

Библиографический список

1. *Абдуев М.А.* Жесткость речных вод Малого Кавказа // Труды Азербайджанского Географического общества. Т. X. Баку, 2006. С. 448–452 (на азерб. языке).
2. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
3. *Геология Азербайджана. Т. VIII.* Гидрогеология и инженерная геология. Баку, 2008. 379 с.
4. *Гидрохимический бюллетень ГГМ по окружающей среде.* 1995–2010 гг. Баку, 2010.
5. *Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Ч. 1. Реки.* Баку, 1980–1994.
6. *Лучишева Л.Л.* Практическая гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 423 с.
7. *Микей Н.И.* Характеристика общей жесткости речной воды на территории СССР. Труды ГГИ, вып. 17, 1949. 49 с.
8. *Ресурсы поверхностных вод СССР.* Л.: Гидрометеиздат, 1971. Т. 9. Вып. 4. 227 с.
9. *Рустамов С.Г.* Гидрохимический режим рек Азербайджана // Изв. АН Азерб. ССР. Серия. Геолого-географические науки. 1958. №5. С. 115–127.
10. *Рустамов С.Г., Кашкай Р.М.* Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1989. 180 с.

М.А. Abduev

THE HARDNESS OF RIVER WATERS IN AZERBAIJAN

To study the hardness of river waters the period from 1950 to 2010 was selected. A direct relationship between mineralization and total hardness was revealed. The resulting relationships can be used to calculate the total hardness of unexplored rivers of the studied area.

К e y w o r d s : water hardness; total hardness; water quality; chemical runoff; disposable stiffness.

Abduev Mahammad Abdu, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Azerbaijan; AZ1143, Azerbaijan, Baku, H. Javid Avenue 31; abduyevm@gmail.com

УДК 532.57

Д.Е. Клименко

**К ВОПРОСУ О ЕДИНСТВЕ МЕТОДОВ ГРАДУИРОВКИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ
ВЕРТУШЕК В ОБЛАСТИ МАЛЫХ СКОРОСТЕЙ**

Измерение малых скоростей течения является ответственной задачей при учете минимального стока рек. Модернизация наблюдательной сети Росгидромета и смена методики градуировки гидрометрических вертушек обусловили ряд спорных вопросов в отношении качества результатов поверки и сопоставимости методик. Массовое внедрение приборов, поверенных по новой методике, может вести к неоднородностям многолетних рядов характеристик минимального стока. Приводятся результаты опытных испытаний гидрометрической вертушки в различных поверительных устройствах и сравнительного анализа опытов; рассматриваются причины завышений показаний прибора в области малых скоростей.

К л ю ч е в ы е с л о в а : гидрометрическая вертушка; индивидуальная функция преобразования (ИФП); малые скорости течения жидкостей; тарировочная кривая.

© Клименко Д.Е., 2013

Дмитрий Евгеньевич Клименко, кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; klimenkodi@rambler.ru

Введение

Методы градуировки средств измерения (СИ) скоростей течения жидкостей

Градуировкой принято называть комплекс испытаний, в результате которых устанавливается индивидуальная функция преобразования (ИФП) между показаниями прибора и действительной скоростью движения жидкости. До недавнего времени в России применялось несколько типов компараторных установок: 1) кольцевой тарировочный бассейн; 2) тарировочный лоток Урываева (ГР-19); 3) установка компараторная для поверки гидрометрических вертушек (УКПГВ¹) (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид лотка Урываева (ГР-19) и УКПГВ (фото автора)

В настоящее время в системе Росгидромета произошел переход от методов поверки в лотках Урываева и ручной обработки данных к компараторам нового типа; лотки типа ГР-19 в России практически повсеместно заменены УКПГВ [1]. Данный переход обусловлен принятием Правительством РФ проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета»², одной из задач которого является техническое перевооружение наземной сети наблюдений. С переходом на новые средства измерений произошла закономерная смена ряда методик (в частности, разработаны рекомендации Р 52.08.702–2009 «Вертушки гидрометрические речные. Методика поверки в установке компараторной для поверки гидрометрических вертушек» [2]). В связи с этим стали отмечаться случаи, в которых результаты градуировки в соответствии с [2] не увязываются с аналогичными результатами, полученными с помощью ранее применённых методов, а получаемые ИФП вертушек в области малых скоростей противоречат гидромеханической теории работы прибора (в т. ч. требованиям [3;4;5]).

Следует подчеркнуть, что внедрение новой методики поверки произошло на сети без переходного периода, в течение которого было бы возможно проведение серии сопоставительных экспериментов. Данное обстоятельство может вести к погрешностям в учете стока на гидрологических постах, появлению ложной неоднородности многолетних рядов минимального стока, что в конечном итоге скажется на качестве водохозяйственных расчетов для объектов разного назначения (системы водоснабжения, канализации, водохранилища и т.д.).

Гидромеханическая характеристика гидрометрических вертушек

Работа гидрометрической вертушки характеризуется зависимостью $v=f(n)$, где v – скорость течения жидкости, n – число оборотов лопастного винта, и при отсутствии сопротивлений выражается уравнением

$$v = k_2 \times n, \quad (1)$$

где k_2 – геометрический шаг винта. В диапазоне от критической скорости v_k до скорости верхнего предела измерений $v_{в.н}$ ИФП прямолинейна, влияние механических сопротивлений на число оборотов ротора стабильно $u \, dv/dn \approx const^3$ [6]. Прямолинейная часть ИФП не пересекает начало координат и

¹ Производство УКПГВ осуществляется в ФГУП «Гидрометеоприбор», г. Санкт-Петербург.

² Для реализации проекта в МБРР получен займ в размере 80 млн долл. США.

³ В действительности ИФП не вполне прямолинейна, однако в области рабочих скоростей (до 5 м/с) отклонения ее от асимптоты не превышают 3%.

гидравлический шаг выражается как $k = \frac{v-a}{n}$, где a – постоянная, определяемая опытным путем. В случае $v < v_k$ ИФП криволинейна (отклонения ИФП от прямой больше точности измерений), а dv/dn и гидравлический шаг являются переменными величинами (рис. 2). Эту область в дальнейшем будем называть областью малых скоростей (ОМС).

В пределах ОМС (при $v < v_k$) ИФП характеризуется функцией

$$v = v_0 + a \times n_2, \quad (2)$$

где v_0 – начальная скорость, при которой ротор начинает неустойчиво вращаться [6]; a – постоянная для данного прибора; n – число оборотов.

Выше v_k ИФП имеет вид

$$v = v_k \times (n - b) + a, \quad (3)$$

где v_k – точка сопряжения функций (1) и (2); b – постоянная для данного прибора.

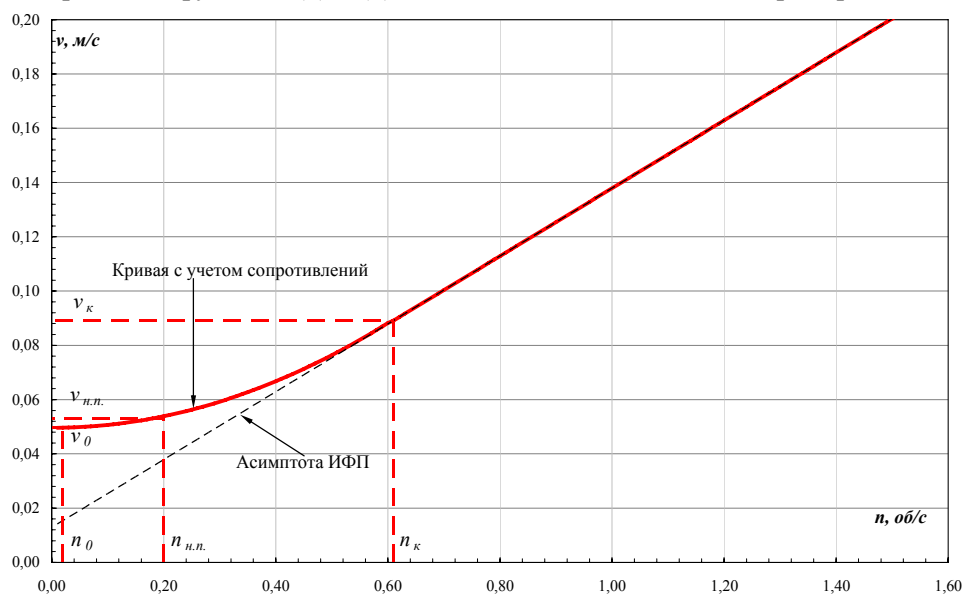


Рис. 2. Градуировочная кривая (ИФП) гидрометрической вертушки ГР-55 (диаметр винта 70 мм), поверенной в лотке Урываева (ГР-19): v_k – критическая скорость; $v_{н.п.}$ – скорость нижнего предела применимости; v_0 – начальная скорость; $n_k, n_{н.п.}, n_0$ – соответствующие указанным скоростям числа оборотов лопастного винта

В диапазоне скоростей от v_0 до v_k находится скорость нижнего предела применимости $v_{н.п.}$, при которой вращение ротора становится устойчивым и которая соответствует удвоенной начальной скорости вертушки v_0 (для отечественных вертушек – от 0,02 до 0,05 м/с). Относительные погрешности измерения в диапазоне от $v_{н.п.}$ до v_k (криволинейная часть ИФП) должны быть не более 5% [3]; при скоростях менее $v_{н.п.}$ величины предельных погрешностей достигают 10% [6] или 15% [5]. В действительности погрешности измерений оказываются большими.

Результаты опытных испытаний вертушки ГР-55 (диаметр винта 70 мм) в компараторах разного типа

Основными целями производства испытаний прибора в области малых скоростей являлись: выяснения причин расхождений ИФП одного и того же прибора, поверенного с использованием разных методик; определение фактических и допустимых величин расхождений и ошибок измерения в пределах ОМС.

Суть опыта заключалась в сопоставлении результатов градуировки СИ, выполненной в лотке ГР-19 и в УКПГВ. Опыты произведены в соответствии с требованиями ГОСТ 8.486-83 [5], согласно которому эталоном являлась вертушка ГР-55, поверенная в градуировочном бассейне ГГИ по методике [7]. Для эталона допустимая относительная погрешность составляет 3%, для рабочих СИ – 15% во всем диапазоне скоростей от 0,02 до 5,0 м/с (п.п. 2.2, 2.3 ГОСТ 8.486-83). Единство технических условий поверки соблюдено путем выполнения требований ГОСТ 15126-80 и условий эксплуатации, отраженных в паспорте СИ (ввиду необходимости сравнения двух методик) [3;4;5;8]. Градуировка выполнялась в аттестованных лотках ГУ «Свердловский ЦГМС-р» на договорной основе.

Результаты поверки выражаются ИФП. Для случая поверки в лотке Урываева уравнения имеют вид:

$$v = 0,0516 + 0,1072 \times n^2 - \text{для } n < 0,61; \quad (4)$$

$$v = 0,1250 \times (n - 0,7187) + 0,1072 - \text{для других чисел оборотов.} \quad (5)$$

Для случая поверки в УКПГВ:

$$v = 0,0460 + 0,0890 \times n - \text{для } n < 0,71; \quad (6)$$

$$v = 0,0180 + 0,1270 \times n - \text{для других чисел оборотов.} \quad (7)$$

Графически ИФП, полученные двумя способами, представлены на рис. 3. На график нанесены функции зависимости отклонений ИФП друг от друга и допустимых отклонений от числа оборотов ротора.

Как видно из сопоставления ИФП, фактические отклонения превышают допустимые в диапазоне скоростей от 0,06 до 0,12 м/с (т.е. от нижнего предела применимости вертушки до критической скорости). Максимальная величина отклонений составляет 22% в диапазоне скоростей от 0,07 до 0,08 м/с, что превышает допустимую ГОСТ 15126-80 величину отклонений для вертушек данного типа в 5% (согласно требованиям ГОСТ 8.486-83 предельная относительная погрешность рабочих СИ не должна превышать 15%) [3;4]. Начиная со скорости 0,12 м/с отклонения кривых составляют менее 10%; а со скорости 0,15 м/с отклонения – менее 5% (что соответствует требованиям ГОСТ 15126-80).

Следует отметить, что отклонения во всем диапазоне ОМС положительные (т.е. при использовании результатов поверки, выполненной по методике [2], скорости будут завышены в среднем на 16%, при наибольшей величине – 22%). Если учесть, что малые скорости течения являются рабочими в меженные периоды на большинстве рек, то с введением новой методики вероятно повышение величин минимального стока.

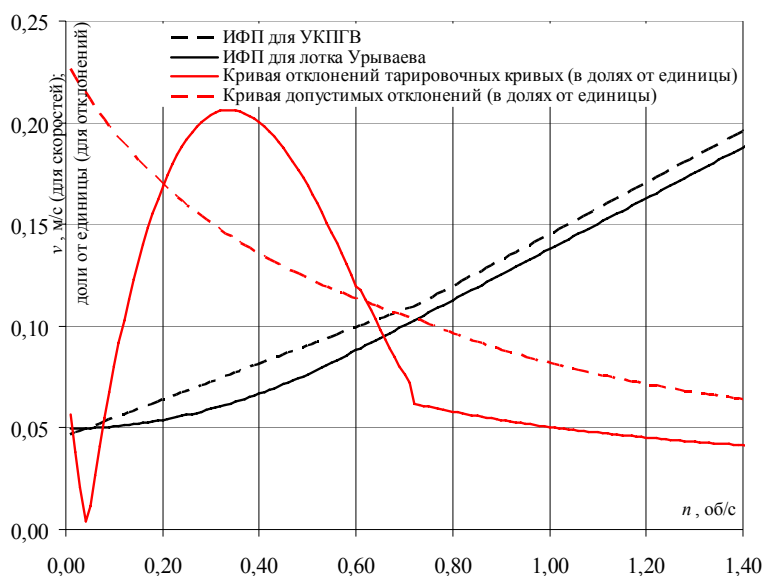


Рис. 3. Совмещенные ИФП (полученные по результатам градуировки в лотке Урываева и в УКПГВ) и кривые фактических и допустимых отклонений кривых для гидрометрической вертушки ГР-55

Проведенный анализ сделан на основании сравнения двух ИФП для одной вертушки. Как видно из результатов, полученных в УКПГВ, нижняя часть ИФП до v_k характеризуется прямой, соединяющей точки $(n_0; v_0)$ и $(n_k; v_k)$, что противоречит гидромеханической теории работы вертушек [6] (согласно опытным данным и в соответствии с методикой [2]). При этом первое слагаемое уравнения (6), по сути отражающее величину v_0 , соответствует этой величине по уравнению (4) (0,0460 и 0,0516 м/с соответственно, расхождение 11,4 %). Множитель второго слагаемого уравнения (7) и множитель первого слагаемого уравнения (5), отражающие величину v_k , также весьма близки (0,127 и 0,125 м/с соответственно, расхождение 1,6%).

Таким образом, новая методика частично возвращается к упрощенным ИФП, использовавшимся метрологическими службами России и Швейцарии до 1936 г. [9].

Важным фактом является то, что современные вертушки эксплуатируются в комплекте с преобразователем сигналов ПСВ-1, пришедшим на смену электрической сигнализации («звонкам»). Принцип работы преобразователя сводится к счету сигналов, поступающих с прибора, и определению скорости течения по уравнению ИФП, внесенной в его память. В память ПСВ-1 вносится единое уравнение ИФП для всего диапазона рабочих скоростей (от v_0 до 5 м/с); нижняя часть ИФП (при скоростях менее v_k) при этом вовсе игнорируется. Вопросы точности определения малых скоростей течения с использованием измерителя скорости потока и ПСВ-1 требуют отдельных исследований.

Пути минимизации негативных последствий перехода на новую методику

Как показано выше, завышение измеряемых малых скоростей скажется, прежде всего, на однородности многолетних рядов минимального стока (возможно появление ложных положительных трендов), а значит, на точности водохозяйственных расчетов. Возможные пути минимизации негативных последствий следующие:

1. Организация на ряде постов Росгидромета параллельных (поочередных) многолетних измерений расходов воды с использованием пары приборов, градуировка которых выполнена с использованием «старой» и вновь введенной методик; анализ полученных результатов.

2. Проведение комплекса экспериментальных полевых градуировок вертушек в речных условиях (условия турбулентного потока); сопоставление с результатами градуировки в прямолинейном лотке ГГИ.

3. Разработка путей аппроксимации параболаобразного участка градуировочной кривой системой линейных уравнений.

Выводы

1. Учитывая трудности в учете минимального стока рек (в особенности в зимний период) и большие погрешности измерений при малых скоростях течения, должны предъявляться высокие требования к точности приборов и к обеспечению единства методов измерений и градуировок. Смена методик может вести к ложной неоднородности временных рядов характеристик минимального стока.

2. В связи с внедрением в 2005 г. проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета» произошла смена методов и средств градуировки гидрометрических вертушек. Принятая методика принципиально отличается от ранее существовавшей в части описания ИФП в области малых скоростей: ранее ИФП описывалась ветвью параболы, в настоящее время – прямой линией (рис. 3).

3. Наибольшие отклонения ИФП, установленные различными методами, в пределах ОМС достигают 22%; средние – 16%. Эти величины существенно превышают средние и допустимые погрешности измерений, установленные ГОСТ 8.486-83 и ГОСТ 15126-80 (15% и 5% соответственно). Погрешности связаны с несовместимостью методов градуировки. При постоянстве вида ИФП в диапазоне от v_0 до v_k (0,10-0,12 м/с) погрешность может являться систематической для большого числа СИ.

4. Необходима постановка серии опытов для подробного анализа причин погрешностей и совершенствования вновь принятой методики градуировки.

5. В целях соблюдения единства методов градуировки СИ необходимы уточнение рекомендаций [2] для нижней части ИФП и проработка вопросов использования ПСВ-1 (внедрение системы уравнений, описывающих криволинейную часть ИФП).

Библиографический список

1. *Гириллович И.А.* Гидрометрия. М.; Л.: Главная редакция строительной литературы, 1937. 326 с.
2. *ГОСТ 15126-80.* Вертушки гидрометрические речные.
3. *ГОСТ 8.486-83.* Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений скорости водного потока в диапазоне от 0,005 до 25 м/с.
4. *ГОСТ 8.009-84* ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
5. *Железняков Г.В.* Теоретические основы гидрометрии. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 291 с.
6. *ПР 50.2.006-94.* Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерений.

7. Р 52.08.70-2009. Рекомендации. Вертушки гидрометрические речные. Методы поверки в установке компараторной для поверки гидрометрических вертушек.

8. РД 52.08.12-97. Методические указания. Вертушки гидрометрические речные типа ГР-21М, ГР-55, ГР-99. Методика поверки в прямолинейном градуировочном бассейне.

9. РЭ УКПГВ.416.441.001. Установка компараторная для поверки гидрометрических вертушек: руководство по эксплуатации.

D.E. Klimenko

ON THE QUESTION OF THE UNITY OF CALIBRATION METHODS OF HYDROMETRIC CURRENT METERS AT LOW SPEEDS

Measurement of low flow rates is an important task, taking into account the minimum river flows. Hydromet Modernization of observation network and change in the grading method of gauging turntables caused some controversial issues regarding the quality and comparability of the results of verification procedures. Mass introduction of instruments tested with the new method can lead to inhomogeneities of long-term series of characteristics of the minimum flow. The author shows the results of experimental tests of the hydrometric vane in different поверительных devices and comparative analysis of the experiments and presents the causes of inflated readings at low speeds.

К е у в о р д с : hydrometric vane; individual transfer function (FPI); small flow rate of liquids; calibration curve.

Dmitriy E. Klimenko, Candidate of Geography, Associate Professor of Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State National Research University; 15 Bukireva, Perm, Russia, 614990; klimenkodi@rambler.ru

УДК 551.48

Д.Г. Сазонова, А.Б. Китаев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ «ГИДРОГРАФ ГГИ-2001» ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИТОКА ВОДЫ В КАМСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Рассмотрена возможность применения математической модели «Гидрограф ГГИ-2001» для оценки притока воды в Камское водохранилище. Дано физико-географическое описание района исследования, представлена схематизация бассейнов, дано описание основных параметров модели, подготовки входной и проверочной информации, представлены результаты моделирования притока воды в Камское водохранилище, дана оценка применимости модели.

К л ю ч е в ы е с л о в а : водохранилище; приток воды; модель.

В настоящее время, в связи с развитием техники, увеличением потребностей производственной деятельности человека, наука нуждается в усложнении методологической базы исследований. Это

© Сазонова Д.Г., Китаев А.Б., 2013

Сазонова Дарья Григорьевна, магистр кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; hydrology@psu.ru

Китаев Александр Борисович, кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990 Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; hydrology@psu.ru