

ЛИТЕРАТУРА

1. Откр. 242 (СССР). Закономерность изменения теплоотдачи на стенках каналов с дискретной турбулизацией потока при вынужденной конвекции/Э.К.Калинин, Г.А.Дрейцер, С.А.Ярхо и др. — Оpubл. в Б.И., 1981, № 35. 2. Караушев А.В. Проблемы динамики естественных водных потоков. — Л., 1960. — 391 с. 3. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А. Комплексное исследование теоретических и практических проблем интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах с однофазными и двухфазными теплоносителями. — В кн.: Тепло-массо-перенос — VI: Материалы к VI Всесоюз. конф. по тепло- и массообмену. Минск, 1980, т. I, ч. 1, с. 100—117. 4. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. 4-е изд., перераб. и доп. — М., 1963. — 727 с.

УДК 532.543

В.П.РОГУНОВИЧ, Э.А.ВОЙТЕХОВСКАЯ, канд-ты техн.наук,
С.А.БАМПИ, А.А.ОСИПОВИЧ, Л.И.ШЕХУРДИНА (ЦНИИКИВР)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ВОДОТОКА ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ И НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИЯХ

Экспериментальные исследования движения воды выполнялись в нижнем бьефе паводкового водосброса Любанского гидроузла на р.Орессе. В задачу исследований входило измерение скоростей и уровней в створах водотока в различные моменты времени.

Русло реки на экспериментальном, почти прямолинейном участке имело близкую к трапецеидальной форму сечения, ширина по верху колебалась в пределах 16—18 м, продольный уклон поверхности воды при установившемся движении составлял 0,000034. Измерение уровней воды и скоростей производилось в трех гидрометрических створах (табл. 1), расположенных на расстоянии 169, 554 и 714 м от водосброса.

Таблица 1

Размеры поперечных сечений гидрометрических створов
при установившемся движении

Вертикаль	1	2	3	4	5	6	7
Створ 1							
Расстояние от уреза воды, м	0	3,2	6,2	8,2	10,2	13,2	16,5
Глубина воды на вертикали, м	0	0,755	0,835	0,905	0,885	0,865	0
Створ 2							
Расстояние от уреза воды, м	0	2,65	5,65	7,65	9,65	12,65	16,15
Глубина воды на вертикали, м	0	0,68	0,77	0,75	0,70	0,69	0
Створ 3							
Расстояние от уреза воды, м	0	4,4	7,3	9,3	11,3	14,3	18,2
Глубина воды на вертикали, м	0	0,85	0,87	0,95	0,93	0,92	0

Выполнению непосредственных измерений предшествовала топографическая съемка участка в пределах 2 км, включающая измерение шести поперечных сечений русла, нивелирование отметок свободной поверхности воды при установившемся движении, разбивку теодолитного хода.

При неустановившемся движении попуски расходов создавались открытием затвора на высоту до 20 см. Процесс открытия — закрытия затвора продолжался 728 с. Из-за недостаточного количества измерительной аппаратуры и обслуживающего персонала не представлялось возможным выполнить измерения одновременно в трех гидрометрических створах. Поэтому был принят следующий порядок измерений.

Вся измерительная аппаратура — 25 первичных преобразователей для регистрации скоростей и рейка для измерения уровней — устанавливалась в створе 1. В створах 2 и 3 устанавливались только уровенные рейки. Сначала измерялось распределение скоростей в створе 1, а уровней — во всех трех створах при установившемся движении воды. Затем открытием затвора производился попуск расходов. Во время прохождения волны попуска выполнялась регистрация показаний всех приборов, установленных в створе 1, и уровней в двух остальных створах. При идентичных условиях весь процесс измерений последовательно повторялся в створах 2 и 3.

Измерение скоростей в гидрометрическом створе производилось одновременно в 25 точках сечения. Одна скоростная вертикаль располагалась на оси потока, остальные — по обе стороны от оси на 2 и 5 м.

При установившемся движении расположение датчиков соответствовало рекомендациям для пятиточечного способа измерения расходов воды. Донные датчики устанавливались на расстоянии 1,5 см от дна, а поверхностные — на 2,5 см от поверхности воды. При неустановившемся движении два верхних датчика были размещены выше уровня воды, соответствующего установившемуся движению, чтобы по мере прохождения волны после попуска расхода зафиксировать значения скоростей по всей глубине потока.

Для измерения уровней воды при неустановившемся движении в гидрометрических створах устанавливались рейки с миллиметровыми делениями, показания с которых снимались визуально и фотографировались во времени.

Для измерения скоростей использовались микровертушки [1] с диаметром лопастных винтов 15 мм. Измерительные приборы, т.е. 25 счетчиков для регистрации скорости и секундомер для фиксирования времени прохождения волны попуска через гидрометрические створы, были смонтированы на одной панели. Это позволило для одновременной регистрации показаний всех приборов во времени применить фотографирование. Общая продолжительность записи процесса составила около 1 ч.

Показания приборов расшифровывались с использованием градуировочных зависимостей. Данные по измерению скоростей, снятые с фотографий, заносились в бланки для последующего машинного счета на ЭВМ. Для этого была разработана программа, позволяющая осреднить несколько измерений в различных количествах точек (от одной до пяти) на вертикали, вычислить местные и средние скорости на вертикалях, расход и среднюю скорость потока.

Эпюры скоростей описывались интерполяционным кубическим сплайном

$$S(x) = m_{i-1} \frac{(x_i - x)^2(x - x_{i-1})}{h_{i-1}^2} - m_i \frac{(x - x_{i-1})^2(x_i - x)}{h_{i-1}^2} +$$

$$+ y_{i-1} \frac{(x_i - x)^2[2(x - x_{i-1}) + h_{i-1}]}{h_{i-1}^3} + y_i \frac{(x - x_{i-1})^2[2(x_i - x) + h_{i-1}]}{h_{i-1}^3}. \quad (1)$$

Т а б л и ц а 2

**Распределение продольных скоростей в гидрометрических створах
при установившемся движении**

Номер вертикалей									
1		2		3		4		5	
h, м	v, м/с	h, м	v, м/с	h, м	v, м/с	h, м	v, м/с	h, м	v, м/с
Створ 1									
0,104	0,168	0,025	0,110	0,134	0,108	0,025	0,090	0,025	0,063
0,432	0,142	0,120	0,131	0,522	0,142	0,130	0,114	0,126	0,121
0,740	0,085	0,820	0,083	0,890	0,050	0,510	0,100	0,498	0,093
0,755	0	0,835	0	0,905	0	0,700	0,120	0,684	0,082
						0,885	0	0,865	0
Средние скорости на вертикалях									
0,157		0,222		0,125		0,105		0,095	
Площадь живого сечения 11,18 м ² ; средняя скорость в сечении 0,135 м/с									
Створ 2									
0,141	0,252	0,025	0,246	0,025	0,267	0,025	0,146	0,143	0,101
0,549	0,115	0,159	0,247	0,155	0,236	0,145	0,188	0,690	0
0,680	0	0,467	0,158	0,455	0,256	0,565	0,162		
		0,621	0,169	0,735	0,151	0,685	0,112		
		0,770	0	0,750	0	0,700	0		
Средние скорости на вертикалях									
0,176		0,188		0,258		0,163		0,088	
Площадь живого сечения 9,22 м ² ; средняя скорость в сечении 0,163 м/с									
Створ 3									
0,175	0,137	0,025	0,162	0,025	0,216	0,025	0,155	0,189	0,126
0,835	0,037	0,179	0,191	0,195	0,170	0,191	0,180	0,920	0
0,850	0	0,527	0,121	0,575	0,171	0,563	0,160		
		0,701	0,135	0,765	0,124	0,749	0,150		
		0,870	0	0,950	0	0,930	0		
Средние скорости на вертикалях									
0,100		0,144		0,156		0,157		0,111	
Площадь живого сечения 12,72 м ² ; средняя скорость в сечении 0,121 м/с.									
Расход воды в реке при установившемся движении Q = 1,5 м ³ /с									

Средняя скорость на вертикали на основании экспериментальных данных определялась следующим образом:

$$v = \frac{\sum_{i=2}^k \int_{x_{2i-1}}^{x_{2i}} S(x_2) dx_2}{h_0}, \quad (2)$$

где m_{i-1} и m_i — коэффициенты сплайна, определяемые по методике [2]; x_2 — ордината точки; k — количество точек на вертикали, через которые проходит сплайн $S(x_2)$, включая донную и поверхностную скорости; h_0 — глубина на вертикали.

При определении средней скорости на вертикали вместо x_i и x_{i-1} в выражении (1) подставляются x_{2i} и x_{2i-1} — заглубления датчиков скорости, а вместо u_i и u_{i-1} скорости, соответственно в i -й и $i-1$ -й точке, $h_{i-1} = x_i - x_{i-1}$.

Для определения расхода воды вычислялась площадь, ограниченная сплайном $S(x_3)$, проходящим через средние значения скоростей на вертикалях с учетом их глубин:

$$Q = \sum_{i=2}^n \int_{x_{3i-1}}^{x_{3i}} S(x_3) H(x) dx_3, \quad (3)$$

где x_3 — абсцисса точки; n — количество вертикалей в сечении, через которые проходит сплайн $S(x_3)$, включая урезы воды. Сплайн $S(x_3)$ аналогичен (1),

Т а б л и ц а 3.

Изменение глубины h , средней в сечении скорости v и расхода Q в характерные моменты времени в гидрометрических створах

Створ 1				Створ 2				Створ 3			
t, с	h, м	v, м/с	Q, м ³ /с	t, с	h, м	v, м/с	Q, м ³ /с	t, с	h, м	v, м/с	Q, м ³ /с
0	0,905	0,135	1,510	0	0,750	0,163	1,500	0	0,950	0,121	1,540
188	0,965	0,330	3,868	250	0,777	0,228	2,195	299	0,958	0,146	1,882
256	1,000	0,312	3,795	267	0,784	0,260	2,595	330	0,977	0,230	3,042
281	1,012	0,402	5,158	295	0,792	0,291	2,872	372	0,988	0,243	3,277
294	1,019	0,438	5,673	320	0,802	0,345	3,460	412	1,003	0,290	3,982
301	1,021	0,431	5,588	336	0,807	0,368	3,716	461	1,022	0,327	4,596
327	1,023	0,436	5,735	362	0,817	0,415	4,252	517	1,040	0,330	4,746
340	1,038	0,448	5,952	390	0,830	0,430	4,490	577	1,057	0,354	5,192
364	1,046	0,512	6,845	465	0,856	0,448	4,852	640	1,064	0,378	5,588
392	1,056	0,490	6,639	570	0,883	0,362	4,096	779	1,042	0,231	3,328
442	1,070	0,508	6,996	603	0,885	0,312	3,202	932	1,027	0,183	2,587
514	1,071	0,511	7,037	630	0,883	0,263	2,690	1026	0,990	0,144	1,948
538	1,066	0,478	6,531	734	0,853	0,212	2,071	1158	0,983	0,132	1,761
554	1,062	0,439	5,992	783	0,838	0,172	1,648	1213	0,981	0,170	2,272
583	1,053	0,402	5,423	995	0,799	0,141	1,145	1280	0,980	0,138	1,838
615	1,045	0,371	4,954	1342	0,781	0,133	0,919	1502	0,975	0,107	1,415
737	1,017	0,246	3,183	1492	0,777	0,154	1,059	1974	0,967	0,112	1,456
814	1,002	0,116	1,174	—	—	—	—	2198	0,964	0,090	1,176
880	0,991	0,151	1,515	—	—	—	—	—	—	—	—
901	0,988	0,150	1,500	—	—	—	—	—	—	—	—

где x_j и x_{i-1} заменяется на x_{3i} и x_{3i-1} — расстояния до i -й и $(i-1)$ -й вертикалей, а u_i , u_{i-1} — средние значения скоростей на i -й и $(i-1)$ -й вертикалях, вычисленные по (2).

На урезах значения средних скоростей принимались равными нулю; $H(x)$ — прямая, проведенная через точки (x_{3i}, h_{0i}) и (x_{3i-1}, h_{0i-1}) .

В результате экспериментальных исследований получено распределение осредненных продольных и средних в сечении скоростей в трех гидрометрических створах при установившемся движении (табл. 2), а также значения средних в сечении продольных скоростей, расходов и глубин при неустановившемся движении в тех же створах (табл. 3).

Таким образом, в результате выполненных исследований получены экспериментальные данные по распределению продольных осредненных скоростей в гидрометрических створах естественного водотока и средних по сечению при неравномерном и неустановившемся движениях воды, а также данные изменения уровней и расходов при прохождении волны попуска в створах. Они могут быть использованы для оценки математических моделей движения, применяемых при прогнозировании уровней и расходов в проектируемых и существующих водотоках для обоснования многих инженерных решений, принимаемых при создании водохозяйственных систем, а также в других случаях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приборы для измерения скоростей движения воды/ В.П.Рогуневич, А.А. Осипович, В.Ф.Янголь, Л.П.Каравай. — В кн.: Гидротехника и мелиорация. М., 1978, № 5, с. 68–70.
2. Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н. Сплаины в вычислительной математике. — М., 1976, с. 83–95.

УДК 532.5013

А.Л.АЗАНОВИЧ (ЦНИИКИВР)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В РЕКЕ ОРЕССЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ

Река Оресса протекает по территории Минской области БССР и впадает в реку Птичь. Строительство водохранилища около г.п. Любань обеспечило регулирование ее стока. Ниже Любанского водохранилища с целью выращивания товарной рыбы был создан рыбхоз "Любань". Полезная емкость его составляет 35 млн.м³. Площадь зеркала — 2250 га. Средняя глубина водохранилища 3 м; прудов — 2 м. В состав рыбоводного хозяйства входят 211 прудов. Самыми крупными прудами являются нагульные (общая заливная площадь 2046,7 га, т.е. 84 % от общей заливной площади прудов рыбоводного хозяйства, полезная емкость 33,76 млн.м³)*.

* Вследствие этого при расчете водного режима р. Орессы в первом приближении влиянием оставшихся прудов рыбхоза можно пренебречь. В дальнейшем под словом "пруды" понимаются только нагульные.