

Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец

К РАСЧЕТУ ВЫСОТЫ ВЕТРОВОЙ ВОЛНЫ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ С МАЛОЙ ДЛИНОЙ РАЗГОНА

Для Белорусской ССР характерны сравнительно небольшие мелко-водные водоемы с малой длиной разгона волн. Но и на таких водоемах ветровые волны, воздействуя на гидротехнические сооружения, часто вызывают повреждения их отдельных элементов, а иногда и сооружений в целом. Естественно, что и на малых водоемах необходимо учитывать волновые воздействия на сооружения, для чего необходимо иметь метод, позволяющий наиболее достоверно определить параметры расчетной ветровой волны.

К настоящему времени для расчета высоты ветровых волн имеется много предложений, рекомендаций, методик [1—11]. Наиболее совершенными могут считаться те, которые содержат надежное обоснование и подтверждаются натурными данными. Это — метод академика В. В. Шулейкина [11], а также методика, базирующаяся на достижениях статистической и спектральной теорий волнения [7].

Из числа полуэмпирических методов в СН-92-60 [10] предпочтение следует отдать предложениям Г. Ф. Красножона и А. Г. Сидоровой [9]. Распространенными для расчета высоты ветровой волны на водохранилищах являются методы А. П. Браславского [2] и Н. А. Лабзовского [5]. Точностью получаемого расчетного материала отличаются рекомендации В. Г. Андреевича [1].

Анализ критического материала по методам расчета волн на водохранилищах показывает, что метода, который позволил бы получить расчетные параметры волн с одинаковой точностью на любых разгонах, пока не существует. Поэтому и поныне предлагаются новые рекомендации [3, 4]. При этом необходимо отметить, что все методы, отличающиеся универсальностью решений, не гарантируют точность расчетов высоты волны в области малых разгонов.

Вполне естественно, что при проектировании сооружений в таких условиях порой затруднительно сделать правильный выбор расчетного метода.

Нами проводились наблюдения за ветровым волнением в природе на одном малом водоеме (водохранилище Осиповичского гидроузла).

Наблюдения проводились в нижней части водохранилища, у створа гидроузла, где оно имеет наибольшую ширину. Средняя глубина водохранилища 3,3 м; рельеф дна относительно спокойный; длина разгона волн на участке наблюдений составляла 250—1700 м.

Берега нижней части водохранилища открытые, лишь с запада непосредственно к нему подступает густой лес.

Регистрация элементов волн производилась осциллографом Н-700 при помощи электроконтактной вехи конструкции ВНИИ ВОДГЕО с некоторой модернизацией, улучшающей разрешающую возможность записей. Одна веха закреплялась на стойке, забитой в грунт дна пе-

ред откосом земляной плотины на глубине 3 м, другая в 100 м от плотины. Откос земляной плотины закреплен каменной наброской, что почти полностью исключало возможность отражения волн.

Скорость ветра измерялась на высоте 3,3 м над уровнем воды ручным чашечным анемометром в течение 5—10 мин.

Гидрометеорологическая обстановка в период записей характеризовалась следующими данными: анемометрическая скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью воды равнялась 5—13 м/сек; направление действия ветра — в секторе ЮЗ-С.

На осциллограмму записывалось от 100 до 200 подряд идущих волн. Всего было получено 48 осциллограмм, из которых 12 относятся к записям волнения, когда воздушный поток преодолевал на своем пути препятствие в виде лесного массива.

Осциллограммы подвергались обработке по известной методике ГГИ, разработанной Е. М. Селюк [8]. В результате обработки данных были получены высоты волн различных обеспеченностей в группе.

В связи с тем, что в опубликованных работах имеется недостаточно фактических данных о высоте волны в водоемах при малых разгонах, в табл. 1 приведены результаты наших наблюдений для случаев, когда волны возникали под действием ветров, имеющих направление со стороны открытого берега.

Т а б л и ц а 1

Высота волны однопроцентной обеспеченности на Осиповичском водохранилище

Номер опыта	Длина разгона по направлению ветра D , м	Скорость ветра анемометрическая над водой w_{10} , м/сек	Высота волны 1%-ной обеспеченности в группе $h_{1\%}$, см	Номер опыта	Длина разгона по направлению ветра D , м	Скорость ветра анемометрическая над водой w_{10} , м/сек	Высота волны 1%-ной обеспеченности в группе $h_{1\%}$, см
1м	1600	10,8	46,6	11м	1600	11,5	53,2
1б	1700	10,8	44,2	11б	1700	11,5	50,2
2м	1600	10,8	42,0	12м	1600	8,7	34,1
2б	1700	10,8	44,5	12б	1700	8,7	35,5
3м	1600	10,4	43,8	13м	1600	10,1	41,2
3б	1700	10,4	41,0	13б	1700	10,1	41,2
4м	1600	11,8	47,7	14м	1600	9,0	32,0
4б	1700	11,8	44,0	15м	1600	8,5	31,1
5м	1600	13,1	58,2	17-2	1500	9,1	35,5
5б	1700	13,1	57,2	17-1	1500	9,1	38,2
6м	1600	11,1	48,5	16-2	1500	6,8	26,5
6б	1700	11,1	46,4	16-1	1500	6,8	29,2
7м	1600	11,1	51,0	12-1	1400	9,1	29,0
7б	1700	11,1	49,7	13-1	700	10,7	30,9
8м	1600	11,6	47,0	13-2	700	10,7	31,2
8б	1700	11,6	47,4	14-1	700	13,0	33,1
9м	1600	9,5	37,7	14-2	700	13,0	35,4
9б	1700	9,5	36,2	6	600	10,6	33,1
10м	1600	10,2	41,8	7	600	6	22,3
10б	1700	10,2	39,6				

С целью выявления наиболее пригодной методики для вычисления h на малых разгонах произведено сопоставление наблюдаемых высот волн однопроцентной обеспеченности с рассчитанными для этих же условий по различным методам [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. По методике [7] определение $h_{1\%}$ производилось с помощью переходного коэффициента $K_{h 1\%}$, полученного по опытным кривым распределения высот ветровых волн. Метод В. В. Шулейкина [11] невозможно было использовать из-за отсутствия рабочей диаграммы для малых разгонов волн.

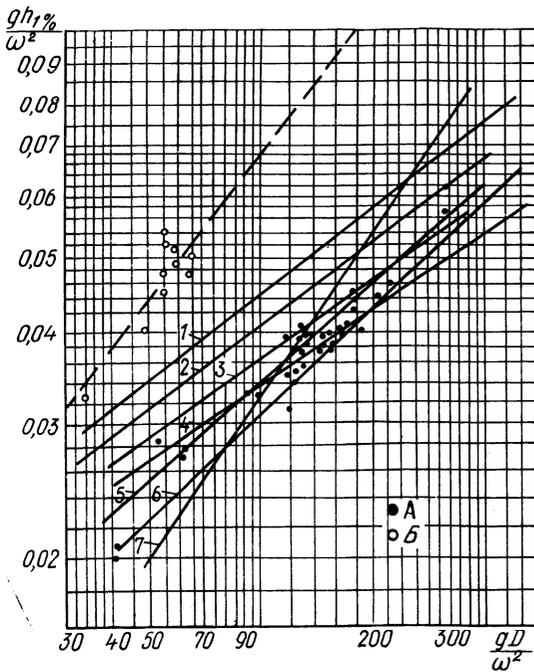


Рис. 1. Сопоставление измеренных высот волн 1%-ной обеспеченности с рассчитанными по различным методикам:

А, Б — волны, возникающие от ветра, действующего соответственно со стороны открытого берега и берега, покрытого лесом; 1 — по методу [4]; 2 — [3]; 3 — [1]; 4 — [7]; 5 — [2]; 6 — [6, 9]; 7 — [5].

при расчетах по методике, предложенной В. Ф. Гуциным [3].

Расчетные высоты волн, определенные по методу Н. А. Лабзовского [5] и по предложению Г. Г. Карасевой [4], имеют завышенные значения по сравнению с наблюдаемыми.

Таблица 2

Средние отклонения расчетных высот волн от наблюдаемых

Метод расчета	[6]	[2]	[7]	[5]	[1]	[3]	[4]
Среднее отклонение, %	-4,40	+2,50	+4,35	+13,4	+8,6	+17	+34

Наблюдениями были охвачены случаи, когда волны возникали под действием ветра, действовавшего со стороны западного берега, покрытого лесом, т. е. под действием воздушного потока, трансформированного препятствием (в более сложных условиях волнообразования). Длины разгона волны при этих условиях были до 350 м. Обработка данных показала, что в этих случаях наблюдаемые высоты волн были больше расчетных.

На рис. 1 результаты наблюдений представлены группой точек Б, расположенных в верхней части графика. Характер расположения опытных точек указывает на существование определенных закономерностей волнообразования в этих условиях. Для них по опытным дан-

Результаты сопоставления представлены в виде графика (рис. 1), построенного в безразмерных координатах

$$\frac{gh_{1\%}}{\omega_{10}^2}, \quad \frac{gD}{\omega_{10}^2}, \quad \text{где } g —$$

ускорение силы тяжести, м/сек²; ω_{10} — скорость ветра, м/сек (измеренная анемометром и приведенная к высоте 10 м над водной поверхностью); D — длина разгона волны, м.

При сопоставлении определялись также отклонения в процентах расчетной высоты волн от наблюдаемой. В табл. 2 приведено среднее отклонение расчетных высот волн от наблюдаемых.

Как видно, наиболее близкое совпадение расчетных данных с наблюдаемыми получено при расчетах высоты волн по методам, вошедшим в работы [6, 7, 10]. Необходимо отметить, что при определении средних высот волн получено достаточно близкое совпадение

ным получена эмпирическая формула для определения высоты волны однопроцентной обеспеченности

$$h_{1\%} = 0,00158 \omega_{10}^{0,70} D^{0,65}, \quad (1)$$

где ω_{10} — скорость ветра над водной поверхностью на высоте 10 м/сек; D — длина разгона волны в зоне трансформации воздушного потока, м.

Коэффициент корреляции между наблюдаемыми высотами волн и подсчитанными по формуле (1) равен 0,90.

В связи с тем, что формула (1) получена на основании сравнительно небольшого количества наблюдений, ее следует считать приближенной и по мере накопления фактического материала, возможно, потребуется некоторое ее уточнение.

Выводы

1. Результаты сравнения высот ветровых волн, наблюдаемых в натуре при малых разгонах, с рассчитанными по методам, предложенным в работах [1—7, 9], показали, что наиболее близкое совпадение наблюдаемых данных с расчетными получено при определении высоты волны по методике [9], вошедшей в СН 92—60 [10], по методам, рассмотренным в работах [6, 7].

Широко используемый в инженерной практике метод А. П. Браславского [2], включенный как один из методов в СН 92—60, не совсем удобен и неточен на малых разгонах из-за большой крутизны кривых на расчетных номограммах.

2. Для условий волнообразования в зоне трансформации воздушного потока преградой при разгоне волны до 350 м для определения высоты волны можно пользоваться формулой (1).

3. Необходимо продолжить накопление опытных данных для дальнейшей проверки возможности применения рекомендованных расчетных методов в области малых разгонов волн и расчетных скоростей ветра.

Литература

1. *Андреев В. Г.* Ветровая волна озеровидных водоемов. «Изв. НИИГ», 1939, вып. 24—25.
2. *Браславский А. П.* Расчет ветровых волн. — «Труды ГИИ», 1952, вып. 35 (89).
3. *Гущин В. Ф.* Расчет высот ветровых волн. — Сб. работ Рыбинской гидрометеорологической обсерватории, 1970, вып. 5.
4. *Карасева Г. Г.* О расчете ветрового волнения на водохранилищах в связи с их транспортным освоением. — «Труды координационных совещаний по гидротехнике. Проектирование и эксплуатация водохранилищ», 1970, вып. 59.
5. *Лабзовский Н. А.* Расчет элементов волн на мелководьях. — В сб.: Проблемы регулирования речного стока. Вып. 6. М., 1956.
6. *Ланно Д. Д., Красножон Г. Ф.* Обобщенные предложения по расчету параметров ветровых волн и их воздействий на гидротехнические сооружения. — «Труды координационных совещаний по гидротехнике. Волны и их воздействия на сооружения», 1969, вып. 50.
7. Руководство по расчету параметров ветровых волн. М., 1969.
8. *Селюк Е. М.* Исследования, расчеты и прогнозы ветрового волнения на водохранилищах. М., 1961.
9. *Сидорова А. Г., Красножон Г. Ф.* Расчет параметров ветровых волн при определении волновых нагрузок на гидротехнические сооружения. — «Труды Океанографической комиссии», 1960, т. 9.
10. Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега. СН 92—60. М., 1960.
11. *Шулейкин В. В.* Физика моря. М., 1968.