

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.552

О.Д.Шаутидзе, Дж. В.Носелидзе, Ш.А.Момцемлидзе

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОДОЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ
ПО ГЛУБИНЕ ПОТОКА Р. РИОНИ**

Государственный университет Акакия Церетели, Грузия, 4600, г. Кутаиси, ул. Царицы Тамары, 59, e-mail: ramazim@mail.ru

Представлены результаты экспериментального исследования продольной составляющей скоростей течения по глубине потока р. Риони в районе с. Сакокекидзе. Дано сопоставление полученных результатов с материалами расчетов по различным эмпирическим формулам.

К л ю ч е в ы е с л о в а: река; скорость течения; эксперимент; сопоставление.

Для решения любых водохозяйственных задач (проведение нефте- и газопроводов, мостовых переходов и других мероприятий) требуется характеристика скоростного режима водного объекта.

Измерение фактических скоростей течения на водотоках и водоемах России и стран ближнего зарубежья относится в основном к 60 – 80-м гг. прошлого столетия. В настоящее время такие измерения фактически отсутствуют. Рядом исследователей неоднократно делались попытки установления зависимостей между фактическими (измеренными) скоростями течения на водных объектах с расчетными величинами, полученными по различным формулам (Базена, Караушева и др.). Наличие таких связей позволяет ограничиться расчетными характеристиками без измерения фактических скоростей течения. Для р. Риони, как впрочем, и для других рек Грузии, такой подход является актуальным и желаемым в связи с создавшимся экономическим положением.

В настоящей работе рассматриваются результаты двух экспериментов. В ходе первого эксперимента изучалось распределение продольной составляющей скоростей течения на 6 вертикалях по живому сечению р. Риони, а в ходе второго эксперимента – на 5 вертикалях вдоль песчаных гряд. Измерения продольной составляющей скорости проводились синхронно в 5 точках на каждой вертикали (рис. 1).



Рис. 1. Схема проведения экспериментов

Распределение скоростей по глубине потока является важной характеристикой, зависящей от таких факторов, как абсолютное значение средней скорости потока, глубины, шероховатости и формы русла, уклона водной поверхности, интенсивности турбулентности и вязкости воды. В связи с множеством факторов, влияющих на распределение скорости по глубине потока, до сих пор не получена формула, отражающая реальность.

Гидрология

Для расчета распределения скорости по вертикали речного потока обычно пользуются эмпирическими или полуэмпирическими формулами. Для средней части глубины потока большая часть этих формул дает соответствие с опытными кривыми. Значительное расхождение между формулами различного рода имеет место в придонном слое потока и на его поверхности.

Гидравлические характеристики потока представлены в табл. 1.

Таблица 1

Гидравлические элементы потока на участке р. Риони – с. Сакочакидзе в период выполнения экспериментов

Характеристика потока	Эксперимент №1						Эксперимент №2				
	№ вертикали						№вертикали				
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V
Глубина на вертикали Н, м	2.0	1.90	2.53	2.78	2.7	2.50	3.10	2.85	2.80	2.90	3.0
Площадь живого сечения F, м ²			300				321				
Ширина реки В, м			150				151				
Ср. глубина потока $h_{ср.}=F/B$, м			2.00				2.13				
Расход воды Q, м ³ /с			160				207				
Ср. скорость потока $\bar{U}=Q/F$, м/с			0.53				0.64				
Ср. скорость на вертикали \bar{U} , м/с	0.36	0.64	0.67	0.75	0.7	0.43	0.79	0.78	0.68	0.76	0.73
Динамическая скорость V_* , см/с	9	9	10	10	10	10	12	11	10	11	11
Температура воды t, °C			22.6				23.6				
Уклон водной поверхности I			0.0004				0.0004				
Шероховатость русла n			0.059				0.064				
Коэффициент Шези C, м ^{1/2} /с			20.9				18.8				
Число Рейнольдса $Re \cdot 10^{-6}$			1.70				2.11				
Число Фруда $F_r = \bar{U} / \sqrt{gH}$			0.13				0.12				

Предложено много эмпирических кривых распределения скоростей на вертикали, причем самого разного вида. Большинство исследователей пытались найти зависимость $\bar{U} = f(H)$ в виде параболы 2-го порядка, гиперболы, эллипса, логарифмики и т.д.

Широкое распространение получило эмпирическое уравнение Базена:

$$\bar{U} = U_0 - m \sqrt{hI} \xi^2, \quad (1)$$

где I – уклон водной поверхности; U_0 – поверхностная скорость на вертикали; m – эмпирический параметр: по Базену $m=24,0$; по Бусоннеско $m=22,3$; по Караушеву $m=0,36C+0,3$, C – коэффициент Шези; H – глубина на вертикали; ξ – относительная глубина (h/H); h – расстояние от поверхности воды до точки измерения.

Степансом – Коллупайло была предложена формула для профиля скорости в виде параболы с вертикальной осью [1]:

$$\bar{U} = \alpha(H-h)^{n/0.15}, \quad (2)$$

где n – коэффициент шероховатости, α – эмпирический параметр.

А. В. Караушев [4] предложил эмпирическое уравнение распределения скорости по глубине потока, которое имеет вид

$$\bar{U} = U_0 \sqrt{1-P\xi}, \quad (3)$$

где $P = m\bar{U}^2/C U_0^2$; m – функция коэффициента Шези (C); $m=0,7C+6$; если $C>60$, то $m=\text{const}=48$; \bar{U} – средняя скорость на вертикали.

Таблица 2

Гидрология

Значения числа Кармана, рассчитанные по формуле $\acute{\alpha} = 2/1 + \varphi_* + 0.30$

№ вертикали	Эксперимент № 1				Эксперимент № 2			
	Н, м	\bar{U} , см/с	V_{*} , см/с	$\acute{\alpha}$	Н, м	\bar{U} , см/с	V_{*} , см/с	$\acute{\alpha}$
I	2.0	36	8.9	0.69	3.10	79	11.6	0.56
II	1.90	64	8.7	0.54	2.85	78	10.9	0.55
III	2.50	67	9.9	0.56	2.90	68	11.0	0.58
IV	2.77	75	10.4	0.54	2.80	76	10.8	0.55
V	2.80	71	10.5	0.56	3.00	73	11.0	0.56
VI	2.60	43	10.1 Ср.	0.68 0.60				0.56

Хорошее сходство расчетных результатов с фактическими данными дают уравнения логарифмического типа. Из всех предложенных логарифмических формул (Ясмунда, Никурадзе, Кармана, Великанова и др.) наиболее обоснованна формула, вытекающая из эмпирической теории турбулентности Прандтля – Кармана [1;2]:

$$\bar{U} = 2.3 V_* / \acute{\alpha} \lg Z + C, \quad (5)$$

где Z – расстояние от дна до точки измерения; $\acute{\alpha}$ – постоянная Кармана, для труб равная 0,38- 0,40; V_* – динамическая скорость или «скорость трения», определяемая по формуле

$$V_* = \sqrt{\tau / \rho}. \quad (6)$$

Для равномерных потоков V_* можно вычислить по формуле:

$$V_* = \sqrt{G H I}, \quad (7)$$

где τ – касательное напряжение у дна, ρ – плотность воды.

Исследуя постоянную Кармана, Г. В. Железняков [3] установил, что $\acute{\alpha}$ не является постоянной, для ее определения предложил формулу

$$\acute{\alpha} = 2/1 + \varphi_* + 0.30, \quad (8)$$

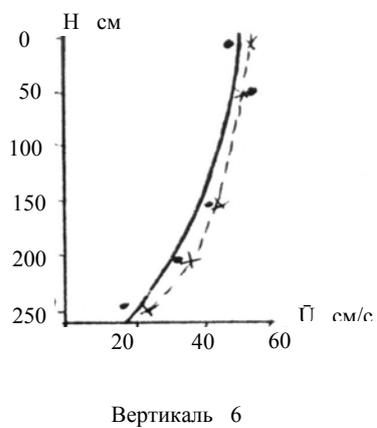
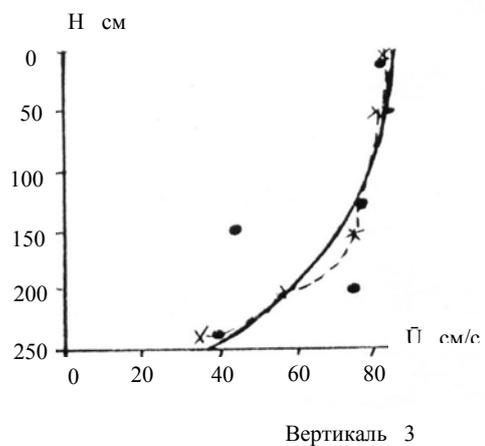
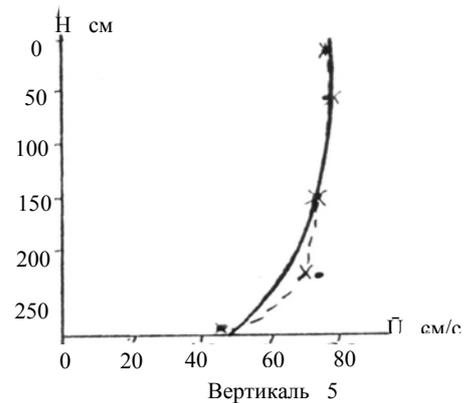
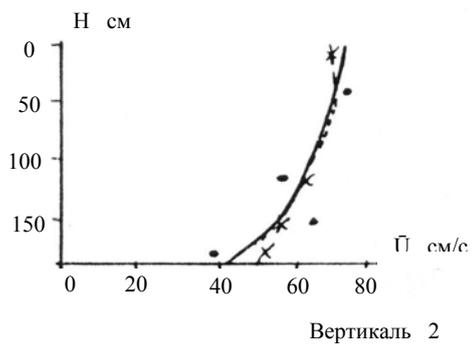
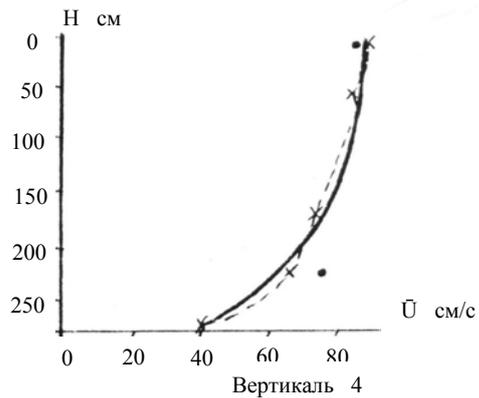
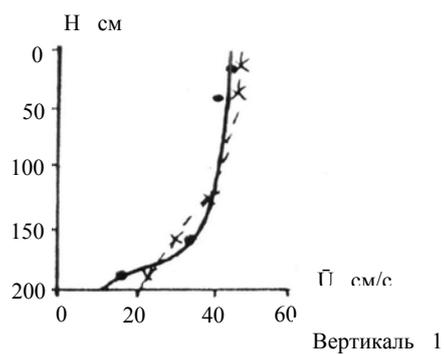
где $\varphi_* = \bar{U}_{\text{ср}} / V_*$ (табл. 2).

Расчетная кривая хорошо согласуется с кривой, измеренной по всей глубине потока. Эпюры скоростей на рис. 2 и 3 имеют плавный ход и могут быть разделены на две зоны: зона больших градиентов скорости (дно - 0,5 Н) и зона малых градиентов скорости (0,5Н-поверхность) (табл. 3).

Таблица 3

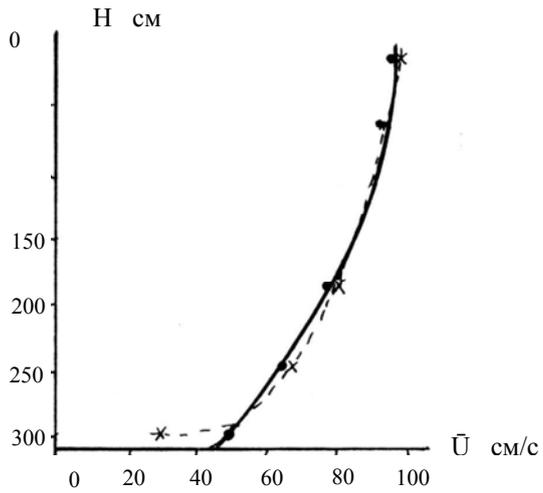
Измеренные и расчетные значения скорости потока на вертикали по логарифмическому закону

Вертикаль	Эксперимент №1					Эксперимент №2				
	Глубина Н, м	Точка измерения, см	Измеренная скорость U, см /с	Расчетная по формуле. U, см/с	% отклонения	Глубина Н, м	Точка измерения, см	Измеренная скорость U, см/с	Расчетная по формуле U, см/с	% отклонения
I	2.00	пов. 1	44	46	4	3.1	пов. 1	96	98	2
		0.2 40	40	45	12		0.2 62	94	94	0
		0.6 120	39	39	0		0.6 186	78	80	2
		0.7 160	34	29	15		0.8 248	64	66	3
		Дно. 190	20	24	20		дно. 300	49	30	39
II	1.90	пов. 1	73	73	0	2.85	пов. 1	90	93	3
		0.2 38	74	72	3		0.2 57	93	90	3
		0.6 114	59	64	8		0.6 171	76	79	4
		0.8 152	66	58	12		0.8 228	65	67	3
		Дно. 180	39	45	15		дно. 275	50	36	28
III	2.53	пов. 1	82	83	1	2.80	пов. 1	74	79	7
		0.2 51	86	81	6		0.2 56	78	78	0
		0.6 152	44	76	---		0.6 168	71	68	4
		0.8 200	76	59	22		0.7 224	60	60	0
		дно. 243	43	35	18		дно. 270	42	38	9
IV	2.78	пов. 1	84	87	4	2.90	пов. 1	83	89	7
		0.2 56	86	84	2		0.2 58	86	86	0
		0.6 167	73	74	1		0.6 174	77	76	1
		0.8 222	74	66	11		0.7 232	66	66	0
		дно. 268	42	42	0		дно. 280	60	41	32
V	2.78	пов. 1	77	78	1	3.00	пов. 1	82	85	4
		0.2 56	74	76	3		0.2 60	89	82	8
		0.6 167	73	72	1		0.6 180	74	70	5
		0.8 222	73	71	3		0.8 240	57	57	0
		дно. 268	46	47	2		дно. 290	47	25	47
VI	2.50	Пов. 1	49	53	8					
		0.2 50	54	51	6					
		0.6 150	43	45	5					
		0.8 200	34	37	9					
		Дно. 240	19	21	10					

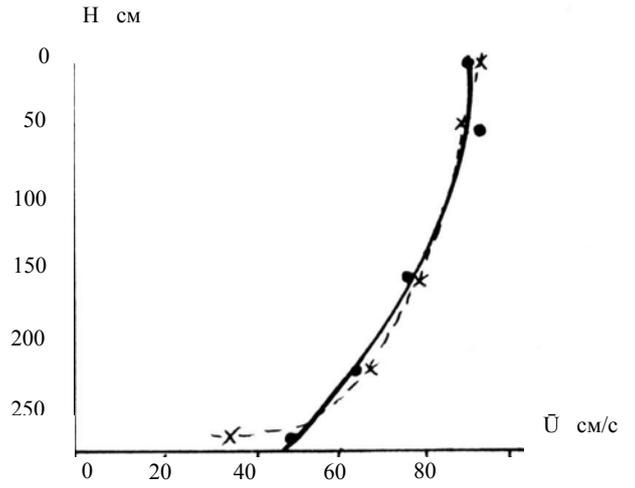


————— Кривая по измер. точкам
 - - - - - Кривая по расчет. точкам

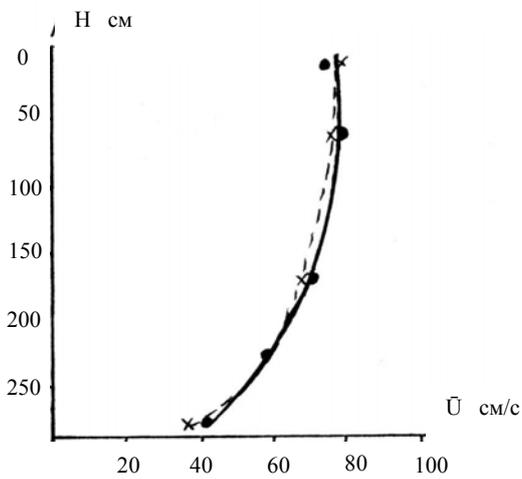
Рис. 2. Эпюра скоростей измеренных и расчетных величин р. Риони с. Сакочакидзе
 (эксперимент №1)



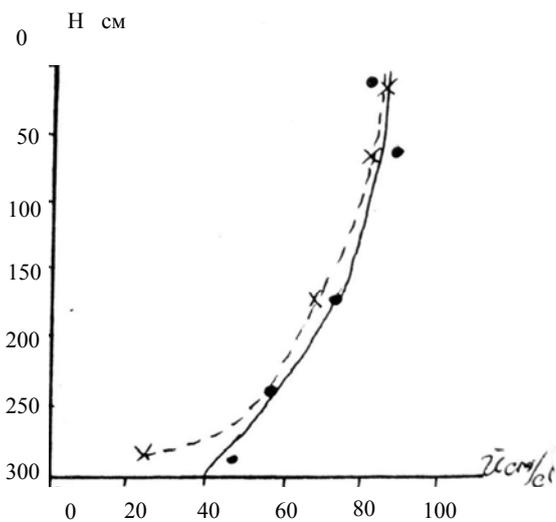
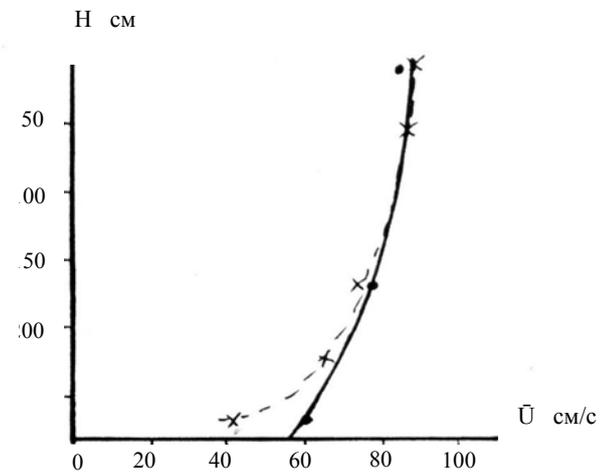
Вертикаль 1



Вертикаль 2



Вертикаль 3



Вертикаль 5

————— Кривая по измер. точкам
 - - - - - Кривая по расчет. точкам

Рис. 3. Эпюра скоростей измеренных и расчетных величин р. Риони с. Сакочакидзе (эксперимент №2)

Расхождение расчетной кривой с фактической составляет не более 12%, что следует признать хорошей сходимостью. Расчеты по другим формулам дали менее удовлетворительные результаты.

Библиографический список

1. *Великанов М. А.* Динамика русловых потоков. М.: Гостехиздат, 1954, 323с.
2. *Гришанин К. В.* Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 143с.
3. *Железняков Г. В.* Теоретические основы гидрометрии. Л.: Гидрометеиздат, 1968, 291с.
4. *Караушев А. В., Козлянинков С. В.* Опыт экспериментального изучения турбулентности естественного потока // Труды ГГИ. Л.: Гидрометеиздат, 1974. Вып. 2 (56). С. 50-62.
5. *Шаутидзе О. Д.* Некоторые итоги руслового процесса р. Риони // Сб. работ по гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1978. № 14. С. 103-126.

Otari Shautidze, Jondo Noselidze, Shorena Momcemlidze EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DISTRIBUTION LONGITUDINAL COMPONENT OF SPEEDS OF CURRENT ON DEPTH OF RIONI RIVER

Received fathom is compared to calculation size with Gaze, Korausevi and Prandtl-Karmanis empirical formulas. The speed empirics receiving used with Prandtl-Karmanis half empirical formula is agreement to fathom greatness well. The remained formulas offer dig differences. Ten speed empirics maybe divide the high gradient zone (bottom-0.5 H) and the low gradient zone (surface- 0.5 H).

K e y w o r d s: river; speed of current; experiment; comparison.