

К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕРТУШЕК В СТРАНАХ МИРА

© 2010 г. Д.Е. Клименко

Пермский государственный университет, г. Пермь

Ключевые слова: гидрометрическая вертушка, current meter (метр потока), рекомендации по выбору гидрометрической вертушки, история гидрометрии, Альберт Отт.



Гидрометрическая вертушка является наиболее развитым и распространенным прибором для измерения скоростей течения в реках и каналах во всем мире (несмотря на активное развитие в последние годы приборов, основанных на индукционных токах М. Фарадея или эффекте К. Доплера). История прибора насчитывает более двух веков. В работе рассматриваются основные тенденции развития гидрометрического приборостроения в странах мира, история появления и развития устройства по направлениям оптимизации основных компонентов прибора. Выполнены анализ и сопоставление современных гидрометрических вертушек, выпускаемых в мире.

Методы измерения скоростей течения в реках и каналах

Гидрометрической практике на сегодняшний день известно множество принципиально разных методов определения скоростей течения в реках и каналах. Все многообразие методов принято классифицировать следующим образом (Гириллович И.А., Быков В.Д., Васильев А.В., Орлова В.В., Железняков Г.В., Карасев И.Ф. и др.) [1, 2, 3, 4, 5].

Методы, основанные на:

1. регистрации числа оборотов лопастного винта (ротора);
2. регистрации скорости плавущего тела;
3. регистрации скоростного напора;
4. регистрации силового воздействия потока;
5. на принципе теплообмена;
6. измерении объема воды, вошедшей в прибор за время наблюдения (батометры-тахиметры В.Г. Глушкова, 1932 г);
7. применении ультразвука;
8. использовании электромагнитной индукции в индукционных катушках;
9. использовании Доплеровского эффекта.
10. Методы ионного паводка.

Появление и развитие гидрометрической вертушки

Наибольшее распространение получил способ регистрации скоростей с использованием вращающегося ротора или лопастного винта, предопределивший развитие гидрометрических вертушек. На «вертушечных» измерениях практически полностью базируется Государственная система учета вод в России и других странах мира. Массовое распространение вертушек привело к замедленному развитию других приборов. К настоящему времени в мировой практике накоплено большое разнообразие приборов данного типа, различающихся по определенному перечню параметров.

Создателем гидрометрической вертушки принято считать немецкого гидротехника Рейнгарда Вольтмана (1767–1837), применившего прибор в 1790 г. для определения скоростей течения р. Эльба.

Вертушка Р. Вольтмана (рис. 1) состояла из крыльчатки в виде четырех пластин, наклоненных к плоскости вращения, закрепленных спицами на горизонтальной оси вертушки. Вращающаяся ось вертушки закреплялась в открытом корпусе и имела червячную передачу, передвигающую шестеренку, установленную на шарнирной раме. С передней стороны по направлению к набегающему потоку ось закреплялась в корпусе при помощи шарикоподшипника, с задней – упиралась в агатовый подпятник. Шарнирная рама при помощи пружины отжималась вниз (нормальное положение), что давало возможность выводить из соединения вращающуюся ось и шестерню. Включение прибора производилось путем поднятия рамы при помощи троса и сцепления шестерни с осью прибора. На окружности шестерни нанесены деления, каждый зубец соответствовал

одному полному обороту крыльчатки вокруг оси, на раме установлен указатель. Таким образом, сумма оборотов определяется разностью начального и конечного отсчетов, снятых с шестерни. Фиксация времени измерений производилась при помощи секундомера.

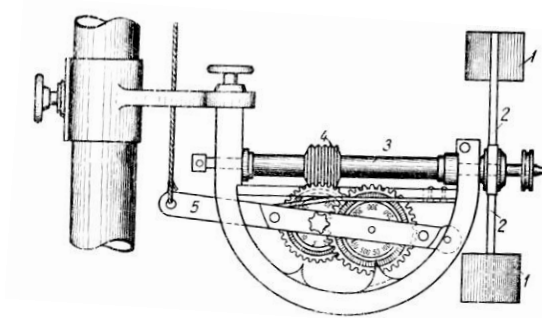


Рис. 1. Механический счетчик Рейнгарда Вольтмана: 1 – крыльчатка; 2 – спицы-держатели; 3 – ось; 4 – червячная нарезка; 5 – шарнирная рама (по [2]).

Механический принцип регистрации числа оборотов лопастного винта, совместно с отсчетами времени работы прибора по секундомеру, довольно скоро был заменен электрической сигнализацией, замыкающей электрическую цепь через определенное число оборотов. Регистрация же времени измерения вплоть до 1950-х годов производилась с использованием секундомера. В то же время механический принцип нашел применение в ряде приборов (измеритель речных струй Н.С. Леявского, вертушка Экмана-Мерца, вертушка морская модернизированная ВМ-М), некоторые из которых используются по сей день.

Основные направления развития гидрометрических вертушек

Развитие гидрометрической вертушки шло по ряду направлений модернизации отдельных частей:

1. Модернизация формы и размера ротора (крыльчатки, «робинзонова креста» с чашечным устройством или лопастного винта): оптимизация (а) компонентного эффекта и (б) инерционности и чувствительности.
2. Оптимизация формы, размеров прибора и стабилизатора направления;
3. Оптимизация принципа формирования выходного сигнала;

4. Разработка и оптимизация счетно-регистрающего устройства;
5. Разработка и оптимизация вспомогательного оборудования.

Модернизация вертушки происходила в целях:

А) Возможности регистрации минимальных скоростей течения и получения достоверных результатов измерений в турбулентных потоках;

Б) безотказной работы:

- при малых глубинах, большой мутности и минерализации воды;
- при косоструйности и пульсации скорости (оптимизация компонентных свойств прибора, чувствительности и инерционности);
- сигнального устройства в разных условиях (морозная погода, влажность и т. д.)

Рассмотрим основные тенденции развития прибора по ряду направлений. Оптимизация формы и размера ротора проходила в следующие этапы.

1. Использование крыльчатки (с лопастями, наклоненными под разным углом к оси) на вращающейся оси (вертушки Р. Вольмана 1790 г., САНИИРИ, Вальфреда Экмана – Мерца, ВМ-М). В настоящее время от использования роторов такого типа почти полностью отказались.

2. Использование чашечного устройства. Чашечные вертушки с вертикальной осью являются основным прибором Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey). Прототипом современных чашечных вертушек стала «вертушка Прайса» с вертикальной осью вращения, закрепленной в подпятниках и имеющей червячную передачу. Верхний конец оси проходит в контактную камеру, помещающуюся над ним, и имеет винтовую нарезку для присоединения к зубчатому колесу выше – эксцентрик.

В СССР начало изготовления вертушек Прайса (с электрической сигнализацией) было положено в 1927 г. Опытно-исследовательским институтом водного хозяйства в Ташкенте (вертушки марки «ИВХ»).

Незначительные отличия от описанной выше конструкции имела применяемая в США в конце XIX в. вертушка системы Эллиса. Она имела четыре конических чашечки, окруженных цилиндрической клеткой.

Сегодня используются вертушки с креплением чашечного ротора как к горизонтальной оси корпуса (USGS TYPE AA MODEL 6200, USGS TYPE AA-MH MODEL 6215), так и к вертикальной оси, что удобно при погружении вертушки в лунки при работах со льда (USGS TYPE AA-ICE MODEL 6240 USGS, USGS TYPE AA-ICE-P

MODEL 6245) [6–8, 9]. Крупнейшим производителем вертушек Прайса является американская компания «Rickly Hydrological Company», США [9]. По сравнению с лопастными винтами, чашечное устройство сохраняет компонентные свойства при любой косине струй. В то же время чашечные приборы фиксируют только максимальную скорость. В мире данный тип ротора получил распространение в США, ряде стран Латинской Америки и Юго-Восточной Азии.

3. Использование лопастного винта. Первый прибор для измерения скоростей, оснащенный лопастным винтом, был разработан в 1875 г. в Математико-механическом институте Альберта Отта (г. Кемптен, Германия).

В конце XIX в., наряду с лопастными вертушками фирмы А. Отта, использовались следующие приборы, аналогичные вертушкам данной фирмы [2, 10]:

- вертушки Альбрехта (г. Мюнхен, Германия);
- вертушки Ганзера (Венгрия, Чехия, Словакия, Австрия);
- вертушки Ришара (Франция);
- вертушки Амслера (Швейцария);
- вертушки Гаскеля и Хоффа (США, вертушка трехлопастная с винтом из резины) и ряд других приборов, аналогичных по принципу действия.

В России первыми аналогами вертушек А. Отта явились следующие приборы [2, 11, 12]:

- вертушка А.И. Крылова «Волга» (1918 г., принцип формирования выходного сигнала этой вертушки нашел отражение во всех моделях 20-оборотных вертушек, выпускавшихся позднее в СССР);
- вертушка Грицука (1927 г, контакт осуществлялся с помощью шарика ртути);
- вертушка В.И. Владычанского – Н.Е. Жестовского.

К концу XIX в. одновременно существовало большое разнообразие моделей гидрометрических вертушек. В странах Европы, Канаде, Австралии и России массовое распространение получили вертушки с лопастным винтом, в США же – чашечные вертушки. Распространение разных типов вертушек в мире определялось колониальной принадлежностью ряда стран, сложившимися торговыми и научными связями между государствами, становлением наблюдательной сети и инженерных изысканий странах мира

По расположению ротора вертушки на оси, приборы можно разделить на консольные (ось неподвижна) и осевые (ось вращается), по расположению оси – с вертикальной и горизонтальной осью.

Рассматривая эволюцию формы и размеров лопастного винта необходимо остановиться на оптимизации компонентного эффекта, инерционности и чувствительности прибора.

Компонентность – способность вертушки измерять местную скорость потока, направленную под углом к оси вращения винта (ротора) вертушки, или проекцию вектора скорости на нормаль к гидроствору [5, 13]. Применяемые в настоящее время гидрометрические вертушки не являются в полной мере компонентными.

Компонентность в значительной степени будет определяться [5, 13]:

- геометрическим шагом лопастного винта (увеличение шага ведет к ухудшению компонентных свойств, но при этом повышается чувствительность);
- диаметром лопастного винта (уменьшение диаметра ведет к улучшению компонентных свойств);
- величиной угла атаки лопастного винта (угол между вектором скорости потока и нормалью к поверхности лопастного винта);
- дисковым отношением (отношение площади проекции винта на плоскость, перпендикулярную его оси вращения к площади круга) [14];
- углом закрутки (угол разворота лопасти);
- относительным диаметром (отношение диаметра винта к его гидравлическому шагу);
- относительной срезкой лопасти (угол, образуемый гранями лопастей в привершинной части винта);
- шероховатостью поверхности винта (которая определяется материалом и покрытием поверхности);
- наличием разного рода струенаправляющих решеток, колец в поле действия винта.

Многообразие факторов предопределило большое разнообразие форм лопастных винтов различных моделей вертушек. Соблюдение факторов оптимизации компонентности непременно ведет к ухудшению инерционности и чувствительности прибора. На рис. 2, приводится модельный ряд лопастных вертушек конца XIX –начала XX вв.

Развитие принципов формирования выходного сигнала гидрометрических вертушек проходило следующие этапы, реализованные в отдельных моделях.

1. Электрический принцип. Вращение лопастного винта передается посредством червячной передачи на шестерню с электрическим контактом (при этом ось может быть подвижной, с червячной передачей, либо неподвижной, с червячной передачей в корпусе лопастного винта). Контакт дает замыкание на массу через определенное число оборотов шестерни. В вертушках данного типа (ГР-21М, ГР-55, вертушки Прайса USGS TYPE AA MODEL 6200, 6210, 6215, 6240, 6245, Отта-V и ряд других моделей, снятых с производства, вертушка «ЛАГУ» и др.) частота поступающих сигналов пропорциональна числу оборотов лопастного винта и количеству зубьев шестерни между замыканиями контакта. Отечественные вертушки, к примеру, дают замыкание через 20 оборотов, вертушка Отта V – через 25 оборотов, вертушки Прайса – через 2–5 оборотов. Преимуществом данного принципа формирования сигнала является безотказность контактного устройства (устройство изолировано от воды, намерзающего льда). Недостатком является то, что прибор фиксирует скорость, осредненную за период, равный нескольким оборотам.

Рис. 2.

По конструкции контактной камеры существуют приборы с масляной (ГР-21М) и воздушной (вертушки Прайса) камерой.

По конструкции контакта существуют приборы, в которых

- контакт осуществляется через металлический (серебряный) штифт, скользящий по окружности изолированного колеса с контактной впайкой;
- контакт осуществляется через контактные впайки в плоскостях трущихся друг о друга дисков.

2. Электролитический принцип (основан на использовании электропроводности воды). Лопастной винт вращается вблизи электрода, изменяя электрическое сопротивление в пограничном слое электрода, образует электрические импульсы, частота которых пропорциональна измеряемой скорости водного потока. Фиксируется каждый оборот лопастного винта. Вертушки данного типа могут иметь неподвижную ось (Микрокомпьютерный расходомер-скоростемер МКРС, измеритель скорости потока ИСП-1, ИСП-1М, ИСП-2, ИСТ), либо вращающуюся в агатовых подпятниках ось (гидрометрическая микро-вертушка ГМЦМ-1, ГР-96). Преимуществом данного принципа является высокая чувствительность, недостатком – прибор перестает работать

при формировании слоя льда на электродах, попадании на электроды песка, повышенной минерализации воды.

Использование однооборотных вертушек потребовало разработки счетчиков числа оборотов лопастного винта. В настоящее время применяют преобразователь сигналов вертушки (ПСВ, ФГУП «Гидрометприбор», г. Санкт-Петербург), преобразователи фирмы ОТТ-Hydrometrie (Z-215, Z-30, Z-21), преобразователь фирмы Rickly Hydrological Company AquaCalc (5000 Digital Flow Computer). Преобразователи совмещают в себе функции счетчика сигналов и секундомера. Преобразователи выдают количество оборотов винта за секунду. Введение параметров тарифовочной зависимости вертушки в память преобразователя позволяет получать на цифровом табло непосредственно скорость течения.

3. Электромагнитный принцип. Постоянный магнит, вращающийся вместе с винтом, на каждом обороте замыкает магнитоуправляемый контакт (геркон), создавая электрический импульс. Последовательность импульсов прямо пропорционально скорости течения. Данный принцип схож с предыдущим. Вертушки данного типа могут быть с вращающейся осью (ГР-99) [15], либо с неподвижной осью (вертушки С-2 и С-31 фирмы ОТТ-Hydrometrie [10, 16], измеритель скорости потока ИСП-1, ИСП-1М, ИСП-2, ИСТ). Принцип регистрации тот же, что и в предыдущем пункте.

Рассматривая принципы формирования выходного сигнала, следует отметить, что, не меняя конструкции ротора и корпуса вертушки, зачастую электрический принцип преобразуют в электромагнитный (подобные преобразования используют как в России, так и в США).

Отличительной особенностью контактного преобразователя отечественных вертушек от вертушек системы Прайса является то, что контактное устройство во-первых расположено в масляной камере, а вторых – в воздушной камере (в колпаке над осью чашечного устройства образуется воздушная прослойка, препятствующая попаданию воды на контакты).

Современные гидрометрические вертушки, сравнительный анализ эксплуатационных характеристик, рекомендации по выбору модели

Для анализа современного состояния вопроса по гидрометрическим вертушкам была собрана информация по ряду наиболее известных приборов, выпускаемых в России и за рубежом.

Производство приборов данного типа сегодня налажено во многих странах, ведущих регулярные гидрологические наблюдения и имеющих развитую наблюдательную сеть. В то же время малые объемы производства, ориентированного преимущественно на внутренние рынки стран-производителей, обуславливают неполноту и скудность информации о зарубежных приборах.

Крупнейшими и наиболее известными производителями гидрометрических вертушек сегодня являются:

- «OTT-Hydrometrie» (Германия);
- «Hydro-bios» (Германия);
- «Rickly Hydrological» Company (США);
- «Global Water» (США);
- «Valeport Limited» (Великобритания);
- ФГУП «Гидрометприбор» (Россия, г. Санкт-Петербург);
- ЗАО НПО «Межрегионзолото» (Россия, г. Элиста);
- ОДО «Водкосмос» (Беларусь, г. Минск);
- «Accuratus» (Индия);
- «Roorkee-Industries» (Индия);
- «Hoskin Scientific» (Канада);
- «GENEQ inc» (Канада, Франция).

Собранная информация об основных моделях современных вертушек, выпускаемых в России и за рубежом, классифицирована автором по ряду критериев прибора и сведена в таблицу (табл. 1).

Анализируя данные по современным приборам, можно отметить следующее:

1. Основным типом вертушек в мире являются вертушки с лопастным винтом, вертушки с чашечным устройством распространены реже (преимущественно в США).

2. К настоящему времени удалось минимизировать размеры лопастного винта до 15–30 мм, что является значительным достижением в практике гидрометрического приборостроения (минимизация размеров винта позволяет с большой точностью измерять местные скорости турбулентных потоков).

3. Большинство вертушек снабжаются сменными винтами с различной компонентностью, предназначенными для измерения разных диапазонов скоростей.

4. В целях повышения чувствительности вертушек в практике приборостроения используются современные материалы ротора: анодированный алюминий, карбид

вольфрама, ударопрочную пластмассу. Помимо механической изнoсоустoйчивoсти, данные материалы устойчивы против коррозии, что позволяет сохранять неизменными характеристики шероховатости поверхности винта за время эксплуатации (это сохраняет чувствительность прибора).

5. В ряде моделей вертушек удалось минимизировать начальную скорость до 0,025–0,030 м/с. В тоже время минимизация начальной скорости, в отдельных случаях, достигается за счет увеличения диаметра и шага винта, в ряде моделей – за счет снижения массы и увеличения шероховатости винта (то есть за счет уменьшения относительного скольжения). Наиболее прогрессивными следует считать модели с легким чувствительным винтом малого диаметра, способным фиксировать скорости течения начиная с 0,025 м/с.

6. Максимальные регистрируемые скорости для разных моделей винтов различны. Предельные фиксируемые скорости не превышают 10 м/с, в большинстве случаев максимальные скорости составляют 5,0–6,0 м/с.

7. Предельные относительные погрешности измерения скорости течения изменяются у разных моделей от 10 до 1%. Как правило, наибольшие погрешности возникают при измерении начальных скоростей. В большинстве моделей относительные погрешности составляют 5,0–6,0 %.

8. Компонентные свойства современных вертушек различны. В целях повышения чувствительности отдельных моделей компонентность понижена до 5°. Большинство отечественных вертушек имеют компонентный угол (угол, в пределах которого погрешности измерения не превышают допустимых), равный 30°. Зарубежные приборы характеризуются различными компонентными углами для каждого типа съемного лопастного винта (от 5 до 45 °). По этому критерию вертушки не являются универсальными: требуемая точность измерений достигается либо установкой прибора на штанге, либо подбором соответствующего типа винта.

9. По принципу формирования выходного сигнала наиболее распространены вертушки, оборудованные магнитоуправляемым контактом (герконом). Данный принцип считается наиболее прогрессивным, поскольку геркон менее подвержен влиянию факторов внешней среды (по сравнению с электродами), позволяет фиксировать мгновенные скорости (с малым периодом времени осреднения). В то же время сохраняется электрический принцип формирования сигнала.

10. Большинство современных вертушек снабжаются автоматическими регистрирующими устройствами. При этом сохраняется возможность использования стандартных устройств (электрический звонок и секундомер).

Изображения моделей некоторых гидрометрических вертушек, выпускаемых в разных странах мира, представлены на рис. 3.

Рис. 3.

В практике гидрометрических измерений приходится сталкиваться с многообразием условий, осложняющих измерения и снижающих их точность. К числу таковых относятся: ледовый покров и зашугованность русла, низкие температуры воздуха, косоструйность, малые глубины потока ($<0,10$ м), малые скорости течения ($<0,04$ м/с), повышенная мутность и минерализация воды, зарастание русла водной растительностью, значительные скорости течения в многоводные периоды. Универсальных приборов, способных работать в любых условиях, не существует, о чем свидетельствует многообразие моделей на всех этапах развития.

Ниже приведен анализ эксплуатационных характеристик прибора для разных условий.

1. Ледовый покров и зашугованность русла. Основным требованием к выбору модели является ее компактность, ударопрочность, а в случае наличия шуги – наличие защиты ротора. Большинство отечественных вертушек, выпускавшихся до 1980 г., отвечают этому критерию. Современные приборы типа ИСП имеют пластмассовый винт и слабое крепление контактов [17], поэтому, как показывает опыт автора, не обеспечивают безотказной работы со льда. Лопастные вертушки фирмы ОТТ-Hydrometrie с винтом из анодированного алюминия ударопрочны. Наиболее удобен при работе со льда прибор USGS TYPE AA-ICE MODEL 6240 с вертикальной осью вращения крыльчатки (прибор крепится к низу штанги вертикально, опускается под лед и не требует выполнения манипуляций под водой или бурения дополнительных лунок).

2. Низкие температуры атмосферного воздуха. В данном случае возможно намерзание льда на ротор и корпус прибора, образование льда и изморози на внутренних деталях прибора. В связи с этим основным требованием к выбору модели является герметичность внутренних контактных камер, формирование выходного сигнала посредством электромагнитного импульса (при других принципах формирования выходного сигнала возможно намерзание внутреннего льда на контакты

или на электроды). Наиболее целесообразно использование вертушек с вращающейся осью (ГР-99), либо с неподвижной осью (С-2 и С-31 фирмы ОТТ-Hydrometrie, измеритель скорости потока ИСП-1, ИСП-1М, ИСП-2, ИСТ). При этом следует помнить, что при одинаковом принципе формирования сигнала, материал корпуса зарубежных вертушек выполнен более качественно, но отечественные вертушки имеют стоимость в 6–10 раз ниже зарубежных.

3. Косоструйность. Корректное измерение проекции скорости на нормаль к гидроствору возможно при соблюдении условий компонентности прибора. Чем выше величина угла компонентности, тем более корректными окажутся результаты измерений. Наиболее практичны в этом плане все отечественные вертушки с компонентным эффектом величиной в 30–40°, наименее – приборы фирмы Rickly Hydrological Company, США (с ротором в виде крыльчатки, являющимся некомпонентным). Хорошие значения компонентного эффекта имеют некоторые немецкие и английские вертушки (табл. 1), однако отсутствие ремонтной базы для данных приборов в России и их высокая стоимость обуславливает то, что вертушки проигрывают отечественным по данному критерию.

4. Малые глубины потока. Данное условие может быть устранено путем углубления и спрямления русла, заключения потока в каналы и лотки. Однако в период ледостава малые глубины могут становиться существенным препятствием для измерений. Для измерений скоростей на малых глубинах логично выбирать приборы с минимальным диаметром лопастного винта: гидрометрическая микровертушка ГМЦМ-1 (Ø 15 мм), малый ИСП С2 ОТТ-Hydrometrie (Ø 30 мм), ГР-96 (Ø 30 мм) (табл. 1). Среди разных моделей прибора наиболее универсальны измерители фирмы ОТТ-Hydrometrie, укомплектованные набором съемных лопастных винтов разного диаметра (до 6 винтов).

5. Малые скорости течения. Данное условие, вероятно, не может быть решающим при выборе модели. Ни одна из моделей современных роторных вертушек не позволяет измерять скорости менее 0,025 м/с (подобные измерения позволяют проводить приборы других типов). Тем не менее, хорошую чувствительность к малым скоростям имеют практически все модели современных вертушек, снабжаемых сменными винтами (табл. 1). При выборе измерителя исчезающе малых скоростей логично воспользоваться индукционными «безроторными» приборами.

6. Повышенная мутность и минерализация воды. Подобные условия весьма распространены на водотоках, протекающих по промышленным площадкам, территориям заводов и т. д. В данном случае наиболее удобны приборы, имеющие

максимальную герметизацию контактов (из рассматриваемого перечня приборов наиболее надежно герметизированы контакты вертушек фирмы Rickly Hydrological Company, США, заключенные в воздушную камеру). Среди других приборов следует выбирать те, в которых выходной сигнал формируется посредством электромагнитной индукции (табл. 1). При этом важно, чтобы контактный кабель крепился не к клеммам, а имел изолированный патрон с винтовой нарезкой для крепления к корпусу прибора (рис. 3). В одних и тех же моделях прибора крепеж кабеля может быть разным, поэтому при выборе прибора необходимо контролировать соответствие его частей данным технического паспорта.

7. Заращение русла водной растительностью. В отечественном приборостроении данное осложняющее условие решается путем выкашивания гидроствора. Зарубежные производители снабжают ротор защитными кольцами и съемными защитными решетками (например, модель фирмы Hoskin Scientific, Канада, рис. 3). В целом, изготовление защитных решеток может быть выполнено по специальным заказам или кустарно (решетки не влияют на точность измерений), поскольку фирменная защита приводит к завышению цены прибора на 10–20 %.

8. Значительные скорости течения в многоводные периоды. Значительные скорости приводят к невозможности длительное время удерживать лодку на вертикали; ледоход может заставлять вынимать вертушку из воды, не выдержав ее требуемое время; плывущий лед и сор могут повредить ротор и корпус прибора. Сочетание осложняющих условий заставляет ориентироваться при выборе модели на прочность материалов ротора и корпуса, максимальную измеряемую скорость, количество выходных контактов на один оборот ротора. Предпочтение остается за приборами с металлическими винтами (анодированный алюминий, титан, латунь), одним сигналом на оборот (электролитический или электромагнитный принцип однооборотных вертушек), максимальной фиксируемой скоростью от 3,0 до 5,0 м/с. Вертушки с крыльчаткой гораздо менее ударопрочны по сравнению с лопастными вертушками (приборы фирмы Rickly Hydrological Company, США малоприспособлены для измерений в нашей стране, при современном уровне развития вспомогательного оборудования – штанг, лебедок, дистанционных установок). По комплексу факторов лидируют приборы фирмы ОТТ-Hydrometrie, а также отечественные вертушки типа ГР-99, снятые с производства. Надежные измерения прибором ИСП-1, выпускаемым сегодня ФГУП «Гидрометприбор, как показывает опыт автора, возможны только при комплектации его металлическим винтом и герконом.

Продолжительность безотказной работы определяется в основном надежностью конструкционных материалов и качеством сборки. Как правило, отечественные и американские вертушки безотказно работают при средних условиях эксплуатации (т.е. при уходе за прибором согласно требованиям «Наставлений станциям и постам») от 3 до 10 лет, после чего требуется смена подшипников, чистка контактов, выправление или замена оси. Немецкие, английские и канадские приборы безотказно работают в течение 10–15 лет. При этом период безотказной работы не отменяет периодические (раз в 2 года) поверки. Пластмассовые лопастные винты растрескиваются по истечении 10–20-летнего периода эксплуатации (вследствие воздействия солнечных лучей, низких температур и т. д.) При особо тщательном уходе практически все «металлические» приборы могут работать неограниченное время [13] (к примеру, в Пермском государственном университете хранится годная к эксплуатации вертушка типа Отта-Х, выпущенная в конце XIX в., в Музее гидрометслужбы Севера в г. Архангельске – вертушка Хоффа, выпущенная в середине XIX в.).

Характеристика стоимости приборов. Полную стоимостную характеристику современных приборов дать затруднительно по ряду причин. Во-первых, фирмы-производители занимаются сбытом приборов как самостоятельно, так и через дистрибьюторов, что ведет к торговым наценкам. Во-вторых, цена на «штучную» измерительную технику не является фиксированной: различия делаются для государственных и негосударственных компаний, для постоянных и непостоянных клиентов и т. д. В-третьих, цены меняются с ростом инфляции.

Таблица 2. Сравнительная стоимостная характеристика некоторых моделей современных гидрометрических вертушек (в ценах 2010 г.)

<i>Интервал цен (руб, с учетом НДС)</i>	<i>Наименование прибора, производитель</i>
20 000–50 000	Гидрометрическая микро-вертушка ГМЦМ-1 (ЗАО НПО «Межрегион- золото», г. Элиста); Микрокомпьютерный расходомер-скоростемер МКРС (ОДО Водкосмос, г. Минск, Беларусь)
50 000–100 000	Измеритель скорости потока ИСП-1 (ФГУП «Гидрометприбор», г. Санкт-Петербург); Измерительное оборудование фирмы Global Water (Global Water, Канада)
100 000–300 000	Model 001, 002 (Valeport Limited, Великобритания); Universal Current Meter – Model 6500 (Rickly Hydrological Company, США)
300 000–700 000	Универсальный ИСП С-31 (ОТТ-Hydrometrie, Германия)

На основании материалов, представленных производителями и дистрибьюторами, составлена сравнительная стоимостная характеристика некоторых моделей приборов по диапазонам цен (в российских рублях, с учетом НДС, по состоянию на второй квартал 2010 г.) (табл. 2).

Как видно из табл. 2, стоимость приборов может различаться в 10–30 раз. В то же время, обзор эксплуатационных характеристик вертушек показывает, что стоимость зачастую не является корректным показателем качества прибора.

Заключение

Рассматриваемый в работе прибор – гидрометрическая вертушка – прошел длительную историю развития. Оптимизация главным образом касалась а) формы и размеров лопастного винта в целях оптимизации чувствительности и компонентности, возможности работы на малых глубинах и в турбулентных потоках; б) принципа формирования выходного сигнала и принципа регистрации сигнала.

К настоящему времени существует огромный модельный ряд приборов, выпускаемых разными странами мира. Производства работают главным образом на внутренние рынки стран.

В существующих моделях решены такие важные задачи, как возможности фиксации мгновенной скорости (за счет использования однооборотных вертушек с герконом), работы на малых глубинах (за счет уменьшения диаметра ротора), измерения малых скоростей (за счет использования легких конструкционных материалов ротора, повышения его чувствительности), работы в косоструйных потоках (за счет оптимизации компонентного эффекта). Помимо этого оптимизированы материалы ротора и корпуса, регистрирующее оборудование, вспомогательное оборудование.

По уровню развития принципов гидрометрического приборостроения сегодня страны мира имеют примерно одинаковый уровень. Существенные различия заключаются в качестве исполнения выпускаемых приборов. Приборы выпускаются с чашечным механизмом и лопастным винтом.

Несмотря на кажущуюся завершенность процесса развития гидрометрических вертушек, существуют нерешенные задачи. К их числу относятся:

- отсутствие оптимального соотношения «чувствительность-компонентность», при котором повышение чувствительности прибора не вело бы к существенному ухудшению компонентных качеств и наоборот;

- отсутствие единого мнения о влиянии относительного диаметра винта и его дискового отношения на компонентные свойства прибора;
- нерешенность вопроса бесперебойной работы прибора в сложных условиях (мороз, повышенная минерализация и т. д.);
- нерешенность вопроса об устойчивости параметров лопастного винта за период эксплуатации прибора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 501 с.
2. Гириллович И.А. Гидрометрия. М.-Л.: Главная редакция строительной литературы, 1937. 326 с.
3. Железняков Г.В. Теоретические основы гидрометрии. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 291 с.
4. Измеритель скорости потока ИСП-1М. Паспорт прибора / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. ОАО «Гидрометприбор». СПб, 2007. 20 с.
5. Цивин М.Н., Абраменко П.И. Гидрометрия: теория и практика измерения скорости течения воды в открытых каналах. Киев: ИГиМ, 2003. 109 с.
6. Environment. Current Meters // GENEQ inc.: сайт. Канада, Монреаль, 2010. Режим доступа: <http://www.geneq.com/frames.html/> (дата обращения: 12.06.2010).
7. Water flow monitoring instrumentation // Global Water instrumentation, inc.: сайт. США, Сакраменто, 2010. Режим доступа: http://www.globalw.com/catalog_flow.html/ (дата обращения: 12.06.2010).
8. Flowmeter // HYDRO-BIOS: сайт. Германия, Киль-Холтенау, 2010. Режим доступа: http://www.hydrobios.de/englisch/produkte_stroemung.html/ (дата обращения: 12.06.2010).
9. Stream gaging instruments. Current Meters // Rickly Hydrological Company: сайт. США, Колумбус, 2010. Режим доступа: http://www.rickly.com/sgi/current_meters.htm/ (дата обращения: 12.06.2010).
10. Измерения расхода воды // ООО «Прибор»: сайт. Смоленск, 2010. Режим доступа: <http://www.ooo-pribor.ru/catalogue.php?id=180/> (дата обращения: 12.06.2010).
11. Зайков Б.Д. Очерки гидрологических исследований в России. Л. Гидрометеиздат, 1973. 326 с.

12. Тяпкин Н.Д. Приборы для определения скорости и расхода воды в открытых руслах, реках и каналах. М. 1901. 32 с.
13. Гидравлика, гидротехника, гидрометрия. Режим доступа: <http://hydraulics.at.ua>.
14. Железняков Г.В. Исследование работы гидрометрических приборов. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 238 с.
15. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 432 с.
16. Spot measurements // Ott-hydrometry MESSTECHNIK: сайт. Германия, Кемптен, 2010. Режим доступа: http://www.ott-hydrometry.de/web/ott_de.nsf/id/ra_discharge_spot_e.html/ (дата обращения: 07.07.2010).
17. Измеритель скорости потока ИСП-1М. Паспорт прибора / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. ОАО «Гидрометприбор». СПб, 2007. 20 с.
18. Микрокомпьютерный расходомер-скоростемер МКРС: сайт. НПП «Водкосмос». Белоруссия, Минск, 2001. Режим доступа: <http://www.mkrs.by.ru/> (дата обращения: 25.12.2009).
19. Current Meters & Open Channel Meters // Valeport: сайт. Великобритания, 2010. Режим доступа: <http://www.valeport.co.uk/Products/CurrentMeters.aspx/> (дата обращения: 11.08.2010).
20. Environmental Monitoring: Surface Water Hydrology // Hoskin Scientific Limited: сайт. Канада, Ванкувер, 2010. Режим доступа: http://www.hoskin.ca/catalog/index.php?main_page=index&cPath=1_178/ (дата обращения: 12.06.2010).

Сведения об авторе:

Клименко Дмитрий Евгеньевич, к. г. н., старший преподаватель Кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования (ГОУ ВПО) Пермский государственный университет, 614999, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: klimenkodi@rambler.ru