

Выполненные исследования показали, что характер поперечной циркуляции в натуральных каналах практически совпадает с характером поперечной циркуляции в лабораторном канале трапецидального поперечного сечения при равномерном движении [4]. Это позволяет предположить невысокую степень неравномерности движения воды в исследованных магистральных каналах.

Отмеченные особенности в распределении по сечению осредненных скоростей следует учитывать при решении практических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великевич П.А. Экспериментальное изучение поперечной циркуляции при равномерном прямолинейном движении жидкости: Материалы конф. молодых ученых АН БССР. – Минск, 1962, с. 19–26. 2. Наставление гидрометрическим станциям и постам. – Л., 1972, ч. 2, вып. 6. – 266 с. 3. Приборы для измерения скоростей движения воды/В.П.Рогуневич, А.А.Осипович, В.Ф.Янголь, Л.П.Кравай. – Гидротехника и мелиорация, 1978, № 5, с. 32–35. 4. Шнипов Ф.Д. Экспериментальное изучение поперечной циркуляции и локальных деформаций прямолинейных каналов трапецидального поперечного сечения. – В сб.: Моделирование речных потоков для решения водохозяйственных задач. М., 1983, с. 93–98.

УДК 532.592:551.466

Е.М.ЛЕВКЕВИЧ, канд.техн.наук, доц.,
Р.В.МИХНОВА, Л.А.МАЩЕНКО (БПИ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОЛН НА ТЕЧЕНИИ В КАНАЛЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Распространение волн на текущей воде может происходить в устьевых участках рек, в береговой зоне морей и водохранилищ, на акваториях портов. Это же явление иногда имеет место на достаточно широких реках и каналах на участках, где направление ветра совпадает с направлением геометрической оси русла.

Анализ литературных данных [1–6] показывает, что имеющиеся рекомендации по определению параметров волн на течении требуют уточнения, так как при расчете их по различным предлагаемым зависимостям при одинаковых исходных данных получаются неодинаковые результаты.

Для установления методики проведения экспериментов и обработки данных, в частности методики генерирования волн, их последующей трансформации на течении, нами были проведены лабораторные исследования.

Для опытов использовался проточный гидравлический лоток 12,0 x 0,6 x x 0,32 м, на сливном участке которого был установлен щитовой волнопродуктор. Щит волнопродуктора шарнирно закреплялся на опорах при помощи стоек на некотором расстоянии от дна лотка, что обеспечивало протекание под ним воды. Подача воды и регулирование расходов производились через оголовки при помощи задвижек. Уровень воды в лотке поддерживался при помощи затвора типа "жалюзи", установленного за щитом волнопродуктора.

Измерение параметров волн осуществлялось осциллографическим методом, для чего в нескольких створах лотка на расстоянии от щита волнопродуктора

соответственно 2,5 и 8 м были установлены двухэлектродные датчики электроволномера, подключенного к осциллографу Н-700.

Средние скорости потока определялись путем деления расхода, измеряемого по треугольному водосливу, на площадь живого сечения потока. Все опыты проводились при глубине воды в лотке 35 см, с волнами длиной 102 см, высота которых изменялась от 3,4 до 6,9 см.

Открытием задвижки в лоток подавалась вода. Маневрируя затвором на выходе из лотка, устанавливали принятый уровень — 35 см. Затем измерялся расход. Включались волнопродуктор, приборы регистрирующей системы и производилась запись волн (не менее 10 в каждом створе). Волнопродуктор выключался, устанавливалась новая амплитуда колебаний щита, и опыт повторялся. При каждой скорости воды в лотке регистрировался волновой режим при трех высотах волн.

Всего было проведено 45 опытов при скоростях движения воды 0; 12,5; 28,1; 37,6; 42,0 см/с.

В результате получены осциллограммы с совмещенными записями волн в различных створах.

Определение высоты волны осуществлялось по участку осциллограммы, на котором было записано не менее 10 волн одинаковой высоты, что обеспечивало достаточную достоверность измерений.

В табл. 1 приведены результаты опытов по измерению высот волн.

При обработке данных были приняты обозначения высоты волны h_B : в начальном створе на спокойной воде — $h_{B.C}^0$; в начальном створе на течении — $h_{B.V}^0$; в створах 2, 3 на спокойной воде — $h_{B.C}^i$; в створах 2,3 на течении — $h_{B.V}^i$; изменение высоты волны по длине лотка — $k_1 = h_B^{i+1}/h_i$, в створах на течении — $k_v = h_{B.V}^i/h_{B.C}^i$.

Для исследования закономерности изменения высоты волны по длине лотка в зависимости от скорости течения были подсчитаны значения соответствую-

Табл. 1. Результаты опытов по измерению высоты волны на течении

Номер опыта	Средняя скорость $v_{ср}$, см/с	Створ № 1		Створ № 2			Створ № 3			
		h_B	K_v	h_B	K_v	$K_{(1-2)}$	h_B	K_v	$K_{(1-3)}$	$K_{(2-3)}$
1	0	3,4	—	3,3	—	0,97	2,7	—	0,79	0,82
		4,6	—	4,4	—	0,96	4,0	—	0,87	0,9
		5,7	—	5,3	—	0,93	4,4	—	0,77	0,83
2	12,5	3,7	1,09	3,3	1,0	0,89	2,9	1,07	0,78	0,88
		4,9	1,07	4,5	1,02	0,92	4,3	1,08	0,88	0,96
		5,8	1,02	5,6	1,06	0,96	4,9	1,11	0,84	0,88
3	28,1	4,8	1,41	3,8	1,15	0,79	2,9	1,07	0,6	0,76
		6,2	1,35	4,8	1,09	0,77	3,7	0,93	0,6	0,77
		6,9	1,21	5,3	1,0	0,77	3,8	0,86	0,55	0,83
4	37,6	5,3	1,56	3,4	1,03	0,68	2,4	0,89	0,48	0,71
		5,7	1,24	3,6	0,81	0,63	2,6	0,65	0,46	0,81
		5,2	0,91	2,5	0,47	0,45	1,9	0,43	0,35	0,76
5	42,0	3,8	1,12	1,0	0,3	0,26	1,0	0,37	0,26	1,0
		4,5	0,98	1,2	0,27	0,27	1,1	0,28	0,24	0,92
		4,4	0,77	0,8	0,15	0,18	0,7	0,16	0,16	0,88

ющих коэффициентов k_v и k_l , показывающих отношение высоты волны при данной скорости потока в лотке к высоте на спокойной воде и отношение высоты волны в каждом створе к ее высоте – в предыдущих.

Изучение опытных данных показало, что процесс образования и распространения волны на текущей воде в условиях опыта является достаточно сложным. В начальном створе, в котором генерируются волны, при одинаковых установках волнопродуктора высота волн на движущейся воде ($v_{cp} > 0$) больше, чем на спокойной воде (при $v_{cp} = 0$) (кроме случаев, когда амплитуда колебаний щита выше критической, при достижении которой нарушается линейная зависимость $h = f(a)$, a – амплитуда колебаний щита). На рис. 1 приведен один из графиков зависимости высоты волны, построенных для всех случаев в начальном створе, от скорости течения. Анализ показал, что рассматриваемая зависимость близка к линейной. Высота волны в начальном створе при различной скорости движения потока в зависимости от высоты волны на спокойной воде может быть выражена эмпирической формулой

$$h_{B.v}^0 = h_{B.c}^0 + K_h v_{cp}, \quad (1)$$

где K_h – эмпирический коэффициент, равный 0,05 с; v_{cp} – средняя скорость движения потока.

Наблюдаемое явление можно объяснить тем, что величина импульса, вызывающего волну в начальном створе при нулевой скорости, состоит только из энергии, передаваемой потоку волнопродуктором. При наличии течения к нему добавляется величина энергии, содержащейся в движущемся навстречу потоке воды.

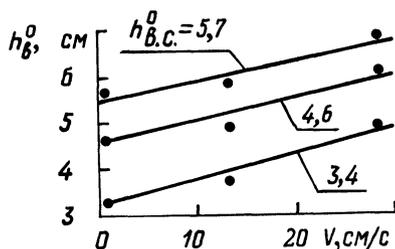


Рис. 1. График $h_{B.v}^0 = f(v)$ в створе № 1.

Опыты также показали, что при распространении волн навстречу течению происходит непрерывное изменение по длине лотка высоты, длины и скорости распространения. По мере удаления от источника колебаний высота волны, скорость ее распространения и длина уменьшаются, период же сохраняется постоянным.

На рис. 2 в качестве примера представлены графики изменения высоты волны по длине лотка, построенные по данным табл. 1. Из данных графиков следует, что в большинстве случаев уменьшение высот волны по длине лотка происходит примерно по линейному закону. Анализ значений K_l по табл. 1 показывает, что уменьшение высоты волны происходит интенсивнее на поверхности потока с более высокими скоростями и практически почти не зависит от высоты волны. Из графика, приведенного на рис. 2, видно, что изме-

нение высоты волны по мере увеличения расстояния l от исходного створа также происходит по линейному закону и может быть в общем виде выражено эмпирической зависимостью

$$\overline{h_{B,V}^i} = h_{B,V}^0 - bl, \quad (2)$$

где $h_{B,V}$ и $h_{B,V}^0$ — высота волны в расчетном и начальном створах соответственно при скорости потока v_{cp} .

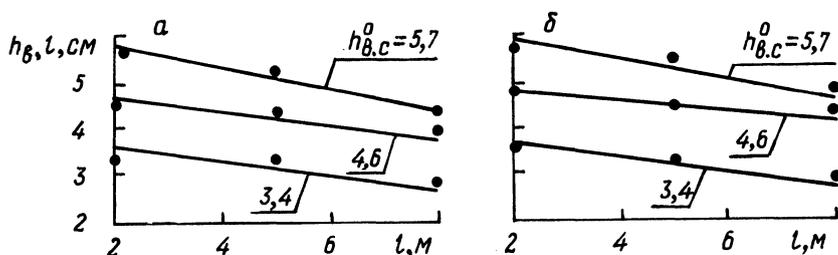


Рис. 1. Графики $h_{B,V}^i = f_l(h_{B,C}^0, l)$: а — при $v = 0$; б — при $v = 12,5$ см/с.

В результате обработки опытных данных было найдено значение коэффициента $b = (14 + v_{cp}) \cdot 10^{-4}$.

Тогда выражение (2) может быть представлено в виде

$$h_{B,V}^i = h_{B,V}^0 - (14 + v_{cp}) \cdot 10^{-4} l.$$

Наблюдения показали, что волны, движущиеся навстречу движению воды, как бы сжимаются по длине. В результате скорость волны уменьшается с увеличением скорости потока. Это приводит к тому, что при значительных скоростях потока волны вообще не распространяются, затухая вблизи волнопродуктора.

В условиях опыта при скорости распространения волны на стоячей воде ($c = 142$ см/с) это явление наступило при $v_{cp} = 50$ см/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д о н е ц В.Н. Исследование трансформации параметров волнения под воздействием течений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новочеркасск, 1973. — 26 с. 2. М а с с Е.И., К а н т а р ж и И.Г. Трансформация волн на течении. — Транспортное строительство, 1975, № 6, с. 44–46. 3. К а н т а р ж и И.Г. Экспериментальное исследование трансформации параметров волн, распространяющихся на течении нормально к направлению потока. — В сб.: Вопросы гидравлики прибрежной зоны водоемов. — М., 1976, вып. 99, с. 30–37. 4. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов). П-58-76/ВНИИГ, Л., 1977, с. 306–307. 5. К а н т а р ж и И.Г., М а с с Е.И. Волны на стационарном течении конечной глубины. — Водные ресурсы, 1978, № 1, с. 159–167. 6. Т о г о н и д з е Н.В. Трансформация волн на течении. — Водные ресурсы, 1978, № 5, с. 190–195.