

6 ВОДОУЧЕТ И ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

6.1 Оснащение мелиоративных систем средствами водоучета

6.1.1 Организация пунктов водоучета

Пункты водоучета на мелиоративных системах должны организовываться на головных водозаборных сооружениях, подкачивающих насосных станциях, узлах водораспределения магистральных, межхозяйственных каналов, хозяйственных водовыделах и сбросах для обеспечения своевременной и достоверной информации об объемах и распределении оросительных и дренажно-сбросных вод, проходящих по системе.

В зависимости от типа системы учета воды пункты водоучета подразделяются на технологические и коммерческие.

Технологические пункты водоучета организуются на перегораживающих регулирующих сооружениях и на водовыпусках, в пунктах водodelения, слияния потоков, на коллекторно-дренажной и сбросной сети. Количество технологических пунктов водоучета и створы их размещения выбираются в зависимости от количества и состава водорегулирующих сооружений и от принятой схемы управления технологическими процессами водораспределения.

В системах технологического и коммерческого водоучета выбор методов и средств измерений определяется техническими характеристиками водотоков согласно ГОСТ Р 51657.2, максимальными расходами воды, режимами протекания воды в канале или напорном трубопроводе, через гидрометрическое или гидротехническое сооружение, требованиями эксплуатации.

Для технологических пунктов водоучета возможно использование градуированных гидротехнических сооружений с щитовыми или секторными затворами, работающими как в режиме свободного, так и затопленного истечения, а также автоматические регуляторы и гидравлические стабилизаторы расходов.

Количество коммерческих пунктов водоучета и их расположение на сети определяется из условия обеспечения расчетов за воду, забранную из водоисточника и поданную водопотребителям.

Обязательными объектами, на которых организуются коммерческие пункты водоучета, являются:

- водовыделы потребителям, включая отдельные фермерские хозяйства;
- концевые сбросы в естественные водоприемники.

Технологические пункты водоучета организуются с целью:

- учета водных запасов источника орошения;
- учета водозабора мелиоративной системой;
- определения водного баланса системы и отдельных ее объектов;
- контроля за установленными водопользователями лимитами расходов или объемов на водопотребление и водоотведение;
- составления отчета вышестоящим организациям о потреблении воды системой и ее отдельными объектами;
- измерения расходов или объемов воды с целью выполнения в рыночных условиях экономических взаиморасчетов за воду, забранную из водоисточников и поданную потребителю;
- взаиморасчетов за воду между районами, областями, республиками.

Технологические пункты водоучета находятся в ведении управлений мелиоративных систем (водопользователей), коммерческие – на балансе водопотребителей, которые отвечают за их эксплуатацию и сохранность. Управление мелиоративной системы оказывают техническую помощь водопотребителям в организации на их терри-

ториях пунктов водоучета и инструктаже специалистов хозяйств по их эксплуатации.

В зависимости от методов измерений расходов и объемов воды (рисунок 6.1) пункты водоучета оснащаются стационарным оборудованием.

Оснащение пунктов водоучета техническими устройствами эксплуатационной гидрометрии производится силами и средствами собственника.

Для открытых каналов используются три основных способа измерения расходов и (или) объемов воды: закрепленными гидросторами с устойчивыми или облицованными участками русла, гидрометрическими сооружениями и устройствами, и градуированными ГТС.

При измерении воды первым способом пункт водоучета должен состоять из участка канала с устойчивым или специально облицованным руслом, равномерного колодца, гидрометрической переправы и технических средств измерений (контрольной гидрометрической рейки, уровнемера, глубиномера и измерителей скорости водного потока).

Пункт водоучета с гидрометрическими сооружениями и устройствами должен состоять из трех частей: участков канала верхнего и нижнего бьефа с измерительными средствами и равномерными колодцами для их размещения; непосредственно сооружения или устройства.

При необходимости совмещения двух функций, регулирования водоподачи в процессе водораспределения и измерения проходящих расходов воды, организуется пункт водоподачи с градуированными ГТС. Для градуировки и последующей эксплуатации ГТС в качестве гидрометрического для коммерческого водоучета, необходимо использовать сооружения, имеющие не более одного водопропускного отверстия. На этих сооружениях устанавливаются дополнительное оборудование и измерительные приборы (уровнемерные колодцы, датчики уровней и положения затворов водопропускных отверстий).

На пунктах водоучета, располагаемых на трубопроводах мелиоративных систем, расходы и (или) объемы воды в зависимости от стационарного оборудования определяют сужающими устройствами, измерительными сечениями и участками трубопроводов с преобразователями скорости течения, счетчиками объема, градуированным гидромеханическим оборудованием. Способы и методы измерения расходов и объемов воды определяются согласно ГОСТ Р 51657.2.

На каждом пункте водоучета должны систематически проводиться замеры расхода и стока оросительных и дренажно-сбросных вод. Все сведения о распределении оросительной воды на вододелительных узлах и точках выдела водопотребителям должны систематизироваться за каждые сутки на соответствующих эксплуатационных участках, обслуживающие данные узлы. Один раз в месяц проводятся контрольные измерения на пунктах водоучета.

Сведения о расходах и стоке оросительной воды должны передаваться дежурному диспетчеру для анализа данных управлением системы и использоваться для регулирования водораспределения по системе в целом.

Гидрометрические работы должны осуществляться специальным штатом службы эксплуатационной гидрометрии, возглавляемым инженером-гидрометристом. Для обеспечения эффективности работы гидрометрической службы, пункты водоучета оснащаются водоучитывающими устройствами.

Эксплуатация пунктов водоучета в части их технического обслуживания, ремонта, проведения градуировочных работ, снятия показаний с водоучитывающих устройств должна осуществляться в соответствии с техническими требованиями, инструкциями по эксплуатации с учетом обеспечения безопасности труда – по ГОСТ 12.0.001.

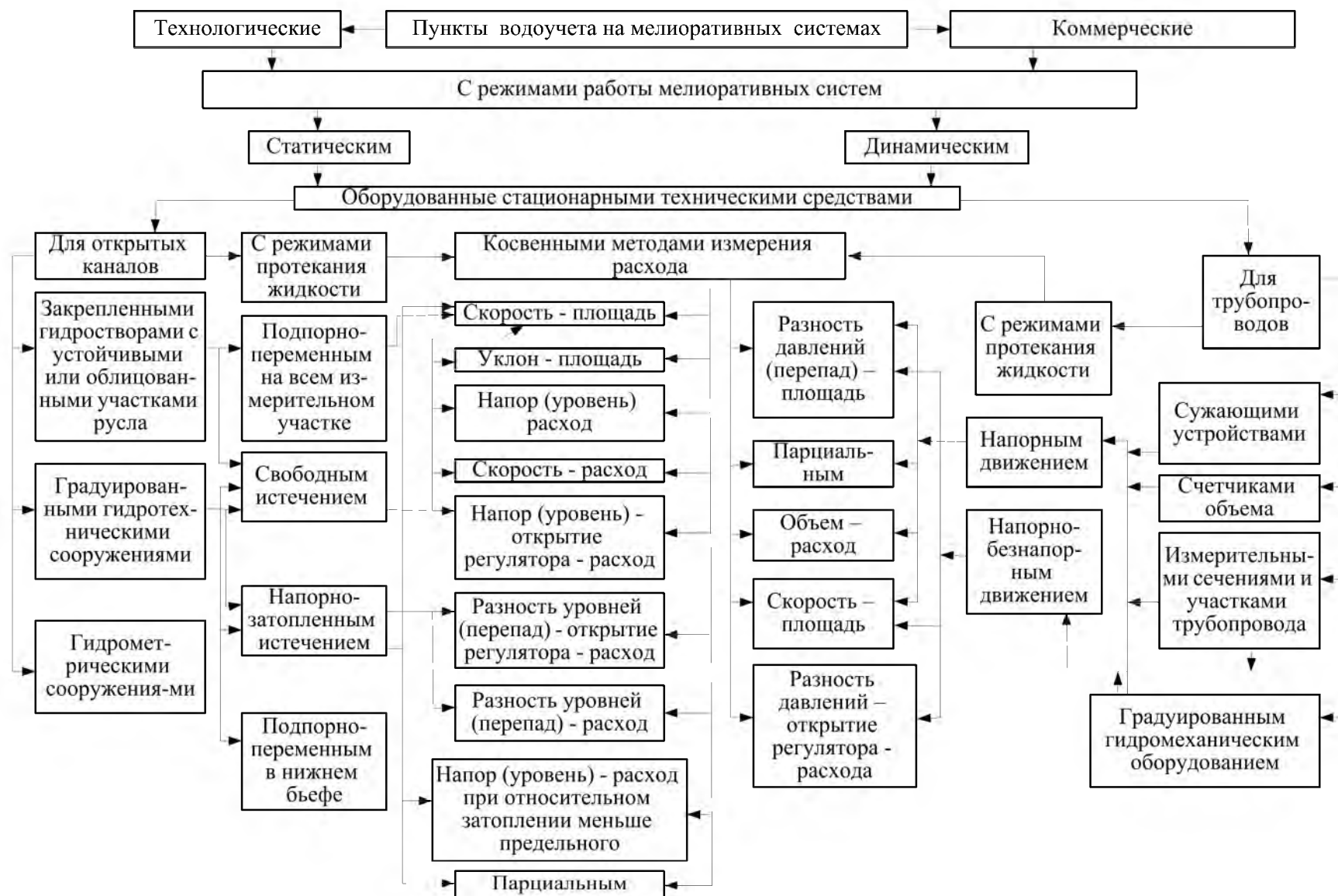


Рисунок 6.1 – Методы и средства измерений расходов и объемов воды

При использовании водоучитывающих устройств с напряжением питания от 220 В и выше, пункты водоучета должны быть оборудованы средствами пожаротушения, защищены от несанкционированного доступа и отвечать требованиям функциональной безопасности – по ГОСТ Р 53195.1.

Пункт водоучета должен быть оборудован гидрометрическим мостиком, приборами, устройствами или средствами для измерения уровня воды и постоянными высотными знаками (реперами). Не реже одного раза в год выполняется осмотр, ремонт, окраска и эстетическое оформление пункта водоучета.

Функции технологических и коммерческих пунктов водоучета:

- определение основных параметров гидрологического режима водного объекта в месте изъятия воды в оросительную систему (опорные);
- учет объема водозабора из водного объекта в оросительную систему (головные);
- учет объема подачи воды в головах ветвей магистрального канала и распределителей различных порядков на границах административных районов, субъектов Российской Федерации и пунктах выдела водопотребителям (распределительные);
- учет неиспользованного остатка оросительной воды и объема коллекторно-дренажного стока (сбросные);
- наблюдение за уровнями воды, контроль на участках каналов за допустимой высотой уровня в целях сохранения и устойчивости дамб, градуировка измерительных устройств, сооружений и определение КПД (контрольные);
- выполнение исследовательских, изыскательских и других работ (специальные).

6.1.2 Состав контролируемых параметров водного потока

Контролируемыми параметрами водного потока на пунктах водоучета являются:

- линейные размеры геометрического сечения измерительного участка;
- уровень (горизонт) воды;
- скорость водного потока;
- расход воды;
- объем воды.

Контролируемыми параметрами при организации автоматизированного водоучета и водораспределения являются уровни воды в бьефах каналов, величины открытия затворов и расход воды (таблица 6.1).

С помощью таблицы 6.1 составляется технологическая схема приборного обеспечения мелиоративной системы (выбирается тип водомерного устройства или прибора (или их группа) для каждого пункта водоучета с целью получения необходимой информации для управления водораспределением).

6.1.3 Приборное обеспечение водоучета на сооружениях мелиоративных систем

Приборное обеспечение систем водоучета должно быть унифицированным по видам средств измерений, метрологическим и эксплуатационным характеристикам. Основные требования к средствам измерений – сертификация в России, серийный выпуск приборов, обеспечение предприятиями – изготовителями гарантийного ремонта и сервисного обслуживания в течение всего срока службы измерительного оборудования.

Для решения технологических задач управления водопользованием, в системе технологического и водоучета могут использоваться:

- гидротехнические сооружения, обладающими свойствами водомерности (автоматические регуляторы и стабилизаторы расхода воды);

Таблица 6.1 – Состав контролируемых параметров при автоматизированном водоучете и водораспределении

Способ регулирования	Источник орошения (водохранилище, река)	Головные водозаборные сооружения	Головные насосные станции	Перегораживающие сооружения на межхозяйственной сети	Перекачивающие насосные станции	Водовыделы: водозаборные сооружения	Водовыделы: насосные станции подкачки	Водохранилища, бассейны накопители	Сбросные сооружения
По верхнему бьефу (ВБ)	Уровень воды	Уровень нижнего бьефа, открытие затвора, расход	Расход, уровень верхнего бьефа	Расход, уровень верхнего бьефа, уровень нижнего бьефа	Расход, уровень верхнего бьефа, уровень нижнего бьефа	Расход, уровень нижнего бьефа, уровень верхнего бьефа	Расход (в подводящем трубопроводе давление), уровень нижнего бьефа	Уровень воды	Расход
По нижнему бьефу (НБ)	То же	То же	То же	То же	То же	То же	То же	То же	То же
Смешанное	"	"	"	"	"	Расход, уровень верхнего бьефа, уровень нижнего бьефа	"	"	"
Постоянными перепадами	"	"	"	"	"	То же	"	"	"
Перетекающими объемами	"	"	"	Расход, уровень верхнего бьефа, уровень нижнего бьефа	"	"	"	"	"
Непосредственным отбором расходов	"	"	"	То же	"	"	"	"	"

- градуированные регулирующие сооружения на водозаборах и вододелителях;
- гидрометрические сооружения и устройства, включающие водосливы, пороги, гидрометрические лотки, а также приставки и насадки.

Для создания современной гидрометрической сети оросительных систем рекомендуется использование типовых конструкций расходоизмерительных сооружений, оборудованных необходимыми средствами измерения параметров водного потока.

Согласно перечня контролируемых параметров и методов измерения расхода и объема воды по ГОСТ Р 51657.2 пункты водоучета могут оснащаться средствами и приборами, внесенными в государственный реестр средств измерений.

Для определения наиболее новых, перспективных и экономически целесообразных приборов системы автоматизированного учета вод необходимо составление ТЭО, на основании которого должна быть разработана проектно-сметная документация.

Для коммерческих пунктов водоучета могут использоваться гидрометрические сооружения и устройства, которые имеют утвержденные типовые проекты, международные стандарты и (или) государственную нормативно-техническую документацию России для признания этих сооружений в качестве рабочих средств измерений расходов и объемов воды, проведения поверок утвержденными методами и средствами измерений.

6.1.4 Информационное обеспечение службы эксплуатации о состоянии пунктов водоучета и результатах мониторинга контролируемых параметров

Сведения о состоянии пунктов водоучета

Общие сведения о состоянии пунктов водоучета (ПВ) представляются в табличной форме, в соответствии с таблицей 6.2.

Таблица 6.2 – Общие сведения о состоянии средств водоучета (ПВ)

Порядковый номер ПВ согласно линейной схеме	Назначение и расположение ПВ	Год ввода в эксплуатацию	Балансовая (проектная) стоимость, тыс. руб.	Тип и конструктивные особенности ПВ
		Год проведения последней реконструкции		
1	2	3	4	5

Продолжение таблицы 6.2

Характеристика состояния метрологического обеспечения	Характеристика энергоснабжения	Характеристика средства автоматизации и связи	Характеристика состояния ПВ, предложения по реконструкции, дооснащению, переносу, ликвидации, капитальному ремонту и т. п.
6	7	8	9

В графе 1 для каждого пункта водоучета указывается его условный порядковый номер, соответствующий обозначению на линейной схеме гидрометрической сети мелиоративной системы.

В графе 2 указывается расположение ПВ (например, «пикет 5+50 канала Р-1-2»). В этой же графе указывается назначение ПВ, например, «технологический контроль на водозаборе» или «технологический контроль на сбросном сооружении», или «коммерческий учет водоподачи в хозяйство», или «технологический контроль и учет на границе балансового участка» и т. п.).

В графе 3 указывается срок ввода ПВ в эксплуатацию и год проведения последнего капитального ремонта или реконструкции ПВ (если такие производились).

В графе 4 указывается балансовая стоимость ПВ в соответствии с бухгалтерскими сведениями эксплуатационной организации. При наличии утвержденной проектно-сметной документации на строительство нового или реконструкцию существующего ПВ на данном объекте, в этой графе указываются в скобках проектная стоимость нового или реконструированного ПВ.

В графе 5 указывается тип и краткие конструктивные особенности ПВ (например, «фиксированное русло», «градуированное вертушкой» или «водослив с тонкой стенкой трапецеидального сечения», или речный без облицовки, градуированный вертушкой», или «ультразвуковой расходомер ЭХО-Р-02» и т. п.).

В графе 6 указывается состояние метрологического обеспечения ПВ (например, «аттестован в 2008 г., прошел поверку в 2009 г.» или «не аттестован в связи с необходимостью реконструкции, или «оборудован ультразвуковым расходомером-счетчиком «Взлет РСЛ» или «не аттестован в 2009 г. ввиду несоответствия нормативным требованиям» и т. п.)

В графе 7 указывается обеспеченность ПВ источниками электроэнергии (например, «подведена ЛЭП 220 В» или «отсутствует. Расстояние до электрифицированного ГТС 250 м», или «проектом автоматизации предусмотрен подвод ЛЭП 220 В», или «отсутствует. Подвод ЛЭП не предусматривается» и т. п.).

В графе 8 указывается обеспеченность ПВ средствами автоматизации и связи (например, «подключен к системе дистанционной передачи данных» или «отсутствует», или «отсутствует. Есть проект установки средств дистанционной передачи данных», или «линия связи дистанционного контроля от ПВ до водозабора сооружения» и т. п.)

В графе 9 даются выводы о соответствии ПВ нормативным требованиям и условиям эксплуатации и указываются конкретные мероприятия по реконструкции и совершенствованию (например, «удовлетворительно. Требуется текущего ремонта и дооснащения уровнемером и счетчиком стока» или «неудовлетворительно. Требуется переноса на пикет 2+50 и строительства нового ПВ», или «неудовлетворительно. Требуется облицовки, установки мостика, успокоительного колодца, уровнемера», или «неудовлетворительно. Ввиду сбойности течения и подпорно-переменного режима, требуется строительства нового ПВ другого типа»). Ввиду того, что заполнение графы 9 связано с наибольшими трудностями, эксплуатационные организации могут привлекать для оказания технической помощи и консультаций отраслевые научно-исследовательские и проектные организации.

Сведения о технических характеристиках средств водоучета

Технические характеристики средств водоучета представляются в табличной форме, в соответствии с таблицей 6.3.

В графе 1 таблицы 6.3 для каждого ПВ указывается его условный порядковый номер, соответствующий обозначению на линейной схеме.

В графу 2 записываются значения максимального и минимального расходов воды по данным планов водопользования или результатам измерений за прошедшие годы.

В графу 3 записываются значения максимального и минимального уровней воды на ПВ относительно условных отметок дна, по результатам измерений за прошедшие годы. В случае применения в составе ПВ сужающих устройств типа насадков, приставок и др., у которых величина расхода зависит от изменения перепадов уровней воды, в графу 3 дополнительно записываются в скобках значения максимального и минимального перепада уровней воды.

Таблица 6.3 – Технические характеристики

Порядковый номер ПВ на линейной схеме	Диапазон расходов, Q_{\max}/Q_{\min}	Диапазон уровней (перепадов уровней) воды, H_{\max}/H_{\min} ($\Delta H_{\max}/\Delta H_{\min}$)	Габаритные размеры канала или сооружения на участках, прилегающих к ПВ	Габаритные размеры конструктивных частей ПВ
1	2	3	4	5

Продолжение таблицы 6.3

Диапазон скорости потока V_{\max}/V_{\min} , м/с	Характеристика облицовки канала на участке расположения ПВ	Характеристика оборудования ПВ	Характеристика условий эксплуатации ПВ
6	7	8	9

В графу 4 заносятся сведения о габаритных размерах прилегающих к ПВ участков каналов или сооружений, в том числе:

- ширина по дну (b);
- ширина по верху (B);
- строительная глубина ($H_{\text{стр}}$);
- заложение откосов (m), для каналов прямоугольного сечения $m = 0$;
- средний уклон дна (i).

Если канал выполнен из параболических лотков, следует указать марку лотка.

В случае размещения пункта водоучета на регулирующих проводящих, сопрягающих и других гидротехнических сооружениях, необходимо в графе 4 указать дополнительные сведения, в том числе расстояние от затворов в верхнем или нижнем бьефе, число затворов, величины максимального и минимального открытия затворов, общую длину сооружения.

В случае размещения пункта водоучета на закрытом (напорном) водоводе, следует в графе 4 указывать диаметр водовода (d), общее число параллельных водоводов (n), общую длину водоводов (l), в том числе длину прямолинейного участка в зоне расположения створа измерения (l/d) (отношения длины прямолинейного участка к диаметру). В этом случае в графе 3 вместо значений уровня воды указывается величина давления внутри водовода (P).

В графе 5 в случае, если конструктивные размеры ПВ, например, «фиксированное русло», соответствует размерам прилегающих участков каналов или сооружений, следует указать: «см. графу 4».

Если в пункте водоучета установлены сужающие устройства (например, водосливы с тонкой стенкой, насадки САНИИРИ, диафрагмы, расходомерные лотки и т. п.), то в графе 5 следует указать габаритные размеры этих сужающих устройств, в том числе ширину и высоту водосливного выреза, высоту порога, диаметр насадка и т. п.

Для средств измерений, установленных в пунктах водоучета на напорных водоводах следует в графе 5 указать их диаметр условного прохода (d_y) и общую длину.

В графе 6 следует указать фактические значения скорости потока, соответствующие максимальному и минимальному расходам воды. Эти данные следует принимать по результатам измерений, а в пунктах водоучета, где скорость потока непосредственно не измеряется, например, перед водосливами с тонкой стенкой, они опреде-

ляются расчетами, в результате деления соответствующих значений расходов воды на площади сечения при известных габаритах и глубине каналов.

В графе 7 указываются сведения о состоянии и характеристиках облицовки канала на участке расположения ПВ (например, «облицован ж/б плитами» или «облицован монолитным бетоном, требует ремонта», или «облицован булыжным камнем, требует облицовки бетоном», или «без облицовки, русло устойчивое (размываемое, зарастающее)», или «параболический лоток ЛР-60» и т. п.).

В графе 8 записываются сведения о составе и характеристиках комплектующего оборудования ПВ, в том числе:

- средств измерения уровней воды (например «деревянная нестандартная рейка ($H = 1,0$ м, цена деления $\Delta = 1$ см)» или «стандартная металлическая рейка РГ-1», или «датчик уровня акустический» и т. п.);

- средств переправы (например, «металлический мостик длиной 8,5 м» или «подвесной деревянный мостик на тросах длиной 12,5 м», или «мостик отсутствует» и т. п.);

- успокоительных колодцев (например, «круглый ж/б колодец ($d = 1$ м)» или «прямоугольный бетонный колодец ($0,6 \times 0,8$ м)», или «выносной металлический колодец в русле ($d = 0,35$ м)» и т. п.);

- средств измерения стока (например, «ультразвуковой расходомер-счетчик стока ЭХО-Р-02» или «перепадомер со счетчиком» и т. п.);

- топографических реперах (например, «есть репер» или «репера нет»);

- прочих средств измерений с указанием их диапазонов измерения, цены деления, количества и т. п.

При наличии неисправного прибора указать в скобках «(неисправен)».

В графе 9 указываются сведения о характерных условиях эксплуатации ПВ, в том числе:

- условия зарастания ПВ и прилегающих участков каналов, например, «сильно зарастает» или «слабо зарастает, на показания ПВ не влияет», или «канал облицован» и т. п.;

- условия заиления ПВ (например, «сильное заиление перед водосливом» или «слабое заиление ПВ, не влияет на показания», или «заиления нет»);

- условия подпора (например, «сильный подпор от перегораживающего сооружения на расстоянии 0,3 км» или «слабый подпор из-за заиления и зарастания нижнего бьефа», или «подпор отсутствует» и т. п.);

- условия сбойности течения (например, «сбой из-за криволинейного подводящего участка» или «волна ($H = 0,2$ м) из-за большой скорости потока» и т. п.);

- особые условия, влияющие на работу ПВ (например, «наличие плавающего мусора, бурного потока со скоростью, больше критической, невозможность контроля воды на напорных водоводах и скважинах из-за коротких прямолинейных участков труб» и т. п.).

При оформлении таблиц допускается вводить условные обозначения и сокращения. Сведения, требующие дополнительного разъяснения, рекомендуется указывать в пояснительной записке.

На каждой таблице должны быть проставлены фамилия и подпись ответственного исполнителя.

6.1.5 Метрологическое обеспечение средств водоучета

Задачами метрологического обеспечения средств водоучета, находящихся в эксплуатации являются:

- проведение периодических (в соответствии с регламентированными межпове-

рочными интервалами) и внеочередных поверок средств измерений, входящих в состав пунктов водоучета – по ПР 50.2.006-94 [193];

- проведение градуировки и поверки регулирующих гидротехнических сооружений, используемых в качестве гидрометрических, на основе МИ 1759-87 [194];

- техническое обслуживание и ремонт средств измерений;

- мониторинг наличия и состояния имеющейся нормативно-технической документации на средства и методы измерений. Проверка их соответствия действующим нормативным документам (технические регламенты, национальные стандарты, методики выполнения измерений, испытаний, поверки средств измерений);

- контроль наличия и технического состояния средств измерений для проведения поверок пунктов водоучета (образцовый измерительный инструмент для производства линейно-угловых измерений, образцовые, с цифровой индикацией результатов измерений, средства измерения гидравлических параметров, электро- и радиоизмерительные приборы).

Перед началом поливного сезона все водомерные приборы подлежат государственной поверке уполномоченными органами метрологического контроля. Кроме того, они подлежат внеочередной поверке после каждого ремонта.

Систематический (ежедневный) учет воды на пунктах водоучета с фиксированным руслом производится по градуировочной зависимости $Q = f(h)$; (график, таблица, уравнение):

- при механизированном учете – прямым измерением (отсчетом) по уровнемерной рейке и определением расхода воды по таблице $Q = f(h)$;

- при автоматизированном учете – измерительным прибором с контролем показаний по гидрометрической рейке.

Контрольные измерения расхода воды производятся гидрометрической вертушкой основным (двухточечным) способом «площадь-скорость» для построения графика $Q = f(h)$. Для этого надо сделать 8-10 измерений в диапазоне от Q_{\min} до Q_{\max} . Контрольные измерения производятся 1-2 раза в месяц с целью проверки графика $Q = f(h)$. При отклонении контрольных расходов по графику более 5 % в последний вводится поправка $\pm \Delta h$.

Периодически (по необходимости) производится контрольная нивелировка пункта водоучета с целью установления «нуля» гидрометрической рейки относительно дна водотока.

Не реже одного раза в год производится осмотр и ремонт пункта водоучета и очистка русла.

Допустимая относительная погрешность измерения расхода воды должна соответствовать ГОСТ Р 51657.2, а погрешность измерения уровня воды – ГОСТ Р 51657.4.

6.2 Правила водораспределения и водоучета на мелиоративных системах

6.2.1 Правила водораспределения на мелиоративных системах

Организациям, осуществляющим эксплуатацию мелиоративных систем, предоставлено право водопользования для обеспечения нужд водопотребителей [113].

Организации-водопользователи обеспечивают водораспределение на мелиоративной системе и подачу воды водопотребителям на договорных условиях.

Договор о подаче воды заключается с водопотребителями, получающими воду непосредственно с водовыделов водопользователя.

Организации-водопользователи осуществляют подачу воды для нужд сельскохозяйственного производства и удовлетворения других потребностей с применением

сооружений и технических устройств, обеспечивающих изъятие воды из водных объектов и транспортировку к пунктам выдела воды водопотребителям.

Водораспределение на мелиоративной системе должно осуществляться в соответствии с системным и внутрихозяйственными планами водопользования.

Водопользователи и водопотребители обязаны:

- рационально использовать водные ресурсы, соблюдать условия, установленные договором на водопользование;
- содержать в исправном состоянии оросительную, коллекторно-дренажную и сбросную сеть, гидротехнические сооружения и технические устройства;
- своевременно осуществлять мероприятия по предупреждению и устранению аварийных и других чрезвычайных ситуаций;
- вести в установленном порядке учет забираемых, используемых и сбрасываемых вод и представлять отчетность в установленные сроки специально уполномоченному государственному органу управления.

В случае, когда водопользователь является одновременно и водопотребителем, технологические аспекты водораспределения, прописанные в данных правилах (в том числе и составление планов водопользования), остаются действующими и выполняются данным лицом и как водопользователем и как водопотребителем. При этом составление актов согласований и взаиморасчетов не требуется.

Внутрихозяйственный план водопользования

Внутрихозяйственный план водопользования составляется каждым водопотребителем как документ, определяющий взаимоотношения водопотребителей с водопользователем в вопросах обеспечения водными ресурсами.

Во внутрихозяйственном плане водопользования отражаются потребности водопотребителя в оросительной воде как общие, так и по отдельным периодам вегетации, в том числе выделение воды на коммунальные и хозяйственные нужды водопотребителя (при необходимости).

Потребность в объемах воды для орошения определяют на основе установленных режимов орошения сельхозкультур и научно обоснованных норм водопотребления.

При составлении внутрихозяйственного плана водопользования при необходимости учитываются расходы воды на промывные и влагозарядковые поливы.

Внутрихозяйственный план водопользования рассчитывается с учетом применяемой водопотребителем технологии орошения, наличием трудовых и производственных ресурсов.

В случае, если водопотребитель забирает воду для поливов сельхозкультур из местных источников орошения, лимиты подачи воды устанавливаются при оформлении договоров водопользования, исходя из водообеспеченности источника орошения.

Внутрихозяйственный план водопользования составляется в табличной форме по каждой сельскохозяйственной культуре с указанием площади, числа и сроков поливов, поливных норм, объемов водопотребления и способов поливов.

Внутрихозяйственный план водопользования составляется специалистами организации-водопотребителя и утверждается ее руководителем.

Данные, содержащие информацию о внутрихозяйственных планах водопользования, представляются водопользователю (территориальной эксплуатационной организацией).

Системный план водопользования

Системный план водопользования является сводным планом и составляется водопользователем (эксплуатационными организациями) представленной структуры

сельхозкультур на орошаемых землях и режима орошения всех водопотребителей, имеющих договорные отношения с водопользователем.

Системный план водопользования включает в себя план забора и распределения воды по мелиоративной системе, исходя из лимитов согласованных в «Решении о представлении водного объекта в пользование», имеющегося у каждой эксплуатационной организации.

Системным планом водопользования определяются потребности в воде водопотребителей по каждому водовыделу и в целом по мелиоративной системе, учитываются: заполнение системы, технологические потери воды на транспортировку, фильтрацию и испарение.

План забора воды в мелиоративную систему определяют по декадам вегетационного периода суммированием данных внутрихозяйственных планов водопользования по расходам воды (брутто), учитывая физическую площадь поливов, кратность гектарополивов и данные по водопотреблению (нетто и брутто).

Расчетный объем забора воды не должен превышать лимитов объемов водных ресурсов принятых в «Решении о предоставлении водного объекта в пользование» для орошения земель сельскохозяйственного назначения или в договорах водопользования. Расходы водоподачи водопотребителям рассчитываются исходя из пропускной способности магистральных и межхозяйственных каналов. Предусматриваются мероприятия по повышению КПД, как отдельных оросительных каналов, так и мелиоративной системы в целом.

Сводный план водопользования согласовывается с региональными органами по сельскому хозяйству и представляется на утверждение в соответствующие органы исполнительной власти за месяц до начала поливного сезона.

Данные, содержащиеся в утвержденном плане водопользования, являются основой для заключения договора на пользование водным объектом, а также дополнительных соглашений, обеспечивающих эксплуатацию оросительной системы.

После формирования и согласования системного плана водопользования эксплуатационные организации приступают к заключению договоров на подачу воды с указанием площади полива и объема водоподачи.

План подачи воды водопотребителю на декаду подтверждается заявкой водопотребителя. В случае непредвиденных обстоятельств заявка корректируется по телефонному звонку с соответствующей отметкой на заявке водопотребителя.

Реализация планов водопользования

Водопользователь осуществляет оперативный контроль распределения водных ресурсов в соответствии с планом водопользования. Обеспечивает бесперебойную работу водопроводящих каналов, гидротехнических сооружений и технологического оборудования, ведет наблюдение за поступлением и потреблением воды мелиоративной системой в соответствии с диспетчерским графиком, корректирует расходы по узлам водораспределения и водовыделам водопотребителям.

За месяц до начала поливов специалистами управлений эксплуатации мелиоративных систем (водопользователей) и водопотребителей должно быть проведено обследование внутрихозяйственных оросительных сетей с составлением акта их обследования готовности к поливному сезону.

После проверки технического состояния сооружений мелиоративной системы производят заполнение водопроводящих каналов межхозяйственной сети до точек водовыдела, согласно заявок водопотребителей.

Контроль и управление реализацией системных планов водораспределения обеспечивает диспетчерская служба мелиоративной системы, круглосуточно.

Операции по водозабору и водораспределению на мелиоративной системе осуществляет линейный персонал под руководством дежурного диспетчера.

Регулировка технологического оборудования гидротехнических сооружений на мелиоративной системе должна выполняться в соответствии с инструкциями или указаниями.

Корректировка плана водопользования

В течение вегетационного периода водопользователь может осуществлять подекадную корректировку планов водопользования для учета погодных условий, водного баланса орошаемых сельхозугодий и агротехнических мероприятий, а также изменения водообеспеченности водного объекта от принятой для расчетного года.

На основании скорректированных данных устанавливается текущая реальная потребность в воде по каждому водопотребителю. Если в предыдущую пятидневку отмечены недоборы или переборы в подаче воды по отдельным водопроводящим каналам мелиоративной системы, то соответственно корректируется график водораспределения на предстоящую пятидневку.

В случае уменьшения водообеспеченности водных объектов, из которых забирается вода на орошение, водопользователь может ограничивать подачу воды водопотребителям.

Прочие непредусмотренные изменения вносятся в план путем ежедекадных диспетчерских корректировок в процессе его выполнения.

6.2.2 Правила водоучета на мелиоративных системах

Учет воды, отпускаемой водопотребителям, производится по показаниям контрольно-измерительных приборов, установленных на пунктах водоучета соответствующих водовыделов мелиоративных систем.

Снятие показаний производится представителями эксплуатационной организации-водопользователя и водопотребителем с осуществлением записи в специальном журнале водоучета, который ведется в двух экземплярах. Один экземпляр хранится у представителя эксплуатационной организации-водопользователя, другой у водопотребителя.

Периодичность снятия показаний контрольно-измерительных приборов (расходомеров-счетчиков стока и уровнемеров) определяется на договорной основе.

Основанием для производства расчетов услуг по подаче воды является акт сверки объемов поданной воды, который составляется один раз в месяц.

Взаимоотношения между водопользователем и водопотребителями должны регулироваться договором, который заключается перед поливным сезоном.

У водопотребителей, имеющих свою внутрихозяйственную сеть, должны быть специалисты, ответственные за обеспечение водоучета.

Пункты водоучета, находящиеся за водовыделами мелиоративных систем, находятся в собственности водопотребителей.

Учет объемов сбрасываемой воды за пределы мелиоративной системы производится по показаниям контрольно-измерительных приборов на пунктах водоучета, организованных на сбросах из мелиоративных систем.

Метрологическое обеспечение эксплуатации пунктов водоучета на мелиоративных системах

Для метрологического обеспечения единства измерений при осуществлении водоучета и других технологических процессов водоподдачи и водораспределения водопользователь создает и обеспечивает функционирование соответствующих гидрометрических служб.

Методическое руководство деятельностью гидрометрической службы водопользователя осуществляет базовая организация ведомственной метрологической службы, а государственный надзор – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии через свои территориальные органы.

Нормативной базой службы метрологического обеспечения средств водоучета, находящихся в эксплуатации, являются:

- федеральные законы, национальные стандарты, другая нормативная документация по метрологическому обеспечению средств измерений;
- стандартизованные методики выполнения измерений и проведения испытаний, ремонтно-эксплуатационная документация на средства измерений.

Материально-техническая база гидрометрической службы водопользователя должна быть укомплектована средствами проведения поверок и метрологических аттестаций:

- образцовым мерительным инструментом для производства линейно-угловых измерений;
- образцовыми, с цифровой индикацией результатов измерений, электро- и радиоизмерительными средствами измерений.

Гидрометрическая служба водопользователя отвечает за техническое состояние методов и средств водоучета, обеспечивающих взаимные расчеты между водопользователем и водопотребителями.

Состав, структура и виды деятельности подразделений служб эксплуатации по метрологическому обеспечению водоучета на мелиоративных системах

Эксплуатационные организации-водопользователи должны содержать в своем составе производственные подразделения (метрологические службы), обеспечивающие эксплуатацию, техническое обслуживание и текущий ремонт пунктов водоучета на мелиоративных системах, с необходимым комплектом средств измерений и вспомогательного технологического оборудования.

Основные функции метрологической службы:

- разработка организационно-технических мероприятий по обеспечению единства и достоверности измерений;
- определение потребности в средствах измерений и составление заявок на их приобретение;
- ведение технического учета средств измерений, находящихся в эксплуатации;
- составление календарных графиков организации поверки средств водоучета;
- контроль за своевременным представлением на поверку средств измерений подразделениями управления;
- осуществление контроля за правильным применением и хранением средств измерений;
- проведение работ по повышению квалификации работников, эксплуатирующих средства измерений.

Эксплуатация средств водоучета на мелиоративных системах осуществляется линейным персоналом организаций-водопользователей (эксплуатационные организации), в обязанности которых входит:

- сохранение и содержание в исправном состоянии пунктов водоучета;
- производство уходных и малообъемных работ по обслуживанию пунктов водоучета;
- контроль за проведением плановых ремонтов (текущего и капитального) пунктов водоучета;
- выполнение монтажных и демонтажных работ, участие в наладке контрольно-измерительных приборов и вспомогательного оборудования, их консервация для хра-

нения в межполивной период, подготовка средств измерений к ремонту, к периодическим, внеочередным, инспекционным поверкам;

- предоставление необходимых данных службе водопользования и диспетчерской службе;

- совместно с водопотребителями принимать участие в получении данных по учету воды с контрольно-измерительных приборов;

- подготовка документации по оплате за объем поданной воды;

- составление планов ремонта и строительства новых пунктов водоучета.

Численность и состав метрологической службы определяется исходя из количества и типа пунктов водоучета, находящихся на балансе организации-водопользователя.

Выбор методов и средств измерения параметров водного потока для пунктов водоучета

Контрольно-измерительные приборы, иные устройства для пунктов водоучета на мелиоративных системах должны выбираться с учетом эксплуатационных и технико-экономических требований:

- обеспечение автоматизированного учета расхода и стока воды;

- обеспечивать унификацию и взаимозаменяемость элементов водомерных устройств, типизацию конструкции пунктов водоучета;

- обеспечивать возможность индустриального и блочного изготовления пунктов водоучета, транспортабельность, несложность монтажа и простоту пуско-наладочных работ измерительных приборов и вспомогательного технологического оборудования;

- обеспечивать надежность эксплуатации контрольно-измерительных приборов в различных условиях работы сооружений мелиоративной системы, достаточность диапазона измерения, возможность измерения контролируемых параметров водного потока с незначительными потерями напора;

- простота и надежность защиты измерительных устройств от постороннего вмешательства. Удобство осмотра, проверки работы, ремонта, замены частей, установки приборов, средств автоматики, их взаимозаменяемость, блочное исполнение;

- работа пунктов водоучета и контрольно-измерительных приборов не должна нарушаться из-за отложения наносов, наличия мусора, плавающих предметов и других факторов как измеряемой, так и внешней среды.

Допустимая общая относительная погрешность измерения расхода и объема воды на гидрометрических сооружениях и устройствах должна соответствовать ГОСТ Р 51657.2-2000, а погрешность измерения средствами водоизмерения – ГОСТ Р 51657.3-2000 и ГОСТ Р 51657.4-2000.

Организация технического обслуживания и ремонта пунктов водоучета и средств измерения

Для поддержания в работоспособном состоянии пунктов водоучета предусматриваются следующие виды планово-предупредительных ремонтов: текущие и капитальные.

Уходные работы и малообъемные текущие ремонты выполняются производственными подразделениями организации-водопользователя, а сложные текущие и капитальные ремонты выполняются специализированными ремонтно-строительными организациями на договорной основе.

Планы и сметы ремонтных работ составляются на основании актов ежегодных осмотров пунктов водоучета и ведомостей установленных объемов ремонтно-строительных работ.

Для проведения текущих и капитальных ремонтов разрабатывается проектно-сметная документация, которая составляется аккредитованной проектной организацией.

Периодичность проведения капитального ремонта пунктов водоучета – 2 года при среднем сроке службы 10 лет.

6.3 Технические требования к средствам измерения и вспомогательному технологическому оборудованию

Для создания условий необходимых для проведения измерений, регистрации контролируемых параметров, преобразования потока к виду, обеспечивающему снятие необходимого количества показаний с приборов, формирования устойчивой структуры потока, обеспечения технологичности и удобства измерений используется вспомогательное технологическое оборудование и устройства.

В зависимости от назначения пункта водоучета (технологический или коммерческий), метрологические требования к применяемым средствам измерений могут различаться по отдельным показателям.

При технологическом водоучете величины погрешностей измерения (определения) расхода воды и других параметров водного потока могут определяться условиями эксплуатации мелиоративных систем и сооружений с исключением возможности возникновения аварийных ситуаций. Измеряются уровни и расходы воды, а допустимая погрешность измерений может достигать $\pm 10 \%$.

При коммерческом водоучете погрешность измерений объема и расхода воды должна гарантироваться средствами измерений, аттестованными ведомственной и государственной метрологической службой и не должна превышать $\pm 2-3\%$;

Средства измерений пунктов водоучета должны обеспечивать:

- надежность и достоверность результатов измерений независимо от изменений режимов водоисточников и других местных условий;
- сохранение однозначности измеряемых величин во всем диапазоне измерений;
- защищенность от какого-либо вмешательства извне в показания приборов, в фиксируемые параметры или средства фиксации;
- достаточную метрологическую обеспеченность применяемых средств водоучета или комплексов средств водоучета;
- возможность контроля в любой момент времени показаний приборов, положения датчиков, состояния аппаратуры и средств телеизмерения;
- возможность быстрой замены и реставрации, градуировки и переградуировки средств измерений и датчиков.

6.3.1 Классификация средств водоизмерения

Классификация методов измерения расхода и объема воды, применяемых на пунктах водоучета в гидромелиоративных и водохозяйственных системах, устанавливается стандартом ГОСТ Р 51657.2-2000.

По функциональному назначению средства измерения параметров водного потока подразделяются на:

- измерительные преобразователи;
- измерительные приборы;
- измерительные системы.

Измерительные преобразователи по месту в измерительной цепи подразделяются на:

- первичные преобразователи (на которые непосредственно воздействует измеряемая физическая величина);
- промежуточные преобразователи (занимающие место в измерительной цепи после первичного преобразователя);

- комбинированные преобразователи (объединяют функции первичных и промежуточных преобразователей).

Измерительные преобразователи различаются по виду преобразования:

- давление в аналоговый электрический сигнал;
- механическое воздействие в аналоговый электрический сигнал;
- механическое воздействие в цифровой электрический сигнал;
- аналоговый измерительный сигнал в цифровой код;
- поступательное движение во вращательное движение;
- электрические колебания в механические колебания;
- механические колебания в электрические колебания;
- электромагнитные колебания в механические колебания;
- механические колебания в электромагнитные колебания;
- механическое перемещение в электрический сигнал;
- оптические изменения в электрический сигнал.

Промежуточные преобразователи по типу исполнения преобразующей части делятся на преобразователи:

- прямого преобразования;
- интегрирующие;
- суммирующие;
- сравнивающие (уравновешивающие).

Промежуточные преобразователи прямого преобразования, интегрирующие и суммирующие делятся на преобразователи:

- потенциометрические (реостатные);
- индуктивные;
- взаимоиндуктивные (трансформаторные, ферродинамические);
- магнитомодуляционные;
- позиционные (кодовые, дискретные);
- последовательного счета;
- тензорезисторные проводниковые;
- тензорезисторные полупроводниковые;
- виброчастотные;
- магнитоупругие;
- пьезокварцевые;
- аналоговые;
- аналогово-цифровые;
- цифровые.

Промежуточные преобразователи сравнивающие (уравновешивающие) делятся на:

- электромеханические следящие;
- электромеханические программные;
- электромеханические следящего силового уравновешивания;
- электромеханические программного силового уравновешивания;
- потенциометрические, мостовые электрического уравновешивания;
- индуктивные, взаимоиндуктивные электрического уравновешивания;
- прочие с аналоговым электрическим уравновешиванием;
- аналогово-цифровые и цифроаналоговые электрического уравновешивания.

Измерительные приборы по способу индикации различаются на:

- показывающие;
- регистрирующие.

Измерительные приборы и измерительные системы по исполнению могут быть:

- неавтономные;

- автономные;
- универсальные.

Средства измерения параметров водного потока в зависимости от измеряемой величины делятся на:

- измерители уровня воды (уровнемеры);
- измерители глубины (глубиномеры);
- измерители напора;
- измерители перепада уровней воды (перепадомеры);
- расходомеры;
- измерители скорости потока;
- измерители перемещения затвора.

По защищенности от воздействия окружающей среды измерительные приборы подразделяют на:

- защищенные от проникновения пыли, посторонних тел и воды;
- защищенное от агрессивной среды.

По стойкости к механическим воздействиям измерительные приборы подразделяются на исполнения:

- обыкновенное;
- виброустойчивое;
- вибропрочное.

Средства измерения уровня по исполнению воспринимающей части делятся на:

- зондовые;
- поплавковые;
- буйковые;
- электроконтактные (дискретные);
- пневматические;
- волновые;
- емкостные;
- манометрические;
- комбинированные.

Средства измерения расхода по исполнению воспринимающей части делятся на:

- ротаметрические;
- постоянного перепада;
- тахометрические;
- переменного уровня;
- переменного перепада давления;
- тепловые;
- акустические;
- меточные;
- электромагнитные;
- оптические;
- комбинированные.

По принципу действия расходомеры могут быть:

- кориолисовые (расход пропорционален степени скручивания вибрирующей трубки, через которую проходит вода);
- магнитные (расход пропорционален величине напряжения на электродах созданного действием электромагнитного поля полученного при прохождении воды через трубу с электродными катушками);

- ультразвуковые-однотрактные, временные (объем расхода пропорционален разнице между отрезками времени, необходимыми чтобы ультразвуковой импульсу или волна, прошел от одного конца трубы до другого и назад);

- ультразвуковые-многоотрактные, временные – (использует множественные ультразвуковые тракты для расчета объема расхода);

- ультразвуковые с использованием эффекта Доплера (рассчитывает объем расхода, основанный на смещении частоты, возникающем при столкновении ультразвуковых волн с частицами в потоке);

- вихревые (расход пропорционален частоте возникших вихрей, возникают при прохождении потока мимо плохо обтекаемого тела);

- измерительные диафрагмы (плоская металлическая пластина с отверстием; измерительный преобразователь измеряет разницу между восходящим и нисходящим давлением, и использует это значение для расчета объема расхода);

- трубки Вентури (трубка для потока с сужающимся входом и расширяющимся выходом; измерительный преобразователь измеряет разницу между восходящим и нисходящим давлением, и использует это значение для расчета объема расхода);

- трубки Пито (трубка в форме буквы L, помещенная в поток и измеряющая динамическое и статическое давление; отверстие трубки в форме буквы L направленно прямо на поток; разница между динамическим и статическим давлением пропорциональна объему расхода);

- усредненные трубки Пито (трубка Пито с множественными отверстиями для измерения динамического и статического давления в различных точках; объем расхода рассчитывается измерительным преобразователем на основе средней разницы между данными давления в различных точках);

- измерительные сопла (объем расхода рассчитывается на основе разницы между восходящим и нисходящим давлением в трубке для потока, которая имеет спокойный вход и резкий выход);

- счетчики вытеснительного типа (течение воды вращает овалы ротора (шестерни) в точной измерительной камере и каждый оборот овальных роторов фиксирует объем жидкости, вытесняемый движением жидкости; оснащаются поршнями и другими компонентами, которые требуют превосходных округлых линий);

- РД-расходомеры с множественной переменной (измеряют разность давления, линейное давление и температуру и при помощи компьютерных вычислений определяют расход).

Средства измерения по типу электропитания подразделяются на:

- от специального источника питания;
- с автономным электрическим питанием;
- с неавтономным электрическим питанием;
- с комбинированным электрическим питанием;
- с универсальным электрическим питанием.

Средства измерения по уровню автоматизации подразделяют на:

- неавтоматизированные;
- автоматизированные;
- автоматические;
- работающие как в автоматическом так и автоматизированном режиме.

По способу преобразования средства измерения подразделяют на:

- прямого преобразования;
- интегрирующие;
- суммирующие;
- следящего преобразования;

- программного преобразования;
- комбинированные.

По режиму работы средства измерения подразделяют на:

- средства измерения непрерывного действия;
- средства измерения периодического (циклического или эпизодического) действия;

- комбинированные;
- универсальные.

По наличию информационной связи средства измерения подразделяются на:

- имеющие информационную связь с другими устройствами;
- не имеющие информационной связи с другими устройствами.

По времени функционирования средства измерения подразделяются на:

- используемые в период работы мелиоративных систем и в остальное время консервируемые;

- используемые круглогодично.

По условиям обслуживания средства измерения подразделяются на:

- обслуживаемые в производственных условиях;
- обслуживаемые в условиях стационарных лабораторий (мастерских).

6.3.2 Требования к средствам измерения параметров водного потока

Требования к устойчивости при внешних воздействиях

Для средств измерения устанавливаются:

- нормальные условия применения (испытаний, поверки);
- рабочие условия применения;
- предельные условия применения.

Нормальные условия применения средства измерения при определении метрологических и других характеристик должны быть указаны в технических условиях на средство измерения конкретного типа и должны соответствовать условиям эксплуатации мелиоративных систем по следующим показателям:

- температура окружающего воздуха (20 ± 5) °C;
- относительная влажность воздуха (65 ± 15) %;
- атмосферное давление (100 ± 4) кПа;
- отклонение напряжения питания от номинального значения ± 2 %;
- максимальный коэффициент высших гармоник источника энергоснабжения не должен превышать 5 %;
- частота питания переменного тока ($50 \pm 0,5$) Гц.

Средства измерения в нормальных и рабочих условиях должны обеспечивать требуемые характеристики по истечении времени установления рабочего режима или непосредственно после их включения.

Для устройств, подвергаемых нагреву солнцем (кроме имеющих солнцезащитные козырьки), рабочая температура окружающего воздуха должна приниматься выше, чем в таблице 1, и соответствовать ГОСТ 15150.

Средства измерения в рабочих условиях должны быть устойчивы к вибрации частотой до 25 Гц и амплитудой до 0,1 мм (данное требование не распространяется на средства измерения, предназначенные для регистрации измеряемых величин).

Требования к средствам измерения, защищенным от воздействия пыли — по ГОСТ 17785.

Требования к средствам измерения, защищенным от воздействия воды — по ГОСТ 17786.

По устойчивости к воздействию температуры и влажности воздуха средства измерения должны изготавливаться по группам (в соответствии с ГОСТ 12977 и ГОСТ 15150), указанным в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Группы по климатическим исполнениям

Группа	Рабочая температура воздуха при эксплуатации, °С		Верхнее значение относительной влажности, %	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Климатическое исполнение и категория размещения
	нижнее значение	верхнее значение			
2	– 30	+ 50	95±3. При 35 °С и более низких температурах без влаги	630-800	У1, У2, У3, У5
3	+ 5	+ 50	95±3. При 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги		У4, У2
3а	+ 5	+ 40			
4	+ 10	+ 35			
5	– 10	+ 50	95±3. При 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги		У5

Средства измерений в упаковке для транспортировки должны выдерживать:

- транспортную тряску с ускорением 30 м/с при частоте ударов от 80 до 120 в минуту;
- температуру от минус 60 до плюс 50 °С;
- относительную влажность воздуха до 98 % при температуре 25 °С.

Средства измерения должны восстанавливать работоспособность после их пребывания в предельных условиях хранения в течение времени, которое должно быть установлено в стандартах (или) технических условиях на средство измерения конкретного типа.

Средства измерения, которые по принципу действия не выдерживают воздействия отрицательных температур, должны нормально функционировать после воздействия на них в упаковке температур от 1 до 50 °С (конкретные значения температур должны быть указаны в стандартах и (или) технических условиях на средство измерения конкретного типа).

Требования к надежности

Показатели надежности должны соответствовать ГОСТ 23642 и ГОСТ 13216.

Для средств измерений параметров водного потока должны быть нормированы следующие показатели надежности:

- вероятность безотказной работы за заданное время не менее 0,9, при времени наработки на отказ – не менее 4000 часов;
- средний срок службы до списания – 10 лет;
- вероятность восстановления средства измерения за заданное время – 0,96.

Показатели надежности многофункциональных средств измерения должны быть указаны для каждой функции.

Значение наработки на отказ следует выбирать так, чтобы обеспечивалось значение вероятности безотказной работы для заданного времени.

Наработку на отказ следует выражать в циклах или часах.

Показатели надежности в условиях циклической работы определяются при периодичности опроса 1 раз в 2 часа.

Значения времени, на которое задают вероятность восстановления, следует выбирать из ряда 2, 4, 6, 8, 10, 18, 24, 36, 48, 96 ч.

Условия и показатели ремонтпригодности, должны указываться в технических условиях для средств измерения конкретного типа.

В случае необходимости для средств измерения допускается дополнительно нормировать показатели надежности, не предусмотренные в настоящих требованиях.

Уровень допустимых радиопомех средств измерения должен соответствовать стандарту ГОСТ Р 51318.14.1.

По электромагнитной совместимости должны быть выдержаны требования ГОСТ Р 29254.

Требования к нормируемым метрологическим характеристикам

Способы нормирования и форма предоставления нормируемых метрологических характеристик средств измерения должны соответствовать ГОСТ 8.009 ГСИ.

Метрологические характеристики средств измерений должны включать:

- а) номинальную статистическую характеристику преобразования измерительного преобразователя;
- б) диапазон измерений;
- в) характеристику систематической составляющей погрешности средства измерения;
- г) характеристику случайной составляющей погрешности средства измерения;
- д) характеристику погрешности средства измерения;
- е) вариацию выходного сигнала измерительного преобразователя;
- ж) вариацию показаний измерительного прибора;
- з) входной импеданс измерительного устройства;
- и) выходной импеданс измерительного преобразователя;
- к) динамические характеристики;
- л) неинформативные параметры выходного сигнала;
- м) функцию влияния или наибольшие допускаемые изменения метрологических характеристик, вызванные изменениями внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала.

Метрологические характеристики по пп. в)-л) нормируются для нормальных или рабочих условий применения средств измерения, а по п. м) – для рабочих условий применения.

Характеристики по п. м) нормируют, если наибольшее изменение погрешности от влияющих факторов в пределах рабочих условий применения СИ превышает 30 % предела допускаемого значения погрешности измерения.

Погрешности в случае как характеристики по п. м) по пп. в)-д) нормируют для нормальных условий применения средства измерения и называют соответственно характеристиками систематической составляющей погрешности, случайной составляющей основной погрешности и основной погрешностью.

Погрешности в случае как п. м) по пп. в)-д) не нормируют, если наибольшее изменение погрешности от влияющих факторов в пределах рабочих условий применения средства измерения не превышает 30 % предела допускаемого значения погрешности. Погрешность в этом случае нормируется для рабочих условий применения.

Классы точности средств измерения должны выбираться из следующего ряда: 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0.

Классы точности сигнализирующих и регулирующих устройств измерения выбираются на класс ниже средств измерения соответствующего параметра.

Основная погрешность средств измерения при выпуске заводом изготовителем не должна превышать 0,8 от допускаемого значения.

Динамические характеристики средств измерения, способы формирования и форма их представления – по ГОСТ 23222.

Параметры, контролируемые средствами измерений для пунктов водоучета, их количественные показатели и классы точности представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Параметры, контролируемые средствами измерений для пунктов водоучета, их количественные показатели и классы точности

Наименование параметра	Единицы измерения	Верхние пределы измерений	Класс точности (допускаемая основная погрешность), %
1 Расход воды в трубопроводах	л/с	1,0; 1,6; 4,0; 6,0; 10; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000	2,0; 2,5; 4,0; 5,0
	м ³ /с	1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 40; 60	
2 Расход воды в открытых каналах	л/с	100; 160; 250; 400; 600; 1000	2,0; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0; 10
	м ³ /с	1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000	
3 Количество воды	м ³		4,0; 5,0; 6,0; 10
4 Уровень воды в открытых водоемах	см	40; 60; 100; 160; 250; 400; 600	0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5
5 Положение исполнительных механизмов	см	60; 100; 160; 250; 400; 600	0,5; 0,6; 1,0
6 Давление воды	МПа	0,01; 0,025; 0,06; 0,16; 0,4; 1,0; 2,5	1,5; 2,0; 2,5; 4,0
7 Скорость течения воды	м/с	0,5; 1,2; 5,0; 10	1,0; 1,5; 2,0; 2,5
8 Перепад уровней воды	см	10; 16; 25; 40; 60	1,5; 2,0; 2,5; 4,0
9 Перепад давления воды	МПа	0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3	1,5; 2,0; 2,5; 4,0

Дополнительная погрешность, обусловленная применением средств автоматической и дистанционной передачи информации не должна превышать $\pm 1,0$ %.

Требования к конструкции

Конструкция средств измерения параметров водного потока должна обеспечивать:

- работоспособность в пределах норм, установленных в стандартах или технических условиях на средство измерения конкретного типа;
- условия ремонтпригодности в соответствии с ГОСТ 19152;
- технологичность и возможность метрологического обеспечения при испытаниях, эксплуатации и ремонте;
- безопасность в работе в соответствии с ГОСТ Р 52319;
- единство внешнего оформления и внутреннего устройства средства измерения с учетом требований эргономики и технической эстетики.

Однотипные средства измерения и их составные части должны быть взаимозаменяемыми. При замене допускается подрегулировка выходных параметров эксплуатационными органами настройки.

Группы средств измерений в составе агрегатных комплексов должны формироваться на основе базовых конструкций.

Конструкция средств измерения, погружаемых в воду в процессе эксплуатации, должна быть герметичной и выдерживать испытания на герметичность и прочность пробным давлением, значения которого следует выбирать по ГОСТ 356.

Типы конструктивных элементов, предназначенных для присоединения к средству измерения внешних электрических и пневматических линий, и ряды присоединительных размеров – по ГОСТ 25164 и ГОСТ 25165, контактах электрических соединений – по ГОСТ 10434.

Циферблаты и шкалы средств измерения – по ГОСТ 5365.

Правила составления и текст пояснительных надписей и команд – по ГОСТ 23090.

Изделия, предназначенные для получения информации о состоянии процесса, должны иметь указатель местного отсчета.

Если в конструкции прибора невозможно предусмотреть указатель местного отсчета, то для этой цели допускается применение переносных средств.

Информация должна отображаться в цифровом или аналоговом виде в абсолютных величинах с указанием наименования и размерности измеряемых параметров.

Градуировка шкал расходомеров должна предусматривать единицы расхода ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{ч}$), в том числе в процентах от верхнего предела измерений по расходу. Допускается градуировка уровнемеров в единицах длины (м, мм).

Сигналы входные и выходные

Основные параметры электрических непрерывных входных и выходных сигналов тока и напряжения, а так же сигналов предназначенных для информационной связи должны соответствовать ГОСТ 26.011.

Пределы изменения силы тока сигналов постоянного тока, а также входные и нагрузочные сопротивления следует выбирать из таблицы 6.6.

Таблица 6.6 – Пределы изменения силы тока сигналов постоянного тока, входные и нагрузочные сопротивления

Пределы изменения силы тока, мА	Максимальное сопротивление, Ом	
	входное, не более	нагрузочное, не менее
От 0 до 5 включительно	500	2500 (2000)
От 4 до 20 включительно	250	1000 (500)

Пределы изменения абсолютных значений сигналов напряжения постоянного тока, входные и нагрузочные сопротивления следует выбирать из таблицы 6.7.

Таблица 6.7 – Пределы изменения абсолютных значений сигналов напряжения постоянного тока, входные и нагрузочные сопротивления

Пределы изменения напряжения, В	Минимальное сопротивление, Ом	
	входное, не менее	нагрузочное, не более
От 0 до 5 включ.	10000	1000
От 1 до 5 включ.		1000
От – 5 до + 5 включ.	10000	1000
От 0 до 10 включ.		2000
От – 10 до + 10 включ.		2000
От 2,4 до 12,6 включ.		2000

Входные и выходные параметры средств измерения должны обеспечивать взаимное сопряжение при построении систем контроля и управления.

В качестве частотного сигнала принимается сигнал с частотой 1000-2000 Гц, с амплитудой выходного сигнала от 1,0 до 1,6 В при активной нагрузке 6000 Ом. Уровень входного сигнала должен быть 0,6-2,4 В. Положительное приращение измеряемой величины должно соответствовать увеличению частоты.

В качестве кодированного сигнала принимают следующие коды:

- единичный;
- двоичный нормальный;
- двоичный рефлексный;
- двоично-десятичный рефлексный.

Номинальное значение амплитуды выходных сигналов кодов должно быть:

- для тока – 5 мА на сопротивлении 1 кОм;
- для напряжения – выбирается из ряда: 1,2; 6; 12; 24 В, с допуском $\pm 10\%$ при активной нагрузке 600 Ом.

Необходимо применение сигнализации о нарушении целостности средства измерения (измерительного прибора) или о несанкционированном доступе к прибору с фиксацией времени, для возможности проверки и отбраковки недостоверной информации.

Устройства, устанавливаемые на открытом воздухе, должны иметь исполнение, защищающее от доступа посторонних лиц.

Защита может быть индивидуальной (когда прибор помещается в опломбированный недоступный кожух или корпус и не имеет каких-либо выводов или гнезд подключения, воздействуя на которые можно исказить показания прибора) или совместной, когда комплекс приборов разного назначения помещается в хорошо изолированную и закрытую камеру (будку), обеспечивающую качественную защиту от доступа посторонних лиц и воздействия извне.

Средства измерения рекомендуется обеспечивать сервисными устройствами для контроля работоспособности в условиях эксплуатации.

Средства измерения должны комплектоваться запасными частями для обеспечения оперативного обслуживания и текущего ремонта средств измерений в условиях эксплуатации.

6.3.3 Требования к вспомогательному технологическому оборудованию

Вспомогательное технологическое оборудование для пунктов водоучета представляет собой отдельные устройства и (или) оборудование предназначенные для создания нормальных условий измерений, сохранения устойчивой структуры потока в точке измерения, обеспечения технологичности, удобства процесса водоизмерения и обслуживания.

К вспомогательному технологическому оборудованию относятся:

- гидрометрические сооружения и устройства, обеспечивающие необходимый режим потока в точке измерения;
- успокоительные колодцы;
- устройства, обеспечивающие фиксирование и правильное расположение датчиков;
- устройства связи;
- шкафы размещения приборного оборудования средств измерений;
- устройства для проведения вспомогательных линейно-угловых измерений;
- контрольные рейки;
- гидрометрические лебедки;
- гидрометрические грузы;

- гидрометрические штанги;
- реперы;
- подвесные устройства;
- механизмы крепления измерительных устройств к лодке;
- краны-балки;
- метеорологические мачты;
- гидрометрические переправы.

Классификация гидрометрических сооружений и устройств, обеспечивающие необходимый режим потока в точке измерения, дана в ГОСТ Р 51657.3.

Конструкция водосливов и лотков и способ их установки на объекте должны обеспечивать возможность периодического осмотра и поверки.

Плоскость водосливов должна быть вертикальной. Отклонение от вертикальности не должно превышать 3° .

Смещение осевой плоскости горловины лотков или отверстий водосливов относительно осевой плоскости подводящего канала не должна превышать:

- 5 мм при ширине подводящего канала меньшей 0,5 м;
- 10 мм при ширине подводящего канала равной 0,5-1,5 м;
- 25 мм при ширине подводящего канала большей 1,5 м.

Отклонение боковых стенок горловин лотков или граней водосливов от вертикали не должно превышать $\pm 1^\circ$.

Отклонение углов наклона граней порогов водосливов и лотков от нормируемых значений не должно превышать $\pm 1^\circ$.

Дно горловин и входных раструбов лотков или гребней водослива должны быть горизонтальными.

Отклонение от средней отметки горизонтальной плоскости не должно превышать 3 мм на 1 м длины (или ширины) горловины лотка и 2 мм на 1 м ширины отверстия водослива.

Неровность (волнистость) обращенной к подводящему каналу плоскости водосливов с тонкой стенкой, характеризуемая высотой волны, не должна превышать 0,005 умноженное на ширине подводящего канала, при этом длина волны должна превышать ее высоту не менее чем в 50 раз.

Отклонение действительного размера ширина порога водослива или горловины лотка от расчетного или погрешность измерений этого размера не должны превышать 0,2 %.

Конструкция водосливов или лотков должна предусматривать возможность установки первичных преобразователей уровнемера (буйков, пневмометрических трубок и т. п.) в успокоительных колодцах, сосудах или нишах, соединенных с подводящим каналом или проточной частью сужающих устройств при помощи отверстий, щели в стенке или соединительной трубы.

Требования к вспомогательным устройствам, для измерения расхода воды со стандартными водосливами и лотками даны в МИ 2406 [195].

Основные технические характеристики стандартных водосливов и расходомерных лотков – согласно МИ 2406.

Тонкостенные водосливы должны соответствовать требованиям ISO 143801.

Прямоугольные, трапецеидальные V-образным лотки должны соответствовать требованиям ISO 4359.

Водосливы с треугольным профилем должны соответствовать требованиям ISO 4360.

Водосливы с широким трапецеидальным порогом должны соответствовать требованиям ISO 4362.

Водосливы с закругленным широким порогом должны соответствовать требованиям ISO 4374.

Плоские V-образные водосливы должны соответствовать требованиям ISO 4377.

Технические требования к диафрагмам, устанавливаемым в трубопроводах круглого сечения для определения расхода даны в ГОСТ 8.586.2 (ИСО 5167-2).

Технические требования к соплам и соплам Вентури даны в ГОСТ 8.586.3 (ИСО 5167-3).

Технические требования к трубам Вентури даны в ГОСТ 8.586.4 (ИСО 5167-4).

Технические требования к водосливам с треугольными порогами даны в ГОСТ Р 51657.4.

Необходимо предусматривать устройства, обеспечивающие герметичность соединения элементов водослива или лотка со стенками существующего канала.

Уровнемеры, стационарные расходомеры и их чувствительные элементы устанавливаются в успокоительных колодцах, нишах и сосудах, удовлетворяющих требованиям МИ 2406.

Размеры успокоительных устройств должны обеспечивать уменьшение колебаний уровня воды до значения, не превышающего половины допускаемой абсолютной погрешности уровнемера.

Минимальные размеры успокоительного устройства выбирают исходя из условия, чтобы площадь его поперечного сечения (в горизонтальной плоскости) превышала не менее чем в десять раз суммарную площадь отверстия или щели, соединяющей устройство с потоком.

Диаметр отверстия, соединяющего поток с успокоительным устройством, должен удовлетворять условию по МИ 2406.

Для проведения линейно-угловых измерений применяются следующие геодезические инструменты:

- нивелиры по ГОСТ 10528;
- рейки нивелирные длиной от 1,0 до 4,0 и по ГОСТ 10528;
- ленты мерные и рулетки металлические классов 1,2 или 3 длиной от 1 до 50 см, ценой деления не более 0,001 м по всей длине шкалы по ГОСТ 7502;
- теодолиты по ГОСТ 10529.

Гидрометрические мостики должны отвечать требованиям СНиП 2.05.03.

Для установки и фиксации измерителей скорости в потоке следует использовать уровнемерные рейки и штанги, имеющие различные шкалы, а цифровые обозначения должны удовлетворять требованиям ГОСТ 28725.

Средства подвесных установок измерительных устройств должны соответствовать ISO 4375.

Гидрометрические лебедки должны соответствовать типовым техническим условиям.

Средства фиксации приборов на лодках должны соответствовать требованиям ISO 6420.

Для размещения приборного оборудования должны использоваться шкафы со степенью защиты IP 54 по ГОСТ 14254.

6.4 Требования к проведению градуировки регулирующих ГТС

В настоящее время использование водорегулирующих гидротехнических сооружений в качестве средств измерения расхода воды является наиболее целесообразным, так как позволяет с наименьшими материальными и трудовыми затратами в кратчайшие

сроки решить проблемы учета воды на всех уровнях оросительной сети от головных водозаборных сооружений до предприятий-водопользователей.

Несмотря на разнообразие конструкций водорегулирующих сооружений, гидравлические особенности их работы таковы, что для каждого сооружения существует однозначная зависимость, связывающая его гидравлические и геометрические параметры с величиной пропускаемого расхода воды. Для поиска такой зависимости необходимо проведение экспериментальных исследований, а именно – градуировка сооружения.

При этом возникает первая проблема с определением местоположения гидрометрического створа, который должен быть расположен в отводящем канале за исследуемым сооружением. Однако при его выборе перед гидрометристом возникают две противостоящие задачи:

- с одной стороны створ желательно расположить как можно ближе к водорегулирующему сооружению, чтобы до минимума уменьшить потери воды на участке от сооружения до гидрометрического створа, особенно потери на фильтрацию;

- с другой стороны створ необходимо отнести как можно дальше от сооружения, так как поток в нижнем бьефе сооружения обладает высокой турбулентностью, которая существенно влияет на показания датчика скорости (гидрометрической вертушки).

Вторая проблема, возникающая перед гидрометристом – выбор оптимального времени измерения. Как показали исследования Г. В. Железнякова – продолжительность измерения местных скоростей зависит от величины пульсации скорости. За стандартное значение принято время $t = 100$ секунд (при измерении скоростей вертушкой). При большой турбулентности и при измерении скоростей у дна выдержка 100 секунд недостаточна. Увеличение выдержки может достигать 10 минут.

При проведении градуировочных работ замер скоростей по сечению необходимо проводить за минимально короткое время, так как на магистральном канале во время замера может произойти подключение или отключение водопотребителя, что, несомненно, изменит все расходные характеристики, как в основном, так и в отводящем каналах. Таким образом, возникает следующий конфликт: с одной стороны желательно минимизировать время измерения, с другой стороны, из-за наличия турбулентности в потоке, его желательно увеличить. Решить этот конфликт возможно путем отказа от традиционных массивных гидрометрических вертушек и перехода к облегченным гидрометрическим микровертушкам с электронными средствами измерения числа оборотов ротора. Учитывая это обстоятельство, Д. П. Бенет (J.P. Benet), исследуя работу гидрометрической микровертушки в турбулентном потоке и сопоставляя результаты ее работы с показаниями пленочного термоанемометра, переделал микровертушку таким образом, чтобы она за один оборот давала 30 отсчетов. Такой принцип широко используется в создании высокоточных гидрометрических вертушек импортного производства.

В задачах гидрометрических исследований, в частности, при градуировке регулирующих гидротехнических сооружений, возникает необходимость измерения расходов непосредственно в полевых условиях. Существует ряд упрощенных методик для решения этой задачи, однако они не позволяют достигнуть желаемой точности в свете современных требований задач водочета и водоизмерения. Основным методом определения расхода воды – «скорость-площадь» связан с измерением осредненных скоростей течения во многих точках поперечного сечения потока и большим объемом вычислений по обработке опытных данных. Для быстрой и качественной обработки результатов измерения скоростей желательно применение средств вычислительной техники.

Такая система позволит на порядок сократить трудовые, временные и финансовые затраты, а также оперативно ликвидировать дефицит информации непосредствен-

но на объекте исследований, который, в случае применения традиционных средств измерения, выявляется на этапе камеральной обработки опытных данных.

Обобщение и систематизация информации, включая построение графиков и корректировку градуировочных зависимостей, должны производиться постоянно по мере поступления и накопления информации. Процесс обработки результатов измерений включает:

- сбор и предварительную систематизацию информации;
- определение значений контролируемых параметров;
- установление градуировочных зависимостей;
- построение графиков изменения контролируемых параметров во времени;
- оформление и подготовка результатов измерений для дальнейшего использования.

В результате проведения контрольных (поверочных) измерений, используемых при градуировках и всех видах поверок, устанавливаются следующие характеристики:

- соответствие размеров и формы средств измерений требованиям технической документации;
- зависимости расходов воды от одной или нескольких измеряемых величин;
- привязка шкалы приборов;
- значения поправочных коэффициентов в градуировочных характеристиках средств измерений;
- показатели точности измерений;
- пригодность средств измерений к дальнейшей эксплуатации.

Контрольные измерения проводятся после завершения пусконаладочных работ, связанных с вводом в действие средств измерений, при проведении поверок, при нарушении нормальной работы средств измерений. Периодичность контрольных измерений на регулирующих ГТС с целью уточнения градуировочной характеристики устанавливается в зависимости от вида и условий их эксплуатации, но не реже чем 1 раз в год.

Точность и достоверность информации при проведении градуировочных работ на регулирующих гидротехнических сооружениях определяется метрологическими характеристиками применяемых средств измерений, к которым относятся:

- диапазон измерений;
- функции преобразования либо градуировочные характеристики;
- случайная, систематическая и дополнительные составляющие погрешности измерений;
- влияние условий среды на погрешность измерений;
- вероятность появления грубых промахов;
- цена деления шкалы и порог чувствительности.

Линейные и угловые измерения производятся с целью уточнения габаритов сечений сооружений и водоводов, соответствия их проектным значениям, привязки отметок характерных точек градуированного гидротехнического сооружения к топографическим реперам, привязки шкал средств измерений и т. п. Измеряются следующие линейные и угловые параметры:

- расстояния между элементами в диапазоне до 1,0 м – штангенциркулями, мерными линейками, свыше 1,0 м – рулетками, мерными лентами, дальномерами;
- углы при протяжении объекта до 3,0 м – транспортирами, свыше 3,0 м – угломерным геодезическим оборудованием – теодолитами, тахеометрами;
- положение затворов гидротехнических сооружений – датчиками положения затворов, мерными лентами;
- превышения характерных точек – нивелирами.

Исходной информацией для обработки данных являются технические характеристики применяемых средств измерений и результаты многократных измерений.

Измерения уровня и перепада уровней производятся с помощью уровнемерных реек либо нивелировки с целью определения контроля и регулирования водоподачи через регулирующее ГТС. Контроль состояния уровней и перепадов уровней может осуществляться как периодически, так и непрерывно (при использовании регистрирующих приборов).

Для обработки данных измерений необходимо иметь:

- технические характеристики применяемых приборов;
- результаты привязки шкалы (например, условные отметки реперов, дна подводящего и отводящего каналов, нуля рейки);
- результаты многократных измерений либо диаграммы регистрирующего устройства.

Измерение местной или средней по сечению потока скорости воды производится с целью определения расхода через регулирующее сооружение, а также для срочного или систематического контроля гидравлических элементов потока. Для обработки результатов измерений используются следующие данные:

- градуировочные характеристики средств измерений скорости;
- результаты многократных измерений скорости;
- координаты расположения преобразователя скорости в потоке;
- информация о состоянии характерного параметра потока (давления, уровня, расхода), к которому привязываются результаты измерений.

Определение значений расхода производится при наличии:

- технических характеристик средств измерения расхода;
- градуировочных зависимостей в виде формул, таблиц, либо графиков;
- результатов многократных измерений первичных параметров.

Как показывает опыт проведения градуировочных работ на регулирующих гидротехнических сооружениях, учет воды производится в основном в зависимости от 2-3 изменяющихся параметров. В этом случае градуировочная характеристика включает семейство кривых, поэтому обработка заключается в следующем:

- значения всех контролируемых параметров устанавливаются при обработке отсчетов по шкалам приборов независимо друг от друга;
- величина расхода определяется по кривой, соответствующей фиксированному значению одного из контролируемых параметров, например, величине открытия затвора, по значению второго измеряемого параметра – величине перепада уровней;
- если измеренное значение параметра, определяющее ту или иную кривую, не соответствует точному положению этих кривых, то для определения расхода воды способом линейной интерполяции строится временная кривая, координаты которой устанавливаются в соответствии с ВТР-М-2-80.

Данные контрольных и рабочих измерений, прошедшие все стадии обработки, представляются для дальнейшего использования в единых формах с целью обеспечения сопоставимости результатов измерений, полученных на различных сооружениях. Формы бланков, ведомостей измерений и журналов, в которых регистрируются и обрабатываются результаты измерений, должны учитывать особенности методов и средств измерений, способствовать росту оперативности и производительности сотрудников, осуществляющих учет воды.

Проверка серийно выпускаемых приборов и оборудования, применяемых при проведении градуировочных работ производится специалистами региональных ЦСМ, подведомственным Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии, которые выдают соответствующие свидетельства по утвержденным формам. Одно-

временно с документацией о поверке средств измерений оформляются их градуировочные характеристики (при необходимости), выполненные в виде графиков и таблиц.

Технические паспорта стандартизованных приборов оформляются заводами-изготовителями и поставляются в комплекте с основным оборудованием. Для нестандартизованных средств измерений заполняются индивидуальные технические паспорта.

6.4.1 Требования к регулирующим ГТС, используемым для определения расхода воды, классификация регулирующих ГТС

Градуировке подлежат долговременные инженерные регулирующие гидротехнические сооружения, к которым предъявляются следующие требования:

- отсутствие дефектов в элементах конструкции, в рабочих отверстиях и пролетах;
- исправность уплотнения на затворах;
- исправность и нормальная работа затворов и подъемных механизмов;
- возможность измерения параметров водного потока и величины открытия затвора на ГТС;
- отсутствие наносов и мусора в отверстиях, пролетах, трубах;
- устойчивый наносный режим работы сооружения (отсутствие процессов заиления в ВБ и размыва в НБ).

Условия и пределы применения градуированных ГТС:

- напор воды в ВБ не более 10 м;
- средняя скорость воды в канале – от 0,1 до 5 м/с;
- относительное затопление не более 95 %;
- плавный подход потока к ГТС без водоворотов и вихрей.

Регулирующие ГТС, подлежащие градуировке, классифицируются по типу и конструкции сооружения, типу затвора, режиму истечения, количеству пролетов; по типу и конструкции сооружения: открытые; трубчатые; по типу установленного затвора: плоские вертикальные; плоские наклонные; сегментные; по режиму истечения: со свободным истечением; с затопленным истечением; с переменным режимом истечения; по количеству пролетов: однопролетные; двухпролетные; многопролетные.

6.4.2 Подготовка к проведению градуировки

Для проведения работ, связанных с градуировкой ГТС, следует применять серийное геодезическое и гидрологическое оборудование, а также сертифицированные средства измерения. Все средства измерения должны иметь паспорт и свидетельство о поверке.

Для проведения линейно-угловых измерений следует применять следующие геодезические инструменты:

- нивелиры (в соответствии с ГОСТ 10528-90);
- рейки нивелирные длиной от 1,0 до 4,0 м (в соответствии с ГОСТ 10528-90);
- ленты мерные и рулетки металлические классов 1, 2 или 3 длиной от 1 до 50 м, ценой деления не более 0,001 м по всей длине шкалы (в соответствии с ГОСТ 7502-98);
- теодолиты (в соответствии с ГОСТ 10529-96).

Для измерения скорости потока могут применяться стандартизованные гидрометрические вертушки, микровертушки, а также нестандартизованные измерители скорости водного потока, прошедшие метрологическую поверку в установленном порядке.

Для фиксирования времени выдержки вертушек в потоке следует применять секундомеры механические однострелочные или двухстрелочные по ТУ 28-1819.0021-90 (в соответствии с ГОСТ 8.423-81), а также электронные, имеющие свидетельство о поверке.

Для измерения уровней воды допускается применять любые типы уровнемеров, в том числе штриховые меры длины (уровнемерные рейки), соответствующие диапазонам измерений и условиям эксплуатации, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 28725-90.

Для установки и фиксации измерителей скорости в потоке следует использовать уровнемерные рейки и штанги, имеющие различные шкалы и цифровые обозначения.

Подготовка к проведению градуировки включает следующие операции:

- организационные мероприятия;
- ознакомление с технической документацией;
- обследование сооружения, включающее визуальный осмотр и инструментальные измерения;
- сборка, наладка и опробование средств измерений, в соответствии с инструкциями по эксплуатации или паспортными данными приборов;
- выбор местоположения гидрометрического створа и разбивка скоростных вертикалей.

Организационные мероприятия должны предусматривать:

- согласование с заинтересованными организациями сроков и продолжительности аттестации сооружения и связанных с ними изменениями режимов работы каналов и сооружений в этот период;
- сбор данных о режиме работы объектов, о предыдущих строительных и ремонтных работах, градуировках и поверках данного расходомера.

Градуировка ГТС осуществляется бригадой из 3-4 человек в присутствии гидротехника или гидрометриста эксплуатирующей организации.

Сроки проведения градуировки зависят от типа сооружения, гидравлических условий его работы, а также от возможности непрерывно производить измерения в необходимом диапазоне расходов и уровней воды. В том случае, если условия эксплуатации ГТС и режим водоподачи этого не позволяют, допускается производить градуировку сооружения в несколько этапов, но в течение одного поливного периода.

Ознакомление с ГТС проводят по имеющейся технической документации (проект, технический паспорт, инструкция по эксплуатации) и определяют основные размеры сооружения, отметки, диапазон изменения расходов воды, диапазон изменения уровней воды в верхнем и нижнем бьефах.

Визуальный осмотр ГТС проводится по следующим показателям:

- техническое состояние ГТС;
- наличие средств измерения контролируемых параметров и их соответствие требованиям нормативно-технической документации (НТД);
- наличие заводских паспортов, свидетельств о поверке, аттестации средств измерения контролируемых параметров;
- правильность расположения средств измерения на сооружении;
- определение гидравлического режима работы сооружения;
- наличие постоянного гидрометрического створа или рабочего участка в отводящем русле, на котором можно расположить временный створ для контрольных измерений расхода воды.

При обследовании технического состояния сооружения особое внимание необходимо уделить состоянию рабочих отверстий, пазов затворов, кромок и уплотнений затворов, поскольку фильтрация воды через уплотнения затвора влияет на величину градуировочных характеристик при малых расходах, а после проведения градуировки выполнение ремонтных работ данных элементов сооружения не допускается.

Режим истечения воды через ГТС может быть следующим (приложение 18):

- свободное истечение из-под затвора, когда глубина воды непосредственно

за затвором h_c меньше высоты открытия затвора a , $a/H < 0,67$ (приложение 18, рисунки 18.1, 18.2, 18.3, 18.5);

- затопленное истечение, когда глубина воды за затвором h_c больше открытия затвора a или диаметра (высоты) трубы D (приложение 18, рисунки 18.4, 18.6, 18.7);

- переменный режим, когда свободное истечение из-под затвора может переходить в затопленное истечение или в режим истечения через водослив (затвор полностью поднят) (приложение 18, рисунки 18.8-18.12).

В этом случае при обследовании необходимо определить границы каждого режима истечения по напорам, перепадам уровней, открытиям затвора, поскольку градуировка сооружения проводится по каждому режиму отдельно.

Контролируемыми параметрами при использовании ГТС для измерения расхода водного потока являются (приложение 18):

- при свободном истечении – напор над порогом водопропускного отверстия H или уровень воды в верхнем бьефе Z_1 и высота открытия затвора a (приложение 18, рисунки 18.1, 18.2, 18.3, 18.5);

- при затопленном истечении – напор H (уровень Z_1) воды в верхнем бьефе, глубина h (уровень Z_2) воды в нижнем бьефе, высота открытия затвора a (приложение 18, рисунки 18.4, 18.6, 18.7).

Для измерения параметров водного потока на ГТС следует применять следующие средства измерения и приспособления:

- для измерения напора H , уровня Z и глубины воды h – уровнемерные рейки, самописцы уровней, уровнемеры промышленного изготовления, и прочие уровнемерные устройства, соответствующие ГОСТ 28725-90;

- для измерения высоты открытия затвора a – измерители (датчики) положения затвора, уровнемеры (трос вместо поплавка прикрепляется к затвору).

Пункт измерения напора (уровня) воды H в верхнем бьефе при свободном истечении должен быть расположен:

- для ГТС с фронтальным подводом воды и при совпадении осей подводящего и отводящего каналов, а также при длине подводящего участка не менее $6 H_{\max}$ – на расстоянии l_1 , равном не менее $3H_{\max}$ от затвора (приложение 18, рисунок 18.10);

- для ГТС с боковым подводом воды под углом $30-90^\circ$ – на расстоянии l_1 , равном не менее $2H_{\max}$ от отверстия сооружения;

- для многопролетных ГТС, имеющих подходной участок большой емкости (головные сооружения и сбросы на водохранилищах), допускается оборудование одного пункта измерения напора в ВБ. Во всех остальных случаях для индивидуальной градуировки и независимой работы каждого пролета сооружения требуется оборудование пункта измерения напора в ВБ для каждого рабочего отверстия (приложение 18, рисунок 18.13).

Пункты измерения глубины h (уровня Z_2) воды в нижнем бьефе при затопленном истечении располагают на расстоянии l_2 , равном не менее $12 h_{\max}$ от затвора.

Пункт измерения открытия затвора a располагается и оборудуется в соответствии с инструкциями по эксплуатации приборов-измерителей. Для повышения надежности работы сооружения рекомендуется оборудовать затворы дополнительными средствами измерения величины открытия затвора – штриховыми мерами длины (рейками, шкалами и т. д.), независимо от наличия специальных приборов или датчиков.

Средствами и приспособлениями для измерения параметров водного потока можно пользоваться только при наличии заводского паспорта и инструкции по эксплуатации. Все средства измерения должны иметь свидетельства о поверке.

Установка уровнемерных реек в ВБ и НБ обязательна во всех случаях, независимо от наличия приборов, так как последние привязываются и контролируются посредством первых.

При колебаниях уровня более ± 5 см все средства измерения напоров, уровней и глубин воды следует устанавливать в успокоительных колодцах и нишах (береговые, выносные).

Начало шкал средств измерения контролируемых параметров рекомендуется совмещать с отметкой порога ∇Z_0 , однако во всех случаях необходимо иметь высотную привязку этих шкал (отметки «0») к постоянному или временному реперу с отклонением не более 0,2 % от максимального значения измеряемого параметра.

Инструментальные измерения

Линейно-угловые измерения проводятся с целью определения размеров водопропускных отверстий, уровней воды, отметки порога; нивелировки поперечного сечения гидрометрического створа; привязки «0» шкал измерительных устройств к реперу.

Основные отметки определяются путем нивелирования. Все отметки должны быть привязаны к установленному на сооружении реперу (постоянному или временному).

Определяются следующие отметки:

- отметка порога ∇Z_0 водопропускного отверстия. Для прямоугольного отверстия ∇Z_0 определяется как среднее значение измеренных в середине и по краям отверстия отметок. Для круглого отверстия – как среднее значение трехкратно измеренной отметки нижней точки отверстия;

- отметка нуля рейки (уровнемера) в ВБ при свободном истечении;

- отметки нулей реек (уровнемеров) в ВБ и НБ при затопленном истечении;

- отметки уровней воды при измерении расходов.

Измеряются следующие линейные параметры:

- ширина b и высота D (для трубчатых сооружений) прямоугольного водопропускного отверстия, которые определяются как среднее значение трех измеренных величин ширины по высоте водопропускного отверстия (низ, середина, верх), и высоты в середине и по краям отверстия. Для двух- и многопролетных сооружений измеряются размеры отверстий в каждом пролете;

- диаметр D круглого входного отверстия, представляющий собой среднее значение двух измеренных диаметров по вертикальной и горизонтальной оси отверстия;

- для сегментных затворов – высота оси затвора K , радиус затвора R .

При измерениях ∇Z_0 и ширины отверстий следует руководствоваться схемами в соответствии с приложением 18 (рисунок 18.14).

Отметки должны быть измерены с абсолютной погрешностью не более 0,002 м на 1 м превышения, а линейные размеры градуируемого отверстия – с относительной погрешностью не более $\pm 0,2$ %.

В случае, если сооружение оборудовано плоским наклонным затвором, определяется угол наклона затвора α . Для этого измеряется длина затвора l , отметка верхней кромки затвора $\nabla У$ при полностью закрытом затворе. Угол α определяется из соотношения $\sin \alpha = (\nabla У - \nabla Z_0) / l$.

Рекомендации по дооборудованию сооружения

При отсутствии средств измерения контролируемых параметров рекомендуются следующие способы и приспособления определения высоты открытия затвора a (приложение 18, рисунок 18.15, а, б, в).

Для плоских затворов следует укрепить на стойке рамы или стенке вдоль затворного паза рейку с сантиметровыми делениями, а на затворе – указатель (приложение 18, рисунок 18.15, а). Нуль шкалы рейки должен быть совмещен с указателем при

полном закрытии затвора. Указателем может служить верхняя кромка затвора, если она удобна для визуального наблюдения. В противном случае указатель (стрелка) поднимается на стержне в удобное положение (приложение 18, рисунок 18.15, б).

Для сегментных затворов необходимо произвести разметку шкалы и наметить указатели следующим способом:

- шкала открытия затвора размечается на наружной поверхности обшивки затвора сверху вниз от «0», совпадающего с указателем, отмеченном на боковой стенке устоя сооружения при полном закрытии затвора; высоту a измеряют по шкале на затворе против указателя (приложение 18, рисунок 18.15, в);

- шкала открытия затвора размечается по дуге (полосе), укрепленной (размеченной) на внутренней стенке устоя сооружения снизу вверх от «0», совпадающего с указателем, укрепленном на верхней ноге или обшивке затвора при полном закрытии; высоту a измеряют по шкале против указателя (приложение 18, рисунок 18.15, в);

- шкала размечается по подъемному тросу.

Отсчет по шкале должен соответствовать величине открытия затвора. Шкалу размечают посредством нивелирования при последовательной установке затвора на высоту $a = 0; 1; 2; 3$ см и т. д. до a_{\max} .

Выбор и подготовка гидрометрического створа в нижнем бьефе регулирующего ГТС

Гидрометрический створ для контрольных измерений расхода воды при градуировке ГТС назначается на стационарном (существующем) водомерном посту, а при его отсутствии специально организуется временный измерительный створ.

Гидрометрический створ должен быть расположен ниже ГТС на расстоянии, исключающем дополнительные поступления, отвод и потери воды в зоне ее спокойного и равномерного движения, но не далее 50 В от сооружения (В – ширина канала по верхней его части).

Гидрометрический створ должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- рабочий участок русла канала должен быть прямолинейным, с постоянной формой поперечного сечения и постоянным уклоном дна по длине. Длина рабочего участка определяется в зависимости от ширины канала в верхней его части В (таблица 6.8):

- гидрометрический створ должен быть удален от ГТС на расстояние не менее десяти ширин по верху отводящего канала, при котором исключается появление сбойных течений и волновых явлений;

- участок русла канала должен быть свободен от наносов, растительности, мусора и других предметов;

- в случае облицованного канала или наличия «фиксированного русла» на стационарном гидрометрическом створе должны отсутствовать дефекты и повреждения в облицовке русла;

- участок русла канала должен быть доступен для проведения измерений и подъезда автотранспорта при перевозке измерительной бригады и оборудования.

Таблица 6.8 – Определение длины рабочего участка русла канала

Максимальный расход в канале, м ³ /с	1-5	5-10	10-25	25-100	>100
Допустимая длина участка, м	(8-10)В	(6-8)В	(3-6)В	(2-3)В	(1-1,5)В

В результате визуального осмотра сооружения устанавливается возможность использования данного ГТС для определения расхода воды в соответствии с требованиями, изложенными в п. 6.4.1. В случае несоответствия сооружения предъявляемым

требованиям составляется заключение о непригодности ГТС для градуировки по установленной форме (приложение 19), в котором отражается необходимый состав мероприятий по исправлению недостатков и сроки их устранения. До завершения работ по устранению выявленных недостатков, проведение градуировки не допускается.

Подготовка временного гидрометрического створа производится согласно МВИ 05-90 [196] и включает:

- выбор участка русла и устройство гидрометрического створа со средствами переправы (мостик, люлька, лодка);
- нивелировку и съемку участка русла канала, в результате которой должен быть получен поперечный профиль в гидрометрическом створе с отметками дна и откосов канала на каждой вертикали и их расстояниями от постоянного начала. Отметки должны быть увязаны с репером гидрометрического поста, к которому должен быть привязан нуль шкалы уровнемерной рейки;
- разбивку скоростных вертикалей, которая производится согласно МВИ 05-90 [196]. Расстояние между вертикалями рассчитывается таким образом, чтобы имелись вертикали в характерных точках перелома поперечного профиля русла, при этом среднюю вертикаль рекомендуется совмещать с осью потока; положение вертикалей следует отметить на настиле гидрометрического мостика, на размотанном тросе лодочной переправы.

В случаях, когда в отводящем канале отсутствует участок, соответствующий вышеизложенным требованиям, измерительный створ возможно располагать в ВБ перед затвором в пределах крепления на участке с ненарушенной структурой потока, на сооружениях с длинными разделительными бычками – между бычками, на расстоянии не менее 6Н от затвора.

Градуировка ГТС должна проводиться при следующих погодных условиях:

- отсутствие атмосферных осадков;
- температура воздуха от 278 до 303 К (от 5 до 30 °С);
- скорость ветра не более 5 м/с;
- отсутствие тумана (прямая видимость объектов не менее 100 м).

6.4.3 Измерение расхода и обработка результатов измерений

Измерения расходов воды и обработку результатов измерений следует производить детальным способом по технологии, приведенной в МВИ 05-90 [196].

При измерении расхода в ВБ необходимо провести предварительные исследования и оценить степень неравномерности потока в плане и по вертикали.

Проведение измерений расходов возможно, если эпюры распределения скоростей на вертикалях будут описываться логарифмической зависимостью (максимум скоростей располагается у поверхности), характерной для открытых потоков, либо близки к прямоугольным.

В случаях, когда вертикальная эпюра распределения скоростей имеет максимум у дна потока, либо при наличии возвратного течения перед затвором выполнение измерений не допускается.

Для повышения точности измерений рекомендуется количество точек на вертикалях увеличить до 6, а число промерных вертикалей увеличить в 2 раза.

6.4.4 Технология градуировки регулирующих ГТС

Порядок градуировки

Устанавливается соответствие ГТС, подлежащего градуировке, и входящего в его состав оборудования предъявляемым требованиям.

Производится ориентировочная регулировка заданного расхода воды на сооружении.

При установившемся режиме потока в канале измеряют расход воды на измерительном створе.

В начале и конце проведения измерения расходов воды измеряются значения контролируемых параметров на сооружении H , h , a и фиксируются в ведомости измерений (приложение 20).

Операции повторяются при изменении величины расхода воды. Количество измерений и пределы изменения параметров приведены в таблице 6.9, включающей указания по градуировке наиболее распространенных типов регулирующих сооружений при различных гидравлических режимах работы.

Таблица 6.9 – Типы ГТС и соответствующие указания по проведению градуировки

Сооружения и режим истечения	Измеряемые параметры, расходная зависимость	Кол-во измерений и условия; градуировочная характеристика
1	2	3
1 Открытые регуляторы со свободным истечением из-под плоского вертикального затвора $a/H < 0,67$ (приложение 18, рисунок 18.1)	Напор воды H и высота открытия затвора a над отметкой порога Z_0 , ширина отверстия b $Q = C_m a b \sqrt{2g(H - \varepsilon a)}$, где ε – коэффициент вертикального сжатия, определяется в зависимости от a/H	Количество измерений не менее 8 $C_m = f(a/H)$
2 Открытые регуляторы со свободным истечением из-под сегментного затвора (приложение 18, рисунок 18.2)	Напор воды H и высота открытия затвора a над отметкой порога Z_0 , ширина отверстия b . $Q = C_m a b \sqrt{2g(H - \varepsilon a)}$, $\varepsilon = \frac{1}{1 + \sqrt{0,4 \left(\frac{K - a}{R} \right)^2 \left(1 - \left(\frac{a}{H} \right)^2 \right)}}$, где K – высота оси затвора; R – радиус затвора	Количество измерений не менее 8 $C_m = f(a/H)$
3 Открытые регуляторы со свободным истечением из-под плоского наклонного затвора (приложение 18, рисунок 18.3)	Напор воды H и высота открытия затвора a над отметкой порога Z_0 , ширина отверстия b $Q = C_m a b \sqrt{2g(H - \varepsilon a)}$, $\varepsilon = \frac{1}{1 + \sqrt{0,4 \sin^2 \alpha \left(1 - \left(\frac{a}{H} \right)^2 \right)}}$, где α – угол наклона затвора к горизонту	Количество измерений не менее 8 $C_m = f(a/H)$

Продолжение таблицы 6.9

1	2	3
4 Открытые регуляторы с затопленным истечением из-под затвора (приложение 18, рисунок 18.4)	Перепад уровней ΔZ как разность уровней Z_1 и Z_2 , или глубин воды H и h над отметкой порога Z_0 ; высота открытия затвора a ; ширина отверстия b $Q = C_m a b \sqrt{2g\Delta Z}$ (6.1)	Количество измерений не менее 12 в пределах $a/a_{max} = 0,1-0,85$ $C_m = f(a, \Delta Z)$
5 Трубчатые регуляторы с прямоугольным входным отверстием и свободным истечением из-под затвора	Напор воды H , высота открытия затвора a , ширина отверстия b $Q = C_m a b \sqrt{2g(H - \varepsilon a)}$	Количество измерений не менее 8 $C_m = f(a/H)$
6 Трубчатые регуляторы с прямоугольным входным отверстием и затопленным истечением из-под затвора (приложение 18, рисунки 18.6, 18.7)	Перепад уровней ΔZ как разность уровней Z_1 и Z_2 или глубин воды H и h над отметкой порога Z_0 , высота открытия затвора a , ширина отверстия b $Q = C_m a b \sqrt{2g\Delta Z}$	Количество измерений не менее 12 $C_m = f(a, \Delta Z)$
7 Трубчатые регуляторы с круглым входным отверстием и свободным истечением из-под затвора (приложение 18, рисунок 18.5)	Напор воды H , высота открытия затвора a , радиус входного отверстия R $Q = C_m \omega_n \sqrt{2g(H - \varepsilon a)}$, где ω_n – площадь истечения $\omega_n = \left(\frac{1,8a}{R} - 0,25 \right) R^2$, (6.2) при $a \leq 2R$	Количество измерений не менее 8 в пределах $a/H = 0,1-0,7$ $C_m = f(a/H)$
8 Трубчатые регуляторы с круглым входным отверстием и затопленным истечением из-под затвора	Перепад уровней ΔZ , высота открытия a $Q = C_m \omega_n \sqrt{2g\Delta Z}$, ω_n – рассчитывается по формуле (6.2)	Количество измерений не менее 12 в пределах $a/a_{max} = 0,1-0,85$ $C_m = f(a, \Delta Z)$

Для повышения точности и контроля измерений параметров их значения рекомендуется дополнительно определять посредством нивелировки уровней воды в ВБ и НБ, и при получении градуировочных характеристик определять параметры H и ΔZ , используя результаты нивелировки.

- для свободного истечения из-под затвора:

$$C_m = Q / a b \sqrt{2g(H - \varepsilon a)}. \quad (6.3)$$

На первом этапе градуировки определяется вид зависимости расходного коэффициента C_m от контролируемых параметров, который рассчитывается по формулам, где ε – коэффициент вертикального сжатия;

- для затопленного истечения из-под затвора:

$$C_m = Q / a b \sqrt{2g\Delta Z}. \quad (6.4)$$

По результатам каждого измерения расхода определяется расходный коэффициент

C_m по формулам (6.3) или (6.4) и строится вспомогательный график $C_m = f(a/H)$ для свободного истечения, либо $C_m = f(a, \Delta Z)$ для затопленного истечения. При относительных отклонениях величин C_m от среднего значения $C_{ср}$, $\varepsilon = \frac{C_m - C_{ср}}{C_{ср}} \cdot 100\%$ менее 2,5 %, C_m принимается постоянным.

Значения коэффициента вертикального сжатия ε для плоского затвора приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Значения коэффициента вертикального сжатия для плоского затвора

a/H	0,1	0,15	0,20	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
ε	0,615	0,618	0,62	0,622	0,625	0,628	0,63	0,638
a/H	0,50	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	
ε	0,645	0,65	0,66	0,675	0,69	0,705	0,72	

Вид градуировочной зависимости определяется формулой пропускной способности для данного типа регулирующего ГТС и гидравлического режима работы сооружения.

Поскольку при протекании потока через трубчатый регулятор бывает весьма сложно определить, в режиме свободного или затопленного истечения работает сооружение (приложение 18, рисунки 18.5, 18.6), рекомендуется вести параллельный расчет характеристик C_m для каждого режима по соответствующим формулам. Окончательное решение по определению режима протекания принимается по результатам расчета (наличие четко выраженной связи между C_m и контролируемыми параметрами).

При транзитном пропуске воды через сооружение (затвор полностью поднят) регулятор работает как водослив, тип которого определяется конструкцией сооружения (водослив с широким порогом, водослив с тонкой стенкой, водослив с толстой стенкой, прямоугольный водослив и т. д.).

При определении режима работы водослива критерии затопления и значения коэффициента затопления σ определяется для каждого конкретного сооружения по справочной литературе.

Рекомендации по градуировке наиболее распространенных типов сооружений при транзитном пропуске воды в зависимости от режима протекания потока приведены в таблице 6.11.

Указания по градуировке многопролетных ГТС

Градуировка многопролетных сооружений может включать градуировку каждого пролета и градуировку нескольких одновременно работающих пролетов при симметричном открытии затворов (по желанию собственника сооружения).

При полунапорном и напорном режимах работы трубчатого сооружения коэффициент сжатия ε зависит от типа трубы и типа входного оголовка, определяется по справочной литературе.

Градуировка многопролетных сооружений производится аналогично градуировке однопролетных сооружений. Выбор измеряемых параметров, количества измерений, вида градуировочной характеристики производится по таблице 6.11.

В зависимости от компоновки пролетов сооружения возможны различные варианты градуировки и определения расхода воды, проходящего через сооружение при его эксплуатации.

Каждый пролет многопролетного регулятора градуируется индивидуально при полностью закрытых остальных затворах.

Таблица 6.11 – Типы ГТС и указания по проведению градуировки при транзитном пропуске воды через сооружение (затвор поднят)

Сооружения и режим истечения	Измеряемые параметры, расходная зависимость	Кол-во измерений и условия; градуировочная характеристика
1 Открытые регуляторы, затвор полностью поднят или $a/H > 0,67$, свободное истечение $hn/H < 0,8$ (приложение 18, рисунок 18.8)	Напор воды H над отметкой порога Z_0 , ширина порога b	
	Сооружение градуируется как фиксированное русло	
	$Q = f(H)$	$Q = f(H)$
	Сооружение градуируется как водослив с широким порогом	
	$Q = m\sqrt{2gH^3}$, где m – коэффициент расхода водослива	Значение m , $Q = f(H)$
2 Открытые регуляторы с затопленным истечением $hn/H > 0,8$ (приложение 18, рисунок 18.9)	Напор воды H над отметкой порога Z_0 , ширина порога b $Q = m\sqrt{2gH^3}$	Количество измерений не менее 8, в пределах 0,15-0,85 H m , $Q = f(H)$
3 Трубчатые сооружения, безнапорный режим протекания $H \leq 1,2D$ (приложение 18, рисунок 18.10)	Напор воды H над отметкой порога Z_0 , ширина трубы b $Q = f(H)$	Количество измерений не менее 8, в пределах 0,15-0,85 Q $Q = f(H)$
4 Трубчатые сооружения, полунапорный режим протекания (приложение 18, рисунок 18.11), квадратные трубы	Напор воды H над отметкой порога Z_0 , ширина трубы b , высота трубы D $Q = c_m \sqrt{2g(H - \varepsilon D)}$ где $\varepsilon = 0,74$ (для порталных оголовков)	Количество измерений не менее 8 $Q = f(H)$
5 Трубчатые сооружения, полунапорный режим, круглые трубы (приложение 18, рисунок 18.12)	Напор воды H над отметкой порога Z_0 , диаметр трубы D $Q = c_m \omega_m \sqrt{2g(H - \varepsilon D)}$ где $\varepsilon = 0,79$; ω_m – площадь сечения трубы	Количество измерений не менее 8 $Q = f(H)$
6 Трубчатые сооружения, напорный режим, нижний бьеф не затоплен (приложение 18, рисунок 18.12)	Напор воды H над отметкой порога Z_0 , диаметр или высота трубы D , ширина трубы b $Q = c_m \omega_m \sqrt{2g(H - \varepsilon D)}$ где $\varepsilon = 0,85$; ω_m – площадь сечения трубы	Количество измерений не менее 8 $Q = f(H)$
7 Трубчатые сооружения, напорный режим, нижний бьеф затоплен (приложение 18, рисунок 18.12)	Перепад ΔZ , диаметр или высота трубы D , ширина трубы b $Q = c_m \omega_m \sqrt{2g\Delta Z}$	Количество измерений не менее 8 $Q = f(H)$

Для каждого пролета составляется градуировочная зависимость:

- при свободном истечении:

$$C_{mi} = f(ai/H_i); \quad (6.5)$$

- при затопленном истечении:

$$C_{mi} = f(ai, \Delta Z). \quad (6.6)$$

Величина C_{mi} рассчитывается по формуле (6.3) при свободном истечении, либо по формуле (6.4) при затопленном истечении.

При этом возможно индивидуальное использование каждого градуированного пролета, либо независимая работа несмежных пролетов (например, первого и третьего, для трехпролетного сооружения, 2 и 4-го, 1 и 4-го – для 4-пролетного сооружения).

Общий расход сооружения при этом будет равен:

$$Q_{\text{общ}} = \sum Q_i. \quad (6.7)$$

Независимая работа смежных затворов не допускается.

Градуируются одновременно два или более пролета при симметричном открытии затворов.

Измеряемые параметры: напор воды H либо ΔZ , ширина отверстий b_1, b_2, \dots, b_n , высота открытия затворов $a_1 = a_2 = \dots = a_n$.

Составляется общая характеристика на градуируемые пролеты по формуле:

$$C_{m \text{ общ}} = f(a/H), \quad (6.8)$$

где $C_{m \text{ общ}} = Q / (b_1 + b_2 + \dots + b_n) a \sqrt{2g(H - \varepsilon a)}$;

- для свободного истечения, или:

$$C_{m \text{ общ}} = f(a, \Delta Z), \quad (6.9)$$

где $C_{m \text{ общ}} = Q_{\text{общ}} / (b_1 + b_2 + \dots + b_n) a \sqrt{2g\Delta Z}$;

- для затопленного истечения.

Аналогичным образом градуируются многопролетные сооружения при транзитном пропуске воды. При выборе измеряемых параметров, вида градуировочной характеристики и количества опытов необходимо руководствоваться указаниями, представленными в таблице 6.11.

После проведения градуировки составляется акт (приложение 21).

6.4.5 Обработка данных градуировки и расчет погрешности определения расхода воды

Обработка данных градуировки включает:

- обработку данных инструментальных измерений ГТС и гидрометрического створа, оформление ведомостей измерения расхода воды;
- обработку данных измерений контролируемых параметров при градуировке ГТС;
- построение градуировочных характеристик в виде графиков и формул, составление градуировочных таблиц;
- выявление погрешностей градуированного ГТС.

В результате обработки данных инструментальных измерений ГТС должны быть получены: описание сооружения с указанием основных отметок и привязки «нолей» средств измерения уровней воды в ВБ и НБ к отметке порога; поперечный профиль в гидрометрическом створе с указанием отметок дна и откосов канала на каждой вертикали и расстояниями от постоянного начала, а также отметка «ноля» уровнемерного устройства на гидрометрическом створе. Все отметки должны быть привязаны к реперам на гидрометрическом створе и сооружении.

Оформление ведомостей измерения расхода воды методом «площадь-скорость» на гидрометрическом створе заключается в проверке правильности заполнения данных по скоростям и глубинам на вертикалях и расчетов по определению величины расхода воды. Ведомости оформляют на специальных бланках, по форме согласно МВИ 05-90 [196].

При наличии вычислительной техники рекомендуется осуществлять расчеты по определению скоростей с применением ЭВМ, результаты расчета оформлять в виде ведомостей измерения скоростей и расчета расхода (приложение 22).

Запись и обработку данных измерений параметров при градуировке ГТС вносят в ведомость измерений (приложение 20).

Градуировочные характеристики устанавливают, согласно указаниям в таблице 6.9, в зависимости от измеряемых переменных параметров и типа сооружения. Для всех типов регуляторов, у которых расход воды зависит от двух переменных параметров H и a или ΔZ и a , устанавливается градуировочная характеристика в виде соответствующей формулы расхода.

При переменной величине расходного коэффициента C_m для характеристики последнего строится вспомогательный график $C_m = f(a/H)$ ($C_m = f(a/\Delta Z)$) или устанавливается аналитическая зависимость градуировочной характеристики от контролируемых параметров.

График градуировочной характеристики строится в масштабе, обеспечивающем максимальное заполнение формата бланка.

По нанесенным на график точкам графическим или графоаналитическим методом строится вспомогательная зависимость $C_m = f(a/H)$ или $C_m = f(a/\Delta Z)$.

Аналитическую зависимость $C_m = f(a/H)$ или $C_m = f(a/\Delta Z)$ можно получить при использовании метода наименьших квадратов или путем использования ПЭВМ с помощью стандартных пакетов прикладных программ.

При линейной зависимости получается уравнение вида:

$$C_m = A_0 + A_1 X, \quad (6.10)$$

где C_m – расходный коэффициент;

A_0, A_1 – постоянные коэффициенты;

X – напор H или разность уровней ΔZ .

При нелинейной зависимости можно использовать метод линеаризации, используя функции $1/X$, $\ln X$, $\exp X$ и т. д., либо получить полиномиальную зависимость вида:

$$C_m = A_0 + A_1 X + A_2 X^2. \quad (6.11)$$

По данным измерений и по полученным формулам расхода воды могут быть построены градуировочные характеристики в виде графиков $C_m = f(H, a)$ или $C_m = f(\Delta Z, a)$ или градуировочных таблиц (приложение 23). Для сооружений, работающих в режиме свободного истечения, градуировочные таблицы необходимо составлять по форме 23.4 приложения 23.

Для многопролетных регуляторов графики и градуировочные таблицы составляют на каждый пролет отдельно, а затем – для каждого случая параллельной работы нескольких затворов при условии, что все затворы открыты на одинаковую высоту a .

При построении градуировочных таблиц необходимо шаг (градацию) переменных параметров назначать таким образом, чтобы соседние значения расхода воды (по горизонтали и вертикали) отличались не более чем на 5 %.

Для регулирующих сооружений с затопленным режимом истечения таблицы строят в зависимости от трех параметров: напор воды H в ВБ, напор воды h в НБ, величина открытия затвора (приложение 23, форма 23.2), либо от двух параметров: перепад уровней ΔZ и открытие затвора a (приложение 23, форма 23.1).

В случае, если ГТС работает в переменном режиме, для каждого режима работы ГТС строятся отдельные градуировочные характеристики и составляются отдельные градуировочные таблицы с указанием границ по контролируемым параметрам каждого режима истечения.

Для случая работы ГТС с полностью поднятым затвором строится график $Q = f(H)$

или $Q = f(\Delta Z)$ и составляются градуировочные таблицы (приложение 23, формы 23.3, 23.4).

Оценка погрешности градуировки ГТС производится по результатам измерений параметров, входящих в расчетную формулу.

Относительная среднеквадратическая погрешность градуировки ГТС определяется по формуле:

- при свободном истечении из-под щита:

$$S_Q = \sqrt{\delta_Q^2 + \delta_r^2 + \delta_a^2 + \delta_a^2 + \frac{1}{4}\delta_{H-a}^2} ; \quad (6.12)$$

- при затопленном истечении:

$$S_Q = \sqrt{\delta_Q^2 + \delta_r^2 + \delta_a^2 + \delta_a^2 + \frac{1}{4}\delta_{\Delta Z}^2} ; \quad (6.13)$$

- при свободном истечении с полностью поднятым затвором:

$$S_Q = \sqrt{\delta_Q^2 + \delta_r^2 + \delta_a^2 + \frac{1}{4}\delta_H^2} ; \quad (6.14)$$

- при затопленном истечении с полностью поднятым затвором:

$$S_Q = \sqrt{\delta_Q^2 + \delta_r^2 + \delta_a^2 + \frac{1}{4}\delta_{\Delta Z}^2} , \quad (6.15)$$

где δ_Q – относительная среднеквадратическая погрешность измерения расхода воды образцовым средством (методом «площадь-скорость» в гидрометрическом створе);

δ_r – относительная погрешность построения градуировочной характеристики ГТС;

$\delta_a, \delta_a, \delta_H, \delta_{\Delta Z}$ – относительные погрешности измерения основных параметров: открытия затвора a , ширины отверстия b , напора воды H в ВБ, перепада воды в ΔZ .

δ_{H-a} – определяется по формуле: $\delta_{H-a} = (\Delta H - \Delta a) / (H - a)$.

Относительная среднеквадратическая погрешность измерения расхода воды методом «скорость-площадь» должна определяться по формуле:

$$\delta_Q = \left[\frac{\beta}{n} (\delta_V^2 + \delta_c^2 + \delta_b^2 + \delta_H^2 + \delta_V^2 + \delta_q^2) \right]^{0.5} . \quad (6.16)$$

Значения частных относительных погрешностей принимаются в соответствии с МВИ 05-90 [196].

Параметр β в формуле (6.16), характеризующий равномерность распределения расхода воды по ширине измерительного створа, определяется по формуле:

$$\beta = n \frac{\sum_{x=1}^n q_x^2}{(\sum_{x=1}^n q_x)^2} . \quad (6.17)$$

В формуле (6.17) значения элементарных расходов в отсеках между скоростными вертикалями q_x , количество отсеков n следует принимать из ведомости измерения максимального расхода. В случае размещения измерительного створа на каналах трапециевидального сечения, значения удельных расходов q_x в прибрежных отсеках между урезами и крайними скоростными вертикалями в формуле (6.17) допускается не учитывать при соответствующем уменьшении количества отсеков n .

Значения основных погрешностей средств измерения скорости (гидрометрических вертушек) δ_V , средств измерения времени (секундомеров) δ_c , средств измерения линейных параметров (мерных лент или рулеток) δ_b , а также средств измерения глубины пото-

ка на вертикалях δ_H принимаются из паспортных данных. Пределы допускаемых основных погрешностей указанных средств измерений не должны превышать:

$$\delta_V \leq 1,5 \%; \delta_C \leq 0,1 \%; \delta_G \leq 0,1 \%; \delta_H \leq 1,0 \%.$$

Предел допускаемой погрешности δ_{∇} привязки геодезических отметок дна гидрометрического створа в точках расположения вертикалей к отметкам топографического репера и началу шкалы (нулю) уровнемера должен составлять не более 0,5 %.

Предел систематической погрешности, вызванной отклонением фактической эпюры скоростей на вертикалях от определенной при конечном числе точек установки средств измерения скорости на вертикали n , определяется по формуле:

$$\delta_q = 2 - \frac{n}{5}. \quad (6.18)$$

Относительная погрешность построения градуировочной характеристики δ_z определяется по формуле:

$$\delta_z = \sqrt{\frac{1}{i-1} \sum \left(\frac{Q_i - Q_i^o}{Q_i^o} \right)^2} \cdot 100. \quad (6.19)$$

В формуле (6.19) Q_i – измеренный расход воды, принимается по ведомостям измерения расхода при градуировке, Q_i^o – определяется по градуировочной характеристике – градуировочному графику или расчетной формуле при значениях контролируемых параметров, соответствующих каждому значению Q_i .

Относительные погрешности определения напора в верхнем бьефе ΔH и перепада уровней ΔZ определяются по формуле:

$$\delta_{H(z)} = \sqrt{\delta_y^2 + \delta_{\nabla\Pi}^2}, \quad (6.20)$$

где δ_y – относительная погрешность уровнемерного устройства;

$\delta_{\nabla\Pi}$ – относительная погрешность привязки нуля уровнемерного устройства к отметке порога водопропускного отверстия.

Величина основной погрешности средств измерений контролируемых параметров δ_a , δ_b , $\delta_{\Delta Z}$ принимается из паспортных данных или свидетельств о поверках конкретных приборов. В случае использования для определения одного параметра нескольких средств измерений, например, самопишущих или интегрирующих приборов, в формуле (6.16) следует суммировать основные погрешности всех применяемых средств измерений.

Результаты градуировки считаются положительными, если расчетная величина относительной среднеквадратической погрешности определения расхода градуированного ГТС не превышает 5 % при вероятности $p = 95 \%$.

6.4.6 Оформление результатов градуировки и поверка градуированных ГТС

После завершения градуировочных работ составляется акт о проведении градуировки данного ГТС по форме, приведенной в приложении 21.

Документация градуированного ГТС, используемого для определения расхода водного потока, должна содержать технический паспорт, ведомости измерений скоростей и расходов воды в гидрометрическом створе, градуировочную зависимость рас-

хода воды от контролируемых параметров в виде аналитической зависимости или графика, таблицы координат, акт о проведении градуировки ГТС, акты о поверках ГТС, акты о поверках средств измерений контролируемых параметров, свидетельство о метрологической поверке градуированного ГТС.

Поверка производится ежегодно в начале сезона после ремонта, не связанного с изменением конструкции, уплотнения затвора и габаритов ГТС, а также по требованию эксплуатационного предприятия.

При установившемся режиме потока измеряют величины контролируемых параметров и определяют расход воды, проходящий через поверяемое сооружение, по градуировочной характеристике. Одновременно измеряется расход воды на гидрометрическом створе детальным способом.

Операцию следует повторить не менее трех раз для значений расхода воды в канале, отличающихся между собой более чем на 20 %.

Если максимальное отклонение результатов поверки, вычисленное по формуле, приведенной ниже, не превышает 5 %, регулирующее ГТС допускается к эксплуатации:

$$\delta = \pm \left(\frac{Q_n - Q_{обр}}{Q_{обр}} \right) \cdot 100, \quad (6.21)$$

где δ – относительная погрешность, %.

Результаты периодических поверок оформляются соответствующим актом по форме приложения 21 и заносятся в паспорт ГТС.

При использовании градуированных ГТС в целях коммерческого водоучета, оно должно быть поверено как нестандартизованное средство измерения в установленном порядке.

6.4.7 Требования к квалификации исполнителей и технике безопасности работ

Выполнение измерений расхода воды методом «скорость-площадь» должно производиться исполнителями, ознакомленными с МВИ 05-90 [196], настоящим сводом правил, инструкциями по эксплуатации средств измерений и имеющими практический опыт их применения.

При оборудовании сооружения приборами, входящими в системы дистанционного либо автоматического управления и контроля, и требующими наличия источников электроэнергии, специалисты, выполняющие измерения, должны проходить специальный курс подготовки по обслуживанию этих приборов.

Специалисты, производящие обработку результатов измерений, должны быть обучены технологии расчетов, графоаналитических построений и обращению с индивидуальной вычислительной техникой.

К выполнению измерений расхода воды допускаются только лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, зарегистрированный в специальном журнале. Выполнение измерений расходов воды методом «скорость-площадь» [196] исполнители должны производить с учетом обеспечения безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.001-82.

6.5 Требования к проведению градуировки гидрометрических сооружений «фиксированное русло»

Для оперативного проведения градуировки гидрометрических сооружений «фиксированное русло» и обработки ее результатов должна быть разработана четкая технология, решающая следующие задачи:

- измерение осредненных скоростей течения потока с автоматическим выбором времени измерения;
- реализация методики «скорость-площадь» для определения расходов воды в полевых условиях;
- оперативное производство градуировочных работ на гидрометрических створах;
- обработка измеренных данных непосредственно на объекте исследований параллельно с процессом измерений.

6.5.1 Требования к участку канала, оснащенного гидрометрическим сооружением «фиксированное русло»

Участок канала (измерительный участок), на котором располагается гидрометрическое сооружение «фиксированное русло», должен быть прямолинейным призматическим с постоянной формой поперечного сечения, иметь постоянный прямой уклон дна.

Измерительный участок канала должен иметь бетонную облицовку или фиксирующий пояс, конструкция которых должна обеспечивать постоянство его формы и геометрических размеров с отклонениями не более $\pm 2,0 \%$ от средних размеров.

Длина канала должна обеспечивать условия подхода потока воды к измерительному участку в соответствии с требованиями, изложенными в таблице 6.12 при скорости потока в канале менее 2 м/с.

Таблица 6.12 – Минимально допустимая длина канала, оснащенного гидрометрическим сооружением «фиксированное русло»

Максимальный расход воды в канале, м ³ /с	От 0,2 До 0,5	От 5 до 10	От 10 до 25	От 25 до 100	Свыше 100
Минимальная допустимая длина прямолинейного участка, м	От 6 <i>B</i> До 8 <i>B</i>	От 4 <i>B</i> До 6 <i>B</i>	От 3 <i>B</i> До 5 <i>B</i>	От 2 <i>B</i> До 3 <i>B</i>	Не менее 1,5 <i>B</i>
Примечание – <i>B</i> – ширина канала по верху.					

При скорости воды в канале более 2 м/с длина участка канала должна приниматься в 1,5 раза больше данных, приведенных в таблице 6.12.

Измерительный участок канала должен быть удален от смежных гидротехнических сооружений и других источников сбойности потока на расстояние, исключающее появление в зоне измерений волновых явлений, косоструйности и повышенных пульсаций скорости, и должен составлять не менее 10 *B*.

Измерительный участок канала должен быть доступен для проведения технологических процедур измерения параметров водного потока. Исключается возможность зарастания и заиления русла канала.

Перед проведением градуировки проверяется режим движения потока воды в канале для исключения влияния на точность измерений попеременных кривых подпора и спада водной поверхности, т. е. подпорно-переменного режима движения потока воды в зоне размещения гидрометрического сооружения «фиксированное русло».

При невозможности по технологическим причинам производства оперативной проверки влияния подпорно-переменного режима и гистерезисных явлений допускается осуществлять контрольные операции в течение сезона эксплуатации сооружения. В этом случае результаты градуировки и метрологической аттестации гидрометрического сооружения утверждаются после получения положительных результатов проверки.

В каналах с расходом более 25 м³/с и скоростью потока менее 1,5 м/с допускается использование измерительных участков без сплошной облицовки при условии пла-

нировки и уплотнения дна и откосов, обеспечивающих отклонения от средних линейных и угловых размеров сечения не более 2,0 %, и создания фиксирующего пояса в створе измерений.

Измерительный участок канала должен быть оборудован средствами гидрометрической переправы. Конструкцию переправы рекомендуется выбирать по таблице 6.13.

Таблица 6.13 – Данные для выбора конструкции гидрометрической переправы

Средство переправы	Ширина канала по верху, м
Гидрометрический мостик жесткой конструкции	до 20
Подвесной гидрометрический мостик на стальных канатах	от 20 до 50

При отсутствии гидрометрического мостика допускается применение лодочной переправы из двух тросов. На одном из тросов размечается положение промерных вертикалей, на другом крепится лодка.

Стационарные гидрометрические сооружения «фиксированное русло» должны быть оборудованы успокоительными устройствами для размещения средств измерений уровня воды, выполненные в соответствии с требованиями МИ 2406-97 [195], рекомендуемые конструкции которых приведены в приложении 24.

Не рекомендуется применение успокоительных устройств типа выносных колодцев в каналах со скоростью потока более 1,5 м/с и шириной русла менее 10 м.

На каналах с концентрацией взвешенных наносов более 1 кг/м³ должны предусматриваться меры по предотвращению заиливания успокоительных устройств.

На участке расположения стационарных гидрометрических сооружений должны быть установлены топографические реперы.

6.5.2 Подготовка к проведению градуировки

Для проведения работ по градуировке гидрометрических сооружений «фиксированное русло» следует применять средства измерения параметров водного потока, геодезическое и гидрологическое оборудование, сертифицированные Росстандартом. Все средства измерения должны иметь метрологическую аттестацию.

Для проведения линейно-угловых измерений следует использовать следующие геодезические инструменты:

- нивелиры высокоточные по ГОСТ 10528-90;
- рейки нивелирные длиной от 1,0 до 4,0 м по ГОСТ 10528-90;
- ленты мерные и рулетки металлические классов 1, 2 или 3 длиной от 1 до 50 м, ценой деления не более 0,001 м по всей длине шкалы по ГОСТ 7502-98;
- теодолиты класса точности Т5 по ГОСТ 10529-96.

Для измерения скорости потока могут применяться измерители скорости водного потока различных видов и типов, обеспечивающие максимальную погрешность измерения не более $\pm 2\%$.

Для измерения уровней воды допускается применение любых типов уровнемеров, в том числе штриховые меры длины (гидрометрические рейки), соответствующие условиям эксплуатации и требованиям ГОСТ 28725-90.

Перед градуировкой гидрометрического сооружения «фиксированное русло» проверяется состояние измерительного участка для установления соответствия установленным требованиям.

Проверка производится методами визуального осмотра и инструментальной съемки объекта по следующим показателям:

- диапазону изменения расхода и уровней воды;
- допускаемой скорости потока;
- отсутствию заилиния и зарастания участка расположения средства измерения;
- отсутствию дефектов облицовки и прочих повреждений на участке расположения средства измерения;
- отсутствию размывов русла на прилегающих к средству измерения участках каналов;
- допускаемому расстоянию от средства измерения до гидротехнических сооружений и других источников, влияющих на режим потока в створе измерений;
- соответствию приборов и оборудования, входящих в состав средства измерения, предъявляемым требованиям и условиям эксплуатации объекта.

В случае несоответствия гидрометрического сооружения установленным требованиям исполнителями совместно с представителями заинтересованных организаций определяется необходимый состав мероприятий по исправлению недостатков и намечаются сроки их устранения. До завершения работ по устранению выявленных недостатков проведение градуировки и аттестации гидрометрического сооружения не допускается.

Основной комплекс работ по подготовке измерительного участка, включая разбивку скоростных вертикалей, измерение параметров сечения русла и привязку характерных отметок сечения гидрометрического сооружения к отметкам топографического репера или марки следует производить, как правило, при отсутствии воды в канале.

Разбивка измерительного створа, перпендикулярного к оси канала, производится с помощью теодолита с вешками и закрепляется с помощью постоянных створных знаков на противоположных берегах (дамбах) канала. Как правило, направление трюсов переправ или боковых граней гидрометрических мостиков должно совпадать с расположением измерительного створа.

Для определения формы и размеров сечения канала производится исполнительная геодезическая съемка русла канала с помощью нивелира и геодезических реек.

Если по данным съемки сечение канала имеет форму правильного прямоугольника или трапеции с отклонениями от заданных отметок не более $\pm 0,2\%$ от горизонтали, разбивка скоростных вертикалей производится по данным таблицы 6.14 в зависимости от ширины канала. Схема разбивки скоростных вертикалей приведена в приложении 25 (рисунки 25.1 и 25.2).

Число вертикалей не должно быть менее восьми при ширине канала по дну более 2 м.

Таблица 6.14 – Данные для выбора расстояния между скоростными вертикалями

Ширина канала по дну (B), м	Максимальное расстояние между скоростными вертикалями (b), м
До 2,0	От 0,20 до 0,25
От 2,0 до 5,0	От 0,25 до 0,50
От 5,0 до 10,0	От 0,50 до 1,00
От 10,0 до 25,0	От 1,00 до 2,50
От 25,0 до 50,0	От 2,50 до 5,00
От 50,0 до 100,0	От 5,00 до 10,00
От 100,0 до 200,0	От 10,00 до 15,00

В руслах трапецидального сечения скоростные вертикали следует разбивать не только по дну, но и на откосах канала (рисунок 25.1).

Если измерительный створ имеет полигональную форму, следует производить дополнительную разбивку вертикалей в характерных точках перелома поперечного профиля русла (рисунок 25.2).

Положение скоростных вертикалей должно оставаться постоянным и фиксироваться следующим образом:

- в створах, оборудованных гидрометрическими мостиками жесткого или подвесного типа, – разметкой на настиле мостика или его несущих конструкциях;
- в створах, оборудованных лодочной переправой, – по разметке троса.

Измерения линейных размеров, включая ширину створа по дну, расстояния между вертикалями и расстояния от крайних вертикалей до урезов воды, следует производить не менее двух раз с помощью металлических рулеток с погрешностью не более 0,5 % от нормальных величин. Данные измерений фиксируются в технической ведомости сооружения вместе со схемой поперечного разреза канала и схемой разбивки вертикалей.

Исполнительная нивелировка, по результатам которой определяются отметки дна канала на каждой вертикали и нуля шкалы уровнемерного устройства, а также производится привязка указанных отметок к отметке топографического репера, должна обеспечивать погрешность всех измерений не более $\pm 0,2$ % от измеренных значений. Результаты нивелировки фиксируются в технической ведомости сооружения.

При непрерывной работе канала в течение года разбивка вертикалей и определение формы и размеров сечения канала должны проводиться при минимальных уровнях воды в канале. В этом случае разбивку вертикалей следует производить штангой при глубине потока до 4 м, либо с помощью каната с закрепленным на нем грузом. При глубине потока более 4 м, работы производятся с гидрометрического мостика или троса. Положение троса или штанги при разбивке вертикалей контролируется с помощью отвеса. В указанных условиях исполнительная нивелировка гидрометрического створа не производится.

Перед началом градуировки гидрометрического сооружения должны быть выполнены:

- контроль отсутствия заиления, зарастания и деформаций русла канала путем внешнего осмотра и выборочных промеров с помощью штанги или троса с грузом;
- контроль правильности разбивки вертикалей с помощью рулетки, а также правильности измерения расстояний между вертикалями и общей ширины канала по дну и по верху;
- контроль правильности привязки нуля шкалы уровнемера и характерных точек сечения канала к отметке топографического репера или марки с помощью нивелира и реек;
- контроль средств измерения в соответствии с инструкциями по эксплуатации или описанием порядка работы в паспорте приборов.

6.5.3 Технология градуировки гидрометрического сооружения «фиксированное русло»

Методика выполнения измерения расхода и уровня воды при градуировке

Проведение операций градуировки контрольного створа гидрометрического сооружения «фиксированное русло» допускается только после стабилизации режима потока или при амплитуде колебаний уровня воды в успокоительном устройстве не более 1,0 % от измеренной средней глубины воды в канале.

После завершения переходных процессов в канале фиксируется время начала работ и положение уровня воды по показаниям уровнемера.

В дополнение к данным разбивки скоростных вертикалей измеряется расстояние от постоянного начала (бровки канала) до уреза воды, а также от уреза до ближайшей скоростной вертикали. Проекции этих точек на горизонтальную плоскость устанавливаются с помощью штанги или отвеса. Если расстояние от уреза воды до бли-

жайшей вертикали составляет более 60 % от расстояния между вертикалями, то следует ввести дополнительные урезные вертикали. Глубина воды на урезной вертикали должна быть не менее 0,20 м.

В контрольном створе измерительного участка канала глубины потока определяются по формуле:

$$h_n = \nabla_0 + H_0 - \nabla_n, \quad (6.22)$$

где ∇_0 – геодезическая отметка начала шкалы уровнемера;

∇_n – геодезическая отметка дна канала на вертикали;

H_0 – показания уровнемера.

Данные для расчетов по формуле (6.22) следует использовать из журнала исполнительной нивелировки.

При амплитуде пульсаций уровня воды, превышающей 0,05 м, для определения глубин потока на каждой вертикали производится дополнительная геодезическая съемка уровней воды. При съемке рекомендуется использовать нивелирную рейку с закрепленным на ее нижнем торце металлическим стержнем, либо крючковую рейку. На каждой вертикали снимается не менее двух отсчетов по рейке, соответствующих максимальному и минимальному значениям уровня воды, и определяется среднее значение. В этом случае глубины потока на каждой вертикали определяются по формуле:

$$h_n = \nabla_y - \nabla_n, \quad (6.23)$$

где ∇_y – средняя геодезическая отметка уровня поверхности воды, которая вычисляется следующим образом:

$$\nabla_y = \nabla_p + y_p - y_{cp}, \quad (6.24)$$

где ∇_p – геодезическая отметка репера;

y_p – отсчет по шкале нивелирной рейки на репере или марке;

y_{cp} – среднее арифметическое из отсчетов по шкалам нивелирной рейки при измерении уровня.

При отсутствии данных геодезической съемки для определения глубины потока, превышающей 1 м на каждой вертикали следует проводить промеры с помощью штанги, а при глубинах более 4 м – с помощью лота (троса с грузом). При амплитуде пульсаций поверхности воды более 0,05 м среднее значение глубины определяется по результатам пяти измерений максимального и минимального значений уровня воды.

Допустимая относительная погрешность измерений уровня воды не должна превышать в диапазоне (0,25-1,00) h_n :

- по уровнемеру в успокоительном устройстве $\pm 1 \%$;
- при определении глубины на каждой вертикали при фиксированном русле канала и амплитуде пульсаций уровня воды в канале (до 0,05 м) $\pm 2 \%$.

При измерении скорости потока количество точек установки первичного преобразователя скорости (гидрометрической вертушки) на каждой вертикали и координаты их расположения должны приниматься согласно таблице 6.15 и приложения 26.

При определении координат установки первичного преобразователя скорости допускается производить отсчет от поверхности воды, если амплитуда пульсации уровня не превышает 0,05 м.

Абсолютные отклонения точки установки первичного преобразователя скорости в потоке от заданных координат на вертикали не должны превышать:

- при установке на штанге $\pm 0,01$ м;
- при установке на тросе с грузом $\pm 0,02$ м.

Таблица 6.15 – Данные для выбора количества точек установки преобразователя скорости (гидрометрической вертушки)

Глубина потока на вертикали, м	Допускаемое количество точек установки первичного преобразователя вертушки на вертикали, шт.	Координаты установки первичного преобразователя вертушки на вертикали (при отсчете от дна канала)
Менее 0,30	1	$0,40 h_n$
От 0,30 до 0,50	2	$0,20 h_n$; $0,80 h_n$
От 0,50 до 0,80	3	$0,20 h_n$; $0,40 h_n$; $0,80 h_n$
Более 0,80	5	0,10 м от дна; $0,20 h_n$; $0,40 h_n$; $0,80 h_n$ и у поверхности ($h_{\text{пов}}$)
То же при наличии ледяного покрова	6	0,10 м от дна; $0,20 h_n$; $0,40 h_n$; $0,60 h_n$; $0,80 h_n$ и на расстоянии 0,10 м от поверхности льда

При использовании гидрометрической вертушки необходимо соблюдение условий, чтобы кромка лопасти винта находилась не менее 2-3 см от поверхности и дна.

Порядок измерения скорости потока гидрометрическими вертушками с контактом через 20 оборотов приведен в приложении 27.

Технология измерений скоростей потока должна соответствовать порядку проведения работ, изложенных в паспортах на конкретные виды приборов. Допускается одновременное измерение скорости потока на вертикали двумя и более приборами.

При проведении измерений расхода воды измерение каждого линейно-углового параметра, уровней воды и скорости потока в каждой точке должно производиться не менее двух раз, за исключением превышения амплитуды пульсации уровня воды, превышающей 0,05 м.

Рекомендуется измерять скорость потока двумя различными вертушками или другими измерителями скорости для исключения систематической погрешности.

В зависимости от применяемых средств измерения скорости движения воды и требований водопользователей могут применяться методики измерения расхода воды, использующие основной и детальный способы (вариант применения гидрометрических вертушек). В случае использования ультразвуковых и электромагнитных измерителей скорости рекомендуется применять методики измерения, рекомендуемые разработчиками средств измерения.

Методики измерения расхода воды основным или детальным способами аналогичны и различаются лишь следующими показателями:

- при основном способе допускается принимать сокращенное число точек установки первичного преобразователя вертушек на каждой вертикали, в том числе при глубине потока до 0,50 м – в одной точке на расстоянии $0,40 h_n$ от дна ($0,60 h_n$ от поверхности уровня воды); при глубине потока свыше 0,50 м – в двух точках на расстоянии $0,20 h_n$ и $0,80 h_n$ от дна;

- измерения скорости потока допускается производить одной вертушкой или другим измерителем скорости без дублирования;

- расстояние между скоростными вертикалями допускается увеличить в 1,5 раза, но число вертикалей следует принимать не менее пяти.

Порядок проведения градуировки гидрометрического сооружения «фиксированное русло»

Градуировка гидрометрического сооружения «фиксированное русло» должна производиться:

- в начале эксплуатации гидрометрического сооружения;
- после завершения ремонта, не связанного с изменением конструкции и габаритов гидрометрического сооружения;
- при изменении режима работы канала на участке расположения;
- при замене комплектующих приборов;
- по требованию организации-водопотребителя.

Перед проведением градуировки устанавливается соответствие гидрометрического сооружения «фиксированное русло» и входящего в его состав оборудования предъявляемым требованиям.

Производится предварительная регулировка расхода воды в канале.

При регулировке расходов воды в канале, с которыми увязываются результаты градуировки, необходимо учитывать следующие условия:

- максимальный измеренный расход должен соответствовать величине, составляющей не менее 90 % от максимального расхода воды в канале;
- минимальный измеренный расход должен соответствовать величине, составляющей не более 10 % от максимального расхода воды в канале;
- все промежуточные измеренные расходы должны равномерно распределяться внутри диапазона измерений. Величины расхода воды, соответствующие двум ближайшим точкам, должны различаться между собой более чем на 5 % от средней величины расхода.

Одновременно с началом проведения измерений фиксируется величина уровня воды на градуируемом гидрометрическом сооружении «фиксированное русло» по уровнемерному устройству. Допустимая погрешность измерения уровня должна находиться в пределах значений, указанных в таблице 6.16.

Таблица 6.16 – Предел допускаемой погрешности измерений уровня

Уровень воды (УВ), м	Менее 0,10	От 0,10 до 0,25	От 0,25 до 1,00
Отношение фактической величины уровня к его верхнему пределу, %	4,0	2,0	1,0

Операции градуировки повторяются после изменения величины расхода воды в канале. Допустимое число измерений для построения градуировочной зависимости должно быть не менее восьми.

Градуировка гидрометрического сооружения «фиксированное русло» должна производиться без перерыва, если режим эксплуатации канала позволяет осуществлять регулирование расходов без ущерба для производства. В остальных случаях допускается производить градуировку по мере плановых изменений величины расхода воды в канале.

При неравномерном режиме потока воды в канале период измерения скорости потока в точке измерения должен составлять от 20 до 25 мин. В течение указанного периода времени уровень воды в контрольном створе не должен изменяться более чем на 0,02 м.

Во избежание появления дополнительной погрешности градуировки измерения расхода воды должны производиться при:

- температуре воздуха от 278 до 303 °К (от 5 до 30 °С);
- скорости ветра не более 5 м/с;

- отсутствие тумана (прямая видимость объектов не менее 100 м).

После завершения градуировки составляется акт о проведении градуировки (приложение 28).

6.5.4 Обработка результатов измерений, определение погрешности

Вычисление расхода воды по результатам измерения линейно-угловых параметров сечения канала, глубины, местных скоростей потока следует производить по формуле:

$$Q = KV_1 f_0' + 0,5(V_1 + V_2)f_1 + \dots + 0,5(V_{n-1} + V_n)f_n + KV_n f_0'', \quad (6.25)$$

где K – коэффициент скорости для прибрежных отсеков, который следует принимать равным:

0,90 – для гладких бетонных облицовок со средней высотой выступов неровностей менее 0,01 м;

0,85 – для неровных облицовок из монолитного бетона и железобетонных плит со средней высотой выступов неровностей от 0,01 до 0,03 м;

0,80 – для облицовок из необтесанного камня, булыжника и для необлицованных откосов каналов со средней высотой выступа неровностей 0,03 до 0,05 м;

0,70 – для каналов с пологими берегами, имеющими заложение откосов от 1:2,5 до 1:5, без облицовки;

V_1, \dots, V_n – средние скорости на вертикалях, м/с;

f_1, \dots, f_n – площади отсеков между соседними вертикалями, м²;

f_0', f_0'' – площади отсеков прибрежных вертикалей, м².

Площади отсеков потока между вертикалями определяются следующими формулами:

- для прибрежных отсеков на каналах с откосами:

$$f_0' = 0,5b_0h \text{ или } f_0'' = 0,5b_nh_n; \quad (6.26)$$

- для прибрежных отсеков на каналах с вертикальными стенками и всех прочих отсеков:

$$f_n = 0,5(h_{n-1} + h_n)b_{n-1}, \quad (6.27)$$

где b_0, b_n – расстояния от соответствующих урезов воды до ближайших скоростных вертикалей, м;

b_{n-1} – расстояние между вертикалями, м;

h, \dots, h_n – глубины потока на вертикалях, м.

Средняя скорость потока на вертикалях должна определяться по формулам:

- при установке вертушки в одной точке на вертикали:

$$V_n = V_{0,4}; \quad (6.28)$$

- то же в двух точках:

$$V_n = 0,5(V_{0,2} + V_{0,8}); \quad (6.29)$$

- то же в трех точках:

$$V_n = 0,33(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,8}); \quad (6.30)$$

- то же в пяти точках:

$$V_n = 0,083V_{\text{дон}} + 0,173V_{0,2} + 0,347(V_{0,4} + V_{0,8} + 0,05V_{\text{пов}}); \quad (6.31)$$

- то же в шести точках и при наличии ледяного покрова:

$$V_n = 0,1[V_{\text{дон}} + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_{\text{пов}}]. \quad (6.32)$$

Схема вычисления расхода воды по результатам измерений и значения символов, входящих в формулы (6.28-6.32), показаны в приложении 26.

Определение скорости должно производиться в соответствии с паспортными данными и инструкцией по эксплуатации конкретного вида измерительного прибора.

При использовании гидрометрических вертушек частота вращения лопастного винта определяется согласно приложению 27.

После завершения расчетов в ведомости отмечаются расчетные показатели, в том числе расход воды, площадь живого сечения и средняя скорость потока (приложение 29). Заполненная ведомость подписывается исполнителями, а в случае необходимости и представителями заинтересованных организаций и предприятий.

Относительная среднеквадратическая погрешность градуировки гидрометрического сооружения должна определяться с учетом методических, случайных и не устраненных систематических составляющих погрешности по формуле:

$$S_Q = \left[\delta_Q^2 + \delta_z^2 + \sum \delta_x^2 \right]^{0.5}, \quad (6.33)$$

где S_Q – относительная среднеквадратическая погрешность градуировки гидрометрического сооружения, %;

δ_Q – относительная среднеквадратическая погрешность единичного измерения расхода воды методом «скорость-площадь», %;

δ_z – относительная среднеквадратическая погрешность построения градуировочной характеристики гидрометрического сооружения, %;

$\sum \delta_x$ – сумма основных погрешностей средств измерения контролируемых параметров (общее обозначение), %.

Относительная среднеквадратическая погрешность измерения расхода воды методом «скорость-площадь» должна определяться по формуле:

$$\delta_Q = \left[\frac{\beta}{n} (\delta_v^2 + \delta_c^2 + \delta_e^2 + \delta_n^2 + \delta_v^2 + \delta_q^2) \right]^{0.5}, \quad (6.34)$$

где β – величина метрологического параметра;

n – количество отсеков;

δ_v – основная относительная погрешность средства измерения скорости потока, %;

δ_c – основная относительная погрешность средства измерения времени, %;

δ_e – основная относительная погрешность средств измерения линейных параметров измерительного створа, %;

δ_n – основная относительная погрешность средства измерения глубины потока на вертикалях, %;

δ_v – предел допускаемой относительной погрешности привязки геодезических отметок дна измерительного створа в точках расположения вертикалей к отметкам топографического репера и началу шкалы уровнемера, %;

δ_q – предел систематической погрешности, вызванной отклонением фактической эпюры скоростей на вертикалях от определенной при дискретном числе точек установки средств измерения скорости на вертикалях, %.

Величина метрологического параметра β в формуле (6.34), характеризующая равномерность распределения расхода воды по ширине измерительного створа, должна определяться по формуле (6.17) подраздела 6.4.5.

Предел систематической погрешности, вызванной отклонением фактической эпюры скоростей на вертикалях от определенной при конечном числе точек установки средств измерения скорости на вертикали, следует принимать по данным таблицы 6.17.

Таблица 6.17 – Предел систематической погрешности

Количество точек установки вертушки на вертикали, шт.	1	2	3	4	5
Предел систематической погрешности δ_q , %	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0

Относительная погрешность построения градуировочной характеристики гидрометрического сооружения должна определяться как среднее квадратическое отклонение результатов измерения расхода от соответствующих значений расхода, определенных по градуировочной характеристике, снятых с графика, либо рассчитанных по аналитической зависимости. Величина δ_ε является комплексной оценкой погрешности, учитывающей не исключённые систематические составляющие погрешности, связанные с колебаниями величин расхода и уровня воды в процессе измерений, не-синхронностью работы секундомеров и вертушек, а так же с пульсационными характеристиками потока. Величина δ_ε градуировки должна определяться по формуле:

$$\delta_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{i-1} \sum \left(\frac{Q_i - Q_i^0}{Q_i^0} \right)^2} \cdot 100, \quad (6.35)$$

где Q_i – значение расхода воды, измеренное при градуировке, м³/с;

Q_i^0 – значение расхода воды, определенное по градуировочной характеристике, м³/с;

i – число результатов измерений.

В формуле (6.35) величины Q_i должны приниматься из ведомостей измерения расхода при градуировке, а величины Q_i^0 определяться по градуировочной характеристике при значениях уровня воды, соответствующих каждому значению Q_i .

Конечным результатом градуировки гидрометрического сооружения «фиксированное русло» являются:

- заполненные и подписанные исполнителями ведомости измерения расхода воды методом «скорость-площадь» (приложение 29);
- подписанные и утвержденные акты о проведении градуировки гидрометрического сооружения (приложение 28);
- ведомость технических характеристик гидрометрического сооружения (приложение 30);
- бланк градуировочной зависимости гидрометрического сооружения (приложение 31);
- расходная таблица, составленная на основании градуировочной зависимости (приложение 32).