2 настоящих Методических рекомендаций). Тогда

$$\bar{h}_{22,5^{\circ},1} = \bar{h}_d \sqrt{\Phi(-11,25^{\circ}) - \Phi(11,25^{\circ})} = \bar{h}_d 0,5 \quad (4)$$

Площадь водной поверхности центрального сектора, как правило, существенно больше площади водной поверхности прямолинейной части канала при равных разгонах.

Допустим, что энергия действующего ветра равномерно распределяется как по площади центрального сектора, так и по площади канала, являющегося частью этого сектора. Значит, с этим допущением можно рассматривать площадь канала как площадь центрального сектора, имеющего тот же центральный угол θ, но другой, меньший разгон. Назовем его эквивалентным разгоном $L_{эк}$.

При одной и той же скорости ветра и различных разгонах высоты волн, вызываемые этим ветром, имеют согласно [11,13] зависимость между собой

$$\bar{h}_2 = \bar{h}_1 \sqrt[3]{\frac{L_2}{L_1}}. \quad (5)$$

В принятых обозначениях это будет:

$$\bar{h}_к = \bar{h}_{в,1} \sqrt[3]{\frac{L_{эк}}{L_1}} \quad (6)$$

Длину эквивалентного разгона находят из параметров канала. При разгоне $L_{эк}$ площадь центрального сектора

$$S_{цс} = L^2_{эк} \operatorname{tg}\frac{\theta}{2} .$$

Поскольку $S_{цс} = S_к$ (здесь $S_к$ – площадь канала), то, казалось бы, что можно написать $S_{цс} = BL_к$. Но в данном случае мы имеем дело не с длиной канала, а с разгоном L_1, который может быть равен $L_к$ или меньше него, следовательно, площадь центрального сектора $S_{цс} = BL_1$. Тогда

$$L^2_{эк} \operatorname{tg}\frac{\theta}{2} = BL_1 \quad \text{и} \quad L_{эк} = \sqrt{\frac{BL_1}{\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}} \qquad (7)$$

Таким образом:

$$\bar{h}_к = \bar{h}_{в,1} \sqrt[3]{\frac{1}{L_1}\sqrt{\frac{BL_1}{\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}}} = \bar{h}_{в,1} \sqrt[8]{\frac{B}{L_1 \operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}} = \bar{h}_{в,1} K_{вк} \qquad (8)$$

Подставляя в (8) значение $\bar{h}_{в,1}$ из (3) имеем

$$\bar{h}_к = \bar{h}_d \left[\Phi\left(-\frac{\theta}{2}\right) - \Phi\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{B}{L_1 \operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}\right)^{\frac{1}{6}} = K_{вс} K_{вк} \bar{h}_d . \qquad (9)$$

Для $\theta = 22{,}5^\circ$ формула принимает вид

$$\bar{h}_к = 0{,}5\, \bar{h}_d \sqrt[6]{\frac{5B}{L_1}} . \qquad (10)$$

Приложение 4
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА ИСХОДНЫХ (ГЛУБОКОВОДНЫХ) И РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВЫХ ВОЛН В КАНАЛЕ

1. Определение исходных данных для расчета

Необходимые исходные данные: скорость ветра V_w, м/с, и его направление – румб или азимут; длина разгона волн вдоль расчетной прямолинейной части канала L_1, м; глубина канала $d_к$, м; ширина канала L_1, м; скорость течения воды в канале $V_к$, м/с.

1.1. Определение скорости и направления ветра

Для определения расчетного ветра на карте с нанесенной схемой трассы канала отмечают метеостанции, наиболее близкие к трассе. Из них выбирают расчетные.

Для расчетов к данному каналу выбраны две метеостанции: № 1, расположенная в 50 км от начала канала к ЗЮЗ от него, и № 2, находящаяся в 80 км к ЮВ от конца канала.

Режимная обеспеченность ветра согласно п.7 приложения 1 [1] 4%, т.е. 1 раз в 25 лет.

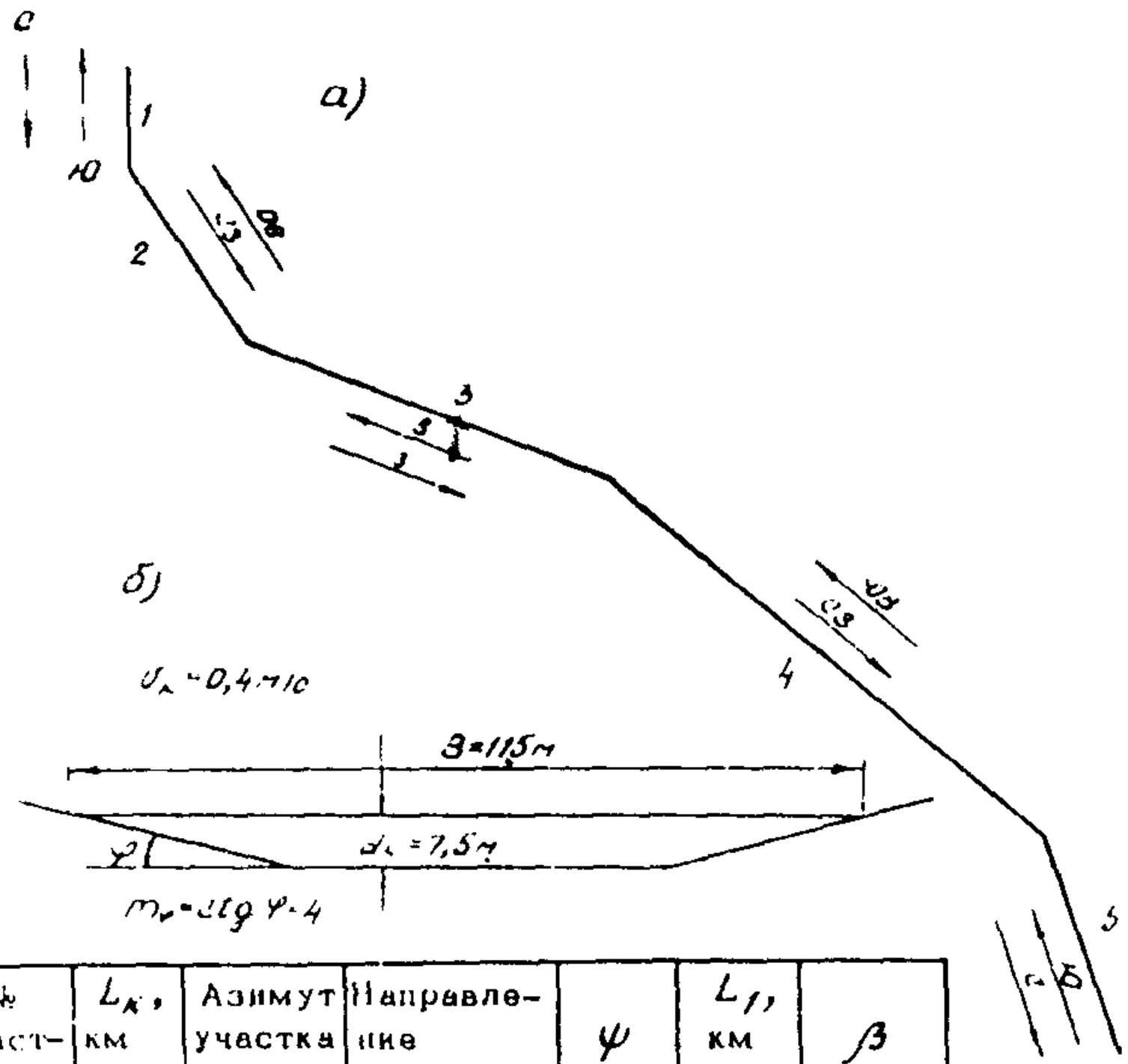
Расчетные скорости ветра данной обеспеченности определены для всех 8 румбов по непрерывным рядам наблюдений за 29 лет (по обеим станциям) из предположения, что канал не замерзает, т.е. используется полный годовой ряд.

Расчет выполнен по п.9 приложения 1 [1] и по Руководству [4]. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

На основании табл. 1 и табличных данных на рис. 1 составлена табл. 2 скоростей ветра расчетной обеспеченности для отдельных участков.

Таблица 1

№ метеостанции	Обеспеченность в режиме, %	Расчетные скорости ветра V_w, м/с, по румбам							
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1	4 (1 раз в 25 лет)	17,5	20,0	24,5	15,5	10,0	21,0	16,5	21,0
2	То же	15,5	16,0	21,0	19,0	13,5	20,5	20,5	18,5



№ участка	$L_к$, км	Азимут участка	Направление ветра	ψ	L_1, км	β
1	2,8	0°	С – Ю	0°	2,8	34°
2	6,2	146°	ЮВ – СЗ	11°	6,2	36°
3	11,0	111°	В – З	21°	11,0	18°
4	18,3	129°	ЮВ – СЗ	6°	18,3	31°
5	6,0	152°	С – Ю	18°	6,0	

Рис. 1. Схема трассы (а) и поперечное сечение (б) канала

Начиная с поворота 3–4 (между участками 3 и 4) данные приведены по двум станциям, поскольку с участка 4 надлежит учитывать влияние факторов, фиксируемых и станцией № 2.

Выбранные для расчета скорости ветра, а также безразмерные величины $\frac{9 d_к}{V_{2м}^2}$ для каждого участка даны в табл. 3 (графы 3–5), содержащей исходные данные для

Таблица 2

№ участка и поворота	Направление и скорость ветра, м/с, по данным метеостанции			
	№ 1		№ 2	
1	С - 17,5	Ю - 10	-	-
1-2	С - 17,5	ЮВ - 15,5	-	-
2	СЗ - 21	ЮВ - 15,5	-	-
2-3	СЗ - 21	В - 24,5	-	-
3	З - 16,5	В - 24,5	-	-
3-4	З - 16,5	ЮВ - 15,5	З - 20,5	ЮВ - 19
4	СЗ - 21	ЮВ - 15,5	СЗ - 18,5	ЮВ - 19
4-5	СЗ - 21	Ю - 10	СЗ - 18,5	Ю - 13,5
5	С - 17 5	Ю - 10	С - 15,5	Ю - 13,5

Таблица 3

№ п/п	№ участка и поворота	Ветер: румб	Ветер: V_w, м/с	$\frac{g\,d_к}{V_w^2}$	$L_к$, м	L_{cr}, м	L_1, м	$\frac{g\,L_1}{V_w^2}$	$\frac{g\,\bar{h}_d}{V_w^2}$	$\bar{h}_d$, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1 и 1–2	С	17,5	0,24	2,800	12,500	2,800	39,7	0,016	0,50
2	2–1	ЮВ	15,5	0,31	6,200	15,750	6,200	253,2	0,023	0,56
3	2 и 2–3	СЗ	21,0	0,17	6,200	9,500	6,200	137,9	0,0175	0,79
4	3-2 и 3	В	24,5	0,12	11,000	7,060	7,060	115,3	–	1,13
5	3–4	З	21,0	0,17	11,000	9,500	9,500	211,0	–	1,08
6	4–3	ЮВ	19,0	0,20	18,300	11,250	11,200	305,0	–	1,03
7	4 и 4–5	СЗ	21,0	0,17	18,300	9,500	9,500	211,0	–	1,08
8	5–4	Ю	13,5	0,40	6,000	22,500	6,000	323,0	0,027	0,50
9	5	С	17,5	0,24	6,000	12,500	6,000	192,2	0,020	0,62

определения параметров ветровых волн, возникающих в канале.

Для каждого поворота определены две расчетные скорости ветра, действующие на вогнутую часть откоса на повороте со сторон двух примыкающих к повороту прямолинейных участков.

1.2. Определение длин разгона и глубин

На рис. 1 представлены схема трассы канала (а) и его сечение (б). Поскольку сечение от участка к участку не меняется, глубина канала постоянна и равна $d_к = 7{,}5$м.

В таблице, помещенной на рис. 1, приведены величины $L_к$ (длины прямолинейных частей канала), ψ (углы между румбом и направлением $L_к$), β (углы поворота). Скорость течения в канале $v_к$ = 0,4 м/с. Ввиду ее малости в расчетах не учитывают.

Углы ψ таковы, что не вносят поправки при вычислении разгонов. Следовательно величины разгонов корректируются в данном случае только глубиной канала и скоростью ветра согласно п. 2.7 и приложению 1 настоящих Методических рекомендаций.

Эта корректировка дана в графах 6–8 табл. 3.

Величина $\bar{h}_d$, определяемая без ограничений, налагаемых специфическими условиями в канале, найдена по п.13 приложения 1 [1]. Необходимые величины $\frac{gL_i}{V_w^2}$ и найденные по рис. 1 того же приложения величины $\frac{g\bar{h}_d}{V_w^2}$ приведены в графах 9–10 табл. 3, а в графе 11 помещены значения $\bar{h}_d$.

Таким образом, в табл. 3 даны все величины, необходимые для расчета параметров волн, возникающих в канале.

В строках 4–7 (от поворота 3 2 и участ а № 3 до участка № 4 и поворота 4–5) $\bar{h}_d$ определена по приложению 1 настоящих Методических рекомендаций, а величины $\frac{gL_i}{V_w^2}$ приведены для нахождения коэффициента K_i при определении расчетных параметров волн.

2. Расчет исходных ("глубоководных") параметров ветровых волн

Среднюю высоту ветровой волны, возникающей в канале, рассчитывают по разделу 3 настоящих Методических рекомендаций по формуле (8), имеющей вид

$$\bar{h}_к = K_{вс} K_{вк} \bar{h}_d ,$$

где для $\theta = 22,5^\circ$

$$K_{вс} = 0,5 \quad \text{и} \quad K_{вк} = \sqrt[6]{\frac{5B}{L_1}} .$$

В табл. 4 даны последовательные этапы определения исходных параметров ветровых волн в канале.

В расчет введены принятые выше величины $B = 115$ м и $\theta = 22,5^\circ$. Значения коэффициента $K_{5\%}$ колеблются между 1,76 и 1,77. В расчет принят $K_{5\%} = 1,77$.

3. Определение параметров волн, воздействующих на откосы каналов на прямолинейных участках

Конечный результат расчетов составляют параметры волн по линии прибоя. В данном случае $h_{5\%cr,u}, \bar{\lambda}_{cr,u}, \bar{T}_к$.

Период принят постоянным. Он определен вместе с остальными исходными параметрами в предыдущем подразделе.

Расчет начинают с определения исходных величин для расчета рефракции волновых лучей до ($n-1$)-го этапа включительно. Они представлены в табл. 5.

В графах 2-6 табл.5 даны исходные параметры волн и рассчитанные по ним величины, а в графах 7-16 - расчетные глубины и величины, рассчитанные по ним. $d_1' = 7,5$ м, т.е. глубине канала; d_1, d_2 и d_{n-1} назначены в соответствии с указанием раздела 4; $d_1 = 0,5 d_к = 3,75$ м; $d_н = 0,5 \bar{\lambda}_к$. Между глубинами d_2 и d_{n-1} взята только одна промежуточная величина d_3.

Таблица 4

№ п/п	$\bar{h}_d$, м	$K_{вс}\cdot\bar{h}_d = 0{,}5h_d$	L_1, м	$\frac{5B}{L_1}$	$K_{вк} = \sqrt[6]{\frac{5B}{L_1}}$	$\bar{h}_к$, м	$\frac{g\bar{h}_к}{V_{ср}^2}$	$\frac{g\bar{T}_к}{V_{ср}}$	$T_к$, с	$\bar{\lambda}_к$, м	$h_{к5\%}$ м
1	0,50	0,25	2,800	0,206	0,769	0,19	0,0061	0,81	1,45	3,3	0,34
2	0,56	0,28	6,200	0,093	0,674	0,19	0,0077	0,93	1,47	3,4	0,34
3	0,79	0,40	6,200	0,093	0,674	0,27	0,0060	0,80	1,72	4,6	0,48
4	1,13	0,57	7,060	0,082	0,660	0,38	0,0062	0,81	2,02	6,4	0,67
5	1,08	0,54	9,500	0,061	0,628	0,34	0,0075	0,91	1,95	5,9	0,60
6	1,03	0,52	11,250	0,051	0,610	0,32	0,0087	1,01	1,96	6,0	0,57
7	1,08	0,54	9,500	0,061	0,628	0,34	0,0075	0,91	1,95	5,9	0,60
8	0,50	0,25	6,000	0,096	0,677	0,17	0,0091	1,04	1,43	3,2	0,30
9	0,62	0,31	6,000	0,096	0,677	0,21	0,0067	0,85	1,52	3,6	0,37

Таблица 5

№ участка	$h_{к5\%}$, м	$\bar{T}_к$, с	$\bar{T}_к^2$, с	$0{,}05\,\bar{T}_к^2$	$\bar{\lambda}_к$, м	$d_1' = d_м = d_1' + [5]$	$d_1' + 0{,}05T_к^2 = d_1' + [5]$	$d_1 = 0{,}5d_к$, м	$d_1 + [5]$	$d_2 = 0{,}5\bar{\lambda}_к$, м	$d_2 + [5]$	a_3, м (произвольно)	$d_3 + [5]$	$d_м \approx h_{к5\%}$ м	$d_4 + [5]$	$\frac{d_м}{\bar{\lambda}_к}$	$K_{ц}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
I	0,34	I,45	2,I0	0,I05	3,3	7,5	7,605	3,75	3,855	I,65	I,755	I,00	I,I05	0,5	0,605	0,I52	0,9I4
2	0,48	I,72	2,96	0,I48	4,6	7,5	7,648	3,75	3,898	2,3	2,448	I,50	I,648	0,5	0,648	0,I09	0,925
3	0,67	2,02	4,08	0,204	6,4	7,5	7,704	3,75	3,954	3,2	3,404	2,00	2,204	0,8	I,004	0,I25	0,92
4	0,60	I,95	3,80	0,I90	5,9	7,5	7,690	3,75	3,940	2,95	3,I40	I,50	I,690	0,8	0,990	0,I36	0,9I2
5	0,37	I,52	2,3I	0,II6	3,6	7,5	7,6I6	3,75	3,866	I,8	I,9I6	I,00	I,II6	0,5	0,6I6	0,I39	0,9I3

Таким образом, $(n-1) = 4$ и глубина $d_{cr,u} = d_5$. В графах 17 и 18 помещены значения величины $d_ч/\bar{\lambda}_к$ и коэффициента $K_{tч}$, определенного по величине $d_ч/\bar{\lambda}_к$ и рис. 5 приложения 1 [1].

Расчет углов рефракции и их косинусов для определения коэффициентов рефракции на прямолинейных участках канала приведен в табл. 6.

Используя данные, рассчитанные по табл. 6, а также по табл. 5, определяют $d_{cr,u}$ и параметры волн на этой глубине. В табл. 7 дан расчет первого приближения $d_{cr,u}$ и второго приближения $\Delta\alpha_5$ (в качестве первого приближения $\Delta\alpha_5$ взято значение $\Delta\alpha_5' = 10^0$, одинаковое для всех участков), а в табл. 8 – расчеты второго приближения $d_{cr,u}$ и параметров волн на этой глубине. Расчет коэффициентов рефракции $K'_{rч}$ и $K''_{rч}$ выполняют по формуле (17), а K_{rs} – по формуле (18) настоящих Методических рекомендаций.

При сравнении величин высот волн $h_{5\%ч}$ и $h''_{5\%ч}$ (графы 6 в табл. 7 и 8) видно, что они практически равны, разница в 1 см не изменит величину $d_{cr,u}$.

Высоты волн определяли по формуле (14) раздела 4. Длину волны принимают по рис.4 приложения 1 [1]. Поскольку длину волны определяют в полосе последнего обрушения, значение отношения $\bar{\lambda}_{cru}/\bar{\lambda}_к$ берут по огибающей и вычислять $h_{1\%cru}/g\bar{T}^2_к$ нет необходимости.

В табл. 9 выписаны из предыдущих таблиц значения параметров волн на прямолинейных участках, как исходных, определенных для полной глубины канала над его частью с горизонтальным дном, так и расчетных в прибое (или по линии обрушения волн).

Из сравнения высот и длин волн видно, что расчетные параметры волн существенно уменьшились относительно исходных. Однако при этом необходимо заметить, что при высоте волн 0,25–0,30 м земляные откосы уже желательно укреплять от размыва.

Таблица 6

n	d_{n-1}, м	d_n, м	$\frac{d_n}{d_{n-1}}$	$d_{n-1}+0{,}05T_n$	$d_n+0{,}05T_n$	$\sin\alpha_{n-1}$	$\sin\alpha_n$	α_n°	$\Delta\alpha_n^\circ$	$\cos\alpha_n$	$m_{\varphi n}=\frac{m_\varphi}{\cos\alpha_n}$	$1:m_{\varphi n}$
I	2	3	4	5		6	7	8	9	I0	II	I2
						Участок № I;			$\alpha_0=90^\circ$			
I	7,5	3.75	0,500	I,97		I,000	0,985	80°	$I0^\circ$	0,I74	23,0	0,043
2	3,75	I,65	0,440	2,20		0,985	0,955	$72^\circ40'$	$7^\circ20'$	0,298	I3,4	0,075
3	I,65	I,00	0,606	I,59		0,955	0,920	67°	$5^\circ40'$	0,39I	I0,2	0,099
4	I,00	0,50	0,500	I,83		0,920	0,842	$57^\circ20'$	$9^\circ40'$	0,540	7,4	0,I35
						Участок № 2,			$\alpha_0=90^\circ$			
I	7,5	3,75	0,500	I,96		I,000	0,980	$78^\circ30'$	$II^\circ30'$	0,I99	20,I	0,050
2	3,75	2,30	0,6I4	I,59		0,980	0,958	$73^\circ20'$	$5^\circ I0'$	0,287	I3,9	0,072
3	2,30	I,50	0,653	I,48		0,958	0,9I7	$66^\circ30'$	$6^\circ50'$	0,399	I0,0	0,I00
4	I,50	0,50	0,333	2,54		0,9I7	0,775	$50^\circ50'$	$I5^\circ40'$	0,632	6,3	0,I59
						Участок № 3			$\alpha_0=90^\circ$			
I	7,5	3,75	0,500	I,95		I,000	0,975	$77^\circ I0'$	$I2^\circ50'$	0,222	I8,0	0,056
2	3,75	3,20	0,853	I,I6		0,975	0,965	$74^\circ50'$	$2^\circ20'$	0,262	I5,3	0,065
3	3,20	2,0	0,625	I,54		0,965	0,930	$68^\circ30'$	$6^\circ20'$	0,366	I0,9	0,092
4	2,00	0,80	0,400	2,I9		0,930	0,8I6	$54^\circ40'$	$I3^\circ50'$	0,578	6,9	0,I45
						Участок № 4			$\alpha_0=90^\circ$			
I	7,5	3,75	0,500	I,95		I,000	0,975	$77^\circ I0'$	$I2^\circ50'$	0,222	I8,0	0,056
2	3,75	2,95	0,786	I,25		0,975	0,962	$74^\circ I0'$	$3^\circ00'$	0,273	I4,6	0,068
3	2,95	I,50	0,509	I,85		0,962	0,906	$65^\circ00'$	$9^\circ I0'$	0,423	9,5	0,I05
4	I,50	0,80	0,534	I,7I		0,906	0,826	$55^\circ40'$	$9^\circ20'$	0,564	7,I	0,I4I

Продолжение табл. 6

n	d_{n-1}, м	d_n, м	$\frac{d_n}{d_{n-1}}$	$d_{n-1}+0{,}05\bar{T}_x$ / $d_n+0{,}05\bar{T}_x$	$\sin\alpha_{n-1}$	$\sin\alpha_n$	α_n°	$\Delta\alpha_n^\circ$	$\cos\alpha_n$	$m_{\varphi n}=\frac{m_\varphi}{\cos\alpha_n}$	$1:m_{\varphi n}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
					Участок 5;		$\alpha_0=90^\circ$				
I	7,5	3,75	0,500	I,97	I,000	0,985	80°00′	I0°00′	0,I74	23,0	0,043
2	3,75	I,80	0,480	2,0I	0,985	0,950	7I°50′	8°I0′	0,3I2	I2,8	0,078
3	I,80	I,00	0,556	I,72	0,950	0,908	65°I0′	6°40′	0,420	9,5	0,I05
4	I,00	0,50	0,500	I,8I	0,908	0,823	55°20′	9°50′	0,569	7,0	0,I43

Таблица 7

№ участка	$\Delta\alpha_5$ (принятая)	α_5'	$\cos\alpha_5'$	K_r'	$h_{5\,3\%,4}'$, м	$\frac{h_{5\,3\%,4}'}{g\bar{T}^2}$	$\frac{d_{cr,u}'}{\bar{\lambda}_\kappa}$	$d_{cr,u}=d_{5,m}$	$d_5+0{,}05\bar{T}^2$	$\frac{d_5'}{d_4}$	$\frac{d_4+0{,}05\bar{T}}{d_5+0{,}05\bar{T}^2}$	$\sin\alpha_5''$	α_5''	$\Delta\alpha_5''$	$\cos\alpha_5''$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6
I	I0°	47°20	0,678	0,805	0,I9	0,0092	0,057	0,I9	0,295	0,38	2,085	0,660	4I°20	I6°	0,75I
2	I0°	40°50	0,757	0,573	0,26	0,0090	0,056	0,26	0,408	0,52	I,586	0,638	39°40	II°I0	0,770
3	I0°	44°40	0,7II	0,6I4	0,38	0,0095	0,06I	0,38	0,584	0,475	I,720	0,636	4I°50	I2°50	0,745
4	I0°	45°40	0,699	0,629	0,34	0,009I	0,050	0,35	0,540	0,438	I,632	0,664	4I°I4	I4°	0,747
5	I0°	45°20	0,703	0,595	0,20	0,0088	0,056	0,20	0,3I6	0,40	I,950	0,643	40°	I5°20	0,766

Таблица 8

№ участка	$\cos\alpha_5^*$	$m_{\varphi 5} = \frac{m_\varphi}{\cos\alpha_5^*}$	$1 : m_{\varphi 5}$	$K_{r,u}^*$	$h_{5\%,u}^*$, м	$d_{cr,u} = d'_{cr,u}$, м	$K_{r,cr,u(5)}$	$K_{t5(cr,u)}$	$h_{5\%cr,u}$, м	$\frac{\bar{\lambda}_{cr,u}}{\lambda_к}$	$\bar{\lambda}_{cr,u}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
I	0,75I	5,3	0,I89	0,592	0,I9	0,I9	0,54I	I,00	0,I8	0,68	2,2
2	0,770	5,2	0,I92	0,583	0,26	0,26	0,55I	I,00	0,26	0,67	3,I
3	0,745	5,4	0,I85	0,608	0,38	0,38	0,569	0,99	0,38	0,70	4,5
4	0,747	5,4	0,I85	0,595	0,33	0,35	0,574	0,995	0,34	0,68	4,0
5	0,766	5,2	0,I92	0,584	0,20	0,20	0,539	I,00	0,20	0,67	2,4

Таблица 9

№ участка	Исходные параметры волн			Расчетные параметры волн		
	$h_{5\%к}$, м	$\bar{T}_к$, с	$\bar{\lambda}_к$, м	$h_{5\%cr,ш}$, м	$\bar{T}_к$, с	$\bar{\lambda}_{cr,ш}$, м
1	0,34	1,45	3,3	0,18	1,45	2,2
2	0,48	1,72	4,6	0,26	1,72	3,1
3	0,67	2,02	6,4	0,38	2,02	4,5
4	0,60	1,95	5,9	0,34	1,95	4,0
5	0,37	1,52	3,6	0,20	1,52	2,4

4. Определение параметров ветровых волн, воздействующих на откосы каналов на вогнутой стороне поворотов. Выбор параметров волн для расчета креплений

На схеме канала (см.рис. 1) имеется 4 поворота.

Если на прямолинейных участках из двух ветров, дующих в противоположных направлениях, выбраны для расчета волн большие, то для поворота нужно рассчитывать волнение, подходящее к повороту с обеих сторон. Поэтому на каждый поворот предусматривают два номера: один для расчета волн, подходящих к повороту со стороны предыдущего участка на последующий, например, 1-2, а другой - наоборот, от последующего к предыдущему, например, 2-1.

В табл. 4 приведены параметры волн, исходных для расчетов. Параметры волн для поворотов 1-2 и 2-1, а также 3-4 и 4-3 очень близки, поэтому для них проводим по одному расчету и из двух близких значений выбираем большее.

По схемам поворотов канала определяем, что на поворотах трассы 1-2, 2-3 и 4-5 часть волнового фронта, а на повороте 3-4 весь волновой фронт выходит на прямолинейный участок за поворотом. Следовательно, расчет без всяких допущений проводим по той же схеме, что и для прямолинейных участков. Угол α_1 определяем по формуле (18) настоящих Методических рекомендаций

$$\alpha_1 = 90^\circ - \beta ,$$

где β - угол поворота канала.

Все расчеты сведены в таблицы 10-14.

Исходные величины для расчетов даны в табл. 10.

Поскольку к донной изобате волны подходят под углом $\alpha_1 < 90^\circ$, то вводить дополнительную начальную глубину не требуется.

Для поворотов 1-2, 2-3, 3-2 и 4-5 использована часть данных для прямолинейных участков, взятых из табл. 5. Для остальных номеров поворотов исходные данные рассчитали заново.

Таблица I0

№ поворота	$h_{1к}$, м	$\bar{T}_к$, с	$T_к^2$	$0{,}05T_к^2$	$\bar{\lambda}_к$, м	$d_1 = d_{к}$, м	d_1 + [5]	$d_2 = 0{,}5d_{к}$, м	d_2 + [5]	$d_3 = 0{,}5\bar{\lambda}_к$, м	d_3 + [5]	d_4, м (произв.)	d_4 + [5]	$d_5 \approx h_{1к}$, м	d_5 + 5	$\frac{d_5}{\bar{\lambda}_к}$	$K_{1б}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
I–2	0,34	I,45	2,I0	0,I05	3,3	7,5	7,605	3,75	3,855	I,65	I,755	I,00	I,I05	0,50	0,605	0,I52	0,9I4
2–3	0,48	I,72	2,96	0,I48	4,6	7,5	7,648	3,75	3,898	2.30	2,448	I,50	I,648	0,50	0,648	0,I09	0,925
3–2	0,67	2,02	4,08	0,204	6,4	7,5	7,704	3,75	3,954	3,20	3,404	2,00	2,204	0,80	I,004	0,I25	0,92
3–4	0,60	I,95	3,80	0,I90	5,9	7,5	7,690	3,75	3,940	2,95	3,I40	I,50	I,690	0,80	0,990	0,I36	0,9I2
4–5	0,60	I,95	3,80	0,I90	5,9	7,5	7,690	3,75	3,940	2,95	3,I40	I,50	I,690	0,80	0,990	0,I36	0,9I2
5–4	0,30	I,43	2,05	0,I02	3,2	7,5	7,062	3,75	3,852	I,6	I,702	I,0	I,I02	0,5	0,602	0,I56	0,9I3

Таблица II

n	d_{n-1}, м	d_n, м	$\frac{d_n}{d_{n-1}}$	$\frac{d_{n-1}+0{,}05\bar{T}_к^2}{d_n+0{,}05\bar{T}_к^2}$	$\sin\alpha_{n-1}$	$\sin\alpha_n$	α_n	$\Delta\alpha_n$	$\cos\alpha_n$	$m_{\varphi n}=\frac{m_\varphi}{\cos\alpha_n}$	$1:m_{\varphi n}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
				Поворот № I-2; $\alpha_1 = 56^0$;				$\cos\alpha_1 = 0{,}559$			
2	7,5	3,75	0,500	I,97	0,929	0,8I7	$54^0 30'$	$I^0 I0'$	0,576	6,9	0,I45
3	3,75	I,65	0,440	2,20	0,8I7	0,790	$52^0 I0'$	$2^0 40'$	0,6I3	6,5	0,I54
4	I,65	I,00	0,606	I,59	0,790	0,76I	$49^0 30'$	$2^0 40'$	0,649	6,2	0,I6I
5	I,00	0,50	0,500	I,83	0,76I	0,696	$44^0 I0'$	$5^0 20'$	0,7I7	5,6	0,I79
				Поворот № 2-3; $\alpha_1 = 54^0$				$\cos\alpha_1 = 0{,}588$			
2	7,5	3,75	0,500	I,96	0,809	0,793	$52^0 30'$	$I^0 30'$	0,609	6,6	0,I52
3	3,75	2,30	0,6I4	I,59	0,793	0,775	$50^0 50'$	$I^0 40'$	0,632	6,3	0,I59
4	2,30	I,50	0,653	I,48	0,775	0,750	$48^0 40'$	$2^0 I0'$	0,660	6,I	0,I64
5	I,50	0,50	0,333	2,54	0,750	0,634	$39^0 20'$	$9^0 20'$	0,774	5,2	0,I92
				Поворот № 3-2; $\alpha_1 = 54^0$;				$\cos\alpha_1 = 0{,}588$			
2	7,5	3,75	0,500	I,95	0,809	0,789	$52^0 I0'$	$I^0 50'$	0,6I3	6,5	0,I54
3	3,75	3,20	0,853	I,I6	0,789	0,78I	$5I^0 20'$	$0^0 50'$	0,625	6,4	0,I56
4	3,30	2,00	0,625	I,54	0,78I	0,753	$48^0 50'$	$2^0 50'$	0,658	6,I	0,I64
5	2,00	0,80	0,400	2,I9	0,753	0,660	$4I^0 20'$	$7^0 30'$	0,75I	5,3	0,I89
				Поворот № 3-4 $\alpha_1 = 72^0$;				$\cos\alpha_1 = 0{,}309$			
2	7,5	3,75	0,500	I,95	0,95I	0,926	$67^0 50'$	$4^0 I0'$	0,377	I0,6	0,094
3	3,75	2,95	0,788	I,25	0,926	0,9I2	$65^0 50'$	$2^0 00'$	0,409	9,8	0,I02
4	2,95	I,50	0,509	I,85	0,9I2	0,858	$59^0 I0'$	$6^0 40'$	0,5I2	7,8	0,I28
5	I,50	0,80	0,534	I,7I	0,858	0,784	$5I^0 40'$	$7^0 30'$	0,620	6,5	0,I54

Продолжение табл. II

n	$d_{м\,n-1}$,	d_n, м	$\frac{d_n}{d_{n-1}}$	$\frac{d_{n-1}+0{,}05\bar{T}_к^5}{d_n+0{,}05\bar{T}_к^5}$	$\sin\alpha_{n-1}$	$\sin\alpha_n$	α_n	$\Delta\alpha_n$	$\cos\alpha_n$	$m_{\varphi n}=\frac{m_\varphi}{\cos\alpha_n}$	$1 : m_{\varphi n}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
					Поворот № 4–5; $\alpha_1 = 59^0$;				$\cos\alpha_1 = 0{,}5I5$;		
2	7,5	3,75	0,500	I,95	0,875	0,835	$56^0 40'$	$2^0 20'$	0,544	7,3	0,I37
3	3,75	2,95	0,788	I,25	0,835	0,823	$53^0 30'$	$3^0 I0'$	0,595	6,7	0,I49
4	2,95	I,50	0,509	I,85	0,823	0,775	$50^0 90'$	$2^0 40'$	0,6632	6,3	0,I59
5	I,50	0,80	0,534	I,7I	0,775	0,708	$45^0 00'$	$5^0 50'$	0,307	5,7	0,I76
					Поворот № 5–4; $\alpha_2 = 59^0$; $\cos\alpha_1 = 0{,}5I5$						
2	7,5	3,75	0,500	I,98	0,857	0,849	$58^0 00'$	$I^0 00'$	0,530	7,6	0,I32
3	3,75	I,60	0,427	2,26	0,849	0,8I9	$55^0 00'$	$3^0 00'$	0,574	7,0	0,I43
4	I,60	I,00	0,625	I;54	0,8I8	0,789	$52^0 I0'$	$2^0 40'$	0,6I3	6,5	0,I54
5	I,00	0,50	0,500	I,83	0,789	0,723	$46^0 20'$	$5^0 50'$	0,690	5,8	0,I72

Таблица I2

№ поворота	$\Delta\alpha'_s$ (принято)	α'_s	$\cos\alpha'_s$	K'_{rs}	$h'_{s\%,s}$	$\frac{h'_{s\%,s}}{9\bar{T}^2_к}$	$\frac{d'_{cr,u}}{\bar{\lambda}_к}$	$d'_{cr,u} = d'_{s,м}$	$d'_s + 0{,}05\bar{T}^2_к$	$\frac{d_s}{d_s}$	$\frac{d_s + 0{,}05\bar{T}^2_к}{d'_s + 0{,}05\bar{T}^2_к}$	$\sin\alpha''_s$	α''_s	$\Delta\alpha''_s$	$\cos\alpha''_s$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6
I–2	5°	39°I0	0,775	0,875	0,87	0,0I3I	0,09I	0,30	0,405	0,600	I,49	0,623	38°30	5°40	0,783
2–3	5°	34°20	0,826	0,866	0,38	0,0I3I	0,090	0,4I	0,558	0,820	I,I6	0,602	37°	2°20	0,799
3–2	5°	36°20	0,806	0,878	0,54	0,0I35	0,094	0,60	0,804	0,750	I,25	0,620	38°20	3°	0,784
3–4	I0°	4I°40	0,747	0,7I5	0,39	0,0I05	0,073	0,43	0,620	0,538	I,595	0,63	42°20	9°20	0,739
4–5	5°	40°00	0,766	0,852	0,47	0,0I26	0,088	0,52	0,7I0	0,650	I,395	0,64	40°00	5°	0,766
5–4	5°	4I°20	0,75I	0,852	0,23	0,0II5	0,079	0,25	0,352	0,500	I,7I	0,6I	38°I0	8°I0	0,786

Таблица I3

№ поворота	$\cos\alpha''_s$	$m_{ys} = \frac{m_y}{\cos\alpha'_s}$	$1 : m_{ys}$	K''_{rs}	$h''_{s\%,s}$, м	$d_{cr,u} = d'_{cr,u,м}$	K_{rs}	K_{ts}	$h_{s\%\,м}^{cr,u}$	$\frac{\bar{\lambda}_{cr,u}}{\bar{\lambda}_к}$	$\bar{\lambda}_{cr,u}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
I–2	0,783	5,I	0,I96	[illegible]	0,27	0,30	0,850	0,94	0,27	0,8I	2,7
2–3	0,799	5,0	0,200	0,875	0,39	0,4I	0,868	0,94	0,39	0,8I	3,7
3–2	0,784	5,I	0,I96	0,885	0,545	0,60	0,877	0,935	0,55	0,82	5,3
3–4	0,739	5,4	0,I85	0,7I9	0,39	0,43	0,685	0,965	0,40	0,76	4,5
4–5	0,766	5,2	0,I92	0,852	0,465	0,52	0,835	0,945	0,47	0,80	4,7
5–4	0,786	5,I	0,I96	0,844	0,23	0,25	0,8I7	0,95	0,23	0,77	2,5

В табл. 11, где дан расчет рефракции волновых лучей, для тех же четырех поворотов исходные данные в графах 2–5 также взяты из предыдущего расчета (графы 2–5 из табл. 8).

Расчет первого приближения глубины $d_{cr,u}$ и второго приближения $\Delta\alpha_6$ (табл. 12) проведен так же, как и для прямолинейных участков, только значения $\Delta\alpha_6^1$ (в первом приближении) взяты меньше по величине.

В табл.13, аналогичной табл.8, дан расчет второго приближения величины $d_{cr,u}$, являющегося ее окончательным значением, и параметров волн на этой глубине.

В табл. 14 сведены исходные и расчетные значения параметров волн на поворотах, а в табл. 15 – параметры волн, рекомендуемые для расчетов креплений по всему каналу: и на прямолинейных участках и на поворотах. Они выбраны из табл. 9 и 14 с учетом расположения участков и поворотов.

Таблица 14

№ поворота	Исходные параметры волн			Расчетные параметры волн		
	$h_{5\%к}$, м	$\bar{T}_к$, с	$\bar{\lambda}_к$, м	$h_{5\%cr,u}$, м	$\bar{T}_к$, с	$\bar{\lambda}_{cr,u}$, м
1	2	3	4	5	6	7
1–2	0,34	1,45	3,3	0,27	1,45	2,7
2–3	0,48	1,72	4,6	0,39	1,72	3,7
3–2	0,67	2,02	6,4	0,55	2,02	5,3
3–4	0,60	1,95	5,9	0,40	1,95	4,5
4–5	0,60	1,95	5,9	0,47	1,95	4,7
5–4	0,30	1,43	3,2	0,23	1,43	2,5

Таблица 15

№ п/п	№ участка и поворота	Рекомендуемые расчетные параметры волн		
		$h_{3\%cr,u}$, м	$\bar{T}_к$, с	$\bar{\lambda}_{cr,u}$, м
1	2	3	4	5
1	1 и 5	0,20	1,52	2,4
2	2 и 1–2	0,27	1,45	2,7
3	1-я часть 2–3	0,55	2,02	5,3
4	3, 2-я часть 2–3 и 3–4	0,40	2,02	4,5
5	4 и 1-я часть 4–5	0,34	1,95	4,7
6	2-я часть 4–5	0,47	1,95	4,7

Таким образом, для дальнейших расчетов число волновых режимов в данном случае удалось сократить до шести, вместо первоначально рассчитанных одиннадцати.

На рис. 2 и 3 представлены схемы, поясняющие выбор параметров волн и размещение зон воздействия этих параметров. Как видно из рис. 2 специальное крепление поворотов необходимо только в двух случаях: на 1-й части поворота 2–3 и 2-й части поворота 4–5, где параметры волн существенно отличны от воздействующих на прямолинейные участки.

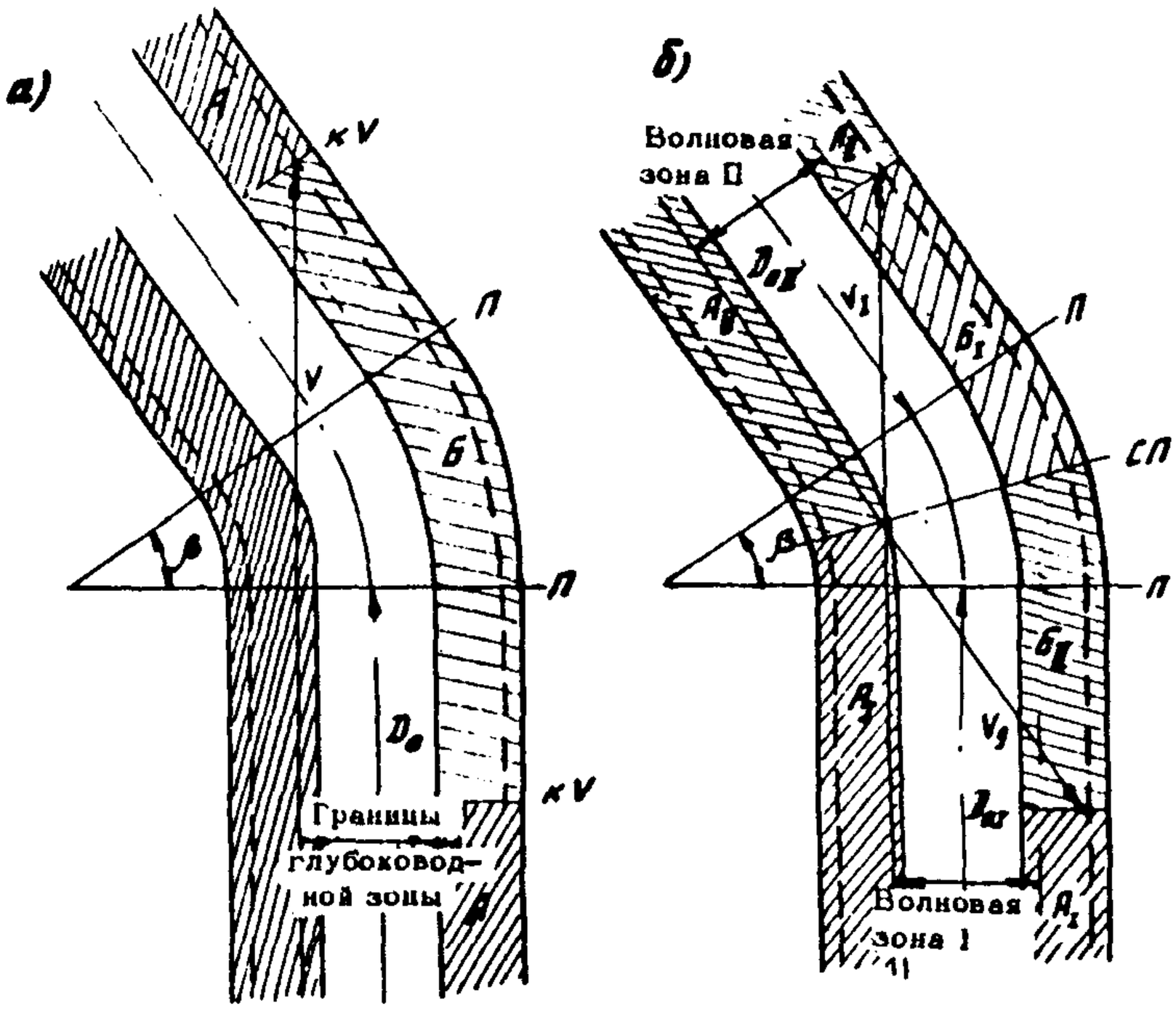


Рис.2. Схема распределения зон крепления откосов канала: а – при одном расчетном участке; б – при двух расчетных участках, примыкающих с обеих сторон к повороту

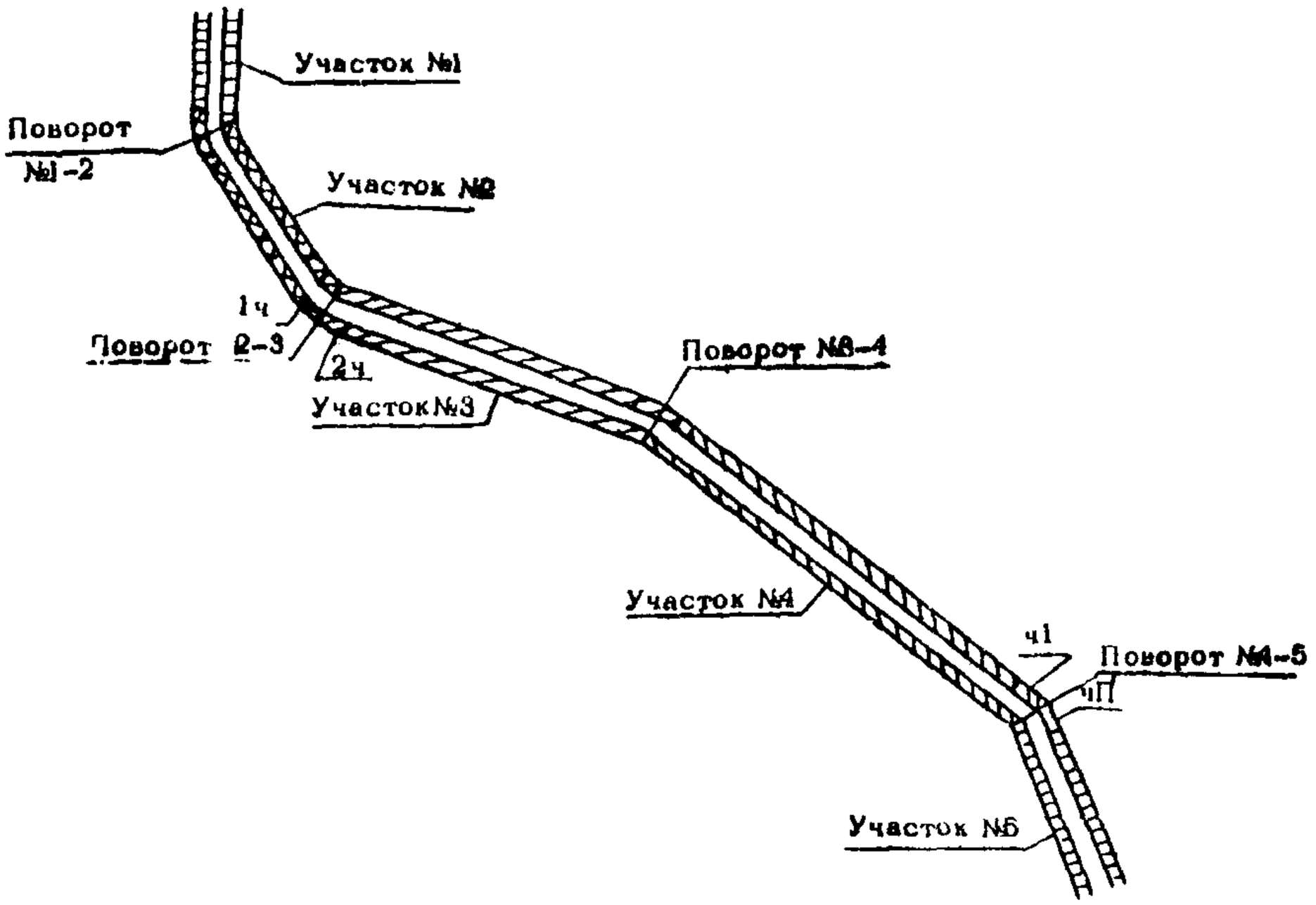


Рис.3. Схема распределения зон креплений по отдельным участкам канала (согласно расчетным параметрам волн, приведенным в табл. 5)

Приложение 5
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВЫХ ВОЛН ПРИБЛИЖЕННЫМ МЕТОДОМ

Требуется определить предельные параметры волнения 2%-ной обеспеченности в системе при следующих исходных данных: глубина воды в канале $d_к$ = 7,5 м; скорость ветра - максимальная; разгон волн - неограничен.

Вычисляем параметры ветрового волнения при обеспеченности 0,1% по формулам (22)-(24) настоящих Методических рекомендаций.

$$h_{0,1\%} = 0,20\,,\ d_к = 0,2 \cdot 7,5 = 1,5 \text{ м};$$

$$\bar{\lambda}_{0,1\%} = 10 \cdot h_{0,1\%} = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ м};$$

$$T_{0,1\%} = \sqrt{\frac{2\pi}{g}\lambda_{0,1\%}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15}{9,81}} = 3,1 \text{ с}.$$

Затем вычисляем параметры волнения при обеспеченности 2%. Согласно рис. 2 приложения 1 [1] коэффициент $K_{0,1\%} = 2,41$; $K_{2\%} = 1,90$, откуда

$$h_{2\%} = \frac{1,90}{2,41} \cdot 1,5 = 1,19;$$

$$\lambda_{2\%} = 10 \quad h_{2\%} = 10 \cdot 1,19 = 11,9 \text{ м};$$

$$T_{2\%} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 11,9}{9,81}} = \sqrt{7,47} = 2,63 \text{ с}.$$

Таким образом, при данных параметрах канала и системе максимально возможных волн параметры последних обеспеченности 2% будут:

$h_{2\%} = 1,19$ м; $\lambda_{2\%} = 11,9$ м; $T_{2\%} = 2,63$ с.

При необходимости можно определить (приближенно) обеспеченность этой системы в режиме. Для этого надлежит подобрать ветер, генерирующий систему волн, со средней высотой волны

$$\bar{h} = 1{,}5\,\frac{1}{2{,}41} = 0{,}62 \text{ м.}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.06.04-82. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М., Госстрой СССР, 1983, 37 с.

2. Сборник названий, буквенных обозначений и единиц важнейших физических величин (гидротехнические сооружения, инженерная и русловая гидравлика), рекомендуемых для использования в работах по проблеме 0.85.06 ГКНТ СССР. М., Союзгипроводхоз, 1984, 26 с.

3. Стандарт СЭВ. Нормативно-техническая документация в строительстве. Буквенные обозначения. СТ СЭВ 1565-79. Утвержден Пост.Комиссией по стандартизации. Берлин, июнь 1979.

4. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов) П58-76, Л., ВНИИГ, 1977, 316 с.

5. Методические указания. Расчет режима морского ветрового волнения. Вып. 42. М., ГОИН, 1979, 96 с.

6. Лабзовский Н.А. Расчет элементов волн на поверхности потока. Гидравлические исследования озер. Л., Наука, 1973.

7. Матушевский Г.В. Расчет среднего периода ветровых волн при сложном контуре береговой черты. Труды ГОИН, вып. 112, 1972, с. 65-71.

8. Шулейкин В.В. Физика моря, М., АН СССР, 1953, 989 с.

9. Крылов Ю.М. Спектральные методы исследования и расчета ветровых волн. Л., Гидрометеоиздат, 1966.

10. Крылов Ю.М. К теории рефракции морских волн. Труды Гос.океаногр.ин-та, вып.16(28), 1950, 95 с.

11. Лебедев Б.А., Алдаков А.Х.-М., Кузьмина Л.М., Орлова К.М. Расчет рефракции волн на откосах каналов (Фортран-программа). Гос.фонд алгоритмов и программ СССР, рег.№П007703; "Алгоритмы и программы", инф.бюллетень (в печати).

12. Плакида М.Э. Приближенный метод определения ветровой волны в каналах.- идротехника и мелиорация, 1981, № 4, с. 38-39.

13. Руководство по расчету параметров ветровых волн. Л. Гидрометеоиздат, 1968, 138 с.