



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Центральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

на тему Анализ изменения эксплуатационных характеристик
гидрологических приборов (на примере Северного УГМС)

Руководитель Гусельников Александр Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Специальность Кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«Защитить допускаю»
подписью преподающей кафедрой


(подпись)

Кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

7» октября 2019 г.

Санкт-Петербург
2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	стр. 2
1) Методы измерения характеристик водного потока в мировой практике гидрометрии.....	стр.4
1.1) Для чего нужно измерять скорость водотока.....	стр.4
1.2) Краткий исторический экскурс в гидрометрию.....	стр.5
1.3) Основные методы измерения расходов, практикуемые в гидрометрии в настоящее время	стр.6
2) Описание методов измерения расходов, применяющихся на сети Росгидромета в настоящее время.....	стр.8
2.1) Измерители скорости водного потока (ИСВП) ГР21М1, ГР21М, ГР55 и ИСП-1М. Описание принципа работы и устройства.	стр.9
2.2) Описание принципа действия и устройства акустических доплеровских профилографов (АДПТ) модификаций "Stream Pro", "RioGrande 1200 kHz" и "Rio Grande 600 kHz".....	стр.12
2.3) Описание принципа действия и устройства акустических измерителей скорости потока (АИСП) типа «Арго»	стр.16
3) Особенности эксплуатации средств измерения скорости водного потока на подводственной сети ФГБУ «Северное УГМС»	стр.18
3.1) Краткое описание наблюдательной сети ФГБУ «Северное УГМС».....	стр.18
3.2) Метрологическое обеспечение единства измерений на опорной сети ФГБУ «Северное УГМС».....	стр.20
4) Анализ наиболее характерных изменений эксплуатационных свойств вертушек, выявленных в процессе эксплуатации на гидрологической наблюдательной сети Северного УГМС за период с 2014 по 2019 г.....	стр.22
5) Анализ изменений эксплуатационных характеристик акустических доплеровских профилографов (АДПТ), выявленных в процессе эксплуатации на гидрологической наблюдательной сети Северного УГМС	стр.26
Заключение.....	стр.33
Список использованных источников.....	стр.36
Приложения.	

Введение

В современном мире пресная вода становится одним из важнейших природных ресурсов. Как известно, суммарный объём воды в гидросфере во всех агрегатных состояниях составляет около 13 87 000 000 км². При этом доля пресной воды из этого объёма составляет лишь около 2,52%, а доступно для использования человеком (в пресных озёрах, реках и водохранилищах) всего около 0,007% от общего количества воды на Земле. Хотя и принято считать воду возобновляемым природным ресурсом, пригодной к употреблению непосредственно без дополнительной обработки (очистки, фильтрации и т. д.) воды в природе остаётся все меньше. Поэтому человечество всё острее осознаёт тот факт, что пресная вода – ресурс исчерпаемый. Наиболее сильно испытывают дефицит пресной воды регионы, где в силу географических особенностей расположено мало водоёмов. Кроме того, непрерывный рост населения Земли, и соответственно, рост потребления продуктов питания, промышленной продукции, энергии; усиливает нагрузку на мировые запасы пресной воды. В качестве примера можно привести данные из последнего, четвёртого доклада Всемирной программы ООН по оценке водных ресурсов (WWRD4) [5]:

«...Предполагается, что к 2050 году мировой спрос на продовольствие увеличится на 70%. Согласно экспертным оценкам, к 2050 году мировое потребление воды сельским хозяйством (как орошаемым, так и неорошаемым) вырастет примерно на 19%. Рост водопотребления для орошения в значительной мере придется на регионы, уже страдающие от нехватки воды... Снабжение питьевой водой стран Черной Африки едва удовлетворяет 60% спроса. В сельской местности этот показатель вырос в 2008 году до 47%, но в городах он остается на уровне чуть более 80% с 1990 года... В Европе около 120 млн человек не имеют доступа к чистой питьевой воде и еще больше лишены доступа к канализации, что приводит к увеличению числа заболеваний, передаваемых через воду.»

Можно сказать, что живущим на территории Российской Федерации с водой повезло. По данным, приведенным в «Гидрологии суши» А. М. Догановского [10], величина возобновляемых водных запасов (речного стока и его подземной составляющей) на территории РФ оценивается примерно в 4348 км³/год. Из этого количества порядка 4113 км³/год сформировано в водоносных бассейнах внутри страны и 235 км³/год – приток с сопредельных территорий. Однако, реальность такова, что в РФ существует масса проблем в сфере водопользования и водного хозяйства. Для примера привожу выдержки из «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» [1]:

«...Свыше 4,8 куб. км воды в год теряется в орошаемом земледелии из-за низкого технического уровня и значительной степени износа мелиоративных систем и гидротехнических сооружений, около 3 куб. км в год, или более 20 процентов общего объема поданной в водопроводную сеть воды, теряется в системах централизованного водоснабжения из-за их неудовлетворительного технического состояния... Каждый второй житель Российской Федерации вынужден использовать для питьевых целей воду, не соответствующую по ряду показателей установленным нормативам, почти треть населения страны пользуется источниками водоснабжения без соответствующей водоподготовки, население ряда регионов страдает от недостатка питьевой воды и отсутствия связанных с этим надлежащих санитарно-бытовых условий проживания... площадь паводкоопасных территорий составляет в РФ около 400 тыс. кв. км, из которых ежегодно затапливаются до 50 тыс. кв. км. Затоплению подвержены отдельные территории 746 городов, в том числе более 40 крупных, тысячи населенных пунктов с населением около 4,6 млн. человек, хозяйственные объекты, более 7 млн. га сельскохозяйственных угодий... В течение последних нескольких лет ежегодный ущерб от наводнений составлял около 2 млрд. рублей в год... В зонах опасного разрушения берегов в России находится 450 населенных пунктов... Риск наводнений и иного негативного воздействия вод будет сохраняться и усиливаться в будущем в связи с учащением опасных гидрологических явлений в новых климатических условиях и продолжающимся антропогенным освоением территорий, что требует реализации мероприятий по строительству сооружений инженерной защиты и использованию принципиально новых подходов в рамках решения задач по защите населения и объектов экономики.»

Критически осмысливая современные реалии в сфере водопользования и водопотребления, неизбежно приходим к выводу о настоятельной необходимости усиления внимания к методикам учета и планирования использования водных запасов, разработки новых эффективных механизмов взаимодействия человека и гидросферы.

Для решения всего спектра задач по разработке эффективных методов прогнозирования и расчетов гидрологических характеристик, необходимых в текущей и перспективной деятельности в области водопользования, отечественной гидрологии требуется обширная исходная информация. Сбор и обработка систематической информации о режимных характеристиках водных объектов в РФ возложена на государственную гидрологическую стационарную сеть наблюдений Росгидромета.

Для выполнения поставленных перед ней задач по обеспечению потребителей всеми видами необходимой информации (режимной, оперативной, исто-

рической), наблюдательная сеть Росгидромета оснащается широким спектром измерительных приборов и комплексов.

В настоящей работе будет выполнен анализ изменения эксплуатационных характеристик гидрологических приборов на примере одного из крупнейших управлений Росгидромета – Северного УГМС. Цель проведения анализа – возможность оценки развития технической оснащённости наблюдательной сети. Подобная оценка может быть полезной при разработке мероприятий, планируемых для выполнения в рамках федеральных целевых программ, которые придут на смену ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012 – 2020 годах».

1 Методы измерения характеристик водного потока в мировой практике гидрометрии

1.1 Для чего нужно измерять скорость водотока

При выполнении практически любого вида человеческой деятельности, связанного с водой, как правило, необходимо знать основную гидрологическую характеристику любого водотока – расход воды. Без данных о расходе воды не обойтись при проектировании разного рода гидротехнических сооружений, от плотины ГЭС до навесного пешеходного моста. При расчетах всех мероприятий в гидромелиорации, от орошения сельхозугодий до промывки водой засоленных почв. Для расчёта количества воды на водоснабжение населённых пунктов и промышленных производств без ущерба для экологии. Для всех этих задач необходимы достоверные данные о расходе воды.

В современной гидрометрии для измерения расходов на всех больших, средних и малых водотоках наиболее распространён метод «скорость—площадь». Площадь поперечного сечения для расчётов получить достаточно нетрудно – нужно лишь измерить глубины в потоке на вертикалях, выбранных с определенным шагом, затем рассчитать площадь полученной фигуры. Труднее получить значение скорости потока. Казалось бы, можно использовать для получения значения скорости формулу А. Шези, и не измерять скорость фактически. Формула Шези имеет вид :

$$v = C\sqrt{RI} \quad (1.1)$$

где v – скорость потока, C — коэффициент Шези, имеющий размерность $\text{м}^{0.5}/\text{с}$; R — гидравлический радиус; I — уклон водной поверхности. Но формула Шези справедлива лишь для равномерного движения, когда гидравлические элементы потока: живое сечение, ширина, глубина, уклон, скорость, и пр. — не изменяются по длине потока. У реальных рек такие условия встречаются крайне редко, и то с некоторым допущением. У большинства рек движение воды не равномер-

но, указанные гидравлические элементы непрерывно изменяются по всей длине реки.

Таким образом, измерение скорости потока, как основной гидравлической характеристики на современном этапе развития прикладной гидрометрии необходимо.

1.2 Краткий исторический экскурс в гидрометрию

Гидрометрией названа выделившаяся из более обширной науки – гидрологии, часть, в задачи которой входит разработка методов и средств измерения для учета и количественного определения различных элементов гидрологического режима водных объектов. Само слово «гидрометрия» образовано из сочетания двух греческих слов: *υδωρ* — вода и *μετρεω* — измеряют, т. е. «водомерие», измерение воды [10]. Применительно к современной гидрометрии, «водомерие» буквально подходит, пожалуй, лишь к измерениям уровня воды. Конечно, это не так. Современная гидрометрия обеспечивает измерение всех необходимых параметров водного потока. Иначе обстояло дело на заре истории.

Во все времена жизнь людей была не мыслима без воды. Все человеческие поселения, как правило, закладывались вблизи рек, озёр, так как во многих видах деятельности даже древнего человека, воде необходима. Реки, озёра служили удобными (а иногда и единственными) путями сообщения и летом, и по зимнему льду. Водоёмы снабжали рыбой, водой для коммунальных, бытовых нужд, орошения и т.д. Но эти же водоёмы в определённые периоды приносили большие беды. Катастрофические паводки и наводнения уносили многие человеческие жизни, разрушали поселения, сильные засухи и зимние морозы, могли внезапно оставить без воды. Поэтому необходимость обезопасить себя от этих бед существовала всегда. А для этого необходимо было вести наблюдения за «поведением» рек, озёр, болот, их гидрологическим режимом, с целью попытаться предсказать их действия.

Косвенно об одних из самых ранних подобных наблюдениях свидетельствуют достаточно серьёзные древнейшие гидротехнические сооружения, обнаруженные археологами в очагах древней культуры в Египте, Месопотамии, Китае, Индии, и датированные около 4000 лет до н.э. Для возведения и эксплуатации подобных сооружений, наблюдения за водным режимом просто необходимы. Известны наблюдения уровня воды (ниломеры) на р. Нил, р. Сырдарья и р. Амударья (в Хорезме), р. Тигр и р. Евфрат. Известны разного рода водомерные сооружения для распределения воды на орошение на ирригационных системах бассейна р. Зеравшан, которые относятся к первому тысячелетию до н.э.

В Москве ежедневные наблюдения за уровнем Москвы-реки и состоянием погоды велись уже в середине XVII века. Примерно в то же время (в 1674 г.) во Франции вышла в свет книга «О происхождении источников» ученого П. Перро, в которой автор приводит результаты своих подсчетов водного баланса. С даты издания этого труда по версии Международной гидрологической конференции Юнеско принято отсчитывать возраст гидрологии как науки.

В нашей стране значительное распространение гидрологические изыскания и постоянные наблюдательные посты стали приобретать в царствование Петра I, когда мощный рост промышленного производства, торговли и военных нужд вызвали необходимость интенсивного использования рек для строительства каналов и обустройства водных магистралей. При Петре же был измерен первый расход на р. Волга (у г. Камышин).

Следующими знаковыми вехами в развитии отечественной гидрометрии являются деятельность «Главного управления водных и сухопутных сообщений» с 1767 г. по 1874 г. и далее работа «Навигационно-описной комиссии при министерстве путей сообщения» (НОК). Описные партии НОК организовали около 500 водомерных постов и проводили измерения скорости течения и расходов на ряде рек.

В 1919 г. в Петрограде основан Российский гидрологический институт, ныне ФГБУ ГГИ. Под руководством первого директора института Глушкова В.Г. были сформулированы основные задачи института: «всестороннее изучение вод, разработка программ и методов гидрологических исследований и теоретических вопросов гидрологии, сбор и систематизация данных о водах страны с целью обеспечения народного хозяйства».

В настоящее время количество действующих гидрологических постов на реках нашей страны составляет 2656, озёрных постов 336. [6].

1.3 Основные методы измерения расходов, практикуемые в гидрометрии в настоящее время.

Расход воды по своей сути является контролируемым гидравлическим параметром, при этом сам он является производной от двух базовых гидравлических параметров, свойственных потоку – объёму и скорости течения. Начальное деление методов определения расходов подразделяется по способу получения результатов на *прямые* и *косвенные*.

Прямые (их еще называют непосредственными) в свою очередь подразделяются на *объёмные* и *массовые*. Объёмные методы, как следует из названия, основаны на измерении непосредственно объёма с помощью градуированных резервуаров, резервных ёмкостей натуральных участков каналов, образцовых жидкостных мерников. Этот метод можно считать древнейшим из существующих.

Известно, что его предложил около 100 г. н. э. древнегреческий философ Герон Александрийский. Измерение объёмным способом даёт относительно высокоточные результаты, но хорошо подходит для измерения расходов лишь на малых водотоках (ручьях, лабораторных лотках, небольших каналах). Массовые способы имеют столь-же высокую точность определения расхода, так как основаны на схожих принципах. Просто вместо объёма за время, здесь определяется масса за время. Для этого используется установленная на образцовых весах ёмкость, в которой и определяется масса жидкости за определенное время. Совершенно очевидно, что этот способ практически не пригоден на средних и больших натуральных водотоках.

Косвенные способы в зависимости от измеряемых параметров, условно подразделяются на методы с использованием закреплённых гидростов:

- скорость – площадь (вычисление расхода по измеренным скоростям течения и площади поперечного сечения);

- уклон – площадь;

- смещения (разновидности – электролитический, колориметрический, тепловой), основан на определении зависимости изменения свойств потока от вводимых в него примесей по мере их перемешивания с массой потока);

с использованием гидрометрических сооружений, устройств:

- уровень (напор) – расход;

- перепад уровней (разность напоров) – расход;

- скорость – расход.

Все способы косвенного определения расхода воды имеют общую характерную особенность – в них измеряются не сам расход, а отдельные параметры потока; расход же получается путем вычислений.

Широкое применение на природных водотоках некоторых из перечисленных способов, в силу разных причин, ограничено. Например, метод смешения неплохо подходит для измерения в небольших, быстрых горных потоках, но не пригоден для повсеместного применения из-за громоздкости оборудования и большого расхода вводимых в поток препаратов (солей, красителей). Способы «уровень (напор) – расход», «перепад уровней (разность напоров) – расход», «скорость – расход», предусматривают устройство стационарных гидрометрических сооружений, капитальных лотков, водосливов, что довольно недёшево и кроме прочего, не позволяет легко переносить места измерений.

Таким образом, наиболее практически востребованным в речной гидрометрии в настоящее время является способ «скорость-площадь». Именно он и по-

лучил наибольшее распространение на сети постов гидрологической наблюдательной сети.

2. Описание методов измерения расходов, применяющихся на сети Росгидромета в настоящее время.

На подавляющем количестве наблюдательных постов, как уже было сказано выше, основным способом измерения расходов является косвенный способ «скорость-площадь». При этом способом главным измеряемым параметром является скорость течения в контрольном створе. Таким образом, для сбора систематической информации о режимных характеристиках водных объектов, необходимо измерять скорость и площадь сечения потока на заранее выбранных по критериям репрезентативности и в периоды, наиболее полно освещающие параметры потока в сезонные фазы гидрологического режима. На сети гидрологических постов для этих целей выбраны характерные гидрометрические створы. Для обеспечения единообразия наблюдений составлено единое «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 2. Часть II. Гидрологические наблюдения на постах». Все наблюдательные посты обеспечиваются сертифицированными измерительными приборами, периодически проводится проверка погрешности приборов. Частота взятия расходов на каждом конкретном посту примерно определена «Наставлением» от одного раза в 15-20 дней в период зимней межени и до 1-3 раз в сутки на подъёме паводка. Кроме того, периодичность взятия расхода корректируется вышестоящими подразделениями управления УГМС на основе анализа данных.

В соответствии с принятыми 1.07.2013 г. гидрометеорологическими службами союзного государства России и Белоруссии типовыми рекомендациями, составлен «Типовой табель средств измерений и оборудования для производства наблюдений в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, её загрязнения» [7]. Согласно этому табелю, для производства наблюдений и измерений на государственной наблюдательной сети Росгидромета и Белгидромета установлены виды средств измерений (СИ), необходимое для наблюдений количество СИ и оборудования в пунктах наблюдений (ПН) и в организациях наблюдательной сети (ОНС). Скорость течения на ПН Росгидромета рекомендовано измерять вертушками гидрометрическими речными модификаций ГР-21 (ГР-21М), ГР-55* (снята с производства, но эксплуатируется на сети), ГР-99, микрокомпьютерным расходомером-скоростемером МКРС, измерителями скорости потока ИСП-1 (ИСП-1М), ИСВП-ГР-21М1. В последнее десятилетие, на волне реорганизации и технического перевооружения подразделений Росги-

дромета, к вертушкам добавились акустические доплеровские профилометры (АДПТ) как импортного, так и отечественного производства.

2.1 Измерители скорости водного потока (ИСВП) ГР21М1, ГР21М и ГР55 Описание принципа работы и устройства.

Измерители скорости водного потока (ИСВП) представляют собой электро-механическое устройство, преобразующее скорость движения водного потока в импульсы (сигналы). Устройство вертушки таково, что частота оборотов вращения лопастного винта вертушки (и выдачи сигнальных импульсов) имеет пропорциональную связь со скоростью набегающего водного потока.

В вертушках моделей ГР21М и ГР55, которые широко использовались на наблюдательной гидрологической сети Госкомгидромета СССР и позднее Росгидромета, вплоть до настоящего времени, для формирования сигнала используется контактная группа. Контактный механизм вертушки состоит из червячной шестерни с двадцатью зубцами и штифтом, контактной пружины, контактного винта для крепления пружины к токопроводному стержню, изолированного от массы и соединяющего контактную пружину с гнездом штепселя. Таким образом, замыкание электрической цепи происходит в момент контакта между пружиной с контактным штифтом через один полный оборот зубчатой шестерни, что соответствует 20 оборотам лопастного винта. Замыкание цепи фиксируется электрическим звонком или лампочкой накаливания. Время работы вертушки за весь период измерений определяют с помощью секундомера. Посчитав общее число оборотов лопасти вертушки, и разделив их на время ее работы, определяют число оборотов за одну секунду. При этом, для перехода от скорости вращения (n) лопасти вертушки к скорости течения воды (V) используется тарировочная кривая, на которой графически отражена зависимость между скоростью течения и числом оборотов лопастного винта в секунду

$V = f(n)$. На рисунке 2.1 изображено устройство вертушки ГР21М.

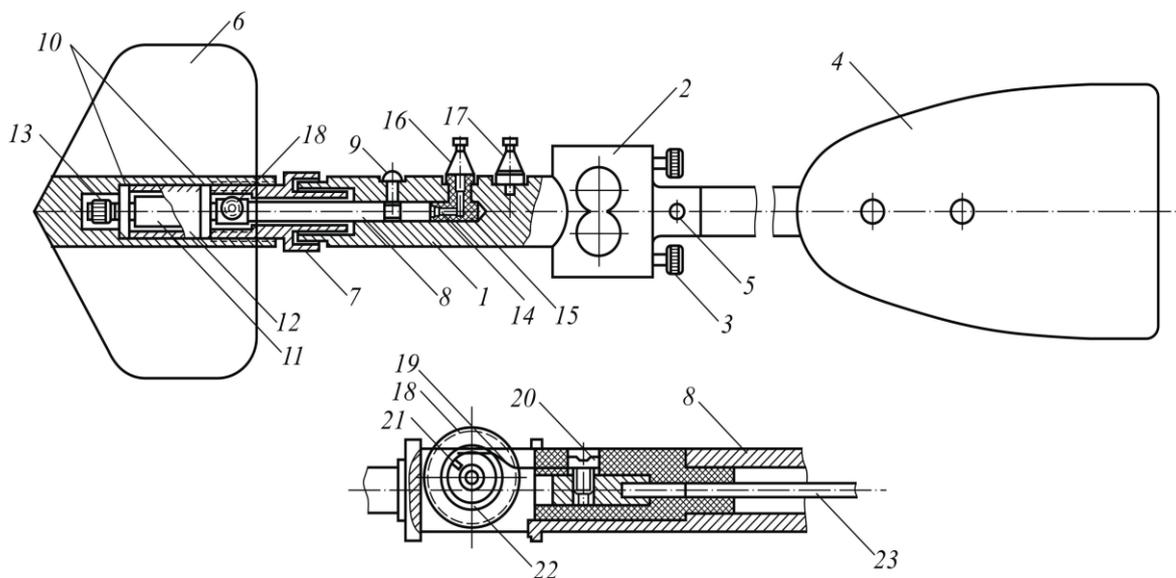


Рис. 2.1 Общий вид вертушки ГР21М в разрезе:

1 – корпус; 2 – втулка для крепления вертушки на штанге или вертлюге; 3 – зажимной винт; 4 – стабилизатор; 5 – винт крепления стабилизатора; 6 – лопастной винт; 7 – муфта; 8 – ось вертушки; 9 – стопорный винт; 10 – шарикоподшипник; 11 – распорная втулка; 12 – наружная втулка; 13 – осевая гайка; 14 – штепсель; 15 – штепсельное гнездо; 16, 17 – клеммы; 18 – червячная шестерня; 19 – контактная пружина; 20 – винт; 21 – контактный штифт; 22 – диск; 23 – токопроводный стержень.

Вертушка ГР21М1 представляет собой последнюю существенную модернизацию вертушки типа ГР21М. В отличие от вертушек ГР21М и ГР55, в вертушке ГР21М1 механический контакт с редуктором $i = 1:20$ заменен на магнитоуправляемый контакт, что позволяет получать электрический сигнал (импульс) на каждый оборот лопастного винта. Такая возможность реализована при помощи пары магнит-геркон. Низкий интервал между импульсами (один оборот

винта – один импульс) позволяет использовать ИСВП ГР21М1 для исследования пульсации скоростей и ускоренных измерений расходов воды. Вертушка оснащается двумя сменными лопастными винтами, диаметром 70 мм (с шагом 110 мм) и 120 мм (с шагом 220 мм). Диапазон измерения скорости водного потока, м/с:

- а) с лопастным винтом вертушки диаметром 120 мм от 0,04 до 5,0;
- б) с лопастным винтом вертушки диаметром 70 мм от 0,10 до 5,0.

Устройство вертушки ГР21М1 изображено на рисунке 2.2

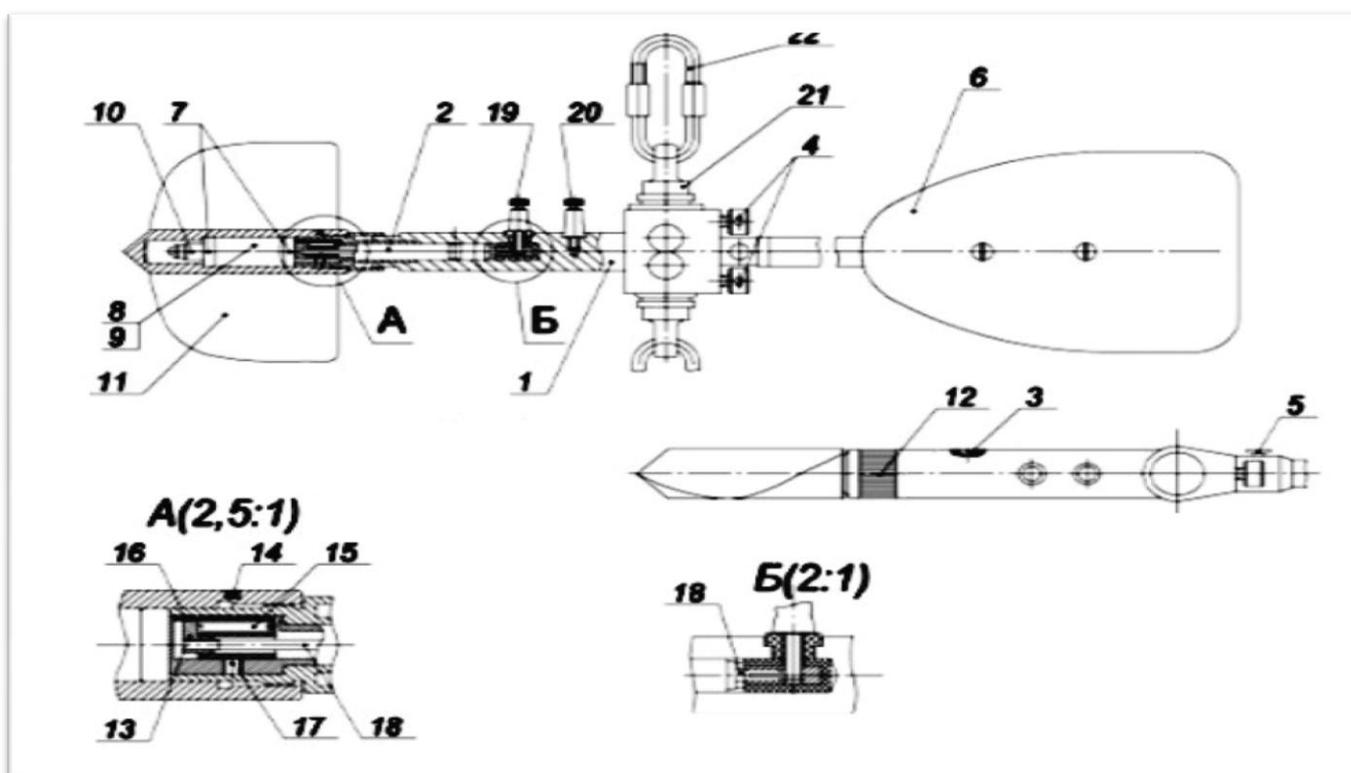


Рис. 2.2 Общий вид вертушки ГР21М1 в разрезе:

1 – корпус; 2 – ось ходового механизма; 3 – стопорный винт; 4 – зажимные винты; 5 – винт крепления штанги стабилизатора; 6 – стабилизатор; 7 – радиально-упорные подшипники; 8, 9 – наружная и внутренняя распорные втулки; 10 – специальная гайка; 11 – лопастной винт; 12 – муфта зажимная; 13 – контакт-прижим; 14 – постоянный магнит; 15 – магнито-управляемый контакт (геркон); 16 – футляр-изолятор; 17 – отверстия для выталкивания футляр-изолятора; 18 – токопровод; 19 – клемма сигнальная (плюсовая); 20 – клемма корпусная (минусовая); 21 – вертлюг; 22 – карабин.

Измеритель скорости потока ИСП-1М имеет всё тот-же принцип обработки выходных сигналов, которые образуются в процессе вращения лопастного винта под воздействием набегающего водного потока. У ИСП-1М постобработка выходных сигналов и вычисление значений измеряемой скорости водного потока возложена на электронное устройство ПСВ-1 (преобразователь сигналов вертушки). ПСВ-1 можно использовать так же и с любыми другими типами гидрометрических вертушек, как однооборотными ($i = 1:1$), так и двадцатиоборотными ($i = 1:20$). Существенным отличием ИСП-1М от вертушек других типов, является материал лопастного винта – специальная пластмасса. На рисунке 2.3 изображен внешний вид ИСП-1М.

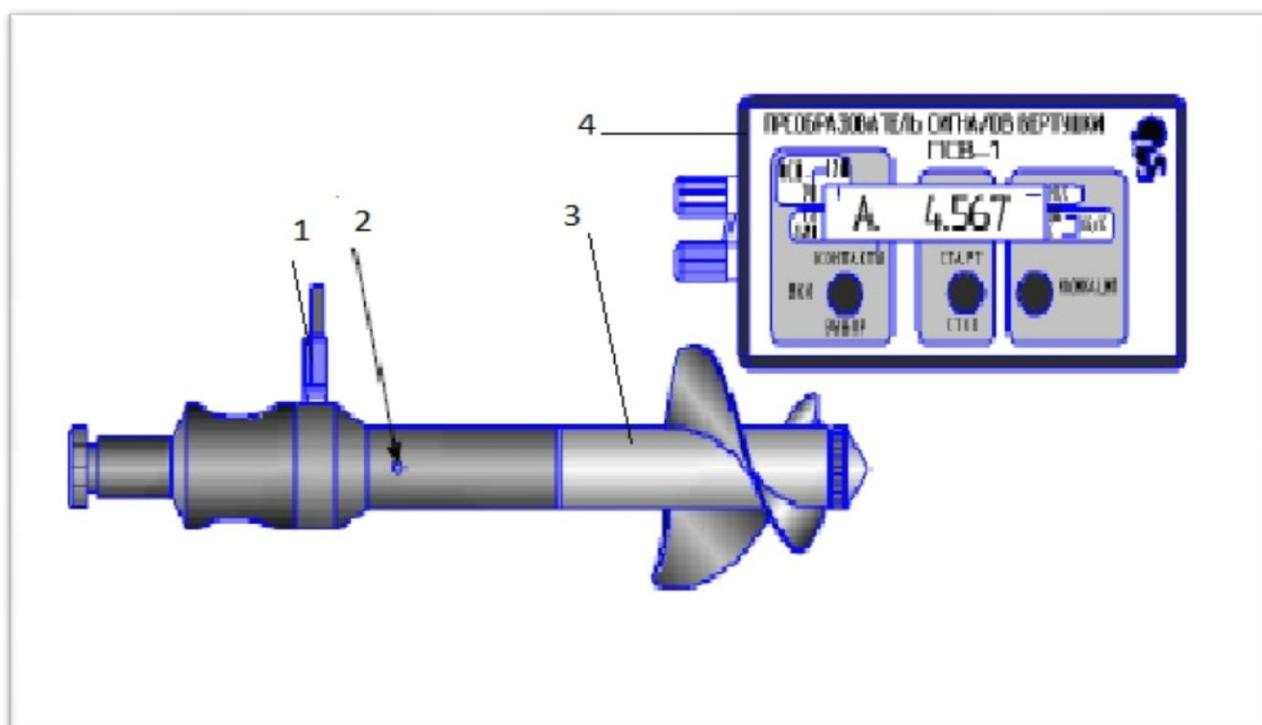


Рис.2.3 Общий вид измерителя скорости потока ИСП-1М: 1 – корпус и разъем сигнального провода; 2 – место пломбирования (краска); 3 – лопастной пластмассовый винт; 4 – преобразователь сигналов ПСВ-1.

2.2 Описание принципа действия и устройства акустических доплеровских профилографов (АДПТ) модификаций "Stream Pro", "RiverRay" и "RioGrande 1200 kHz".

Акустические профилографы используют для измерения скорости течения известный эффект зависимости частоты колебаний, которую оценивает наблюдатель, от скорости и направления движения источника волн. Этот эффект в 1842 г. открыл и обосновал австрийский учёный Кристиан Андрéас Дóплер.

Принцип явления прост: если источник волны и наблюдатель движутся относительно друг друга, то изменяется частота сигнала, воспринимаемая наблюдателем. Частота увеличивается, если источник приближается и снижается, если источник удаляется. Это частотное смещение находится в прямой пропорции к скорости источника, перемещающегося по отношению к наблюдателю. Применительно к АДПТ, эффект используется следующим образом: прибор с заданной периодичностью излучает звуковые сигналы определённой частоты, эти сигналы, отраженные от содержащихся в воде частиц, принимаются прибором. Рассчитав измеренные смещения частот отраженных сигналов относительно базовых сигналов и время между отправкой сигнала, и получения отраженного, прибор выводит скорость течения и определяет глубину потока. Для увеличения точности определения скорости и глубины, применяется несколько излучателей акустического сигнала в каждом приборе. Дополнительно применение трёх-четырёх гидроакустических излучателей позволяет определять ещё и направление течения используя тригонометрию. Сама скорость течения имеет линейную зависимость от величины доплеровского сдвига несущей частоты излучённого сигнала и определяется по формуле: F_s

$$v = \frac{C * F_D}{2 * F_s * \cos(A)} \quad (2.1)$$

где v - скорость течения; C - скорость распространения акустического сигнала в воде; F_D - доплеровский сдвиг частоты; F_s - излучаемая частота; A – угол между осью акустического луча и вектором скорости течения.

Широкое применение акустические доплеровские профилографы получили сравнительно недавно, примерно с середины 1990-х годов. Конструктивно все они представляют собой герметичный корпус, в котором размещены электронные платы вычислителя, интерфейсов передачи данных (wi-fi, bluetooth, последовательные интерфейсы) и блоки гидроакустических излучателей. Более подробно рассмотрим устройство АДПТ "Stream Pro", "RiverRay" и "RioGrande 1200 kHz", которые используются на сети ФГБУ «Северное УГМС».

АДПТ "RioGrande 1200 kHz" производится американской компанией «Teledyne RDI» с середины 90х годов прошлого века. По информации с официального сайта производителя [11], является высокоточной системой профилирования течения с возможностью быстрой выборки, и предназначен для работы с движущегося судна. Rio Grande можно использовать на широком диапазоне рек самых различных характеристик: от малых быстротечных рек (глубиной не менее 0.5 м) и до приливных лиманов, где не существует никаких предварительных данных о расходе воды.

Прибор может одновременно измерять скорость и направление течения, глубину водного объекта до твердого грунта, профиль русла, определять толщину слоя подвижного грунта (наносов), измерять температуру воды. По результатам измерения автоматически указывается площадь водного сечения и суммарный расход воды. Данные характеристики программа позволяет получить на любой желаемой вертикали исследуемого поперечника. Соединение с ПК наблюдателя, для передачи данных в процессе измерений или для сервисного обслуживания и калибровки у "Rio Grande 1200 kHz" осуществляется при помощи подключенного кабеля. Для коммуникации с устройством используются последовательные интерфейсы RS-232, RS-485 и RS-422. В настоящее время АДПТ "Rio Grande 1200 kHz" снят с производства, но продолжает эксплуатироваться на сети Северного УГМС. На рисунке 2.4 изображен внешний вид прибора АДПТ "RioGrande 1200 kHz".



Рис.2.4 Внешний вид АДПТ "Rio Grande 1200 kHz": 1–датчик давления (200 Бар) для измерения давления воды (глубины); 2– датчик температуры воды (термистор); 3– отметка Внат-3 (3-ий луч) показывает положение третьего луча (вперёд); 4 – уретановая поверхность ке-

рамического излучателя (гидроакустического датчика). (изображение с сайта Teledyne RDI)

АДПТ "Stream Pro", выпускающийся той-же американской компанией «Teledyne RDI», отличается от "Rio Grande 1200 kHz" возможностью передачи данных по беспроводному интерфейсу Bluetooth. У "Stream Pro" вынесенный из корпуса прибора трансдьюсер (блок гидроакустических датчиков). Частота излучателей трансдьюсера 2 МГц. Кроме того, "Stream Pro" оснащен собственным пластиковым плотиком-тримараном "Standart float-2m/s ". На рисунке 2.5 изображен внешний вид АДПТ "Stream Pro".

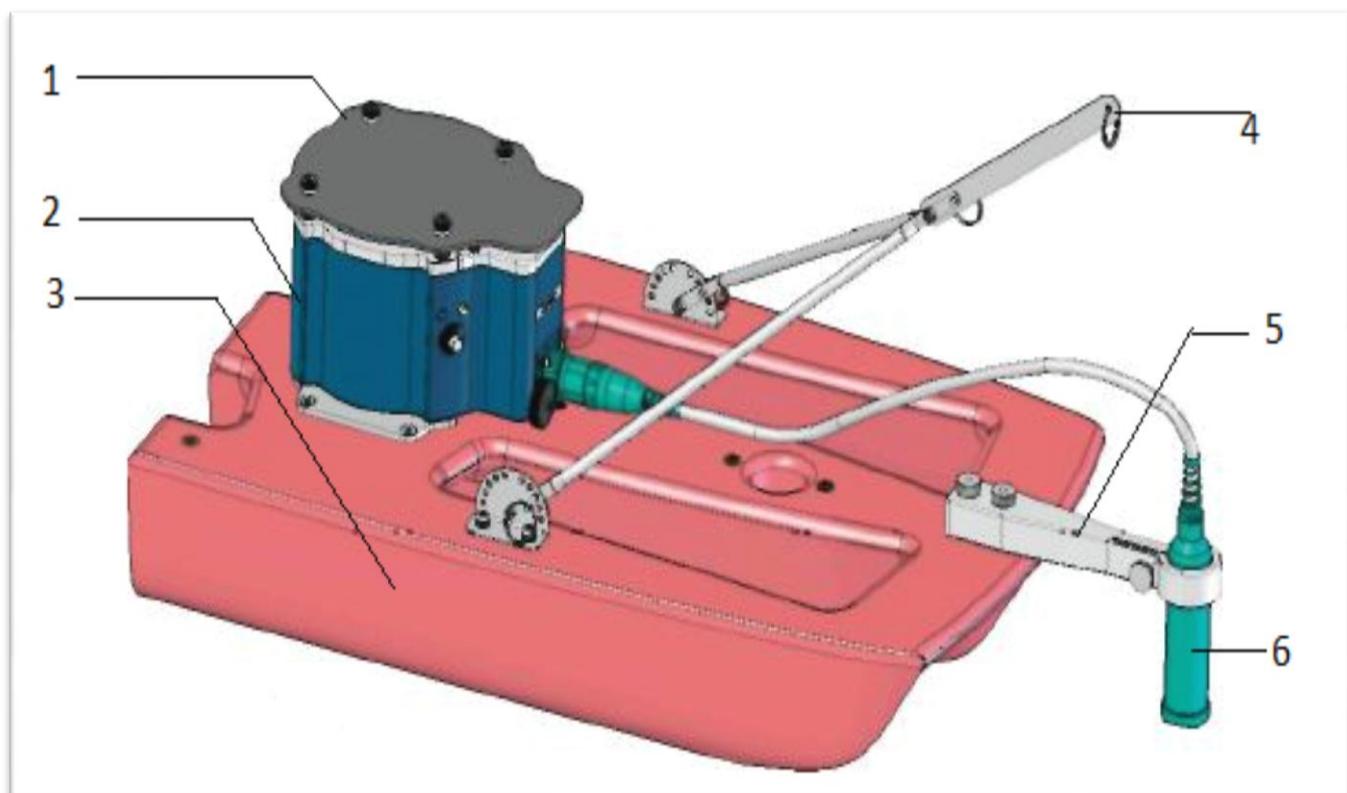


Рис. 2.5 Внешний вид АДПТ "Stream Pro": 1–солнцезащитная пластина; 2– корпус электроники с монтажной пластиной; 3– пластиковый плотик-тримаран; 4 – буксировочное устройство; 5 – стрела для монтажа трансдьюсера; 6 – трансдьюсер. (изображение с сайта Teledyne RDI)

АДПТ RiverRay является следующей ступенью развития АДПТ от компании «Teledyne RDI», за счёт применения вместо четырёх излучателей одного плоского фазированного излучателя с частотой излучения 600 кГц, прибор получил некоторое преимущество перед предыдущими моделями. По утверждению производителя, такая конфигурация прибора позволяет улучшить качество

измерений в приповерхностных слоях, устраняет эффекты турбулентности потока при проводке профилографа. Прибор оснащён более совершенным, чем у "Stream Pro", пластиковым плотиком-аутригером "Riverboat -4.6m/s"; связь между прибором и ПК может осуществляться с помощью как радиомодуля Bluetooth, так и кабелем по последовательному протоколу RS-232 (RS-485). Возможно подключение радиомодема, в этом случае дальность передачи данных возможна до 30 км. Общий вид АДПТ RiverRay изображён на рисунке 2.6.

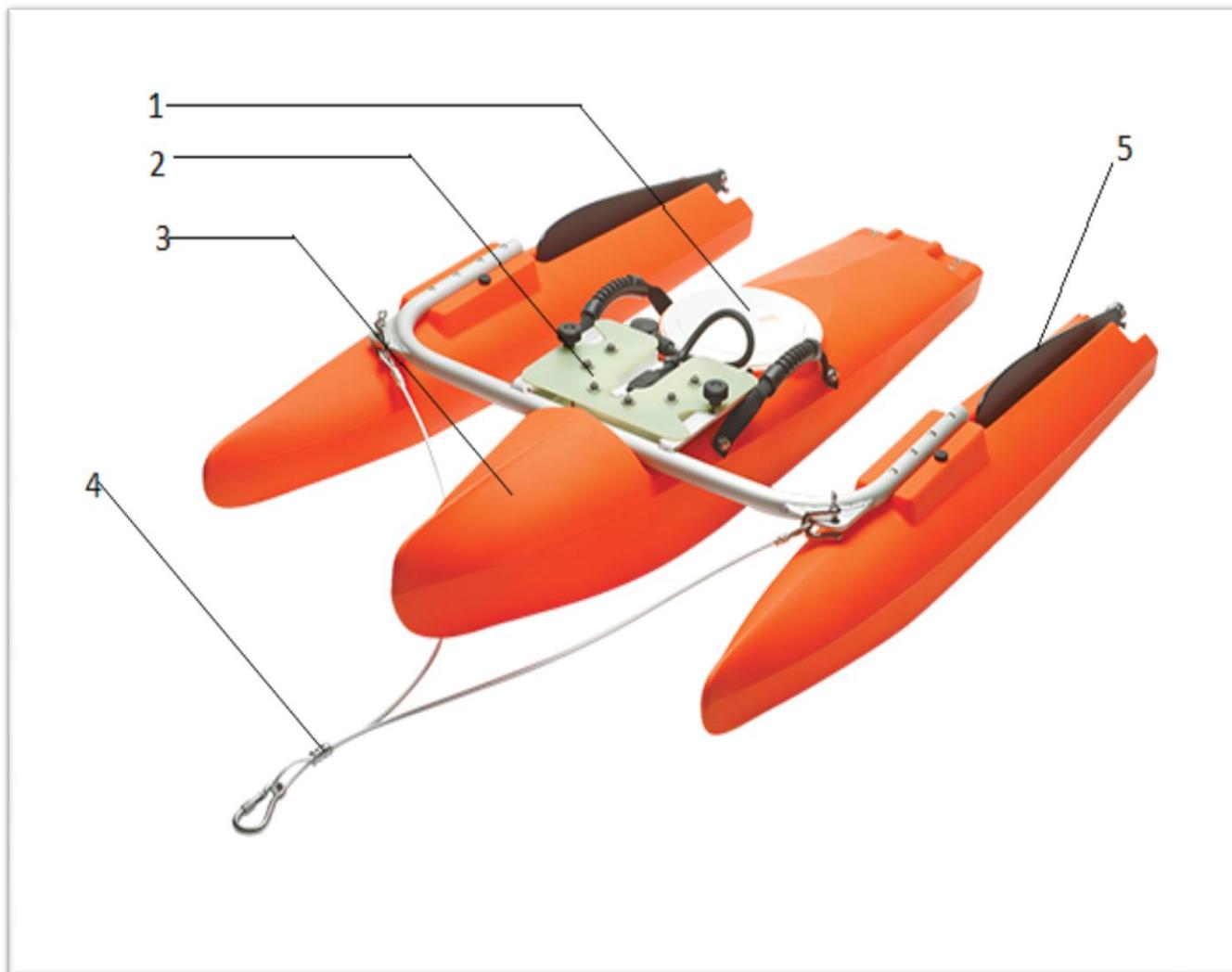


Рис.2.6 Общий вид АДПТ River Ray: 1 – герметичный отсек для батарей питания; 2 – АДПТ в герметичном корпусе на монтажной панели, устанавливается в сквозной отсек; 3 – средний корпус складного аутригера "Riverboat -4.6m/s"; 4 – буксировочный поводок; 5 – боковой корпус аутригера со сложенным рулём. (изображение с сайта Teledyne RDI)

2.3 Описание принципа действия и устройства акустических измерителей скорости потока (АИСП) типа "Арго-600"/"Арго-1200".

Начиная с 2016 г., на волне импортозамещения в ООО ЦНТИ «Элерон» г.Москва, совместно с ООО «ЗД-Агро» начато опытное производство АДПТ "Арго-600" и "Арго-1200".

Принцип действия АИСП "Арго-600" основан на измерении величины доплеровского сдвига частоты для каждого элемента глубины до донной поверхности. Так же, как и у АДПТ производства «Teledyne RDI», в процессе проводки профилометра по поверхности потока, рассчитываются профили распределения скорости водного потока по глубинам. Для этого прибор излучает ультразвуковые сигналы в акустическом диапазоне ($600 \text{ кГц} \pm 60 \text{ кГц}$) с частотой посылки от 1 до 100 Гц. Сигналы излучаются четырьмя ортогонально ориентированными излучателями под углом 20° к горизонту и, отражаясь от неоднородностей в водной толще (пузырьки газа, частицы ила, планктон, микроводоросли, песчинки и т.д.), возвращаются на приёмники датчиков, неся информацию о скорости течений в виде доплеровского сдвига несущей частоты излучения. Каждый из лучей измеряет соответствующую проекцию горизонтальной составляющей вектора скорости течения с разбивкой по слоям (дискретам) на дистанции. По временной задержке между моментами излучения импульса и приёма отражённого от слоёв (дискретов) сигнала определяется дистанция.

АИСП "Арго-600" конструктивно состоит из четырехканального формирователя ультразвуковых сигналов напряжением до 100 В, четырех акустических антенн, четырехканального приемника с аналого-цифровым преобразователем (АЦП), платы обработки, платы датчиков, модуля Wi-fi, размещённых на платике, и ПК со специализированной операционной системой (ОС) и специальным прикладным программным обеспечением (ПО) АГЕН.01003-01.

Акустические излучатели/антенны посылают сформированный и принимают отражённый сигнал. Четырехканальный приёмник с АЦП фильтрует, усиливает и оцифровывает принятый отражённый сигнал. Плата обработки управляет формирователем ультразвуковых сигналов, рассчитывает доплеровский сдвиг частоты для каждого дискрета (элемента) глубины по всем 4 каналам. Используя данные от встроенной системы ориентирования (магнитный компас, датчики-гироскопы) и данные от системы глобального позиционирования GPS/ГЛОНАСС, плата датчиков определяет положение платика АИСП в пространстве. Собранные, измеренные и обработанные данные о положении АИСП и величины доплеровских скоростей для определенных дискретов (элементов) глубины передаются на ПК в реальном масштабе времени посредством встроенного модуля беспроводной связи по стандарту Wi-fi (IEEE 802.11). АИСП "Арго-600" прошёл государственную аккредитацию в качестве СИ и имеет свидетельство об утверждении типа СИ № 65345. Аттестат аккредитации №30002-13 выдан ФГУП «ВНИИФТРИ» 7.10.2013 г.

Общий вид АИСП "Арго-600" изображён на рисунке 2.7.

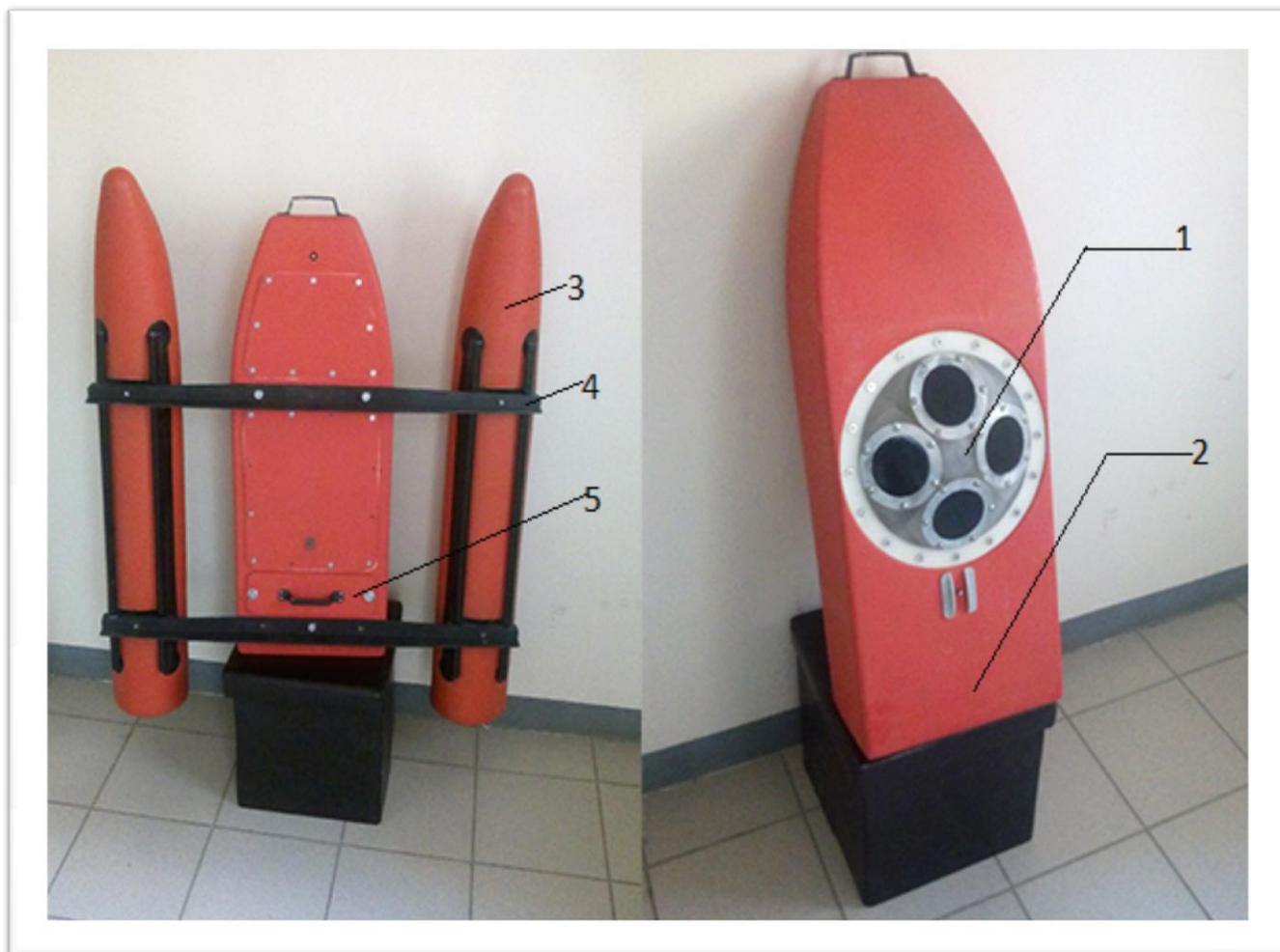


Рис.2.7 Общий вид АИСП "Арго-600" (справа вид снизу, слева вид сверху): 1 – профилограф, видны 4 антенны гидроакустических излучателей; 2 – центральный корпус плотика-тримарана, внутри разделён на герметичные отсеки; 3 – съёмный боковой поплавок из ПВХ, надувной; 4 – рама разборная; 5 – герметичный отсек для сменных аккумуляторов. (фотография с сайта ООО ЦНТИ «Элерон»).

3 Особенности эксплуатации средств измерения скорости водного потока на подведомственной сети ФГБУ «Северное УГМС»

3.1 Краткое описание наблюдательной сети ФГБУ «Северное УГМС»

В соответствии со «Списком организаций государственной наблюдательной сети и их наблюдательных подразделений», утвержденным Руководителем Росгидромета 11.02.2011 года (Раздел – Наблюдательная сеть ФГБУ «Северное УГМС») наблюдательная сеть ФГБУ «Северное УГМС» состоит из гидрологи-

ческих станций и 233 постов. Сеть наблюдательных подразделений расположена на территории Архангельской, Вологодской областей, Республики Коми, Ненецкого АО, Ямальского района Ямало-Ненецкого АО, Таймырского (Долгано-Ненецкого) района Красноярского края. Гидрографическая сеть территории Северного УГМС насчитывает около 138,5 тыс. рек протяженностью 521,2 тыс. км. На рисунке 3.1 приведена карта расположения наблюдательной сети ФГБУ «Северное УГМС» с официального сайта [12].



Рис.3.1 Географическое расположение наземной наблюдательной сети ФГБУ «Северное УГМС». (Рисунок с официального сайта ФГБУ «Северное УГМС».)

В основном на всех указанных территориях очень низкая плотность заселения, крайне слабо развитая инфраструктура, практически везде недостаточно развито транспортное сообщение (значительное количество ПН вообще не имеют регулярного транспортного сообщения). Это безусловно затрудняет снабжение ПН приборами и материалами, СИ, своевременную замену вышедших из строя приборов. Отправка СИ в поверку и обратно на станции носит сезонный характер, часто зимником, либо авиатранспортом, либо с открытием навигации или Северным завозом. Вследствие этого возникают проблемы по ремонту, техническому обслуживанию и метрологическому обеспечению

средств измерений. Кроме того, суровые климатические условия, ощутимо влияют на срок службы приборов, обязывают применять особые меры для сохранности работоспособности в процессе эксплуатации приборов.

3.2 Метрологическое обеспечение единства измерений на опорной сети ФГБУ «Северное УГМС»

Для получения репрезентативных, надёжных данных, необходимо тщательное соблюдение единообразия в наблюдениях, натуральных измерениях.

С момента принятия 26.06.2008 г., по настоящее время, единство измерений в РФ регулируется законом №102–ФЗ "Об обеспечении единства измерений" [7]. Закон "Об ОЕИ" №102–ФЗ устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений (гл.1, ст.1.1.1); защищает права граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений (гл.1, ст.1.1.2).

В соответствии с гл.1, ст.1.3.12 этого закона, к осуществлению деятельности в области гидрометеорологии, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды, установлены обязательные метрологические требования. Измерения должны выполняться с применением СИ утвержденного типа, прошедших поверку или по аттестованным первичным референтным методикам (методам). Результаты измерений выражаются в единицах величин, допущенных в РФ (гл. 2, ст. 5.1). Утвержденные для измерений СИ, должны быть поверены специально аккредитованными для этого службами (гл.3, ст.13.2).

В ФГБУ «Северное УГМС» в соответствии с гл.7, ст.22 закона организована специализированная метрологическая служба: «Отдел метрологии, стандартизации и поверки средств наблюдений» (ОМСИП СИ). Аттестат аккредитации № RA.RU.311530 выдан Северному УГМС 08 февраля 2016 г., в область аккредитации входит поверка вертушек гидрометрических в диапазоне 0,06–3,0 м/с и с погрешностью $\pm (1,5 - 10) \%$. С 2007 года в метрологической службе Северного УГМС внедрена автоматизированная система поверки гидрометрических вертушек (АСПГВ). Поверка вертушек осуществляется в градуировочном лотке ГР-19М. С 1.11.2014 г. установлен и аттестован для поверки новый лоток из нержавеющей стали, приобретённый в рамках реализации ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации 2012-2020 гг». На основании результатов материалов первичной метрологической аттестации, проведённой базовой метрологической службой ФГБУ «ГГИ», выдан аттестат № 07/14 от 13.10.2014г. На все эталонные вертушки также имеются действующие свидетельства о поверке. На рисунке 3.2 изображен лоток ГР-19М, используемый в ФГБУ «Северное УГМС».



Рис.3.2 Градуировочный лоток ГР-19М в помещении для поверки гидрологических вертушек ОМСиП СИ ФГБУ «Северное УГМС». На крышках люков установлены эталонные вертушки. (фотография автора).

Таким образом, метрологическая служба СевУГМС располагает всем необходимым для поверки вертушек ГР-21М, ГР-21М 1 и ГР-55. По состоянию на 2018 г. парк вертушек СевУГМС составляет около 980 вертушек. Количество наблюдательных пунктов (ПН) сети составляет 233. Согласно рекомендаций «Табеля типового» [7] – раздел 3.5, каждый ПН должен быть укомплектован как минимум 1 ед. вертушек для наблюдений и 1 ед. в запасе; кроме того, в организации наблюдательной сети (ОНС) должен иметься запасной фонд в количестве 20 % от общего количества. Исходя из возможностей метрологической службы СевУГМС, поверкой она может обеспечить приблизительно 200 единиц приборов (ГР-19М одновременно поверяет 3 единицы приборов, за один рабочий день, согласно Методики поверки можно поверить до 6 ед.) Как видим, для обеспечения наблюдений достаточно 559 вертушек. Межповерочный интервал (МПИ) для вертушек гидрологических установлен сроком в два года. [9], [10]. Можно сделать вывод, что для обеспечения наблюдений поверенными вертушками, парк приборов СевУГМС укомплектован вертушками более, чем

достаточно. Другое дело, в каком техническом состоянии находятся эти приборы. Об этом более подробно будет рассмотрено в следующей главе.

4. Анализ наиболее характерных изменений эксплуатационных свойств вертушек, выявленных в процессе эксплуатации на гидрологической наблюдательной сети Северного УГМС за период с 2014 по 2019 г.г.

На основании сведений, полученных в ходе сбора данных в Отделе гидрологии, ОМСиП СИ ФГБУ «Северное УГМС», были получены сведения о количестве списанных по разным причинам вертушек ГР-55, ГР-21М и ИСВП ГР-21М1 за период с 2014 по 2019 г. Сводка о списанных по годам вертушках представлена в таблице 1.

Таблица №1

Сводка о списанных вертушках по годам.

Год	Списано вертушек за год (единиц)
2014	5
2015	6
2016	10
2017	13
2018	45
2019	6*
Итого	85

*

– дан-

ные за 2019 г. имеются только с января по март.

Причины, по которым вертушки пришли в негодность и были списаны, в каждом конкретном случае указаны в извещении о непригодности СИ, которое составляется в метрологической службе, если СИ не прошло поверку. Для учета таких извещений, в ОМСиП СИ ФГБУ «Северное УГМС» ведётся «Журнал регистрации извещений о непригодности средств измерений». Выборки из этого журнала по годам с 2014 по 2019 г. г. представлены в «Приложениях А, Б, В, Г, Д, Е». Из этих выборок выделим случаи списания по признакам:

- а) Физический износ из-за длительной эксплуатации;
- б) Неустранимые дефекты лопастного винта (или винт отсутствует);
- в) Механические повреждения прибора (погнут, сломан);
- г) Погрешность измерения превышает допустимые пределы;
- д) Неисправности измерителя скорости водного потока ИСО-1 (для вертушек ИСВП ГР-21М1).

Сводка всех этих случаев за рассматриваемый период представлена в таблице №2.

Таблица №2.

Количество списанных вертушек при поверке с причинами выбраковки. (в случаях).

	Длит. эксплуатация, износ	Неустраняемые дефекты винта (или отсутствует винт)	Механические повреждения (погнуты, сломаны)	Погрешность измерения превышает допустимые пределы	Неисправен индикатор ИСО-1
ГР-55	8			1	
ГР-21М	9	7	1	3	1
ИСВП ГР21М1				40	14
ГР-21	1				

Как видим, наибольшее количество случаев списания произошло по причине превышения допустимых пределов погрешности измерений при поверке. Это 51,76% от всех случаев. Причём 47% всех списаний по причине погрешности выше допустимой составили относительно новые вертушки ИСВП ГР-21М1, в большом количестве (более 500 ед.) принятые в эксплуатацию в 2013 г. Из условий отбраковки приборов, прописанных в Методических рекомендациях по поверке гидрологических вертушек (РД 52.08.606-99) [11] следует, что негодной признаётся вертушка, относительная основная погрешность (δ_i %) которой не удовлетворяет условию

$$\delta_i \leq \delta_{\text{доп}} \quad (4.1)$$

где $\delta_{\text{доп}}$ – пределы допустимой относительной основной погрешности вертушки, %, определяемые по следующим формулам:

- для вертушек с лопастным винтом диаметром 120 мм

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 100[0,015+0,002(5/V_n - 1)] \quad (4.2)$$

- и для вертушек с лопастным винтом диаметром 70 мм

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 100[0,015+0,004(5/V_{\text{и}} -1)] \quad (4.3)$$

Причиной снижения эксплуатационных свойств вертушек, при которых увеличивается их δ_i , обычно является физический износ их составных частей. Для определения наиболее характерных проявлений износа вертушек, автором проведены экспертные опросы среди специалистов ФГБУ «Северное УГМС». Ознакомиться с ними можно в приложении Ж.

По утверждениям экспертов, наиболее часто встречаются неисправности, связанные с ухудшением эксплуатационных свойств вертушек из-за физического износа в следствии выработки посадочных мест подшипников, посадочных поверхностей осей, физическим износом шестерни червячной, износом подшипников, износом винтов лопастных, окислами элементов сигнальной цепи (контактная группа, клеммы, токопроводного стержня, контактного штифта). Это подтверждается данными из таблицы № 2. Для наглядности представим случаи выбраковки вертушек в процентном соотношении от общего количества списанных за рассматриваемый период в таблице №3.

Таблица №3

Количество списанных вертушек при проверке с причинами выбраковки. (В процентах от общего количества списанных за период).

	Длит. эксплуатация, износ	Неустраняемые дефекты винта (или отсутствует винта)	Механические повреждения (погнуты, сломаны)	Погрешность изменения превышает допустимые пределы	Неисправен индикатор ИСО-1
ГР-55	9,41%			1,18%	
ГР-21М	10,59%	8,24%	1,18%	3,53%	1,18%
ИСВП ГР21М1				47,06%	16,47%
ГР-21	1,18%				
Итого	21,18%	8,24%	1,18%	51,76%	17,65%

Таким образом, основным фактором, влияющим на эксплуатационные свойства вертушек, является погрешность «не в допуске», как можно предположить, основываясь на экспертном мнении – из-за износа деталей вертушки. Учитывая, что в подавляющем большинстве случаев (47% из 52% списанных за весь период) это относительно новые вертушки ИСВП ГР-21М1, можно сделать

предположение, что они изготовлены из материалов худшего качества, чем вертушки прошлых поколений. Либо качество изготовления (культура производства) хуже, чем у «старых» вертушек. В качестве иллюстрации случая износа посадочного места подшипника в лопастном винте от вертушки ГР-21М фотография на рисунке 4.1.



Рис.4.1 Фотография лопастного винта вертушки ГР-21М, который пришёл в негодность из-за износа посадочного места подшипника. Стрелками обозначено:

1 – посадочное место подшипника с признаками износа; 2 – следы коррозии на ободке винта. (фотография автора).

Вторым по массовости фактором является износ из-за длительной эксплуатации (21%). Здесь дополнительных объяснений не требуется.

Третьим по количеству случаев выбраковки является фактор неисправностей ИСО-1 (почти 18%). По сведениям из экспертного опроса, много случаев выхода из строя жидкокристаллического табло во время измерений расхода в зимний период в сильные морозы. (На территории ответственности ФГБУ «Северное УГМС» в некоторых местностях минимальная температура зимой опускается до минус 60, а температура минус 30 – минус 40° С может держаться на протяжении месяца).

Четвертым, менее массовым фактором, явились неустраняемые дефекты винта (или отсутствие винта). Неисправность подобного рода может возникнуть из-за ударов во время эксплуатации (например, о борт лодки или о станину лебёдки), но более вероятно возникновение этой неисправности из-за халатности при транспортировке приборов. Известны случаи, когда вертушки отправлялись транспортными компаниями без своей заводской укладки. Винт вертушки довольно легко повредить.

Меньше всего случаев списания по причине механической поломки (всего один случай).

5. Анализ изменений эксплуатационных характеристик акустических доплеровских профилографов (АДПТ), выявленных в процессе эксплуатации на гидрологической наблюдательной сети Северного УГМС

В ФГБУ «Северное УГМС» в соответствии с приказом Росгидромета от 04.04.2013 N 149 "Об утверждении объемов финансирования реализации мероприятий по восстановлению функционирования пунктов государственной наблюдательной сети в рамках направления расходов "прочие нужды" федеральной целевой программы "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 - 2020 годах" с 2013 года поставлялись акустические профилографы различных модификаций. В «Приложении И» представлена таблица приложения к отчету для ГГИ «Сведения о состоянии гидрологической сети ФГБУ «Северного УГМС» за 2017 год. В ней можно ознакомиться с количеством, типами и с тем, где использовались профилографы в ФГБУ «СевУГМС» на момент 2017 г. По состоянию на 2017 год., на сети Северного УГМС эксплуатировалось 18 КИРВ. В основном все эти приборы в исправном состоянии и поверены.

Межповерочный интервал (МПИ) для АДПТ составляет один год. Поверкой профилографов в нашей стране занимается исключительно ФГБУ ГГИ. В год на ГЭБ ГГИ поверяется до 150 единиц разных типов профилографов. Для этих

целей в 2011 г. установлен государственный вторичный эталон «автоматизированная гидрометрическая эталонная система для поверки профилографов». Эталонная система представляет собой тележку на рельсах над прямоточным бассейном. На тележке смонтирован комплекс с интерфейсами передачи данных, двигателями и программируемой системой управления. Внешний вид этого комплекса изображён на рисунке 5.1.



Рис.5.1 Автоматизированная гидрометрическая эталонная система для поверки профилографов потока. ГЭБ ФГБУ ГГИ. (фотография с сайта ФГБУ ГГИ).

Ремонт неисправных профилографов производится в каждом конкретном случае по-разному. В «Приложении К» представлен текст электронного письма

от подрядчика, взявшего на себя обязанности по ремонту профилографа Stream Pro №1648, числящегося на У Северодвинская и вышедшего из строя в 2017 г. Неисправность выражалась в том, что профилограф не сопрягался по Bluetooth с планшетным компьютером комплекса. Прибор после длительных переговоров, через посредника отправлен в европейский сервисный центр компании Teledyne RDI, затем возвращен после ремонта и отправлен в ГЭБ ГГИ для проверки, где обнаружилась та-же неисправность, которая была причиной выхода прибора из строя. После этого прибор отправлен в головной офис компании Teledyne RDI, расположенный в США, штат Калифорния, где на заводе-изготовителе диагностирована неисправность системной платы РЮ. На данный момент профилограф всё ещё неисправен.

Другой профилограф, Rio Grande 1200 вышел из строя 26.07.2017 г. В «Приложении Л» можно ознакомиться со сканом сопроводительного письма от начальника У Северодвинская в ОМСиП СИ. После диагностики профилографа в монтажно-ремонтном отделе Сервисного Центра (МРО СЦ ФГБУ «Северное УГМС») была определена неисправность разъёма на крышке прибора. Один из восьми контактных штырьков (#8 Power (-) – схема разводки разъёма представлена в «Приложении М») обломился внутри разъёма и при подключении кабеля попадал в соседнее гнездо, создавая либо обрыв цепи, либо короткое замыкание. На рисунке 5.2 изображен неисправный разъём профилографа.



Рис.5.2 Неисправный разъём профилографа Rio Grande 1200. Кружком обведён сломанный контактный штырёк. Видны следы подгорания и окислов. (фотография автора).

Для ремонта этого профилографа, казалось бы, достаточно поменять разъем, но разъем – не стандартный, является собственной разработкой фирмы Teledyne RDI. А поставка запасных разъемов для самостоятельного ремонта не несёт для фирмы прямой выгоды, поэтому фирмой наиболее вероятно будет подано коммерческое предложение на приобретение профилографа из последующих линеек продукции. Возможен ремонт этого профилографа путём замены уникального разъёма на любой подходящий по диаметру отверстия в крышке водонепроницаемый разъем, но все они имеют высоту более 50 мм, что помешает установить профилограф в автоматизированной гидрометрической эталонной системе поверки в ГЭБ ГГИ. А без поверки эксплуатация прибора не имеет смысла. На рисунке 5.3 изображён момент закрепления в эталонной системе профилографа типа River Ray. Хорошо видно, насколько небольшой зазор над разъемом.



Рис. 5.3 Закрепление поверяемого профилографа на эталонной установке. ГЭБ ГГИ. (кадр из фильма о ГЭБ ГГИ)

Ещё один случай потери работоспособности на примере всё той-же У Северодвинская. В апреле-марте на У Северодвинская начинается подготовка к работам в период паводка. В марте 2018 г приступили к подготовке КИРВ River Ray, установленного на самоходной лодке Q-Boat. Сам профилограф вернулся из поверки, при установке его на лодку обнаружилось, что за зиму разрядились

бортовые аккумуляторные батареи Q-Boat. Попытка зарядить их ничего не дала. Q-Boat была передана в МРО СЦ для диагностики, где выяснилось, что в пакеты сборок аккумуляторов во время эксплуатации в сезон 2017 г. попала вода, которая в соединении с током в цепи (до 2-3А) создала условия для электрохимической коррозии банок и никелевых перемычек аккумуляторов. Все три батареи вышли из строя. Так как бортовые батареи Q-Boat – это 24 вольтовые сборки стандартных NiMh аккумуляторов форм-фактора D с ёмкостью 10000 мА/ч, возможность восстановить работу была (такие аккумуляторы не так уж трудно приобрести в РФ), но так как Q-Boat срочно необходимо было подготовить к паводку, было принято промежуточное решение временно заменить NiMh батареи на любые другие, подходящие по номиналу и имеющиеся в наличие. На рисунке 5.4 изображена разобранный батарея от Q-Boat.



Рис. 5.4 Испорченная коррозией батарея от Q-Boat. Кружками обведены явные следы коррозии. Минусовые выводы к зарядному устройству и нагрузке полностью отгнили. (фотография автора).

В итоге, на лодку была установлена батарея из двух кислотных аккумуляторов от бесперебойного источника питания (ИБП). Работа Q-Boat была восстановлена, комплекс нормально отработал в паводочных работах и весь оставшийся сезон открытого русла. За это время были собраны батареи NiMh аккумуляторов, полностью идентичные испорченным. На рисунке 5.5 изображены установленные в корпусе лодки временные батареи.

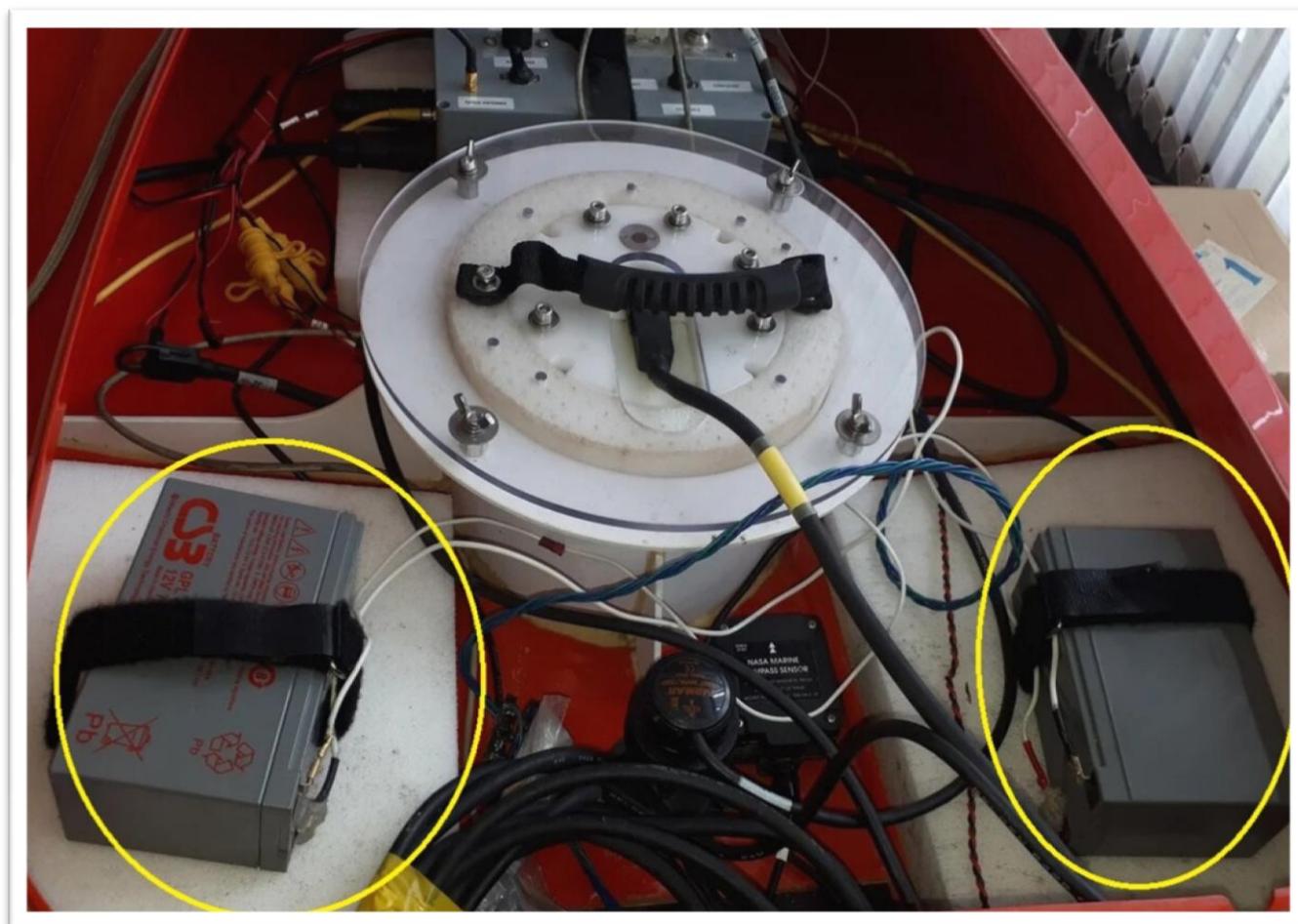


Рис. 5.5 Внутренний вид КИРВ Q-Boat 1800H #355, принадлежащей У-Северодвинская. Кружками на фото отмечены временно установленные вместо штатных аккумуляторные батареи. (фотография автора).

Анализируя перечисленные в этой главе неисправности профилографов можно сделать несколько выводов:

- профилографы довольно надёжные приборы. Из 18 (по состоянию на 2017 г.) единиц приборов известно только о трёх случаях выхода из строя в среднем за 4-5 лет эксплуатации. При этом, только за 2017 г. ими измерено 215 расходов на сети «Северного УГМС» («Приложение И»).

- профилографы чрезвычайно технически сложные приборы, требующие квалифицированного обслуживания и эксплуатации квалифицированными специалистами.

- основными причинами неисправностей профилографов в ФГБУ «Северное УГМС» за рассматриваемый период (с 2013 по 2019 г.г.) является скорее всего всё-таки человеческий фактор. В двух случаях из трёх, неисправности можно было избежать. Штырёк разъёма у Rio Grande сломался, очевидно, во время стыковки/расстыковки кабеля в/в. Точно так же и воду, попавшую внутрь лодки Q-Boat нужно было вовремя убрать. В случае с выходом из строя Stream Pro, возможен случай недостаточно надёжного модуля связи Bluetooth, используемого в схеме профилографа. (Модуль поставляется для Teledyne RDI сторонней компанией SENA – прил. К).

- вышедшие из строя профилографы отремонтировать не просто. Причина затруднений – зарубежное происхождение подавляющего количества приборов. К совершенно понятному стремлению компаний-производителей заработать как можно больше на обслуживании и ремонте, добавляется внешнеполитическая обстановка со всеми её экономическими и таможенными санкциями и сложностями трансграничных перевозок сложных электронных устройств. Возможно, с ремонтом профилометров отечественного производства (АРГО-600) подобных проблем с ремонтом не возникнет.

Заключение

Выполненный в данной работе анализ изменений эксплуатационных характеристик гидрологических приборов на примере ФГБУ «Северное УГМС» позволяет сделать ряд выводов, относительно приборов, которыми оснащена наблюдательная сеть Росгидромета в настоящее время, а также внести некоторые предложения о дальнейшей стратегии в области оснащения приборами опорной сети Росгидромета.

Так, в Главе 4 был проведён анализ наиболее характерных неисправностей вертушек речных всех типов, которые используются для измерений на сети ФГБУ «Северное УГМС» в настоящее время. Оказалось, что самое большое количество отказов вертушек по причине снижения их эксплуатационных свойств – у вертушек последнего поколения ИСВП ГР-21М1. Если взять в расчёт общее количество вертушек этого типа, поступившее в наблюдательные подразделения Северного УГМС, приблизительно 500 единиц, то 54 вертушки, списанные

по двум причинам за период в пять лет – это достаточно много. Очевидно, следует провести дополнительное исследование причин столь высокого процента отказов вертушек с привлечением методов из арсенала дефектоведения и материаловедения и по другим УГМС Росгидромета. По итогам такого исследования можно будет сделать предложения по внесению изменений в действующий ГОСТ или дать рекомендации Производителю.

Что касается относительно большого количества списания вертушек из-за вышедшего из строя жидкокристаллического табло у ИСО-1, можно уже сейчас обратиться к Производителю с предложением доработать схему индикации ИСО-1, внося соответствующие требования в техническое задание. Так, можно выполнить схему индикации в виде матрицы из светодиодов (они надёжнее жидкокристаллических панелей при низких температурах и им не страшна солнечная радиация); или сделать информационные панели в виде сменного модуля.

В Главе 5 были рассмотрены изменения эксплуатационных характеристик имеющихся на сети Северного УГМС профилографов различных типов. Профилографы в настоящее время нельзя назвать массовым прибором, в Северном УГМС сейчас их около 18 – 20. Это связано с их достаточно большой стоимостью; технической сложностью, из-за которой использовать их могут лишь высококвалифицированные специалисты; а также низким межповерочным интервалом в один год и сложностями с их поверкой (их необходимо ежегодно отправлять в ФГБУ ГГИ). Из недостатков можно упомянуть проблемы с ремонтом профилографов, так как большинство из них производится в странах, у которых РФ – в санкционных списках. Вместе с тем, у профилографов есть несколько неоспоримых достоинств по сравнению с вертушками:

– с их помощью возможно измерять расходы даже на пике половодья. На практике в настоящее время это позволяет на многих наблюдательных пунктах уточнить кривые расходов при паводочных уровнях, на которых расходы до этого не измерялись. Пример приведён в «Приложении Н.1», на графике кривой расходов воды на ГМС Емецк красным кружком отмечены измерения, выполненные практически на пике весеннего половодья 2018 г. Как видно – они хорошо укладываются на кривую.

– измерение расхода намного менее трудоёмкое, чем с вертушкой. Скорость измерения расхода в два – два с половиной раза меньше, чем с вертушкой.

– профиль измеряемого сечения освещается намного более подробно, чем обычно с вертушкой.

Общий вывод об использовании профилографов и изменении их эксплуатационных свойств на примере Северного УГМС таков: приборы это безусловно востребованные в гидрологических измерениях и способные значительно облегчить повседневный труд гидрологов. При условии бережного обращения

и грамотной эксплуатации они способны отработать значительный срок без поломок. С другой стороны, перечисленные недостатки: завышенная стоимость, отсутствие принципиальных схем, зарубежное происхождение, относительно небольшой межповерочный интервал, трудности с поверкой, трудности с ремонтом, можно решить при условии разработки для нужд российской науки линейки отечественных приборов измерения скорости потока на принципах доплеровского смещения. Возможно, неплохим прибором станет профилометр на базе АИСП «АРГО» после соответствующей доработки. Для устранения безальтернативности, следует также разместить тендер на разработку проектной документации для производства профилографа на отечественной базе, возможно на одном из ФГУП оборонной промышленности.

Таким образом, в настоящей работе произведён количественный и качественный анализ изменения эксплуатационных характеристик гидрологических приборов на примере Северного УГМС, сделана оценка развития технической оснащённости наблюдательной сети. Сделаны предложения по улучшению состояния парка приборов на сети. Подводя итоги, можно считать, что задачи и цели, поставленные в работе, выполнены.

Список литературы

Официальные документы

1. Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года и плана мероприятий по ее реализации [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 года № 1235-р, ред. от 17.04.2012 -- Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/902173350> (дата обращения: 10.03.2019)
2. Расход воды на водотоках. Методика измерений акустическими доплеровскими профилографами "Stream Pro" и "Rio Grande" [Электронный ресурс]: РД 52.08.767-2012 от 14.08.2012, ред. от 14.08.2012 – Режим доступа: URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293756/4293756059.htm> (дата обращения: 14.03.2019)
3. ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения. Официальное издание [Текст] – введ. М.: Издательство стандартов – В., 1988. – 34 с.
4. ГОСТ 15126-80 Средства измерения скорости течения воды. Вертушки гидрометрические речные. Общие технические требования. Издание официальное. [Текст] – взамен ГОСТ 15126-69 ; введ. с 01.01.81 М.: Издательство стандартов – В., 1986. – 6 с.
5. Управление водными ресурсами в условиях неопределенности и риска. Из 4-го доклада ООН об освоении водных ресурсов мира. WWDR4. [Электронный ресурс]: Overview of key messages; from the United Nations world water development report 4: managing water under uncertainty and risk (rus) – год публ. 2012 – Режим доступа: URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000215491_rus (дата обращения: 10.03.2019)
6. Обзор состояния системы гидрологических наблюдений, обработки данных и подготовки информационной продукции в 2015 году. Официальное издание [Текст] – СПб : Изд. ГГИ – СПб, 2015. – 47 с.
7. Типовой табель средств измерений и оборудования для производства наблюдений в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, её загрязнения. РТ 14–2012. Официальное издание [Электронный ресурс]: Рекомендации типовые РТ 14–2012 Режим доступа: URL: <http://www.meteorf.ru/upload/iblock/66c/tipovoj-tabelr.pdf> (дата обращения: 10.05.2019)
8. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. №102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений"[Электронный ресурс]: Федеральный закон «Об обеспечении един-

ства измерений» от 26.06.2008 №102-ФЗ (ред. от 13.07.2015)– Режим доступа: URL: <https://fzrf.su/zakon/ob-obespechenii-edinstva-izmerenij-102-fz/st-29.php> (дата обращения: 12.05.2019)

9. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.29.001.A №31767/1 [Электронный ресурс]: Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.29.001.A №31767/1 с приложением «Описание типа средства измерений измерители скорости водного потока ИСВП-ГР-21М1» (в редакции, утвержденной приказом Росстандарта № 1303 от 28.06.2018 г.) – Режим доступа: URL: <https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/37923-08.pdf> (дата обращения: 15.05.2019)

10. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.28.001.A №46415 [Электронный ресурс]: Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.29.001.A №46415 с приложением «Описание типа средства измерений измерители скорости водного потока ИСП-1М».) – Режим доступа: URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/32804-12-isp-1m-33034> (дата обращения: 15.05.2019)

11. РД 52.08.606-99 Методические указания. Вертушки гидрометрические речные типа ГР-21М, ГР-55, ГР-99. Методика поверки в градуировочных лотках ГР-19 и ГР-19М Официальное издание [Текст] – Москва : Изд. Росгидромет – Москва, 2001. – 27 с.

Литература

10. Догановский А.М. Гидрология суши (общий курс). – СПб.: РГГМУ, 2012. – 524 с. УДК 556.5 (075) ISBN 978-5-86813-327-5

11. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия (издание четвертое) – Л.: Гидрометиздат, 1977. – 448 с. УДК 556.5.04 (075.8)

12. Электронный ресурс. Официальный сайт компании Teledyne Marine – Режим доступа: URL: <http://www.teledynemarine.com/rio-grande-adcp?ProductLineID=13> (дата обращения: 13.03.2019)

13. Электронный ресурс. Официальный сайт ФГБУ «Северное УГМС» – Режим доступа: URL: <http://www.sevmeteo.ru/company/index.php> (дата обращения 15.05.2019)