

Д.Е. Клименко

**РАЗВИТИЕ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕРТУШЕК В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ**Пермский государственный университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: [dklimenko@ugsg.ru](mailto:dklimenko@ugsg.ru)

Гидрометрическая вертушка сегодня является наиболее развитым и распространенным прибором для измерения скоростей течения в реках и каналах во всем мире. В работе рассматриваются основные тенденции развития гидрометрического приборостроения в странах мира, история появления и развития прибора по направлениям оптимизации его основных компонентов. Выполнены анализ и сопоставление современных гидрометрических вертушек, выпускаемых в мире.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** водный объект; гидрометрия; скорость течения.

**Методы измерения скоростей течения в реках и каналах**

В гидрометрической практике на сегодняшний день известно множество принципиально различных методов определения скоростей течения в реках и каналах. Все многообразие методов принято классифицировать (И.А.Гириллович, В.Д.Быков, А.В.Васильев, В.В.Орлова, Г.В.Железняков, И.Ф.Карасев и др.) [1; 2; 8; 10] следующим образом:

1. Метод, основанный на регистрации числа оборотов лопастного винта (ротора). Наиболее распространенные приборы для измерения скорости течения – гидрометрические вертушки. При измерении скорости регистрируется общее число оборотов лопастного винта и продолжительность измерения. Величина скорости определяется по тарировочному графику в зависимости от числа оборотов в секунду. Посредством гидрометрических вертушек обычно определяется местная скорость течения в отдельных точках потока, хотя они применяются и для интеграционного определения средней скорости на вертикали или, например, средней поверхностной скорости потока.

2. Метод, основанный на регистрации скорости плавущего тела (поплавочный метод, включающий глубинные поплавки, поплавки-интеграторы, гидрометрические шесты). Для измерения скорости используются различного рода поплавки, которые могут запускаться как на поверхность потока, так и на требуемую глубину. Скорость течения принимается равной скорости движения поплавка, которая определяется по времени прохождения поплавком определенного расстояния. Отсюда видно, что при поплавочных измерениях получаем значение скорости, осредненное для участка потока по траектории движения поплавка.

3. Метод, основанный на регистрации скоростного напора. Для измерения скорости используются гидрометрические трубки различной конструкции, прообразом которых является трубка А. Пито (1732 г.). Скорость определяется исходя из скоростного напора, для этого трубка вводится в поток отверстием навстречу течению. Скоростной напор измеряется непосредственно по высоте подъема уровня в трубке. Гидрометрические трубки позволяют получить информацию о местной скорости в отдельных точках потока.

4. Метод, основанный на регистрации силового воздействия потока (водные флюгеры). Для измерения скорости используются приборы, в которых имеется чувствительный элемент,

воспринимающий силовое воздействие потока. В настоящее время подобные приборы применяются главным образом для научно-исследовательских работ с целью измерения и непрерывной записи значений скоростей в отдельных точках потока. Они позволяют исследовать пульсацию скоростей.

5. Метод, основанный на принципе теплообмена. Для измерения скорости используются приборы, имеющие в качестве рабочего органа нагретый элемент, вводимый в поток. Скорость течения определяется в зависимости от быстроты охлаждения чувствительного элемента. Подобные приборы применяются главным образом в лабораторных условиях; с их помощью измеряют скорости обычно с непрерывной записью.

6. Метод, основанный на измерении объема воды, вошедшей в прибор за время наблюдения (батометры-тахиметры В.Г. Глушкова, 1932 г.). В поток вводится прибор – батометр – входным отверстием навстречу течению и выдерживается определенное время, после чего вынимается;

измеряется объем воды, вошедшей в прибор. Скорость определяется по тарифовочному графику в зависимости от объема воды, вошедшей за единицу времени. Этот способ мало употребляется, хотя и неоправданно, поскольку часто является единственным при измерении малых скоростей.

7. Методы ионного паводка. В поток воды вводится электролит (раствор поваренной соли), ниже точки введения производится непрерывная запись концентрации NaCl в потоке. График хода концентрации по форме напоминает гидрограф паводка. Метод аналогичен поплавочному, т.к. плавущим телом в данном случае является солевое облако. Широкого применения метод не получил, хотя в условиях горных рек (повышенная турбулентность, каменистое дно) точность измерений данным методом наивысшая.

8. Метод, основанный на применении ультразвука. При распространении ультразвуковых колебаний в движущейся среде, в частности в воде, скорость ультразвука относительно неподвижной системы координат равна векторной сумме скорости звука и скорости самой среды. Ультразвуковой метод применяется в настоящее время для измерений в закрытых трубопроводах расходов различных жидкостей, в том числе загрязненных, агрессивных и кристаллизующихся, а также пульп. В гидрометрии он пока широко не распространен.

9. Методы, основанные на использовании электромагнитной индукции в индукционных катушках. Известно, что в проводнике, движущемся в магнитном поле, возникают токи (токи М. Фарадея, открытые в 1831 г.). То же самое наблюдается при прохождении через магнитную катушку потока воды.

10. Методы, основанные на использовании Доплеровского эффекта. Суть эффекта, открытого Кристианом Допплером в 1842 г., состоит в использовании изменения частоты и длины отраженных от частиц потока волн, регистрируемых приёмником, вызванного движением их источника (потока воды).

### **Появление и развитие гидрометрической вертушки**

Наибольшее распространение получил способ регистрации скоростей с использованием вращающегося ротора, или лопастного винта, предопределивший развитие гидрометрических вертушек, которые на протяжении более двух веков являются основным прибором для измерения скоростей течения, определения расходов воды. На измерениях, основанных на использовании вертушек, практически полностью базируется Государственная система учета вод в России и других странах мира. Массовое распространение вертушек, при их непрерывном развитии, привело к вытеснению других принципов измерений и их замедленному развитию.

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. Эльбы.

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) закреплялась в корпусе при помощи шарикоподшипника, с задней – ось 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, а на раме был установлен указатель. Таким образом, сумма оборотов определялась разностью начального и конечного отсчетов, снятых с шестерни. Фиксация времени измерений производилась при помощи секундомера.

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 количество оборотов.

Регистрация же времени измерения вплоть до 1950-х гг. производилась с использованием секундомера. В то же время механический принцип, предложенный Р. Вольтманом, нашел применение в ряде приборов (измеритель речных струй Н.С. Лелявского, вертушка Экмана – Мерца (рис. 2), вертушка морская модернизированная ВМ-М), некоторые из них используются по

сей день. Так, у ВМ-М включение прибора производится при помощи посыльного груза, изменена конструкция датчика оборотов, однако начальный принцип не изменен.

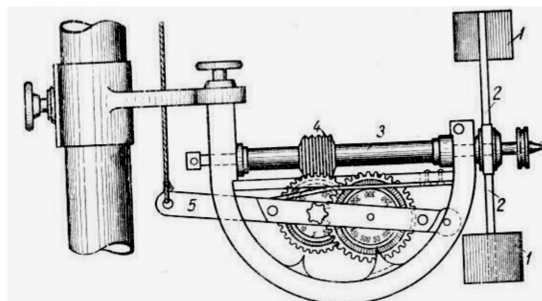


Рис. 1. Механический счетчик Рейнгарда Вольмана (по [2])

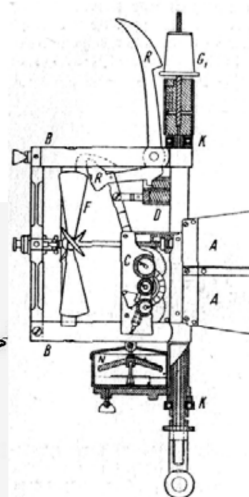


Рис. 2. Механическая вертушка Экмана – Мерца (по [2])

### Основные направления развития принципов гидрометрического приборостроения и 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):
  - а) оптимизация компонентного эффекта;
  - б) оптимизация инерционности и чувствительности.
2. Оптимизация формы, размеров прибора и стабилизатора направления.
3. Оптимизация принципа формирования выходного сигнала.
4. Разработка и оптимизация счетно-регистрирующего устройства.
5. Разработка и оптимизация вспомогательного оборудования.

Модернизация вертушки происходила в целях обеспечения:

- регистрации минимальных скоростей течения;
- получения достоверных результатов измерений в турбулентных потоках;
- работы при малых глубинах, большой мутности и минерализации воды;
- безотказной работы при крестоструйности и пульсации скорости (оптимизация компонентных свойств прибора, чувствительности и инерционности);
- безотказной работы сигнального устройства в разных условиях (морозная погода, влажность и т.д.)

### Основные направления модернизации прибора

Рассмотрим основные тенденции развития прибора по ряду направлений.

Процесс оптимизации формы и размера ротора проходил следующие этапы.

1. *Использование крыльчатки* (с лопастями, наклоненными под разным углом к оси) на вращающейся оси (вертушки Р. Вольмана 1790 г., вертушки САНИИРИ, вертушка Экмана – Мерца, ВМ-М). В настоящее время от использования роторов такого типа полностью отказались. Хотя крыльчатка нашла применение в чашечном устройстве робинзонова креста.

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. Изобретение вертушки относят к 1885 г. Эти вертушки действуют на принципе робинзонова креста, который употребляется в качестве анемометра для измерения скорости ветра и основан на том, что

движущаяся жидкая масса (воздух, вода) оказывает большее давление на вогнутые поверхности, чем на выпуклые. Чашки имеют форму полушарий, конусов или параболоидов, числом 4 или 6, расположенных вершинами по окружности одна за другой и скрепленных между собой рамкой с осью вращения в центре.

Верхний конец оси проходит в контактную камеру, помещающуюся над ним, и имеет винтовую нарезку для присоединения к зубчатому колесу и выше – эксцентрик.

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

Незначительные отличия от описанной конструкции имела применяемая в США в конце XIX в. Вертушка системы Эллиса. Она имела четыре конические чашечки, окруженные 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, 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) [12; 13; 15; 19]. Интересно отметить, что крупнейшим производителем вертушек Прайса является американская компания «Rickly Hydrological Company». [19]. По сравнению с лопастными винтами, чашечное устройство сохраняет компонентные свойства при любой косине струй. В то же время чашечные приборы фиксируют только максимальную скорость. Не имея защитного кольца чашечный механизм оказывается слишком хрупким. Чашечное устройство может изготавливаться из карбида титана, вольфрама или пластмассы. В мире данный тип ротора получил распространение в США и ряде стран Латинской Америки и Юго-Восточной Азии.

3. *Использование лопастного винта.* Данный тип ротора наиболее распространен в конструкциях гидрометрических вертушек, выпускаемых разными странами, и представляет собой обтекаемое тело с винтовой поверхностью и параболической образующей. Первый прибор для измерения скоростей, оснащенный лопастным винтом, был разработан в 1875 г. в Математико-механическом институте Альберта Отта (г. Кемптен, Германия). В том же году появились и первые европейские стандарты на гидрометрические вертушки, во многом определившие основные направления развития этого прибора. Можно с уверенностью говорить о том, что различные модели вертушек с лопастными винтами сделаны на основании моделей вертушки А. Отта.

В конце XIX в., наряду с лопастными вертушками фирмы А. Отта, использовались приборы, аналогичные вертушкам данной фирмы [2; 17]:

- 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; 6; 9]:

• 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.

В целом, к концу XIX в. существовало большое разнообразие моделей гидрометрических вертушек. На практике встречались как приборы, аналогичные механическому счетчику Р. Вольмана или малой вертушке Ганзера, так и современные на то время вертушки А. Отта моделей IV, V, X. В странах Европы, Канаде, Австралии и в России массовое распространение получили вертушки с лопастным винтом, в США же наиболее распространены были чашечные вертушки. Применение разных типов вертушек в мире определялось колониальной принадлежностью отдельных стран и территорий, а также сложившимися торговыми и научными связями между государствами. Следует

также иметь в виду то, что развитие гидрометрического приборостроения приходится на период становления наблюдательной сети в странах мира, на период развития водно-технических



изысканий, когда потребности в приборах были значительны. Этим объясняется большое количество производителей приборов и многообразие моделей.

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 [10; 14]. Компонентность может быть выражена либо в величинах погрешности при заданной косине струй, либо в величинах угла, в пределах которого вертушка регистрирует скорость с допустимой погрешностью.

Идеальная компонент-вертушка, ось которой направлена по нормали к створу, должна будет в этом случае регистрировать проекцию скоростного вектора

$$u_n = u \cdot \cos(\alpha). \quad (1)$$

Применяемые в настоящее время гидрометрические вертушки не являются в полной мере компонентными. В косоструйном потоке они занижают значение проекции скоростного вектора.

Компонентность вертушек в значительной степени будет определяться следующим [Там же]:

- 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);
- 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. Поэтому каждая модель вертушки, по существу, реализует состояние теоретической базы в области гидромеханики и состояние представлений об оптимальном соотношении компонентности с другими свойствами вертушки.

Ниже, на рис. 3, приводится модельный ряд лопастных вертушек конца XIX – начала XX в.

Развитие принципов формирования выходного сигнала гидрометрических вертушек проходило следующие этапы и было  $\square$  аrotids  $\square$  и 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 5 оборотов или через 2 оборота. 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.

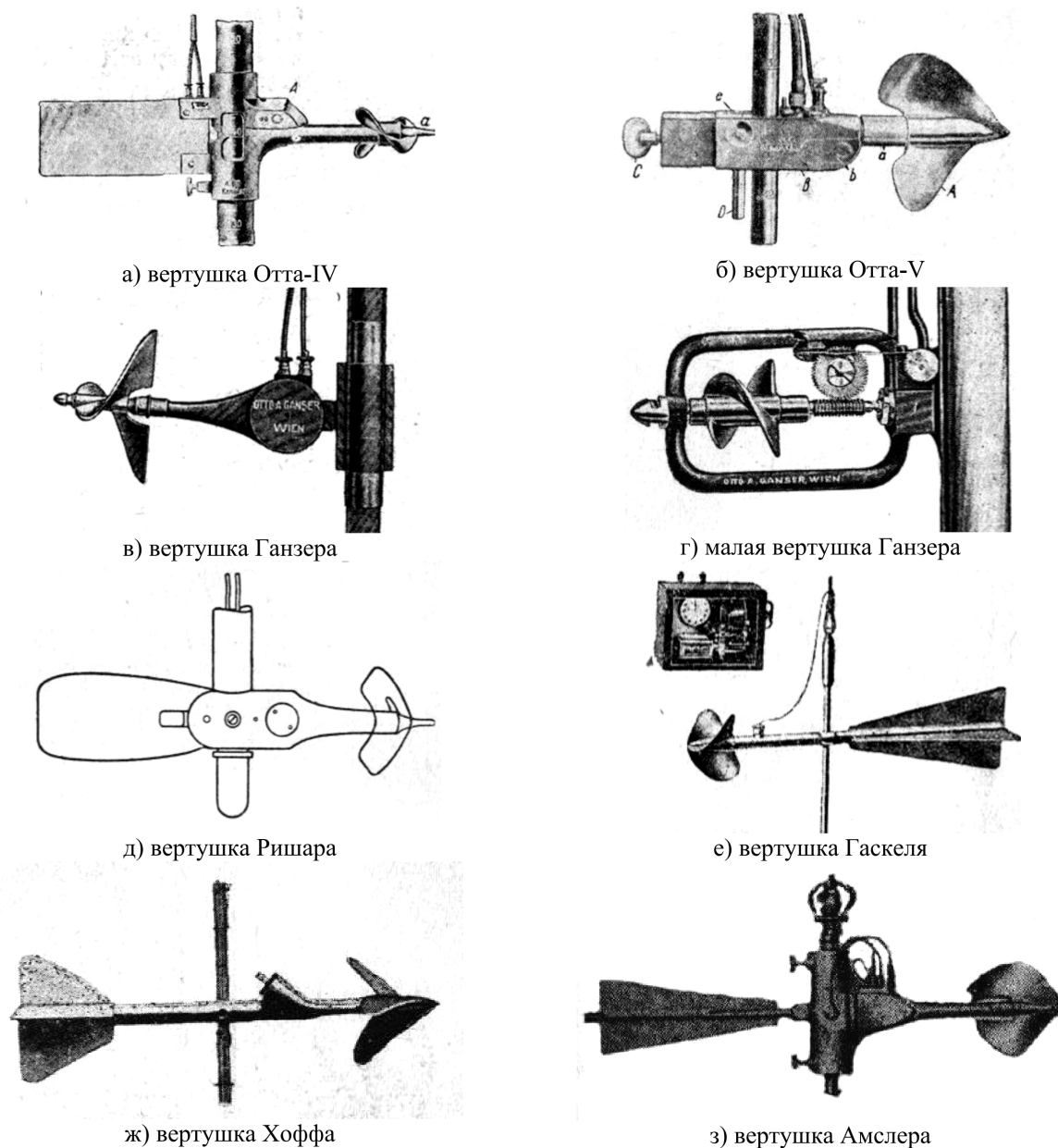


Рис. 3. Модели европейских гидрометрических вертушек конца XIX – начала XX в. (по [2])

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 эбонитового колеса с контактной впайкой;
- через металлический штифт, соприкасающийся с контактами, расположенными на плоскости колеса перпендикулярно ему;
- через контактные впайки в плоскостях трущихся друг о друга дисков.

2. *Электролитический принцип.* Для формирования электрического сигнала, характеризующего скорость водного потока, используется свойство электропроводности воды.

Лопастной винт под воздействием водного потока вращается вблизи электрода и тем самым, изменяя электрическое сопротивление в пограничном слое электрода, образует электрические импульсы, частота которых пропорциональна измеряемой скорости водного потока. Фиксируется,

таким образом, 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 микровертушка ГМЦМ-1, ГР-96). Преимуществом данного принципа формирования сигнала является высокая чувствительность (способность фиксировать скорости с большим, по сравнению с 20-оборотными приборами, разрешением). Недостатком является то, что при формировании слоя льда на электродах прибор перестает работать. Нарушается нормальная работа прибора и при попадании на электроды песка, при 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. Включение и выключение приборов производится автоматически, по ближайшему сигналу, через заданные интервалы времени. 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 пропорциональна скорости течения. Данный принцип схож с предыдущим. Вертушки данного типа могут быть с вращающейся осью (ГР-99) [8] либо с неподвижной осью (вертушки С-2 и С-31 фирмы ОТТ-Hydrometrie [17; 18], 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 первых расположено в масляной камере, а вторых – в воздушной камере (в колпаке над осью чашечного устройства образуется воздушная прослойка, препятствующая попаданию воды на контакты).

### **Современное состояние гидрометрического приборостроения в мире и современные гидрометрические вертушки**

Для анализа современного состояния вопроса о гидрометрических вертушках 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:

- «ОТТ-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).

## Метеорология и климатология

Исходя из собранной информации об основных моделях современных вертушек, выпускаемых в России и за рубежом, они классифицированы по ряду критериев прибора (таблица).

## Современные типы гидрометрических вертушек, выпускаемые в мире

| Название прибора                                                 | Производитель                              | Тип ротора     | Тип оси прибора | Время осреднения скорости в точке, с. | Шаг/м | Материал               | Диаметр ротора, мм | Интервалы измерения скорости течения, м/с |     | Погрешности определения скорости потока, % |     | Кол-во регистрируемых оборотов | Принцип формирования выходного сигнала (№ по тексту) | Компонентный эффект, град |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------|-----------------|---------------------------------------|-------|------------------------|--------------------|-------------------------------------------|-----|--------------------------------------------|-----|--------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------|
|                                                                  |                                            |                |                 |                                       |       |                        |                    | от                                        | до  | от                                         | до  |                                |                                                      |                           |
|                                                                  |                                            |                |                 |                                       |       |                        |                    |                                           |     |                                            |     |                                |                                                      |                           |
| Микрокомпьютерный расходомер-скоростемер МКРС                    | ОДО Водкосмос, Беларусь, г.Минск           | Лопастной винт | 2               | 120                                   |       | Пластмасса             | 20                 | 0,025                                     | 5,0 | 10                                         | 1,5 | 1                              | 2                                                    | 30                        |
| □arotids□и-ческая микро-вертушка ГМЦМ-1                          | ЗАО НПО «Межрегион-золото», г.Элиста       |                | 1               | 32 – 64                               |       | -«-                    | 15                 | 0,03                                      | 6,0 | 6,0                                        | 0,0 | 1                              | 2                                                    | 30                        |
|                                                                  |                                            |                | 1               | 32 – 64                               |       | -«-                    | 20                 | 0,03                                      | 6,0 | 6,0                                        | 0,0 | 1                              | 2                                                    | 30                        |
| Измеритель скорости потока ИСП-1, ИСП-1М, ИСП-2, ИСТ             | ФГУП «Гидромет-прибор», г. Санкт-Петербург |                | 2               | 60                                    | 180   | -«-                    | 120                | 0,03                                      | 5,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 2, 3                                                 | 30                        |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 110   | -«-                    | 70                 | 0,06                                      | 5,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 2, 3                                                 | 30                        |
| Малый ИСП С2                                                     | ОТТ- Hydrometrie, г. Кемптен, Германия     |                | 2               | 60                                    | 0,05  | Анодированный алюминий | 50                 | 0,025                                     | 1,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 30                        |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,10  |                        | 50                 | 0,030                                     | 2,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 20                        |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,25  |                        | 50                 | 0,035                                     | 4,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 10                        |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,50  |                        | 50                 | 0,060                                     | 5,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | -                         |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,05  |                        | 30                 | 0,050                                     | 1,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 20                        |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,10  |                        | 30                 | 0,055                                     | 2,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 10                        |
| Универс. ИСП С31 (Л – латунь, П – пластик, А – анодир. Алюминий) | ОТТ- Hydrometrie, г. Кемптен, Германия     |                | 2               | 60                                    | 0,25  | Л                      | 125                | 0,025                                     | 5,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 5                         |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,25  | П                      | 125                | 0,035                                     | 5,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 5                         |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,50  | Л                      | 125                | 0,040                                     | 6,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 5                         |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,50  | П                      | 125                | 0,060                                     | 6,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 5                         |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 1,00  | Л                      | 125                | 0,055                                     | 10  | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 5                         |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,125 | Л                      | 80                 | 0,040                                     | 3,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 5                         |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,125 | Л                      | 100                | 0,030                                     | 2,5 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 45                        |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    | 0,25  | А                      | 100                | 0,035                                     | 5,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 15                        |
| Universal Current Meter – Model 6500                             | Rickly Hydrological Company, США           |                | 2               | 60                                    |       | Нерж. Сталь            | 100                | 0,025                                     | 5,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 45                        |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    |       |                        | 125                | 0,040                                     | 10  | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 5                         |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    |       |                        | 80                 | 0,040                                     | 4,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 5                         |
| Miniature Current Meter - Model 6505                             |                                            |                | 2               | 60                                    |       |                        | 50                 | 0,025                                     | 2,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 30                        |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    |       |                        | 50                 | 0,035                                     | 6,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 10                        |
|                                                                  |                                            |                | 2               | 60                                    |       |                        | 30                 | 0,050                                     | 2,0 | 3,0                                        | 3,0 | 1                              | 3                                                    | 20                        |
| Model 001                                                        | Valeport Limited, Великобритания           |                | 2               | 60                                    |       | Титан, пластик         | 125                | 0,030                                     | 10  | 1,5                                        | 1,5 | 1                              | 3                                                    |                           |
| Model 002                                                        |                                            |                | 2               | 60                                    |       |                        | 50                 | 0,046                                     | 5,0 | 2,5                                        | 2,5 | 1                              | 3                                                    |                           |
| Model 106                                                        |                                            |                | 2               | 60                                    |       |                        | 125                | 0,050                                     | 5,0 | 1,5                                        | 1,5 | 1                              | 3                                                    |                           |
| OSS B1                                                           | Hoskin Scientific, Канада                  |                | 2               | 60                                    |       | А                      | 50                 | 0,100                                     | 4,5 | 1,0                                        | 1,0 | 1                              | 3                                                    |                           |
| OSS PC1                                                          |                                            |                | 2               | 60                                    |       | А                      | 50                 | 0,100                                     | 4,5 | 1,0                                        | 1,0 | 1                              | 3                                                    |                           |
| FP101/201                                                        |                                            |                | 2               | 60                                    |       | П                      | 30                 | 0,100                                     | 4,5 | 1,0                                        | 1,0 | 1                              | 3                                                    |                           |

## Метеорология и климатология

|            |                                  |  |   |    |      |   |     |       |     |     |     |    |   |  |
|------------|----------------------------------|--|---|----|------|---|-----|-------|-----|-----|-----|----|---|--|
| Model 2100 | GENEQ inc,<br>Канада,<br>Франция |  | 2 | 60 | 0,20 | A | 120 | 0,040 | 2,5 | 2,0 | 6,0 | 20 | 3 |  |
|------------|----------------------------------|--|---|----|------|---|-----|-------|-----|-----|-----|----|---|--|

## Окончание таблицы

|                                                                  |                                   |                                       |                         |    |                        |                     |     |       |     |     |     |    |   |    |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----|------------------------|---------------------|-----|-------|-----|-----|-----|----|---|----|
| ГР-21М                                                           | Гидромет-<br>прибор,<br>г.Тбилиси |                                       | 2                       | 60 | 0,20                   | A                   | 120 | 0,040 | 2,5 | 2,0 | 6,0 | 20 | 1 | 40 |
|                                                                  |                                   |                                       | 2                       | 60 | 0,20                   | A                   | 120 | 2,5   | 5   | 2,0 | 6,0 | 20 | 1 | 40 |
| ГР-55                                                            |                                   |                                       | 2                       | 60 | 0,11                   | A                   | 70  | 0,050 | 2,5 | 2,0 | 5,0 | 20 | 1 | 40 |
|                                                                  |                                   |                                       | 2                       | 60 | 0,20                   | A                   | 70  | 2,5   | 5   | 2,0 | 5,0 | 20 | 1 | 40 |
| ГР-99                                                            |                                   |                                       | 1                       | 60 | 0,30                   | A                   | 80  | 0,050 | 5,0 | 2,0 | 5,0 | 1  | 3 | 40 |
| ГР-96                                                            |                                   |                                       | 2                       | 60 | 0,20                   | A                   | 30  | 0,040 | 2,0 | 2,0 | 5,0 | 1  | 2 | 30 |
| Вертушка Прайса<br>USGS TYPE AA<br>MODEL 6200                    | Rickly Hydrological Company, США  | Чашечное устройство, робинзонов крест | Вертикальная ось типа I | 60 | 6 чашек через 60 град. | Карбид вольфрама    | 125 | 0,03  | 7,6 | 2,0 | 5,0 | 5  | 1 | 90 |
| Вертушка Прайса<br>USGS TYPE AA-<br>MH MODEL<br>6215             |                                   |                                       |                         |    |                        |                     | 125 | 0,03  | 7,6 | 2,0 | 5,0 | 1  | 1 | 90 |
| USGS Type AA-<br>LV Model 6210<br>USGS                           |                                   |                                       |                         |    |                        |                     | 125 | 0,03  | 7,6 | 2,0 | 5,0 | 2  | 1 | 90 |
| USGS TYPE AA-<br>ICE MODEL<br>6240                               |                                   |                                       |                         |    |                        |                     | 125 | 0,03  | 7,6 | 2,0 | 5,0 | 1  | 1 | 90 |
| USGS TYPE AA-<br>ICE-P MODEL<br>6245                             |                                   |                                       | 60                      |    |                        | П                   | 125 | 0,03  | 7,6 | 2,0 | 5,0 | 1  | 1 | 90 |
| Малая вертушка<br>Прайса USGS<br>Pygmy Meter<br>Model 6205, 6225 |                                   |                                       |                         |    |                        | Карбид<br>вольфрама | 51  | 0,03  | 1,5 | 2,0 | 5,0 | 1  | 1 | 90 |

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, а значит, вертушки могут использоваться в лабораторных исследованиях).

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

4. В целях повышения чувствительности вертушек в практике приборостроения используются современные материалы ротора: анодированный алюминий, карбид вольфрама, ударопрочная пластмасса. Помимо механической износоустойчивости данные материалы устойчивы против коррозии, что позволяет сохранять неизменными характеристики шероховатости поверхности винта за время эксплуатации (следовательно, сохранять чувствительность прибора).

5. В ряде моделей вертушек удалось минимизировать начальную скорость до 0,025 – 0,030 м/с. В то же 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 (т.е. 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°). Таким образом, по этому критерию вертушки не являются универсальными: достижение требуемой точности 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 формирования сигнала 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 снабжается автоматическими регистрирующими устройствами. Вместе с тем существует возможность использования стандартных регистрирующих устройств (электрический звонок и секундомер).

Изображения моделей некоторых гидрометрических вертушек, выпускаемых в разных странах мира, представлены на рис. 3-15.



Рис. 3. Микрокомпьютерный расходомер-скоростемер МКРС (ОДО «Водкосмос», Респ. Беларусь, г. Минск) (по [16])



Рис. 4. Гидрометрическая микровертушка ГМЦМ-1 (ЗАО НПО «Межрегион-золото», г.Элиста) (по [17; 20])



Рис. 5. Измеритель скорости потока ИСП-1, ИСП-1М, ИСП-2, ИСТ (ФГУП «Гидрометприбор», г. Санкт-Петербург) (фото автора)



Рис. 6. Малый ИСП С2 и преобразователь сигналов Z-215 (ОТТ-Hydrometrie, г. Кемптен, Германия) (по [18])



Рис. 7. Универсальный ИСП С-31 (материалы винта: Л – латунь, П – пластик, А – анодированный алюминий, ОТТ-Hydrometrie, г. Кемптен, Германия) (по [18])

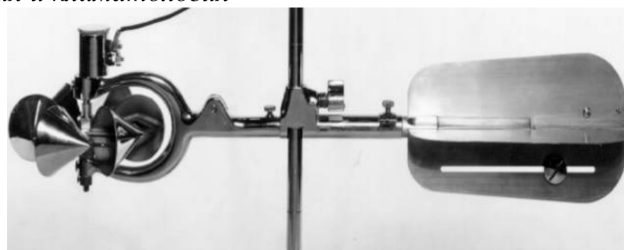


Рис. 8. Вертушка Прайса USGS TYPE AA MODEL 6200 (Rickly Hydrological Company, США) (по [12; 19])



Рис. 9. Вертушка Прайса USGS TYPE AA-MH MODEL 6215 (Rickly Hydrological Company, США) (по [12; 19])



Рис. 10. Вертушка Прайса USGS TYPE AA-ICE MODEL 6240, USGS TYPE AA-ICE-P MODEL 6245 (Rickly Hydrological Company, США) (по [12; 19])



Рис. 11. Universal Current Meter – Model 6500 (Rickly Hydrological Company, США) (по [12; 19])

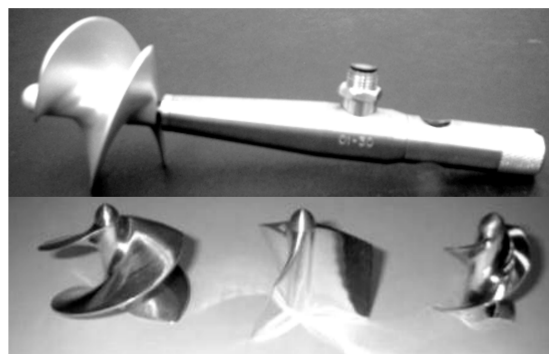


Рис. 12. Miniature Current Meter – Model 6505 (Rickly Hydrological Company, США) (по [12; 19])

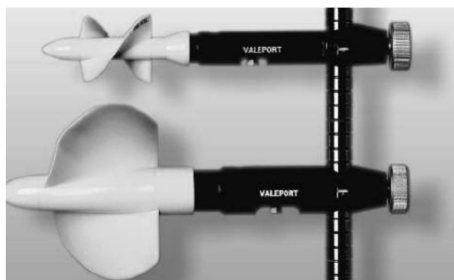


Рис. 13. Гидрометрические вертушки Model 001, 002 (Valeport Limited, Великобритания) (по [21])

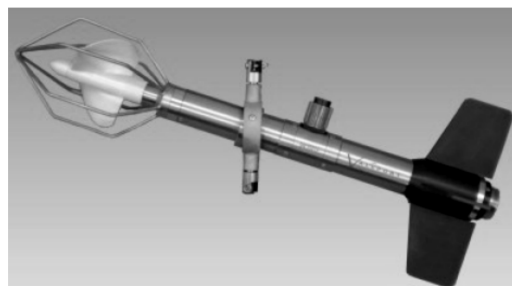


Рис. 14. Гидрометрические вертушки Model 106 (Valeport Limited, Великобритания) (по [21])

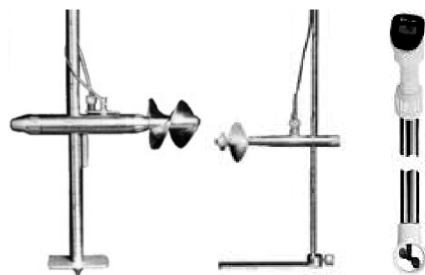


Рис. 15. Гидрометрические вертушки (Hoskin Scientific, Канада) (по [11])

### Заключение

Рассматриваемый в работе прибор – гидрометрическая вертушка – характеризуется длительной историей развития. Его оптимизация главным образом касалась: 1) формы и размеров лопастного винта в целях повышения чувствительности и совершенствования компонентности, возможности работы на малых глубинах и в турбулентных потоках; 2) принципа формирования выходного сигнала и принципа регистрации сигнала.

К настоящему времени существует огромный модельный ряд приборов, выпускаемых разными странами мира. Производители работают преимущественно на внутренние рынки стран.

В существующих моделях решены такие важные задачи, как возможность 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 (производства гидрометрических вертушек) страны мира сегодня имеют примерно одинаковый уровень. Существенные различия заключаются в качестве исполнения 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 (вопрос решается компоновкой вертушки несколькими сменными роторами);
- отсутствие единого мнения о влиянии относительного диаметра винта и его дискового отношения на компонентные свойства прибора;
- нерешенность вопроса обеспечения бесперебойной работы прибора в сложных условиях (мороз, повышенная минерализация и т.д.);
- нерешенность вопроса обеспечения устойчивости параметров лопастного винта за период эксплуатации прибора.

### Библиографический список

1. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 501 с. (изд.2-е).
2. Гириллович И.А. Гидрометрия. Л.; М.: Гл. ред. строит. Лит., 1937. 326 с.
3. Железняков Г.В. Исследование работы гидрометрических приборов. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 238 с.
4. Железняков Г.В. Теоретические основы гидрометрии. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 291 с.
5. Железняков Г.В., Данилевич Б.Б. Точность гидрологических измерений и расчетов. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 240 с.
6. Зайков Б.Д. Очерки гидрологических исследований в России. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 326 с.

7. Измеритель скорости потока ИСП-1М. Паспорт прибора. СПб., ОАО «Гидрометприбор», 2007. 20 с.
8. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л., 1971.
9. Тяпкин Н.Д. Приборы для определения скорости и расхода воды в открытых руслах, реках и каналах. М., 1901.
10. Цивин М.Н., Абраменко П.И. Гидрометрия: теория и практика измерения скорости течения воды в открытых каналах. Киев, ИГиМ, 2003 . 109 с.
11. <http://www.ehoskin.xplorex.com/>
12. <http://www.geneq.com/frames.html/>
13. <http://www.globalw.com/>
14. <http://www.hydraulics.at.ua/>
15. <http://www.hydrobios.de/>
16. <http://www.mkrs.by.ru/>
17. <http://www.ooo-pribor.ru/descriptions/15932/>
18. <http://www.ott-hydrometry.de/>
19. <http://www.rickly.com/>
20. <http://www.td-automatika.ru/catalog/detail.php?ID=14419/>
21. <http://www.valeport.co.uk/>

**D.E. Klimenko**

#### **EVOLUTION OF HYDROMETRIC PROPELLERS IN Russia AND ABROAD**

Despite of a seeming completeness of development of hydrometric propellers, there are indeterminate problems. To their number refer to:

- absence of an optimum relationship “sensitivity-componentivity” at which raise of sensitivity of the device would not conduct to an essential decline of componental qualities and on the contrary (the question is solved configuration of a revolving object by several replaceable rotors);
- absence of a common opinion about agency of relative diameter of the screw and its blade-area ratio on componental properties of the device;
- pendency of a question of a trouble-free operation of the device in complex conditions (a frost, the raised mineralization, etc.);
- pendency of a question of stability of blade screw parameters for the period of maintenance of the device.

**К е y w o r d s:** water object; hydrometry; speed of current.