

ление сроков полива по влажности одного горизонта почвы. — "Почвоведение", 1959, № 7. 3. Михальцевич А.И., Терехов Л.Н. Приближенное определение влажности корнеобитаемого слоя. — "Мелиорация и водное хозяйство", 1973, №9. 4. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага. Л., 1973. 5. Клещенко А.Д. Уточнение методики расчета влагозапасов на посевах пропашных культур. — "Труды института экспериментальной метеорологии", 1969, вып. 8. 6. Мастинская С.Б., Методика составления агрометеорологического прогноза сроков и норм полива яровой пшеницы. — В сб.: Методические указания по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических прогнозов. Л., 1957. 7. Мещанинова Н.Б. Учет агрометеорологических условий при расчете оптимальных режимов орошения зерновых культур. Л., 1969. 8. Голченко М.Г., Стельмах Е.А. О расчете и прогнозировании запасов продуктивной влаги под картофелем. — "Сб. науч. трудов БСХА", 1971, т. 81. 9. Голченко М.Г. Определение водопотребления и норм орошения некоторых сельскохозяйственных культур в условиях Белоруссии. — "Сб. науч. трудов БСХА", т. 81. 10. Алпатьев С.М. Формирование поливного режима сельскохозяйственных культур на основе оперативного учета суммарного испарения. — В сб.: Водное хозяйство. Вып. 4. Киев, 1966. 11. Стельмах Е.А., Голченко М.Г. Влияние погодных условий на урожайность картофеля. "Труды БСХА", 1973, т. 105.

Е.М. Левкевич, В.Н. Юхновец

ДЛИНА И ПЕРИОД ВЕТРОВЫХ ВОЛН НА МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

При определении волновых воздействий на гидротехнические сооружения и берега необходимы данные о высоте волны (h), ее длине (λ) и периоде (τ). Для нахождения параметров ветровых волн известно большое количество формул и методик.

Необходимо отметить, что все они разработаны по данным для условий морей и крупных водохранилищ. В связи с этим встает необходимость проверки возможности применения существующих методик для условий небольших водохранилищ, где волнение имеет некоторые особенности [1,2].

Длина и период ветровых волн при отсутствии наблюдений могут быть установлены расчетом непосредственно по волнообразующим факторам или косвенным путем с помощью классических формул волновой гидравлики по периоду, определение которого может быть произведено по тем же факторам.

Для определения длины волны непосредственно по волнообразующим факторам имеются теоретические решения А.П. Хвана [3] и В.В. Шулейкина [4]. Последнее наиболее полное и совершенное, так как опирается на всю совокупность современных знаний о физике процесса ветрового волнения. Однако использовать его в условиях малых водоемов затруднительно, так как для небольших разгонов отсутствуют рабочие диаграммы.

Из других методик, применявшихся в последние десятилетия для расчета λ на водохранилищах, следует отметить предложения В.Г. Андреенова [5], А.П. Браславского [6], Н.А. Лабзовского [7], Л.Г. Сидоровой и Г.Ф. Красножона [8].

Эти методики разработаны по данным наблюдений, полученных недостаточно совершенными методами измерения λ и нуждаются в экспериментальной проверке на малых водоемах. Но сама проверка представляет собой сложную задачу, так как для точного измерения длины ветровых волн еще не разработана надежная методика.

В практике инженерных расчетов длина волны находится по периоду [9,10], который может быть достаточно точно определен по волнообразующим факторам.

Как известно, классическая зависимость между λ и τ имеет вид:

для глубоководных водоемов

$$(H > \lambda/2); \quad \lambda = \frac{g \tau^2}{2 \pi}, \quad (1)$$

для мелководных водоемов

$$(H < \lambda/2); \quad \lambda = \frac{g \tau^2}{2 \pi} \operatorname{th} \frac{2 \pi H}{\lambda}, \quad (2)$$

где g — ускорение силы тяжести; H — глубина водоема.

Однако формулы (1), (2) справедливы только для регулярных волн малой амплитуды или трохoidalных волн, которые в природных условиях почти не встречаются даже в морских условиях.

Отсюда следует, что определение длины волны по формулам (1), (2) будет несколько приближенным. Фактическая длина

волн меньше рассчитанных [9], при этом $k_\lambda = \frac{\lambda_{\text{факт}}}{\lambda_{\text{расч}}} < 1$.

Для условий морских волн $k_\lambda = 0,65-0,75$ [9], а для водохранилищ он еще меньше [11]. Но, несмотря на такое несоответствие, в практике инженерных расчетов вычисление средней длины волны производится по среднему периоду при значении $k_\lambda = 1$. Переход от средней к любой другой длине волны осуществляется по функции распределения λ . Функции распределения длин волн совпадают с функциями высот волн для морских условий волнообразования [9] и крупных водохранилищ [11]. Однако для водохранилищ, функции распределения иные, чем для моря. И если для крупных и средних водохранилищ распределение длин волн можно принять по [11], то для малых водоемов, где распределение высот волн другое [2], этот вопрос не исследован.

В связи с этим существенное значение для определения длины волны имеет правильное определение среднего периода волны. Как известно, действующие нормативы [12], составленные с учетом предложений [6, 8] и [10], включающие [9], позволяют установить средний период волн в основном для морей и крупных водохранилищ. Для изучения характеристик ветрового волнения на малых водоемах нами проведены наблюдения на водохранилище Осиповичской ГЭС (в нижней части, примыкающей к гидроузлу). На расстоянии 17 и 100 м от верхового откоса плотины были установлены две электроконтактные вежи, при помощи которых регистрировались элементы волн осциллографом Н-700, к которому подключался отметчик времени. Одновременно с регистрацией волн при помощи анемометра и пологого ветромера, установленных в створе измерений, измерялись скорости и направление ветра. Всего было произведено 50 записей волнения.

Условия, при которых происходило образование волн, характеризуются следующими данными: длина разгона волны 0,25 — 1,7 км; средняя глубина по пути разгона 3,3 м.

Более подробные сведения об объекте наблюдений приведены в работе [2]. Полученные осциллограммы обрабатывались по известной методике ГГИ [13].

В результате обработки были получены абсолютные величины периодов волн в группе и их спектры, характеризующиеся модульными коэффициентами $k_T = \frac{T_i}{T}$ различной обеспеченности, и определены средние периоды.

Произведено сравнение полученных фактических средних периодов с рассчитанными по нормативным документам [10, 12] и по методу [5]. Для определения среднего периода по [5] находилась длина волны по зависимости

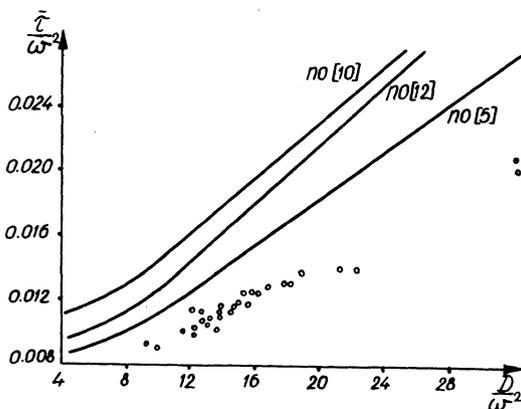
$$\lambda = 0,304 w D^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где w — скорость ветра, м/с; D — длина разгона волны, км.

Затем по зависимости (1) определялась величина среднего периода.

Результаты сопоставления представлены на рис. 1. Как видно, непосредственно измеренные периоды на малом водоеме значительно меньше рассчитанных. Так, расчетом по [12] период завьшается примерно на 40%, по [10] — до 55%, что в пересчете на длину волны по (1) дает увеличение соответственно \approx на 95% и 140%.

Рис. 1. Сравнение измеренных средних периодов волн на Осиповичском водохранилище с рассчитанными по методикам [5, 10, 12] (точки — экспериментальные данные).



Следует отметить, что значительно лучшее соответствие наблюдается между фактическими и расчетными $\bar{\tau}$ по [5], где длина волны определяется непосредственно по волнообразующим факторам. Вычисленная по [5] λ близка к средней длине волны в группе. Поэтому, по нашему мнению, формулы В.Г.Андреева [5] вполне пригодны для расчета средней длины волны на малых водоемах.

Полученные результаты дают возможность установить связь между фактическими средними периодами волн и волнообразующими факторами в условиях малого водоема.

На основе теоретических соображений показано [9], что связь между средним периодом $\bar{\tau}$ и волнообразующими факторами выражается соотношением

$$\frac{g \bar{\tau}}{w} = f\left(\frac{gD}{w^2}\right), \quad (4)$$

где $\bar{\tau}$ — средний период волны, с; D — длина разгона, м.

Однако анализ данных наблюдений показал, что для условий малого водоема взаимосвязь между средним периодом и факторами волнообразования лучше выражается соотношением (5) (рис. 2):

$$\frac{\bar{\tau}}{w^2} = f_1 \left(\frac{D}{w^2} \right). \quad (5)$$

Характерной особенностью приведенной связи (5) является и то, что с ней хорошо согласуются данные наблюдений, полученные на другом водохранилище с резко отличающимися условиями волнообразования, относящиеся к области малых разгонов (до 4 км). Это наблюдения на Куйбышевском водохранилище при скорости ветра до 16 м/с [4].

Близкое совпадение данных наблюдений на различных водоемах является достаточно убедительным свидетельством наличия связи между средним периодом и волнообразующими факторами на малых водоемах (рис. 2). Эта связь аппроксимируется эмпирической зависимостью

$$\bar{\tau} = 0,00215 D^{0,62} w_{10}^{0,76} \quad (6)$$

(D — длина разгона, м; w_{10} — скорость ветра на высоте 10 м над водной поверхностью, м/с), полученной статистической обработкой данных наблюдений (наших и работы [14]) с использованием метода наименьших квадратов.

Зависимость (6) не распространяется на условия волнообразования в зоне трансформации воздушного потока препятствиями. Результаты расчета по формуле (6) хорошо согласуются с фактическими данными при больших w (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что отклонения расчетных $\bar{\tau}$ по (6) от фактических не превышает $\pm 10\%$, т.е., по-видимому, находятся в пределах точности определения $\bar{\tau}$.

Таблица 1

D, м	1700	1500	700	2000	3000	4000	5000
w, м/с	13,1	9,1	13	16	16	16	10
$\bar{\tau}$ факт	1,52	1,08	0,98	2,03	2,39	2,65	2,17
$\bar{\tau}'$ расч	1,53	1,08	0,89	1,96	2,52	3,00	2,40
Отклонение, \pm 0 %		+0	-9,2	-3,4	+5,4	+11,5	+11

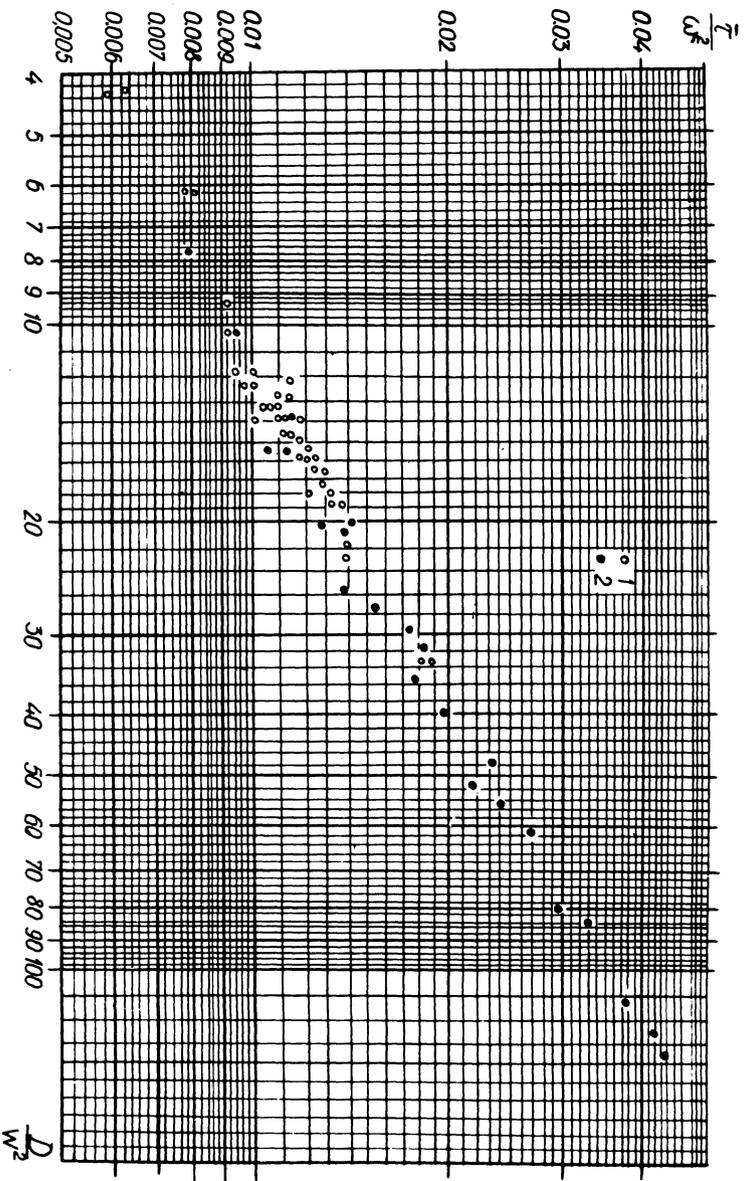


Рис. 2. График связи $\frac{k^2}{w^2} = f_1 \left(\frac{D^2}{w^2} \right)$:

1—данные наблюдений на Огловинском водохранилище; 2—данные наблюдений на Куйбышевском водохранилище [14], относящиеся к условиям волнообразования, когда $D < 4$ км.

Таблица 2

Водоем	Обеспеченность $k_{\tau}, \%$				
	1	2	5	10	20
Море [15]	1,63	-	1,46	1,37	1,25
Цимлянское Каховское [11]	1,69	1,58	1,45	1,33	-
Куйбышевское [14]	1,66	-	1,44	1,34	-
Осиповичское	1,66	1,58	1,46	1,34	1,22

Зависимость (6) может быть использована для определения периода волны на водохранилищах с глубиной $H < \lambda/2$. В этом случае, как известно, периоды будут несколько меньше, чем в глубоководных условиях ($H > \lambda/2$).

Переход от среднего периода к периодам другой обеспеченности должен осуществляться по модульным коэффициентам k_{τ} . Следует отметить, что на крупных водохранилищах, например Каховском, Цимлянском, Куйбышевском [11, 14], коэффициенты k_{τ} по величине такие же, как и для морских условий волнообразования [15].

В результате обработки осциллограмм наблюдений на Осиповичском водохранилище получены значения модульных коэффициентов k_{τ} . Сведения о величинах k_{τ} в разных условиях волнообразования приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что величины модульных коэффициентов на малом водоеме такие же, как и для условий волнообразования на крупных водохранилищах и на морях. Следовательно, функция распределения периодов волн для любых водоемов одинакова и аппроксимируется зависимостью

$$F_{\tau} = e^{-\frac{\pi}{4,8} \left(\frac{\tau_i}{\tau} \right)^4} \quad (7)$$

В ы в о д ы

1. Расчетную длину волны на малых водохранилищах целесообразно определять расчетом по периоду, используя классическую формулу связи между этими двумя параметрами.

30	40	50	60	70	80	90
1,16	-	1,01	-	0,86	-	0,63
1,11	-	0,97	-	0,85	-	0,70
-	-	1,01	-	-	-	0,65
1,13	1,05	0,97	0,87	0,75	-	-

2. Наблюдаемые периоды волн на малом водохранилище меньше расчетных, вычисленных по рекомендациям [10, 12].

3. Период для равнинных водохранилищ с разгоном $D < 4,0$ км рекомендуется определять по волнообразующим факторам по зависимости (6), которая может быть применена как для глубоких ($H > \lambda/2$), так и для мелких водохранилищ ($H < \lambda/2$).

4. Функция распределения периодов волн в группе на малых водоемах одинакова для условий волнообразования на крупных водохранилищах и морях и характеризуется зависимостью (7).

Л и т е р а т у р а

1. Левкевич Е.М. К вопросу переработки берегов малых водохранилищ. — "Изв. вузов. Энергетика", 1964, №12.
2. Левкевич Е.М., Юхновец В.Н. Некоторые особенности ветрового волнения на водоемах с малыми разгонами волн. — В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. Вып. 3. Минск, 1973.
3. Хван А.П. Предвычисление ветрового волнения на мелководном озере. Автореф. канд. дис. М., 1959.
4. Шулейкин В.В. Физика моря. М., 1968.
5. Андреянов В.Г. Ветровая волна озеровидных водоемов. — "Изв. НИИ гидротехники", 1939, вып. 25.
6. Браславский А.П. Расчет ветровых волн. — "Труды ГИ", 1952, вып. 35 (89).
7. Лабзовский Н.А. Расчет элементов волн на мелководье. — В сб.: Проблемы регулирования речного стока, Вып. 6. М., 1956.
8. Сидорова Л.Г., Красножон Г.Ф. Расчет параметров ветровых волн при определении волновых нагрузок на гидротехнические сооружения. — "Труды океанографической комиссии", 1960, т. 9.
9. Ржеллинский Г.В. и др. Новый метод анализа и расчета элементов ветровых волн. — "Труды ГОИН", 1968, вып. 93.
10. Ру-

ководство по расчету параметров ветровых волн. М., 1969. 11. Шайтан В.С. Исследование ветровых волн на водохранилище. — "Труды гидравлической лаборатории ВНИИ ВОДГЕО", 1962, сб. 9. 12. Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега. СН 92-60. М., 1960. 13. Селюк Е.М. Исследования, расчет и прогнозы ветрового волнения на водохранилищах. М., 1961. 14. Федулова Е.М. Результаты исследования ветрового волнения Куйбышевского водохранилища. — В сб.: Сборник работ Комсомольской гидрометеорологической обсерватории. Вып. 5. Л., 1965. 15. Глуховский Б.Х. Закономерности распределения элементов ветровых волн и изменения волновых движений с глубиной. — "Труды ГОИН", 1968, вып. 93.

Д.А. Козлов, И.Г. Лазаревич

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ВОПРОСА ОЧЕРТЕНИЯ СОПРЯГАЮЩЕГО УЧАСТКА БЕРЕГА ПРИ СЛИЯНИИ ДВУХ КАНАЛОВ

В практике гидротехнического строительства актуальным вопросом является расчет оптимального сопряжения двух каналов, сливающихся под прямым углом. Одной из главных трудностей при этом является обеспечение в канале старшего порядка бесбойного течения, для чего подбираются различные гасители, устройство которых не всегда эффективно.

При заданных размерах каналов в период эксплуатации возможны различные соотношения расходов, при этом наиболее невыгодным для плавного поворота потока, исключающего образование сбойного течения в канале старшего порядка, является случай, когда расход в сечении $N-N$ равен нулю (рис. 1).

Задача настоящего исследования формулируется так: найти очертание участка AC при условии плавного поворота потока на 90° и дальнейшего бесбойного течения в канале старшего порядка. Исходная схема показана на рис. 1 (a, b — ширина каналов младшего и старшего порядка ($a < b$), l, l_1 — длина и ширина сопрягающего участка). Очертание участка AC будет зависеть не только от относительной ширины каналов $\frac{a}{b}$, но и от относительной длины участка сопряжения $\frac{l}{a}$. Величина l определяется условиями пропуска дороги вдоль стар-