Приложение 1
к приказу ОАО «РусГидро»
от 21.04.2014 № 312

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ ГИДРОГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ-
РУСГИДРО»
(ОАО «РУСГИДРО»)

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО УЧЕТУ СТОКА ВОДЫ

СТО РусГидро 06.01.99-2013

Издание официальное

Москва 2013

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а общие положения при разработке и применении стандарта организации – ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Некоммерческим партнерством «Гидроэнергетика России», Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»

2 ВНЕСЁН Департаментом технической политики и методологии стандартизации ОАО «РусГидро» в соответствии с рекомендацией Рабочей группы по техническому регулированию ОАО «РусГидро» (протокол от 06.09.2012 № 51)

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ Приказом ОАО «РусГидро» от 21.04.2014 № 312

4 ВВЕДЁН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «РусГидро»

Содержание

1 Область применения ……..…..…….. 1
2 Нормативные ссылки ……. 2
3 Термины и определения …… 4
4 Сокращения ……... 7
5 Общие положения …….. 7
6 Учет стока воды через гидроагрегаты …….. 10
6.1 Общие требования …… 10
6.2 Методы учета стока воды через гидроагрегаты по эксплуатационным характеристикам ……. 11
6.3 Оценка погрешности эксплуатационных характеристик и требования к порядку их уточнения …….. 16
6.4 Оценка погрешностей определения напора гидротурбин и учет потерь …… 18
6.5 Оценка погрешности измерения нагрузки гидроагрегата и выработки электроэнергии …….. 26
6.6 Оценка погрешности определения среднесуточного расхода воды ……... 26
6.7 Оценка суммарной погрешности определения расхода воды …. 27
7 Учет стока воды через гидротехнические сооружения …….. 28
7.1 Требования к учету стока воды через гидротехнические сооружения ……..... 28
7.2 Учет стока воды через гидротехнические сооружения по эксплуатационным расходным характеристикам ……. 29
7.3 Оценка погрешности эксплуатационных расходных характеристик гидротехнических гидросооружений ……. 32
8 Учет стока воды на собственные нужды ГЭС, протечек и фильтрации через сооружения ……... 33
8.1 Учет стока (расхода) воды на собственные (производственные) нужды …… 33
8.2 Учет фильтрационного расхода через гидросооружения …….. 34
8.3 Учет утечек (протечек) через направляющие аппараты и неплотности затворов …….. 35
9 Измерение расходов воды …… 36
9.1 Методы и требования к применению автоматизированных систем с расходомерами различных типов для учета стока воды на ГЭС ……..... 36
9.2 Типовые схемы и рекомендации по установке расходомеров в проточных трактах гидротурбин …… 42
9.3 Требования к измерению расхода воды на водосбросных сооружениях…..…….. 46
10 Контроль за организацией учета стока воды на гидроэлектростанциях ……..... 48

Приложение А (справочное) Методика оценки погрешности учета потерь напора на сороудерживающих решетках …….. 51
Приложение Б (справочное) Оценка погрешности учета напора по среднеарифметическому значению ……... 54
Приложение В (справочное) Пример оценки суммарной погрешности определения напора ……..……..… 57
Приложение Г (справочное) Пример оценки погрешности определения среднесуточного расхода ……..……. 59
Приложение Д (справочное) Оценка погрешности определения среднесуточного расхода при подсчете его по методу с использованием показателя КПД ……..…….…… 65
Приложение Е (справочное) Пример оценки суммарной погрешности определения расхода воды ……...…….. 66
Приложение Ж (справочное) Примеры восстановления и модернизации штатной системы измерения расходов ……..... 67
Приложение И (справочное) Классификация ультразвуковых расходомеров (УЗР) и методы измерения расхода с помощью ультразвука ……. 69
Приложение К (справочное) Опыт оснащения водоводов гидроагрегатов ультразвуковыми расходомерами ……. 73
Приложение Л (справочное) Измерение расхода воды гидроагрегатов русловых ГЭС акустическим способом …… 75
Приложение М (справочное) Способы измерения расхода воды через водопропускные гидротехнические сооружения ……. 80
Библиография …… 85

Введение

Стандарт организации ОАО «РусГидро» «Гидроэлектростанции. Методические указания по учету стока воды» (далее – Стандарт) разработан в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Стандарт является нормативным документом, устанавливающим требования к организации и ведению учета стока воды на гидроэлектростанциях.

Стандарт регулирует процесс учета стока на гидроэлектростанциях, дополняя в этой области общие требования, изложенные в стандартах организации СТО 17330282.27.140.001-2006 «Гидроэлектростанции. Методики оценки технического состояния основного оборудования», СТО 17330282.27.140.002-2008 «Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования», СТО РусГидро 02.01.80-2012 «Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Правила эксплуатации. Нормы и требования», СТО 17330282.27.140.004-2008 «Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования», СТО 17330282.27.140.014-2008 «Технические системы гидроэлектростанций. Условия создания. Нормы и требования», СТО 17330282.27.140.015-2008 «Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования», СТО 17330282.27.140.021-2008 «Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования», СТО 70238424.27.140.025-2009 «Гидроэлектростанции. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений. Метрологическое обеспечение и оценка технического состояния и работоспособности. Нормы и требования».

Применение Стандарта совместно с другими стандартами организации, действующими в ОАО «РусГидро», позволит реализовать выполнение обязательных требований, установленных законодательством в области общегосударственного учета вод, применять результаты учета стока для составления водных балансов и оптимизации режимов использования водных ресурсов водохранилищ в целях оптимизации работы ГЭС и регулирования стока в условиях половодий и паводков на водных объектах.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ ОАО «РусГидро»

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО УЧЕТУ СТОКА ВОДЫ

Дата введения _____

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт организации (далее – Стандарт) является нормативным документом ОАО «РусГидро», устанавливающим единые требования к порядку организации и методам ведения учета стока воды на приплотинных, русловых, деривационных гидроэлектростанциях (ГЭС) и на гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС) с учетом особенностей их оборудования и сооружений.

1.2. Требования стандарта распространяются на методы определения и средства измерения расходов (стока) воды через гидротурбины, водозаборные, водосбросные, водопропускные сооружения, включая сооружения специального назначения.

Стандарт устанавливает методы определения среднесуточных расходов воды и требования к измерению расхода (стока) в проточных трактах турбин и на водосбросных сооружениях, а также всех видов протечек и фильтрации воды в створе гидроузлов.

1.3 Требования Стандарта могут быть распространены на гидротехнические сооружения в составе гидроузла, не входящие в имущественный комплекс эксплуатирующей организации ГЭС (судоходные шлюзы, рыбоходы и другие сооружения).

1.4 При применении Стандарта на гидроэлектростанциях мощностью менее 5 МВт объем требований Стандарта при соответствующем экономическом обосновании может быть снижен по согласованию с федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным в области управления водными ресурсами и регулирования водохозяйственной деятельности.

1.5 Требования Стандарта не распространяются на учет потерь воды из водохранилищ из-за испарения, льдообразования и на учет безвозвратного водопотребления других отраслей из водохранилищ гидроэлектростанций.

1.6 Стандарт предназначен для обязательного применения в ОАО «РусГидро». Дочерние и зависимые общества ОАО «РусГидро» применяют требования Стандарта после утверждения его в установленном порядке в

качестве локального нормативного документа дочерних и зависимых обществ ОАО «РусГидро».

1.7 Требования Стандарта обязаны выполнять сторонние организации, выполняющие работы (оказывающие услуги) в области его применения по договорам с ОАО «РусГидро», если это обязательство включено в заключаемые с ними договоры.

1.8 Обязательность применения требований и норм Стандарта для всех поименованных выше субъектов ограничена их деятельностью на объектах, расположенных в Российской Федерации, владельцами или инвесторами (застройщиками) которых являются ОАО «РусГидро» и (или) дочерние и зависимые общества ОАО «РусГидро».

1.9 Применение требований Стандарта для целей зарубежной экономической деятельности определяется соответствующим международным соглашением.

1.10 При расхождении требований Стандарта с требованиями нормативной технической документации, выпущенной до его утверждения, необходимо руководствоваться требованиями Стандарта.

1.11 При введении уполномоченными федеральными органами исполнительной власти в действие новых нормативных правовых и методических документов, требования которых отличаются от приведенных в Стандарте, следует пользоваться вновь введенными требованиями этих документов до внесения в Стандарт соответствующих изменений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем Стандарте использованы ссылки на следующие федеральные законы, законодательные акты, стандарты:

«Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 № 74-ФЗ

Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике»

Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»

Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»

Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»

Постановление Правительства Российской Федерации от 16.10.1997 № 1320 «Об организации государственного надзора за безопасностью гидротехнических сооружений»

Постановление Правительства Российской Федерации от 23.07.2004 № 372 «О Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»

Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 № 854 «Об утверждении Правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике»

Постановление Правительства Российской Федерации от 25.12.2006 № 801 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов»

Постановление Правительства Российской Федерации от 10.04.2007 № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов»

Постановление Правительства Российской Федерации от 28.04.2007 № 253 «О порядке ведения государственного водного реестра»

ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений

ГОСТ Р 8.596-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения

ГОСТ Р 51657.5-2002 Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Способ измерения расходов воды с использованием ультразвуковых (акустических) измерителей скорости. Общие технические требования

ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения

ГОСТ 19185-73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 28842-90 Турбины гидравлические. Методы натурных приемочных испытаний

ГОСТ 26966-86 Сооружения водозаборные, водосбросные и затворы. Термины и определения

СТО 17330282.27.140.001-2006 Гидроэлектростанции. Методики оценки технического состояния основного оборудования

СТО 17330282.27.010.001-2008 Электроэнергетика. Термины и определения

СТО 17330282.27.140.004-2008 Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования

СТО 17330282.27.140.009-2008 Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГЭС И ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования

СТО 17330282.27.140.014-2008 Технические системы гидроэлектростанций. Условия создания. Нормы и требования

СТО 17330282.27.140.015-2008 Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования

СТО 17330282.27.140.021-2008 Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования

СТО 70238424.27.140.025-2009 Гидроэлектростанции. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений. Метрологическое обеспечение и оценка технического состояния и работоспособности. Нормы и требования

СТО РусГидро 04.02.75-2011 Гидроэлектростанции. Энергоэффективность и энергосбережение. Основные требования

СТО РусГидро 02.01.80-2012 Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Правила эксплуатации. Нормы и требования

СТО РусГидро 06.01.84-2013 Гидроэлектростанции. Планирование водноэнергетических режимов. Методические указания

П р и м е ч а н и е – при пользовании Стандартом целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования, стандартов – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании Стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем Стандарте применены понятия по Федеральному закону от 27.12.2002 № 184-ФЗ, Федеральному закону от 03.06.2006 № 74-ФЗ, Федеральному закону от 21.07.1997 № 117-ФЗ, Федеральному закону от 26.03.2003 № 35-ФЗ, Федеральному закону от 26.06.2008 № 102-ФЗ, термины – по ГОСТ Р 8.563, ГОСТ Р 8.596, ГОСТ 19179, ГОСТ 19185, ГОСТ 26966,

СТО 17330282.27.010.001-2008, СТО 17330282.27.140.021-2008, СТО 70238424.27.140.025-2009, СТО РусГидро 04.02.75-2011, стандарту [1], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **водный режим**: Изменение во времени уровней, расходов, объемов воды в водных объектах.

3.2 **водопропускное сооружение**: Гидротехническое сооружение и его оборудование, обеспечивающее пропуск расходов из водного объекта (водоема).

3.3 **водосбросное сооружение (водосброс)**: Сооружение для пропуска воды, сбрасываемой из верхнего бьефа водоема во избежание его переполнения.

3.4 **гидрологические характеристики**: Количественные оценки элементов гидрологического режима.

3.5 **гидрометрические работы**: Комплекс работ, проводимых на водных объектах с целью измерения характеристик гидрологического режима.

3.6 **контрольно-измерительная аппаратура**: Приборы, устанавливаемые на сооружении или его основании, для проведения натурных наблюдений, контроля и оперативной оценки состояния сооружения.

3.7 **кривая расходов**: График, характеризующий связь между расходами и уровнями воды для данного сечения (створа) водотока.

3.8 **мощность гидравлической турбины:** Мощность на валу гидротурбины при ее работе в данный момент времени.

3.9 **нагрузка гидроагрегата**: Электрическая активная мощность на шинах гидрогенератора при его работе в данный момент времени.

3.10 **напор гидроэлектростанции брутто**: Разность отметок уровней верхнего и нижнего бьефов гидроэлектростанции.

3.11 **напор гидроэлектростанции нетто**: Напор гидроэлектростанции брутто, уменьшенный на величину потерь напора в подводящем и отводящем трактах гидроагрегатов.

3.12 **напор гидроэлектростанции полный**: Разность уровней верхнего и нижнего бьефов в створе ГЭС.

3.13 **напор гидротурбины рабочий**: Разность полного напора и потерь напора в гидротурбинном блоке (на решетках и по длине водоподводящего тракта).

3.14 **направляющий аппарат гидротурбины**: Рабочий орган гидравлической турбины, изменяющий закрутку потока и регулирующий расход гидравлической турбины за счет поворота лопаток.

3.15 **расход воды через гидротурбину (расход гидротурбины)**: Объем воды, протекающий в единицу времени через гидротурбину, зависящий от действующего напора и открытия направляющего аппарата.

3.16 **регулирование водного стока**: пропуск паводочных расходов, ирригационных и навигационных попусков, санитарных расходов, расходов на водоснабжение и т.п.

3.17 **режим холостого хода гидротурбины**: Работа гидротурбины при номинальной частоте вращения без нагрузки.

3.18 **сороудерживающая решетка**: Устройство для защиты водоприемников от плавающего сора.

3.19 **техническое водоснабжение**: Системы забора воды из бьефов ГЭС, подачи ее к работающему оборудованию для поддержания заданного температурного режима и смазки вращающихся элементов во всех стационарных и переходных режимах гидроагрегатов и возврата воды в нижний бьеф.

3.20 **удельный расход гидротурбины**: Расход воды гидротурбиной, отнесенный к 1 кВт·ч выработанной электроэнергии.

3.21 **уровень воды в верхнем бьефе ГЭС**: Отметка уровня воды в водохранилище в створе гидроузла или в подпертом бьефе в створе водоприемника ГЭС.

3.22 **уровень воды в нижнем бьефе ГЭС**: Уровень воды в водотоке (водном объекте) в створе, примыкающем к зданию ГЭС или к водоподпорному сооружению с его низовой стороны.

3.23 **уровнемер**: Прибор или установка для измерения уровня воды.

3.24 **учет стока воды на гидроэлектростанциях**: Систематическое определение и фиксация (документирование) в установленном порядке расхода (стока) воды через гидротурбины, водосбросные и водопропускные сооружения, системы технического водоснабжения, а также всех видов протечек и фильтрации в створе гидроэлектростанции.

3.25 **фильтрационный расход**: Объем воды, проходящий через данное сечение пористой среды в единицу времени.

3.26 **характеристика пропускной способности гидротехнического сооружения (расходная характеристика):** Совокупность изолиний, определяющих зависимость расходов воды, пропускаемых через водопропускные отверстия гидротехнического сооружения, в зависимости от открытия регулирующих затворов и действующих напоров воды.

3.27 **эксплуатационная мощностная характеристика гидротурбины**: Совокупность изолиний, определяющих зависимость коэффициента

полезного действия и допустимой высоты отсасывания от напора и мощности гидравлической турбины.

3.28 **эксплуатационная расходная характеристика гидротурбины**: Совокупность изолиний, определяющих зависимость коэффициента полезного действия и допустимой высоты отсасывания от напора и расхода гидравлической турбины.

4 Сокращения

АРЧМ – автоматическое регулирование частоты и перетоков активной мощности;

АИИС КУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система контроля и учета электроэнергии;

АСКУЭ – автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ВБ – верхний бьеф;

ГАЭС – гидроаккумулирующая электрическая станция;

ГЭС – гидравлическая электрическая станция;

КИА – контрольно-измерительная аппаратура;

КИС – контрольно-измерительные системы;

КПД – коэффициент полезного действия;

НБ – нижний бьеф;

СК – синхронный компенсатор;

УЗР – ультразвуковой расходомер;

ЦПУ – центральный пульт управления.

5 Общие положения

5.1 Основными задачами организации учета стока воды на гидроэлектростанциях являются контроль использования водных ресурсов гидроэлектростанциями, , получение оперативных данных для регулирования водного стока через створ гидроузла, а также получение информации для расширения гидрологической изученности и уточнения гидрологических характеристик водотока.

Организация учета стока через гидротурбины должна отвечать требованиям оперативного управления режимами работы гидроагрегатов и ГЭС в целом и повышению энергетической эффективности ГЭС в соответствии с нормами СТО РусГидро 04.02.75-2012.

5.2 Учитываемыми компонентами стока воды через створ гидроузла являются:

- расход воды через гидротурбины;
- расходы через все входящие в состав гидроузла водосливные и водосбросные сооружения, включая сооружения специального назначения (рыбопропускные устройства, шугосбросы, промывные устройства, транспортные устройства: шлюзы, плотоходы, бревноспуски);
- расход воды через водозаборные сооружения системы технического водоснабжения на собственные (производственные) нужды гидроэлектростанции;
- фильтрационный расход (через основание и тело грунтовых, бетонных сооружений и береговых примыканий);
- расход (протечки, утечки) через неплотности затворов, закрытые направляющие аппараты гидротурбин.

5.3 Учет стока воды на гидротехнических сооружениях (судоходных шлюзах, ирригационных и иных водозаборах) в составе гидроузла, не входящих в имущественный комплекс ГЭС, производится эксплуатационным персоналом этих сооружений; сведения по учету стока должны быть переданы эксплуатационному персоналу гидроэлектростанции для включения их в общий объем стока по гидроузлу.

5.4 Для организации учета стока воды через гидроагрегаты ГЭС требуется:

- наличие заводских эксплуатационных характеристик гидроагрегатов, уточненных натурными испытаниями или скорректированных на основании опыта эксплуатации;
- оборудование гидротурбин автоматическими средствами измерения расхода воды с показывающими и суммирующими устройствами;
- наличие средств измерения уровней воды в верхнем и нижнем бьефах;
- наличие средств измерения перепадов на сороудерживающих решетках.

5.5 Для организации учета стока воды через гидротехнические сооружения ГЭС требуется:

- наличие характеристик пропускной способности, подтвержденных модельными и (или) натурными исследованиями, соответствующими расчетами и опытом эксплуатации;
- наличие устройств для измерения открытия регулирующих (основных) затворов;
- фиксирование времени открытия и закрытия основных затворов;

- наличие средств измерения уровней воды в верхнем и нижнем бьефах.

5.6 Учет стока на гидроэлектростанциях осуществляется непрерывно, среднесуточный расход воды определяется за каждые без исключения сутки с соблюдением требуемой точности измерений.

5.7 Расход воды через гидроагрегаты измеряется автоматическими средствами измерения, до их установки расход воды следует определять по эксплуатационным характеристикам гидроагрегатов.

5.8 Расходы воды через водопропускные и водосбросные сооружения в составе гидроузла определяются по характеристикам пропускной способности, составленным с учетом всех возможных режимов работы указанных сооружений.

5.9 Расход воды на собственные (производственные) нужды определяется по показаниям приборов и паспортным данным основного и вспомогательного оборудования.

5.10 Фильтрационные расходы через тело напорных гидросооружений, их основание и примыкания являются контролируемым показателем состояния гидротехнических сооружений, способы определения которого и периодичность наблюдений устанавливаются проектом и местными производственными инструкциями.

5.11 Расходы через неплотности затворов и закрытые направляющие аппараты гидротурбин (протечки, утечки) измеряются или определяются расчетным способом.

5.12 Измерения, производимые с целью учета стока воды на ГЭС, осуществляются средствами измерений индивидуального или стандартизованного типа, которые должны быть сертифицированы в качестве средств измерений, иметь метрологические аттестаты и/или калибровки, а также методики выполнения измерений (МВИ), содержащиеся в руководствах по эксплуатации средств измерений утвержденных типов. Используемые в качестве КИА средства измерений подлежат периодической поверке в организациях системы метрологического обеспечения (калибровочных лабораториях), аттестованных в установленном порядке. Требования к размещению приборов и устройств для контроля и управления режимами ГЭС установлены стандартами СТО 17330282.27.140.004-2008, СТО 70238424.27.140.025-2009 и правилами [2]. Методики выполнения измерений для каждого типа средств измерений (за исключением средств, предназначенных для прямых

измерений) должны разрабатываться в соответствии с ГОСТ Р 8.563.

5.13 Процесс учета стока и измерений расхода воды на ГЭС должен быть автоматизирован с применением программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего в задаваемом режиме сбор и обработку информации по всем компонентам стока воды через створ гидроузла. Для целей оперативного управления режимом работы ГЭС учет стока должен быть организован с периодичностью, задаваемой по условиям алгоритмов работы автоматизированной системы управления, в которой используется вводимая информация (как правило посекундно).

5.14 Порядок организации учета стока и измерений расхода воды на ГЭС должен быть установлен производственной инструкцией, составляемой эксплуатирующей организацией на основании требований настоящего Стандарта. К составлению инструкции при необходимости привлекаются специализированные проектные или научно-исследовательские организации. Инструкцию по учету стока воды утверждает технический руководитель ГЭС.

5.15 Эксплуатирующая организация несет ответственность за правильность и полноту учета стока воды на гидроэлектростанции, за своевременность передачи информации по учету стока воды федеральным органам исполнительной власти и (или) уполномоченным ими организациям.

5.16 Порядок передачи учетных данных по стоку воды федеральным органам исполнительной власти и (или) уполномоченным ими организациям определяется нормативными правовыми документами, условиями договоров и соглашений.

6 Учет стока воды через гидроагрегаты

6.1 Общие требования

6.1.1 Учет стока (расхода) воды производят для гидроагрегатов, работающих в генераторном режиме, насосном режиме (для ГАЭС) и в режиме холостого хода.

6.1.2 Общий среднесуточный расход воды через все гидроагрегаты ГЭС определяют как сумму среднесуточных расходов каждого из гидроагрегатов.

6.1.3 При равномерном суточном графике нагрузки ГЭС, на которой установлены однотипные гидроагрегаты, при равномерно распределяемой между ними нагрузке допускается определение среднесуточного расхода воды по среднему значению нагрузки для всех одновременно работающих гидроагрегатов.

При неравномерном графике нагрузки, при работе ГЭС в режиме АРЧМ, при наличии на ГЭС разных типов гидроагрегатов среднесуточный расход воды необходимо проводить отдельно для каждого гидроагрегата с учетом среднечасовых значений его нагрузки и продолжительности работы в течение суток.

6.1.4 Выбор способов определения среднесуточного расхода воды через гидротурбины зависит от типа гидроэлектростанции, внутрисуточного изменения напора, характера суточного графика нагрузки, участия гидроагрегатов данной ГЭС в АВРЧМ, количества установленных гидротурбин и их типа, наличия на ГЭС гидроагрегатов разных типоразмеров и мощности, внедрения на ГЭС автоматизированных средств измерения и программного обеспечения для учета стока с использованием вычислительной техники АСУ ТП. Организация эксплуатации автоматизированных систем управления технологическими процессами ГЭС и ГАЭС, выполненных на программно-технических средствах, осуществляется согласно требованиям стандарта СТО 17330282.27.140.009-2008.

6.2 Методы учета стока воды через гидроагрегаты по эксплуатационным характеристикам

6.2.1 Для гидроагрегатов, работающих в генераторном и насосном режимах, исходными данными для определения расхода воды через гидроагрегаты по эксплуатационным характеристикам служат значения нагрузки гидроагрегата и рабочего напора.

6.2.1.1 Нагрузку гидроагрегата (электрическую мощность на шинах гидрогенератора) измеряют приборами или определяют по количеству выработанной электроэнергии.

6.2.1.2 Рабочий напор H_p определяют по измерениям уровней бьефов по формуле

$$H_p = H - \sum h_i , \qquad (6.1)$$

где H – полный напор (разность уровней ВБ и НБ), м;

$\sum h_i$ – потери напора в гидротурбинном блоке и в напорном водоподводящем тракте (на сороудерживающих решетках, по длине проточного тракта гидротурбины, в турбинных водоводах, местные потери), м.

Потери напора на сороудерживающих решетках не учитывают, если для определения рабочего напора используют показания датчика верхнего бьефа, установленного за решетками. В этом случае в значение геометрического напора должно быть введено корректирующее значение скоростного напора в створе измерений.

Потери напора по длине водоподводящего тракта не учитывают, если они учтены в эксплуатационной характеристике гидроагрегата.

6.2.1.3 Для деривационных гидроэлектростанций, особенно с общим для нескольких гидроагрегатов деривационным водоводом, определяют напор блока, который равен напору ГЭС за вычетом потерь напора в деривации. Напор блока измеряется по уровню воды в напорном бассейне (при открытой деривации) или уравнительном резервуаре (при напорной деривации) с учетом скоростного напора в водоводе в точке измерения уровня.

6.2.2 Для автоматизации определения расхода по нагрузке и напору допускается использование оцифрованных расходных характеристик, снятых с эксплуатационных характеристик. Шаг по нагрузке для гидроагрегатов мощностью до 200 МВт, от 201 до 350 МВт и свыше 351 МВт составляет 0,5 МВт, 1,0 МВт и 3,0 МВт соответственно. Шаг по напору для гидроэлектростанций с напором до 100 м, от 101 до 200 м и свыше 200 м составляет 0,1 м, 0,2 м и 0,5 м соответственно.

При учете стока значения уровней бьефов и напоров воды принимаются с точностью до 1 см; значения расходов – до трех значащих цифр, но не более двух знаков после запятой.

6.2.3 Для определения среднесуточного расхода воды через гидроагрегаты, работающие в генераторном и насосном режимах, применяются следующие методы:

6.2.3.1 Метод, основанный на ежечасных измерениях нагрузки каждого гидроагрегата и уровней верхнего и нижнего бьефов. По измеренным почасовым значениям нагрузки гидроагрегата N и рабочего напора H_p устанавливаются их среднечасовые значения, по которым в соответствии с эксплуатационной характеристикой гидроагрегата устанавливается расход воды за каждый час суток $Q_ч$ ($м^3/с$). Среднесуточный расход определяется по формуле

$$Q_{ср.сут} = \frac{\Sigma Q_{ч}}{24}. \quad (6.2)$$

6.2.3.2 Метод, основанный на измерении выработки электроэнергии гидроагрегатами (используются данные АСКУЭ, АИИС КУЭ)**.** Применим для гидроэлектростанций, работающих с равномерной круглосуточной нагрузкой гидроагрегатов. Нагрузка гидроагрегата определяется по количеству выработанной им электроэнергии. Среднесуточная нагрузка гидроагрегата $N_{ср.сут}$ рассчитывается по формуле

$$N_{ср.сут} = \frac{Э}{24}, \quad (6.3)$$

где $Э$ – суточная выработка электроэнергии в кВт·ч.

Рабочий напор гидротурбин определяется по данным периодических измерений уровней верхнего и нижнего бьефов в течение суток.

Среднесуточный расход $Q_{ср.сут}$ определяется по полученным среднесуточным значениям активной нагрузки и рабочего напора в соответствии с эксплуатационной характеристикой гидроагрегата.

6.2.3.3 Метод, основанный на измерении выработки электроэнергии гидроагрегатами, учитывающий возможную неравномерность суточного графика нагрузки гидроэлектростанций. Средняя за сутки нагрузка гидроагрегата $N_{ср.р}$ рассчитывается по количеству выработанной им электроэнергии $Э$ с учетом продолжительности работы гидроагрегата в течение суток $t_р$ по формуле

$$N_{ср.р} = \frac{Э}{t_р}. \quad (6.4)$$

Рабочий напор гидротурбин определяется по данным периодических измерений уровней верхнего и нижнего бьефов в течение суток.

По полученным средним значениями нагрузки гидроагрегата и рабочего напора по эксплуатационной характеристике определяется средний расход воды через гидротурбину $Q_{ср.р}$ за время ее работы. Среднесуточный расход воды определяется по формуле

$$Q_{ср.сут} = \frac{Q_{ср.р} \cdot t_р}{24}. \quad (6.5)$$

6.2.3.4 Метод, основанный на измерении выработки электроэнергии гидроагрегатами, при этом учитывающий изменение напора. Средний рабочий напор гидротурбины рассчитывается по его значениям во время работы гидроагрегата, а не по среднесуточному значению, по сравнению с предыдущим методом дает меньшую ошибку при суточных колебаниях нагрузки.

6.2.3.5 Метод, основанный на непрерывных (ежесекундных)

измерениях нагрузки каждого гидроагрегата и уровней верхнего и нижнего бьефов.

Расчет расходов может производиться для интервалов разной продолжительности (одинаковой внутри суток), например: 1 секунда, 3 секунды, 5 секунд, 10 секунд, 1 минута – в зависимости от доступной дискретности измерения нагрузки гидроагрегатов и уровней бьефов. При этом, чем меньше выбран интервал определения расхода, тем точнее определяется итоговое среднесуточное значение расхода воды через работающие агрегаты ГЭС. Рекомендуется принимать интервал одной продолжительности в течение всего года.

Сперва определяются средневзвешенные значения показателей нагрузки каждого гидроагрегата и уровней воды в бьефах за принятый интервал. Далее определяется средний за этот интервал напор нетто для каждого гидроагрегата по формуле 6.1. Затем для каждого интервала определяется среднее за интервал значение расхода воды через каждый агрегат по расходной характеристики гидроагрегата.

Среднесуточное значение расхода через конкретный гидроагрегат получается осреднением полученных значений расходов через этот агрегат за каждый интервал суток.

Суммарное значение расхода воды через все гидроагрегаты ГЭС определяется суммированием среднесуточных значений расходов через каждый гидроагрегат.

6.2.3.6 Метод с использованием показателя КПД. Среднесуточная нагрузка гидроагрегата и рабочий напор определяют любым из приведенных выше методов, обеспечивающих необходимую точность в конкретных условиях эксплуатации гидроэлектростанции. По эксплуатационной характеристике определяется не расход воды, а КПД гидроагрегата для среднесуточных значений N и H_p.

Среднесуточный расход $Q_{ср.сут}$ рассчитывается по формуле

$$Q_{ср.сут} = \frac{N_{ср}}{9{,}81 \cdot H_p \cdot \eta}, \qquad (6.6)$$

где $N_{ср}$ – среднесуточная нагрузка гидроагрегата, кВт;

H_p – среднесуточный рабочий напор, м;

η – КПД гидроагрегата для среднесуточных значений N и H_p.

Для упрощения вычислений КПД гидроагрегата можно принимать постоянным, равным среднему значению максимального и минимального значений за время работы (в данном случае за сутки). Для повышения точности учета расхода можно принимать не среднее, а средневзвешенное

значение КПД.

6.2.3.7 Метод с использованием графиков расчетных значений удельных расходов воды q на выработанную или отпущенную электроэнергию в зависимости от напора $q = f(H)$ или положения уровня воды в верхнем бьефе $q = f(\Delta ВБ)$. При необходимости такие графики могут быть специально построены.

По полученным средним значениям нагрузки гидроагрегата $N_{ср}$ и напора (или подпорного уровня) согласно графику удельных расходов устанавливается среднее значение удельного расхода воды q ($м^3$/кВт·ч) за данные сутки. Средняя нагрузка гидроагрегата рассчитывается, как и в предыдущих методах, по выработанной (или отпущенной) электроэнергии Э (кВт·ч). Среднесуточный расход воды вычисляют по формуле

$$Q_{ср.сут} = \frac{Э \cdot q}{86,4 \cdot 10^3}. \quad (6.7)$$

Метод приемлем в случае незначительного колебания в течение суток уровня верхнего бьефа (напора) по отношению к полному напору, т.к. значительные колебания напора приводят к постоянной смене значений удельных расходов.

6.2.4 Для гидроагрегатов, работающих в режиме холостого хода, среднесуточный расход воды через гидротурбину $Q_{хх.ср.сут}$ определяется с учетом суммарного времени ее работы на холостом ходу $t_{хх}$ за расчетные сутки, по формуле

$$Q_{хх.ср.сут} = \frac{Q_{хх} \cdot t_{хх}}{24}. \quad (6.8)$$

Расход воды через гидротурбину, работающую на холостом ходу $Q_{хх}$, определяется по данным завода-изготовителя и уточняется в ходе натурных энергетических испытаний.

6.2.5 Основным критерием выбора метода определения среднесуточного расхода является обеспечение непрерывности учета стока, необходимой точности получаемого результата при минимальных затратах на производство самих измерений и последующих расчетов. Одна и та же ГЭС в зависимости от гидрологической и водохозяйственной обстановки, схемно-режимных условий ЕЭС России может работать с различными графиками нагрузки. Минимизацию погрешности определения расхода воды через гидроагрегаты обеспечивает применение метода наиболее полно отвечающего каждому из режимов эксплуатации ГЭС, минимизацию затрат – внедрение на ГЭС автоматизированных средств измерения и использование для учета стока вычислительной техники АСУ ТП и соответствующего программного обеспечения. Последнее, в свою очередь, должно

обеспечивать возможность перехода с одного метода на другой при значительном изменении режима загрузки ГЭС.

6.2.6 Рекомендации по условиям применения изложенных выше методов измерения расходов воды и учета стока на ГЭС.

6.2.6.1 Наиболее точным является метод определения среднесуточного расхода воды по данным непрерывных или ежечасных измерений нагрузки каждого гидроагрегата и уровней бьефов (см. 6.2.3.1); напор и расход воды определяются в автоматическом режиме непрерывно или за каждый час.

6.2.6.2 Методы учета расхода воды по среднесуточной нагрузке гидроагрегата, определяемой по данным измерений выработки электроэнергии, применимы:

- при равномерной круглосуточной нагрузке гидроагрегатов (см. 6.2.3.2). Если в течение суток гидроагрегат останавливается или работает в режиме синхронного компенсатора, то определение среднесуточной нагрузки делением выработки на 24 часа неизбежно приведет к уменьшению среднесуточной нагрузки и, следовательно, расхода. Погрешность будет тем больше, чем меньше в работе находился гидроагрегат. При останове гидроагрегата всего на 1 час среднесуточный расход, определенный данным методом, будет уменьшен на 1/24 часть (4%);

- при неравномерности суточного графика нагрузки – с учетом продолжительности времени работы гидроагрегата в течение суток (см. 6.2.3.3) и – с учетом среднего напора за время работы гидроагрегата (см. 6.2.3.4). При этом первый метод по сравнению со вторым дает большую ошибку при суточных колебаниях нагрузки.

6.2.6.3 При переменной нагрузке, когда учет стока воды по среднесуточной нагрузке приводит к значительным погрешностям, рекомендуется использовать метод подсчета среднесуточного расхода воды с использованием показателя КПД по формуле (6.6). Точность учета стока данным методом повышает использование при подсчете не среднего значения КПД (из максимального и минимального за сутки), а средневзвешенного значения КПД. Данный метод учета стока применим при работе ГЭС в режиме АВРЧМ, когда нагрузка гидроагрегата многократно изменяется в течение суток. Снижение трудоемкости применения данного метода также обеспечивается автоматизацией измерений и использованием для учета стока вычислительной техники АСУ ТП.

6.2.6.4 Для гидроэлектростанций, работающих в условиях незначительного в течение суток колебания уровня верхнего бьефа (напора) по отношению к полному напору применим метод учета стока по графикам удельных расходов воды (см. 6.2.3.6). При значительных колебаниях напора

значения удельных расходов будут постоянно меняться, что усложнит процесс учета стока воды.

6.3 Оценка погрешности эксплуатационных характеристик и требования к порядку их уточнения

6.3.1 При выборе метода определения среднесуточного расхода воды через гидроагрегаты необходимо провести оценку возможных погрешностей, связанных с эксплуатационными характеристиками, которые могут влиять на точность проводимого учета.

6.3.2 Эксплуатационные характеристики гидроагрегата, построенные на основании заводских характеристик гидротурбины и гидрогенератора и уточненные при эксплуатации натурными энергетическими испытаниями, имеют достаточно высокую точность и обеспечивают определение расхода воды через гидротурбину с погрешностью, оцениваемую от 1 до 2 %.

6.3.3 Погрешность заводских характеристик гидроагрегатов, не уточненных натурными испытаниями, для поворотнолопастных и диагональных гидротурбин при оптимальной комбинаторной зависимости, а также для радиально-осевых и ковшовых турбин можно оценивать равной от 2 до 3 %.

6.3.4 В отдельных случаях из-за износа рабочих колес и проточной части, а также нарушения оптимальной комбинаторной зависимости у турбин поворотнолопастного типа отклонение заводских значений КПД от фактических может достигать от 4 до 6 % и больше. Определение расхода через гидротурбину, у которой нарушена оптимальная комбинаторная зависимость, всегда приводит к занижению значения расхода по сравнению с фактически пропускаемым. Степень этого занижения зависит от того, насколько велико расхождение между фактической и оптимальной комбинаторной зависимостью.

6.3.5 Графики удельных расходов воды, которые используются для учета среднесуточного расхода (стока) через гидроагрегаты (см. 6.2.3.6), строятся на основании имеющихся эксплуатационных характеристик гидроагрегатов. Соответственно все вышеприведенное о погрешностях эксплуатационных характеристик относится и к графикам удельных расходов.

6.3.6 К порядку уточнения эксплуатационных характеристик предъявляются следующие требования.

6.3.6.1 Эксплуатационные характеристики гидроагрегатов вместе с расходно-мощностными характеристиками и характеристиками удельных расходов воды являются нормативными энергетическими характеристиками,

методическая основа разработки которых регламентируется СТО РусГидро 04.02.75-2011. Составление и пересмотр энергетических характеристик проводится по результатам натурных эксплуатационных энергетических испытаний гидроагрегатов гидроэлектростанций. Условия, порядок проведения, методики и периодичность проведения эксплуатационных энергетических испытаний гидротурбин и приемочных испытаний вновь вводимых (модернизированных) гидротурбин регламентируются СТО 17330282.27.140.001-2006.

6.3.6.2 Эксплуатационная характеристика принимается единой для всех гидроагрегатов при получении натурных энергетических характеристик испытанных гидроагрегатов, не различающихся между собой более чем на зону погрешности и подтверждающих выполнение заводских гарантий по КПД.

6.3.6.3 При различии между энергетическими характеристиками, превышающем зону погрешности, и особенно при невыполнении заводских гарантий по КПД, испытаниям должны быть подвергнуты все остальные гидроагрегаты. В этом случае для каждого гидроагрегата составляют индивидуальные характеристики.

6.3.6.4 Пересмотр эксплуатационных характеристик следует производить один раз в 10 лет, а также при вводе гидроагрегатов в работу после реконструкции, связанной с изменениями проточного тракта и рабочих органов гидротурбины, и в тех случаях, когда вследствие старения (износа) оборудования выявлено снижение генерируемой мощности гидроагрегата более чем на 2 % относительно имеющейся энергетической характеристики в определенных условиях работы.

6.3.6.5 Разработку и пересмотр эксплуатационных характеристик должен осуществлять эксплуатационный персонал ГЭС с привлечением при необходимости специализированных организаций.

6.3.6.6 Эксплуатационные характеристики гидроагрегатов должны быть согласованы с заводом-изготовителем или специализированной организацией, проводившей их уточнение, утверждены техническим руководителем гидроэлектростанции, и, в уведомительном порядке, направлены в орган оперативно-диспетчерского управления электроэнергетической системы.

6.4 Оценка погрешностей определения напора гидротурбин и учет потерь

6.4.1 Общие требования

Значительная погрешность определения расхода воды через

гидротурбину может возникнуть из-за неправильного или неточного определения действительного напора гидротурбины, что особенно важно учитывать на низконапорных и совмещенных гидроэлектростанциях.

Суммарная погрешность определения напора гидротурбин складывается из погрешностей:

- измерения уровней воды верхнего и нижнего бьефов;
- определения потерь напора на сороудерживающих решетках;
- определения потерь напора по длине водопроводящего тракта;
- определения эжекционного эффекта на совмещенных ГЭС;
- из-за ветровых сгонно-нагонных явлений.

Для снижения погрешности определения напора гидротурбин целесообразно проводить измерение давления на входе в спиральную камеру и на выходе из отсасывающей трубы в соответствии со схемой измерений, принятой и используемой на заводе-изготовителе для построения эксплуатационной характеристики гидротурбины.

При определении напора на гидроэлектростанции имеют место не все перечисленные погрешности, а две-три значимые, требующие учета, и незначимые, которые практически не оказывают влияния на окончательный результат и которыми можно пренебречь.

6.4.2 Измерение уровней воды верхнего и нижнего бьефов

6.4.2.1 Уровни воды в верхнем и нижнем бьефах ГЭС относятся к постоянно контролируемым показателям состояния гидротехнических сооружений, и подлежат измерениям для ведения оперативного контроля за режимом водотока.

Технический контроль состояния гидротехнических сооружений регламентирован стандартом СТО РусГидро 04.02.75-2011, порядок организации государственного надзора за безопасностью гидротехнических сооружений – Федеральным законом от 21.12.1994 № 68-ФЗ и Постановлением Правительства Российской Федерации от 16.10.1997 № 1320.

6.4.2.2 Измерения уровней воды в верхнем и нижнем бьефах ГЭС следует выполнять с помощью дистанционных приборов: различных типов поплавковых измерителей, погружных датчиков давления (погружные зонды), устройств для измерения расстояния до поверхности воды (лазерная рулетка), пневмогидравлической аппаратуры с передачей показаний на ЦПУ.

6.4.2.3 В современных автоматизированных системах для измерения уровней бьефов используются датчики давления промышленного типа с унифицированным выходным сигналом. Индикация показателей на

вторичных приборах осуществляется в цифровой форме, для уровней и напоров – с дискретностью не менее 1 см.

6.4.2.4 Измерение уровней бьефов ГЭС должно выполняться непрерывно.

6.4.2.5 В зависимости от принятого способа измерения первичные приборы устанавливаются, или в точке отбора давления, или в удобном для обслуживания месте здания гидроэлектростанции. Вторичные показывающие и регистрирующие приборы измерения уровней верхнего и нижнего бьефов устанавливаются на ЦПУ ГЭС или в ином удобном для обслуживания месте.

6.4.2.6 Измерение уровня верхнего бьефа осуществляется в двух точках при длине напорного фронта менее 500 м. При наличии перекоса уровней, нагона и большей длине напорного фронта число датчиков следует увеличить.

Уровень верхнего бьефа следует измерять выше кривой спада уровней воды в водохранилище на подходе к водоприемникам. При наличии в составе напорного фронта водосливной плотины местоположение датчика должно быть не ближе 5H от гребня водосливной плотины (H – максимальный напор на водосливе).

6.4.2.7 Створ для измерения уровней воды в нижнем бьефе ГЭС должен быть размещен на некотором удалении от выходного сечения отсасывающих труб, за концевым сечением участка сопряжения отсасывающих труб с отводящим руслом, ниже участка восстановления кинетической энергии, где отсутствует влияние сосредоточенных струй потока гидроагрегатов, а для совмещенных ГЭС – также и водосбросов, размещенных в здании ГЭС.

6.4.2.8 Для возможности периодической проверки правильности показаний измерительных приборов бьефы гидроузлов должны быть оборудованы водомерными рейками, отметки нулей которых должны быть приведены к единой системе отметок.

Высотное положение «нулей отсчета» измерительных приборов следует периодически (не реже 1 раза в два года) контролировать нивелированием.

6.4.2.9 Точность измерения уровней воды в бьефах принимается не ниже ±2-5 см. Решение о калибровке приборов принимается в случае расхождения контрольных замеров с показаниями приборов более чем на 5 см.

6.4.2.10 Погрешность измерений уровней воды в бьефах будет определяться классом точности измерительного прибора.

6.4.2.11 Телеизмерения уровней воды верхнего и нижнего бьефов должны передаваться гидроэлектростанцией в орган оперативно-диспетчерского управления электроэнергетической системы, в операционной

зоне которого находится данная гидроэлектростанция, в соответствии с соглашениями об информационном обмене и взаимодействии.

6.4.3 Определение потерь напора на сороудерживающих решетках

6.4.3.1 Точное определение действующего напора на ГЭС во многих случаях зависит от правильного определения потерь напора на сороудерживающих решетках, обусловленных степенью засоренности решеток и нагрузкой гидроагрегатов.

6.4.3.2 Перепады уровней воды на сороудерживающих решетках следует измерять с помощью устройств с дистанционной передачей показаний на ЦПУ ГЭС. Контроль перепада на решетках должен быть постоянным.

Точность измерения перепада уровней на сороудерживающих решетках принимается не ниже ±2-5 см.

6.4.3.3 Периодичность измерения потерь напора устанавливают на основании опыта эксплуатации, исходя из требований обеспечения необходимой точности учета стока через турбины.

6.4.3.4 Системы измерения перепадов напоров на решетках должны проверяться два раза в год – до и после прохождения паводка.

6.4.3.5 Потери напора на решетках учитываются по фактически измеренному значению перепада на каждой агрегатной секции, при отсутствии специальных средств измерений – по водомерным рейкам.

6.4.3.6 В отдельных случаях потери напора на решетках можно учитывать как среднесуточное значение.

6.4.3.7 При незначительном изменении средних за сутки потерь напора на решетках, их значения можно принять в качестве постоянных.

Введение постоянных поправочных коэффициентов, учитывающих потери, возможно только после проведения соответствующего анализа фактических результатов измерений перепада на сороудерживающих решетках. В периоды большого поступления плавающего сора перепады напора на сороудерживающих решетках и диапазон их колебаний могут оказаться настолько большими, что это исключит возможность применения постоянного коэффициента и потребует введения в расчет непосредственно измеренных потерь напора.

6.4.3.8 Погрешность определения потерь напора на сороудерживающих решетках при постоянном измерении перепада на каждой секции и определении напора в автоматическом режиме с использованием вычислительной техники АСУ ТП будет определяться классом точности измерительного прибора.

6.4.3.9 Выбор метода учета потерь напора (среднесуточное или постоянное значение) определяется величиной погрешностей каждого метода. Методика оценки погрешности при учете потерь на сороудерживающих решетках и влияние ее на точность учета воды в створе ГЭС приведены в приложении А.

6.4.4 Определение потерь напора по длине водопроводящего тракта

6.4.4.1 На гидроэлектростанциях высоконапорных или имеющих длинный деривационный трубопровод потери напора по длине водопроводящего тракта могут быть значительными и неправильный учет их приведет к ошибке в измерении напора.

6.4.4.2 Потери напора по длине водопроводящего тракта обычно определяют путем гидравлических расчетов и уточняют в процессе эксплуатации при проведении на ГЭС специальных гидроэнергетических испытаний. Потери напора должны обязательно быть учтены при построении расходных эксплуатационных характеристик гидротурбин. В противном случае это может привести к неправильному подсчету расходов воды через гидротурбину и даже оказывать существенное влияние на оценку располагаемой мощности гидроэлектростанции.

6.4.4.3 В эксплуатационных условиях потери по длине напорного тракта определяются по показаниям двух манометров, установленных в начале и в конце водопроводящего тракта. Общие потери h_ω (м) по длине водопроводящего тракта определяются выражением, по формуле

$$h_\omega = \left(z_1 + p_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(z_2 + p_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right), \qquad (6.9)$$

где z_1 и z_2 – высотное положение манометра в начале и конце водопроводящего тракта;

p_1 и p_2 – статический напор (отсчет по манометру) в начале и конце водопроводящего тракта;

$\frac{v_1^2}{2g}$ и $\frac{v_2^2}{2g}$ – скоростной напор (в сечении, где установлен манометр) в начале и конце водопроводящего тракта).

6.4.5 Оценка погрешности при наличии эжекционного эффекта

6.4.5.1 На гидроэлектростанциях совмещенного типа, особенно низконапорных, при включении в работу водосбросных сооружений во время весеннего половодья, действующий напор увеличивается за счет понижения уровня воды нижнего бьефа вследствие эжекционного эффекта.

6.4.5.2 Величина понижения уровня нижнего бьефа при наличии

эжекции зависит от характера распределения сбросного расхода по фронту сооружений гидроузла, обусловленного количеством работающих водосбросов и продолжительностью их работы, а также режимом работы гидроагрегатов.

6.4.5.3 Приращение напора вследствие эжекционного эффекта на низконапорных гидроэлектростанциях может составлять от 0,2 до 1,0 м, а по отношению к полному напору гидроэлектростанций ориентировочно от 2 до 8%. При не учете эжекции напор, а, следовательно, и расходы воды через гидротурбины, будут определяться с погрешностями такого же порядка. Поэтому на совмещенных ГЭС для учета эффекта эжекции по напору должно быть дополнительно организовано измерение давления в створе выходных отверстий отсасывающих труб с последующим внесением поправок к напору, определяемому в соответствии с требованиями подраздела 6.4.2. Кроме того, необходимо провести исследования и определить дополнительные потери напора в водоприемнике гидротурбины, которые должны быть учтены при определении напора.

6.4.5.4 Выявление погрешности определения напора при наличии эжекционного эффекта для введения в учет стока поправочного коэффициента, проводится в соответствии с рекомендациями проектной организации. В случае их отсутствия или необходимости уточнения проектных данных следует производить натурные испытания силами специализированных организаций.

6.4.6 Оценка погрешности из-за ветровых сгонно-нагонных явлений

6.4.6.1 Изменение напора вследствие ветрового нагона (сгона) характерно для гидроэлектростанций, имеющих водохранилища больших размеров. Подъем или понижение уровня воды из-за ветра может существенно исказить картину водного баланса водохранилища, привести к ошибкам в оценке при-точности к створу гидротехнических сооружений и количества воды, забранного из водохранилища. Однако на точность учета стока воды, непосредственно проходящего через гидротурбины и водосбросы гидроэлектростанции, сгонно-нагонные явления не оказывают никакого влияния, поскольку изменение положения уровня верхнего бьефа фиксируется уровнемерами и соответственно учитывается при определении напора, а, следовательно, и расхода.

6.4.6.2 В некоторых случаях из-за ветрового воздействия наблюдается поперечный перекос уровня воды перед фронтом гидротехнических сооружений, что особенно заметно на многоагрегатных

гидроэлектростанциях. При этом напоры на отдельных гидроагрегатах будут отличаться один от другого. В результате возможна погрешность в учете стока воды через гидротурбины, если напор для них принимается один и тот же, как постоянный для всех турбин. Однако на практике поперечные перекосы уровня верхнего бьефа обычно незначительны, поэтому в большинстве случаев их можно не учитывать.

6.4.7 Оценка погрешности из-за осреднения напора за измеряемый промежуток времени

6.4.7.1 Погрешности, допускаемые за счет неправильного определения среднесуточных значений напора, являются одними из самых распространенных. Они могут достигать заметных размеров и зависят от частоты измерений и правильности учета потерь по длине всего водопроводящего тракта, от учета напора по среднеарифметическому значению.

6.4.7.2 Простое арифметическое усреднение напора для нахождения по нему среднесуточного расхода через турбины ГЭС, работающей с переменным графиком нагрузки, приводит к погрешностям. Также может неправильно подсчитываться среднесуточный расход по гидроэлектростанции в целом, если напор на гидроэлектростанции учитывать как постоянное среднеарифметическое значение напоров отдельных гидротурбин. Более точно среднесуточный расход воды через гидротурбины может быть определен только при вычислении средневзвешенного по расходам воды напора.

6.4.7.3 Расхождение между среднеарифметическим и средневзвешенным значениями напора зависит от графика нагрузки, эксплуатационных характеристик гидроагрегатов, гидравлических характеристик верхнего и нижнего бьефов и пр. Чем больше неравномерность суточного графика нагрузки, и чем большие в связи с этим колебания напора, тем большей может быть погрешность определения среднесуточного расхода. В базисном режиме работы гидроагрегатов среднеарифметическое и средневзвешенное значения напора одинаковы и погрешность отсутствует.

6.4.7.4 Средневзвешенный напор для любого пикового графика нагрузки всегда меньше его среднеарифметического значения. Поэтому применение на гидроэлектростанциях, работающих в пиковых режимах нагрузок, особенно низконапорных, способа учета стока воды через гидротурбины по среднесуточному напору дает заниженные значения расхода по сравнению с действительным. Это может приводить к

погрешностям учета стока воды на разных гидроэлектростанциях от 1 до 4% и более. Оценка погрешности учета напора по среднеарифметическому значению приведена в приложении Б.

6.4.7.5 Для каждой гидроэлектростанции, работающей в пиковом режиме и имеющей заметное колебание напора в пределах суток, следует по рассмотренной в приложении Б методике проверить, насколько отличается среднеарифметический напор от его средневзвешенного значения. Проверка проводится для какого-либо характерного графика суточной нагрузки или ряда графиков, если нет возможности выделить один характерный. Поправка в учет стока вводится при расхождении среднеарифметического и средневзвешенного значений напора в 1% и более.

6.4.7.6 Поскольку использование среднесуточного напора дает заниженные значения расхода, поправочный коэффициент будет больше единицы. Если, например, расхождение между средневзвешенным напором и среднеарифметическим составило 3%, полученный расход следует увеличить, умножив его на 1,03.

6.4.7.7 На многих гидроэлектростанциях, и в первую очередь имеющих водохранилища большого объема (например, сезонного или многолетнего регулирования), изменение напора происходит в основном за счет колебания нижнего бьефа. Верхний бьеф в суточном разрезе колеблется значительно меньше, поскольку имеется значительный регулирующий объем. Для таких гидроэлектростанций полный среднесуточный напор рекомендуется определять следующим образом. Уровень верхнего бьефа принимается постоянным, равным его среднему значению за сутки, а уровень нижнего бьефа – равным среднему значению за время работы агрегатов. Разностью между этими значениями определяется полный среднесуточный напор. Если при этом погрешность в определении напора за счет осреднения положения нижнего бьефа по среднеарифметическому значению вместо средневзвешенного будет равна или превышать 1%, в учет стока вводится соответствующая поправка (постоянное значение), которая оформляется специальным актом.

6.4.7.8 При различном характере суточных графиков нагрузок в паводочный и меженный периоды допустимо вводить разные поправки на каждый из этих режимов работы гидроэлектростанции.

6.4.7.9 Выявление погрешности осреднения напора выполняется силами эксплуатационного персонала, ответственного за учет стока.

6.4.8 Оценка суммарной погрешности определения напора на гидроэлектростанции

6.4.8.1 Суммарная погрешность оценивается по отдельным погрешностям, возникающим при определении среднесуточного напора на гидроэлектростанции, с учетом их величин, знака и характера проявления (систематические или случайные). При ее оценке учитываются только значимые погрешности определения напора; погрешностями, мало влияющими на окончательный результат, пренебрегают.

Пример оценки суммарной погрешности определения напора в приложении В.

6.4.8.2 Точность определения действующего напора будет достаточной даже при использовании упрощенной методики его расчета (осреднение данных измерений уровня верхнего бьефа, осреднение перепада на сороудерживающих решетках и т.п.) при соблюдении следующих основных правил.

6.4.8.2.1 Полный среднесуточный напор находится как разность между среднесуточным уровнем верхнего бьефа и средним за время работы агрегата уровнем нижнего бьефа. При отклонении определенного таким образом напора от его средневзвешенного значения на 1% и более необходимо вводить соответствующую постоянную поправку.

6.4.8.2.2 Для определения рабочего напора из полученного полного напора вычитать осредненное значение потерь напора на сороудерживающих решетках, а для деривационных гидроэлектростанций и гидроэлектростанций с длинными водоводами дополнительно к этому – среднее значение потерь по длине водопроводящего тракта (если они не учтены в эксплуатационной характеристике гидроагрегата).

6.4.8.2.3 Осредненное значение потерь напора на сороудерживающих решетках определять для нескольких характерных графиков нагрузки, затем подсчитывать как среднее арифметическое из полученных средних суточных значений и принимать в дальнейшем постоянным значением. Если это приводит к погрешности более ±1%, потери напора следует принимать также постоянным значением, но различным для разных графиков нагрузки.

6.4.8.2.4 Введением при необходимости поправочных коэффициентов.

6.5 Оценка погрешности измерения нагрузки гидроагрегата и выработки электроэнергии

6.5.1 Средняя нагрузка гидроагрегата за время его работы в течение суток, необходимая для определения среднесуточного расхода, находится как среднеарифметическое значение показаний ваттметров, по формуле (6.10):

$$N_{ср.сут.} = \frac{N_1 t_1 + N_2 t_2 + ... + N_n t_n}{24}, \qquad (6.10)$$

где $N_1, N_2 \ldots, N_n$ – нагрузка гидроагрегата, МВт;

$t_1, t_2 \ldots, t_n$ – продолжительность работы гидроагрегата в течение суток с данной нагрузкой, ч.

6.5.2 Нагрузка гидроагрегата в течение суток может многократно меняться. К погрешности подсчета среднесуточного значения нагрузки гидроагрегата может приводить несовпадение по времени изменения нагрузки с записью показаний измерительного прибора.

6.5.3 Для случаев, когда нагрузка гидроагрегата меняется часто в течение суток, необходимы более частые измерения нагрузки. И, наоборот, при постоянной нагрузке измерения можно производить один раз в сутки, измеренная нагрузка гидроагрегата будет одновременно являться и ее среднесуточным значением.

6.5.4 Погрешность измерения нагрузки гидроагрегата по щитовым приборам в основном определяется их классом и классом измерительных трансформаторов.

6.5.5 Средняя суточная нагрузка гидроагрегата за время его работы может быть определена также по счетчику активной выработки электроэнергии: среднесуточным значением нагрузки гидроагрегата будет являться частное от деления суточной выработки на число часов работы гидроагрегата в активном режиме; возможные погрешности – из-за усреднения.

6.6 Оценка погрешности определения среднесуточного расхода воды

6.6.1 При выборе метода определения среднесуточного расхода воды через гидротурбину необходимо провести оценку его возможной погрешности. Погрешности определения среднесуточного расхода возникают при переменном суточном графике нагрузки из-за изменения КПД гидроагрегата (КПД гидротурбины и КПД гидрогенератора).

6.6.2 Определение расхода воды через гидротурбину по средней нагрузке гидроагрегата (делением суточной выработки на число часов его работы) проводится без погрешности в случае работы гидроагрегата с постоянной нагрузкой в течение суток при неизменном КПД.

6.6.3 При переменной нагрузке происходит изменение КПД гидроагрегата, поскольку изменение КПД не пропорционально изменению нагрузки, поэтому определение среднесуточного расхода воды через гидротурбину по среднесуточной нагрузке приводит к погрешностям. Погрешность зависит от характера графика нагрузки и формы расходной характеристики гидротурбины и в ряде случаев может достигать достаточно

большого значения.

Примеры оценки погрешности при определении среднесуточного расхода воды через турбину по среднесуточной нагрузке методами в соответствии с 6.2.3.2, 6.2.3.3 и 6.2.3.4 приведены в приложении Г, методом в соответствии с 6.2.3.5 – в приложении Д.

6.7 Оценка суммарной погрешности определения расхода воды

6.7.1 Точность проводимого учета стока воды достигается выбранной методикой определения среднесуточных значений напора и нагрузки, которая должна обеспечивать минимальные погрешности их определения, и введением при необходимости поправок, уточняющих значения среднесуточного расхода. Оценка точности учета стока проводится по показателю суммарной погрешности определения расхода воды через гидротурбины.

6.7.2 Суммарная погрешность определения расхода (σ_Q) оценивается с учетом погрешностей определения напора (σ_H), нагрузки (σ_N) и эксплуатационных характеристик (σ_x) в случае определения среднесуточного расхода через гидротурбины методами, приведенными в 6.2.3.2 - 6.2.3.4, по формуле

$$\sigma_Q = \sqrt{{\sigma_H}^2 + \sigma_N^2 + \sigma_x^2}\ . \qquad (6.11)$$

6.7.3 В случае определения среднесуточного расхода методом, приведенным в 6.2.3.5, когда КПД гидроагрегата принимается постоянным, равным среднему максимального и минимального значений за сутки, учитывается также погрешность изменения КПД гидроагрегата, σ_η по формуле

$$\sigma_Q = \sqrt{{\sigma_H}^2 + \sigma_N^2 + \sigma_x^2 + \sigma_\eta^2}\ . \qquad (6.12)$$

6.7.4 Суммарная погрешность в определении среднесуточного расхода воды через турбины должна быть не более 3%. Пример оценки суммарной погрешности определения расхода приведен в приложении Е.

7 Учет стока воды через гидротехнические сооружения

7.1 Требования к учету стока воды через гидротехнические сооружения

7.1.1 Учет стока (расхода) воды производится через все входящие в состав гидроузла водосливные и водосбросные сооружения, включая сооружения специального назначения (рыбопропускные устройства,

шугосбросы, промывные устройства, транспортные устройства: шлюзы, плотоходы, бревноспуски).

7.1.2 Учет стока воды через гидротехнические сооружения, не входящие в имущественный комплекс гидроэлектростанции, производится организацией, эксплуатирующей эти сооружения, и в Стандарте не рассматривается. Передача на гидроэлектростанцию учтенных данных по стоку осуществляется за каждые сутки.

7.1.3 На деривационных гидроэлектростанциях учет стока воды через гидротехнические сооружения проводится как на головном, так и на станционном узлах.

7.1.4 Учету подлежит весь сток, прошедший за сутки через работающие отверстия водопропускных сооружений, режим работы которых устанавливается проектом с последующим уточнением по мере накопления опыта эксплуатации.

7.1.5 Расходы воды, пропускаемые через водопропускные отверстия, определяются по эксплуатационным характеристикам пропускной способности (расходным характеристикам), выражающим функциональную связь между расходом, размерами отверстия, степенью его открытия, действующим напором и другими параметрами в зависимости от гидравлической схемы отверстия.

7.1.6 Применяемые методы определения стока (расхода) воды через гидротехнические сооружения должны обеспечить его учет со следующими погрешностями:

- для водосливных (безнапорных) отверстий – до 3%,
- для донных (напорных) отверстий – до 5%,
- для служебных и вспомогательных отверстий – до 10%.

7.2 Учет стока воды через гидротехнические сооружения по эксплуатационным расходным характеристикам

7.2.1 Эксплуатационные расходные характеристики водопропускных отверстий гидротехнических сооружений должны быть представлены в составе проектной документации, при этом для сооружений 1 и 2 классов они должны быть обоснованы модельными исследованиями. Проектные расходные характеристики гидросооружений следует анализировать и уточнять в процессе эксплуатации с учетом фактического исполнения водоводов и условий подвода воды к сооружениям. При этом используются следующие зависимости.

7.2.1.1 Для отверстий, работающих в напорном режиме по формуле

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH_0}\ , \qquad (7.1)$$

где Q – расход воды через водосбросное отверстие, м^3/с;

μ – коэффициент расхода (принимается по данным проекта);

ω – площадь отверстия;

g – ускорение свободного падения (9,81 м/с^2);

H_0 – полный напор, равный $H_0 = H + \frac{V_0^2}{2g}$,

где H – напор над центром отверстия, м;

V_0 – скорость подхода потока к отверстию, м/с.

7.2.1.2 Для отверстий, работающих в безнапорном режиме по формуле

$$Q = m \cdot b\sqrt{2gH^{3/2}}\ , \qquad (7.2)$$

где Q – расход воды через водосливное отверстие, м^3/с;

m – коэффициент расхода при сводном переливе (принимается по данным проекта);

b – ширина отверстия водослива в свету, м;

H – напор над гребнем порога водосливного отверстия, м.

7.2.2 Эксплуатационная расходная характеристика, построенная в виде серии кривых или оформленная в табличной форме, должна учитывать все возможные эксплуатационные случаи работы данного водосброса: изменений уровней бьефов и их возможных комбинаций, степени открытия отверстий, количества работающих отверстий, их индивидуальной или совместной работы, на гидроэлектростанциях совмещенного типа – работу гидроагрегата, размещенного в том же блоке ГЭС.

В тех случаях, когда водосброс подтапливается со стороны нижнего бьефа, пропускная способность зависит также от его уровня и характеристика строится в форме семейства кривых. Полученные кривые сопоставляются с данными модельных исследований. При этом открытие затвора должно быть определено с достаточной точностью. В ряде случаев для этого необходимо производить нивелировку затвора и строить графическую схему его перемещения. Требования к определению пропускной способности водосливных и водосбросных сооружений установлены стандартом СТО РусГидро 02.01.80-2012.

7.2.3 Для однотипных водопропускных отверстий при наличии одинаковых условий подхода и пропуска воды используются общие расходные характеристики.

7.2.4 Все расходные характеристики должны быть снабжены краткой пояснительной запиской, содержащей исходные данные и указания по их использованию. Внесение изменений в расходные характеристики после их

уточнения допускается при наличии соответствующих обоснований и должно утверждаться актом.

Характеристики пропускной способности водопропускных отверстий гидроузла после их уточнения, изменения и утверждения должны быть направлены в уведомительном порядке в орган оперативно-диспетчерского управления электроэнергетической системы, в операционной зоне которого находится данная гидроэлектростанция, в соответствии с соглашениями об информационном обмене и взаимодействии.

7.2.5 Расход воды через каждое работающее отверстие определяется по расходным характеристикам. Среднесуточный расход через гидротехническое сооружение определяется суммированием среднесуточных значений расходов каждого из отверстий по формуле

$$Q = \frac{\sum Q_i t_i}{24}, \qquad (7.3)$$

где Q_i – расход воды через одно отверстие при данной постоянной степени открытия затвора и постоянном уровне верхнего бьефа (для напорных отверстий – также уровне нижнего бьефа), $м^3/с$;

t_i – продолжительность работы водосброса при данной постоянной степени открытия затвора и постоянных уровнях бьефов, ч.

7.2.6 Среднесуточное значение расхода через каждое водосливное отверстие рекомендуется определять осреднением полученных значений расходов за короткие интервалы времени продолжительностью 1 секунда (3 секунды, 5 секунд, 10 секунд, 1 минута), по аналогии с п. 6.2.3.5.

Сперва определяются средневзвешенные значения показателей, от которых зависит расход через водосливное отверстие (уровней верхнего бьефа, уровней нижнего бьефа, напора) за этот интервал. Если расход через водосливное отверстие зависит от напора, тогда напор за этот интервал определяется как разность средневзвешенных значений уровней верхнего и нижнего бьефа за этот интервал.

Далее для каждого водосливного отверстия определяется среднее за интервал значение расхода воды по расходной характеристики.

Среднесуточное значение расхода через конкретное водосливное отверстие получается осреднением полученных значений расходов через это отверстие за каждый интервал суток.

7.2.7Уточнение расходных характеристик натурными исследованиями проводится в случаях:

- если гидравлические режимы не соответствуют предусмотренным проектом;

- при возникновении изменений, приводящих к изменению пропускной

способности водопропускных отверстий

7.2.8 Контроль достоверности характеристик пропускной способности водосливных и водосбросных отверстий проводится по результатам составления водного баланса. Обеспечение обсчета фактического водного баланса водохранилища входит в состав краткосрочного планирования, осуществляемого гидроэлектростанциями в соответствии с установленным порядком, изложенным в СТО РусГидро 06.01.84-2013.

7.2.9 Прямые гидрологические измерения должны выполняться при условии не нарушения утвержденного местной инструкцией порядка пропуска воды через водосбросные сооружения, обеспечивающего безопасность объекта и сохранность сооружений, а также не допускающего размыва дна за водосбросными сооружениями, который мог бы повлиять на устойчивость сооружений.

7.3 Оценка погрешности эксплуатационных расходных характеристик гидротехнических гидросооружений

7.3.1 Точность учета стока через водопропускные сооружения в первую очередь определяется погрешностью характеристик их пропускной способности (расходных характеристик).

7.3.2 Погрешности расходных характеристик водопропускных гидротехнических сооружений могут быть связаны со способом их построения: на основании расчета, модельных исследований или натурных испытаний. Построенная квалифицированно, с использованием современных методов расчета, гидравлическая характеристика гидротехнического сооружения обычно достаточно хорошо описывает реальную натурную характеристику с качественной стороны.

При расчетных или модельных способах построения расходных характеристик необходимо учитывать все факторы, определяющие пропускную способность сооружения (реальные условия подхода потока к сооружению, распределение скоростей внутри него, коэффициенты местных сопротивлений, шероховатости, бокового сжатия и т.д.). Одним из инструментов выполнения этого требования может служить гибридное моделирование.

Некоторые факторы, влияющие на пропускную способность, выявляются после постройки сооружения и поэтому вообще не могут быть учтены расчетом (качество выполненных работ, действительные размеры сооружения и т.п.).

7.3.3 Погрешности расходных характеристик могут быть связаны с режимом эксплуатации гидротехнических сооружений и гидроагрегатов. Так,

в расходных характеристиках может быть не учтена совместная или индивидуальная работа отверстий водосбросов, а для гидроэлектростанций совмещенного типа – влияние на пропускную способность отверстия одновременно работающего гидроагрегата. Не учтенный фактор совместной или индивидуальной работы отверстий водосбросов в некоторых условиях может давать погрешность выше допустимой, хотя, как правило, такая погрешность незначительна и не выходит за пределы допустимой.

7.3.4 В процессе эксплуатации гидросооружения, после ремонтов или частичных реконструкций его узлов, из-за изменений условий подхода потока к водосбросу при заилении водохранилища и по другим причинам расходная характеристика может изменяться и отличаться от проектной от 15 до 20%, а иногда и более. При разработке проекта необходимо прогнозировать возникновение возможных изменений и уже на стадии проектирования предусматривать ожидаемое снижение пропускной способности конструктивными мероприятиями. В текущей работе эксплуатирующей организации следует предусматривать анализ и прогноз возможных изменений расходных характеристик и мероприятий по поддержанию пропускной способности сооружений.

7.3.5 Допустимо отклонение фактической характеристики пропускной способности сооружения от проектной в пределах до 5% по расходу. При большем отклонении необходимо выяснить его причину. Если при последующих периодических проверках пропускной способности (которые могут проводиться не во всем диапазоне пропускной способности, а по двум-трем точкам) пропускная способность будет уменьшаться, то должны быть установлены и устранены причины такого уменьшения во избежание риска снижения уровня безопасности сооружений гидроузла.

8 Учет стока воды на собственные нужды ГЭС, протечек и фильтрации через сооружения

8.1 Учет стока (расхода) воды на собственные (производственные) нужды

8.1.1 Расход воды системы технического водоснабжения гидроагрегата, обеспечивающей охлаждение опорных узлов, статора и ротора генератора, смазку обрезиненного турбинного подшипника и других потребителей при всех режимах работы гидроагрегата, учитывается как постоянная величина в течение года (пересматривается при перевооружении и реконструкции оборудования гидроэлектростанции). Потребители технической воды установлены стандартом СТО 17330282.27.140.014-2008.

8.1.2 Расходы технической воды, подлежащие автоматическому контролю, учитываются в виде средних значений по показаниям приборов, остальные – по паспортным данным организаций-изготовителей оборудования.

8.1.3 Для определения расхода воды на собственные нужды $Q_{СН}$ можно воспользоваться следующим выражением по формуле

$$Q_{СН} = \frac{T_{Г.Р} \cdot n}{8760} \times Q_{Г.Р} + \frac{T_{СК} \cdot n}{8760} \times Q_{СК} + \frac{T_{РЕЗ} \cdot n}{8760} \times Q_{РЕЗ} + \frac{T_{Н.Р} \cdot n}{8760} \times Q_{Н.Р.}, \quad (8.1)$$

где $T_{Г.Р}$, $T_{СК}$, $T_{РЕЗ}$, $T_{Н.Р.}$ – среднемноголетнее число часов работы гидроагрегата в год, соответственно в генераторном режиме, в режиме СК, в режиме останова агрегата в резерве и в насосном режиме, ч;

$Q_{Г.Р}$, $Q_{СК}$, $Q_{РЕЗ}$, $Q_{Н.Р.}$ – общие расходы технической воды при работе гидроагрегата, соответственно в генераторном режиме, в режиме СК, при нахождении агрегата в резерве и в насосном режиме, $м^3/с$;

n – общее количество гидроагрегатов ГЭС;

8760 – число часов в году.

8.2 Учет фильтрационного расхода через гидросооружения

8.2.1 Фильтрационные расходы в основании и теле грунтовых, бетонных сооружений и береговых примыканий являются одним из контролируемых показателей состояния гидротехнических сооружений.

Состав контрольных наблюдений за фильтрацией, аппаратура для измерения расходов фильтрационной воды установлены стандартом СТО 17330282.27.140.004-2008.

8.2.2 Периодичность измерения фильтрационных расходов должна устанавливаться проектом, в дальнейшем – корректироваться по результатам анализа данных эксплуатационного контроля не реже одного раза в 5 лет.

8.2.3 Расход воды, фильтрующейся через бетонные гидротехнические сооружения, следует измерять дифференцированно по участкам сооружения, разделяя фильтрацию через межсекционные швы, через тело сооружения и фильтрацию в основании сооружения.

8.2.4 В тех случаях, если это предусмотрено проектом фильтрационный расход воды следует исчислять по числу включений дренажного насоса, автоматически включающегося в работу при достижении заданного уровня в сборных дренажных колодцах (приямках), где накапливается вода или по числу опорожнений колодца за определенный промежуток времени.

8.2.5 Расходы фильтрационного потока через основание оцениваются по результатам измерения расходов воды в дренажных скважинах (полостях), в местах неорганизованного выхода грунтовых вод, излива из дренажных,

геофизических скважин и т.д. Величина фильтрации через основание оценивается на основании фильтрационных исследований, выполняемых специализированной организацией.

8.2.6 Для определения расхода воды, профильтровавшейся через основание бетонных гидротехнических сооружений, собираемой глубинным дренажом, следует регулярно производить его измерения как в сборном коллекторе дренажной галереи с периодичностью, определяемой местными условиями, так, при необходимости, и в каждой дренажной скважине.

8.2.7 На грунтовых плотинах контроль величины фильтрационного расхода осуществляется в дренажных выпусках и коллекторах, а также в местах выхода фильтрационного потока.

8.2.8 Контроль расхода фильтрационной воды в дренажах и на выпусках из дренажа производятся в смотровых колодцах, оборудованных водомерными устройствами; на открытых дренажах (канавы, кюветы) должны устанавливаться мерные водосливы треугольного или трапецеидального профилей. Установка водомерных устройств должна предусматриваться проектом.

Правила проведений наблюдений за фильтрацией на эксплуатируемых плотинах изложены в стандарте СТО РусГидро 02.01.80-2012, требования к эксплуатации КИС и КИА при проведении наблюдений – в стандартах СТО 17330282.27.140.004-2008 и СТО 17330282.27.140.021-2008.

8.2.9 Фильтрационный расход через гидротехнические сооружения, контролируемый группой натурных наблюдений гидроэлектростанции, допускается учитывать по его среднемноголетнему значению. Пересмотр показателя фильтрационного расхода проводится этим же структурным подразделением ГЭС 1 раз в десять лет.

8.2.10 Сведения об объемах фильтрации и всех видов нормированных утечек на гидроэлектростанции учитываются в водном балансе и ежегодно предоставляются в федеральный орган исполнительной власти, уполномоченный в области формирования официальной статистической информации и надзора в области государственной статистической деятельности, согласно указаниям [3].

8.3 Учет утечек (протечек) через направляющие аппараты и неплотности затворов

8.3.1 На гидроэлектростанции подлежат учету утечки через закрытые направляющие аппараты гидроагрегатов за время нахождения их в резерве, ремонте и режиме СК, а также протечки через неплотности затворов.

8.3.2 Расход утечек через закрытые направляющие аппараты гидроагрегатов следует периодически измерять.

Среднесуточный расход утечек через направляющие аппараты гидроагрегатов $Q_{ут.}$ определяется по формуле

$$Q_{ут.} = q \times П_{рез}, \qquad П_{рез}=(24 \times n) - П_{раб} \qquad (8.2)$$

где q – измеренный расход утечек через закрытый направляющий аппарат агрегата, м^3/с;

$П_{рез}$ – число часов простоя всех агрегатов в резерве, режиме СК или ремонте;

$П_{раб}$ – суммарное число часов работы всех агрегатов в генераторном режиме (по суточной ведомости);

n – общее количество гидроагрегатов ГЭС.

8.3.4 Уплотнения затворов должны быть тщательно пригнаны по всему контуру к закладным частям и соприкасающимся кромкам секции.

8.3.5 Оценка состояния уплотнения затворов (боковых, верхнего, нижнего) обязательна при технических контроле состояния плоских и сегментных затворов.

9 Измерение расходов воды

9.1 Методы и требования к применению автоматизированных систем с расходомерами различных типов для учета стока воды на ГЭС

9.1.1 Расходомеры, используемые в настоящее время на гидроэлектростанциях для эксплуатационных измерений расходов воды, делятся на два типа: основанные на принципе измерения перепада давления в двух точках спиральной камеры (подводящего водовода, донного водосброса) и по степени открытия регулирующих органов гидротурбины или затворов гидротехнических сооружений.

9.1.1.1 Практически все отечественные ГЭС, оборудованные гидротурбинами со спиральными камерами, оснащены расходомерами, действующими по принципу измерения перепада давления в спиральной камере по методу Винтера-Кеннеди, заключающегося в измерении перепада давления между двумя специально выбранными точками спиральной камеры гидротурбины; при этом принимается, что расход пропорционален корню квадратному из значения перепада давления. Данный метод не рекомендуется применять при расходах, меньших половины номинального.

При измерении расхода по способу Винтера-Кеннеди требуется наличие двух пьезометрических выводов в одном и том же радиальном

сечении спиральной камеры, расположенном между статорными колоннами. Один вывод размещается на внешнем радиусе спирали, другой – на внутреннем радиусе у статорных колонн. Для повышения надежности измерения перепада обычно размещают несколько пьезометрических выводов. Это позволяет произвести уточнение показателя степени в формуле, принимаемого обычно для нетарированного створа равным 0,5.

Значение расхода воды Q рассчитывается по формуле

$$Q=k\cdot h^n \qquad (9.1)$$

где k – масштабный коэффициент, значение которого может быть принято любым, в том числе равным единице

h – измеренный перепад давления;

n – показатель степени.

При подсчете по приведенной формуле следует помнить, что не всегда показатель степени равен 0,5. Часто значения показателя степени составляют от 0,48 до 0,52 и характерны в основном для полуспиральных конструкций спиральных камер. Для стальных спиральных камер полного охвата отклонение показателя степени находится в пределах от 0,49 до 0,51 при 95% доверительной вероятности согласно методическим указаниям стандарта СТО 17330282.27.140.001-2006.

Этот метод, рекомендованный ГОСТ 28842, имеет следующие существенные недостатки:

- значительный разброс величин k и n даже на однотипных гидротурбинных установках многоагрегатных гидроэлектростанций. Для расходомеров данного типа необходимо проведение калибровки по расходу для определения значения коэффициента пропорциональности, а иногда и уточнения показателя степени, если полученная зависимость расхода от перепада давления отличается от квадратичной. При этом процедура калибровки, являющаяся, по сути, проведением энергетических испытаний гидроагрегата абсолютным методом, очень трудоёмка;

- инерционность измерительной системы при изменении нагрузок гидроагрегата;

- потерю со временем герметичности импульсных трубок, соединяющих ниппели отбора давлений с вторичной аппаратурой. Восстановление работоспособности импульсных трубок практически исключено, поскольку они прокладываются в бетонном массиве и недоступны для ремонта;

- помимо низкой надежности, данный метод измерения обладает высокой погрешностью. При использовании для калибровки расходомера существующей эксплуатационной характеристики гидроагрегата, очевидно,

что погрешность результатов измерений расходомера не может быть меньше погрешности определения расхода расчётным путём.

Примеры восстановления и модернизации штатной расходо-измерительной системы при переходе гидроэлектростанции на автоматизированную систему измерений приведены в приложении Ж.

9.1.1.2 Принцип учета расхода воды по степени открытия направляющего аппарата гидротурбины, затвора водопропускного сооружения или задвижки напорного водовода основан на однозначной зависимости положения регулирующих органов от расхода при постоянном напоре. При изменении напора меняется и расход, пропускаемый гидротурбиной или водосбросом. При незначительном изменении напора примерное соотношение расхода и напора может быть выражено зависимостью:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}.$$

Так образом, сам принцип работы расходомеров данного типа (одним из которых является расходомер ВО, он же водомер ОРГРЭС) предполагает использование их в условиях, когда напор постоянный или колебание его по отношению к полному напору незначительно и не приводит к заметным погрешностям. Исходя из этого, данные расходомеры могут применяться на высоко- и средненапорных гидроэлектростанциях, и ограниченно – на низконапорных гидроэлектростанциях.

Разработаны несколько модификаций расходомеров ВО. Первичный прибор (датчик), непосредственно связанный с перемещающейся частью регулирующего органа через профильный клин, кулачок или иным способом, преобразует механическое перемещение направляющего аппарата гидротурбины, затвора водопропускного сооружения или задвижки напорного водовода органов в электрический сигнал, пропорциональный расходу. В качестве датчика используется бесконтактный сельсин БС-404 или БС-404А. В качестве вторичного показывающего прибора используется микроамперметр, шкала которого градуируется в единицах измерения расхода.

Расходомеры данного типа также нуждаются в калибровке по расходу, результаты которой могут использоваться только при небольших отклонениях напора от значения, при котором проводилась калибровка. Данное обстоятельство является серьёзным ограничением в применении этих расходомеров.

9.1.2 На некоторых гидроэлектростанциях, внедривших автоматизированные средства измерения и программы, использующие вычислительную технику АСУ ТП, для учета стока воды применяется метод определения расхода воды по нагрузке с коррекцией по напору. По сути это расчетный метод определения среднесуточных расходов воды, ведущийся в автоматическом режиме с помощью вычислительной техники. Расходы воды устанавливаются с использованием эксплуатационных характеристик по значениям активной нагрузки гидрогенератора и напора гидроустановки, измеряемым с 30-минутным интервалом.

9.1.3 Опыт внедрения ультразвуковых систем измерения расходов воды на ГЭС показал, что требованиям работы в современных системах автоматизации и управления отвечают ультразвуковые расходомеры (УЗР).

9.1.3.1 Ультразвуковая система для измерения расхода включает в себя преобразователи и электронное оборудование для управления процессом измерений, обработки результатов и индикации и (или) регистрации результатов. Обеспечивает ввод и запоминание измерительной информации по введенной в него программе, статистическую обработку информации, а также вывод её на дисплей и цифровой или аналоговый выходы. Система имеет также контрольную программу для проверки правильного функционирования оборудования и программы обработки.

9.1.3.2 Ультразвуковые расходомеры подразделяются на расходомеры, работающие по принципу перемещения акустических колебаний движущейся средой, и расходомеры, работающие на принципе эффекта Допплера. Для высокоточных измерений расхода целесообразно применять метод измерений, основанный на разности времен распространения ультразвуковых волн, направленных по потоку и против него.

Доплеровский метод в области измерения расхода имеет ограниченные возможности и наиболее широко применяется для измерения локальных скоростей. Высокую точность измерений методом геометрического сноса ультразвуковой волны невозможно получить вследствие небольшой чувствительности и крутизны градуировочной характеристики.

9.1.3.3 Акустический импульс, посланный вверх по течению, распространяется с меньшей скоростью, чем импульс, посланный вниз по течению. Измерение времени прохождения импульсов в двух направлениях позволяет определить среднее по длине акустического луча значение составляющей скорости, параллельной оси водовода (расходная скорость).

9.1.3.4 Метод измерения расходов воды с использованием ультразвуковых (акустических) измерителей скорости в трубах большого диаметра, каналах, подземных трубопроводах и туннелях, реках позволяет

увеличить точность определения расхода. Ширина створа измерения может составлять до 100 м. Установка ультразвуковых расходомеров на напорных водоводах гидроагрегатов ГЭС, кроме измерения расхода, даёт возможность проведения энергетических испытаний гидроагрегатов в любой момент времени без установки дополнительного оборудования. В отличие от любых других методов измерения расхода ультразвуковой метод времени распространения является методом измерения абсолютного расхода, который не требует калибровки.

9.1.3.5 Ультразвуковые системы определения расхода отличаются надёжностью (так как нет подвижных механических элементов), высокой точностью, быстродействием, помехозащищенностью, возможностью вывода информации результатов измерений в цифровом и аналоговом виде. При использовании многолучевой системы измерения погрешность ультразвуковых расходомеров не превышает 0,5%.

Классификация ультразвуковых расходомеров и методы измерения расхода с помощью ультразвука приведены в Приложении И.

9.1.4 Оснащение гидроэлектростанций автоматизированными системами с расходомерами различных типов для ведения учета стока воды позволяет:

- уменьшить время и сократить трудозатраты на выполнение операций по определению расходов воды, проходящих через гидротурбины и водопропускные сооружения;
- повысить точность измерений;
- получать оперативные данные для оптимизации управления водным режимом и рационального управления составом работающих гидроагрегатов;
- формировать базу данных о работе гидротурбин и водосбросов для последующего анализа с целью расчетов технико-экономических показателей текущих характеристик гидроагрегатов и оптимального использования водных ресурсов.

9.1.5 Автоматизированная система непрерывного измерения уровней, напора и расхода воды на гидроэлектростанции, служащая также для автоматизации управления гидроагрегатами, должна в полной мере обеспечивать:

- измерение и регистрацию уровней верхнего и нижнего бьефов;
- определение и регистрацию напоров нетто на гидротурбинах;
- определение и регистрацию расхода воды на каждой гидротурбине и водосбросных сооружениях, суммирование расхода воды через гидроузел;
- определение потерь напора на сороудерживающих решетках;
- выдачу унифицированного сигнала на систему управления гидроагрегатами, а также в систему АСУ ТП.

9.1.6 Для измерения указанных выше параметров применяется аппаратура с унифицированным выходом. Индикация показателей на вторичных приборах осуществляется в цифровой форме; для уровней, напоров и перепадов с дискретностью 1 см, а для измерения расхода – с дискретностью от 0,1 до 1,0 $м^3/с$.

Вторичные показывающие и регистрирующие приборы измерения уровней верхнего и нижнего бьефов, напора брутто и суммарного расхода через гидротурбины гидроэлектростанции, а также расхода воды через водосбросные сооружения устанавливаются на центральном пункте управления или в удобном для обслуживания месте.

Приборы измерения и регистрации расхода воды через гидротурбину, напора нетто и перепада уровня на сороудерживающей решетке каждого агрегата устанавливаются на агрегатных щитах управления или в удобном для обслуживания месте.

9.1.7 Автоматическая система измерения турбинных расходов должна обеспечивать:

- периодическое измерение поля скоростей водного потока, проходящего через гидроагрегат;
- периодическое измерение или расчет на основании измеренных данных интегрированных величин расхода воды через гидроагрегат;
- периодическое измерение выдаваемой гидрогенератором мощности для расчета КПД гидроагрегата;
- расчет мгновенных и усредненных значений коэффициента полезного действия гидроагрегата;
- передачу полученных результатов измерений и вычислений в АСУ ТП ГЭС;
- сбор вычисленных и измеренных данных и их сохранение за длительный период времени в базе данных;
- автоматический мониторинг, диагностику и сбор статистической информации о сбоях в функционировании технических средств системы;
- звуковую и световую сигнализацию при обнаружении неисправностей в устройствах системы;
- конфигурирование и настройку технических средств системы;
- формирование отчетов за различные периоды времени, как периодических, так и по запросу пользователя;
- программную защиту от несанкционированного доступа к данным;
- полностью автоматический режим работы.

9.1.8 Система должна выполнять функции:

- получение физических величин расхода воды и мощности;

- получение исходных данных для расчета эксплуатационных характеристик гидроагрегата;

- расчет эксплуатационных характеристик гидроагрегата;

- предоставление пользователям системы значений эксплуатационных характеристик;

- ведение журналов событий и сигнализации;

- контроль достоверности исходных данных;

- осуществление взаимодействия с АСУ ТП ГЭС;

9.1.9 Система должна производить автоматический расчет:

- интегрированных величин расхода воды гидроагрегата;

- коэффициента полезного действия гидрогенератора (на основании данных о нагрузке и заданных зависимостей);

- коэффициента полезного действия гидротурбины;

- коэффициента полезного действия гидроагрегата (как произведение коэффициентов полезного действия гидротурбины и гидрогенератора).

9.1.10 Система должна обеспечивать:

- измерение скорости воды или интегрированных значений расхода с абсолютной погрешностью не хуже 1,0%;

- измерение электрической мощности гидрогенератора с абсолютной погрешностью не хуже 0,5%.

Указанные значения погрешностей должны включать в себя погрешности всех компонентов измерительного канала системы.

9.1.11 Система должна обеспечивать взаимодействие с АСУ ТП ГЭС на агрегатном и станционном уровне для передачи результатов измерений и вычислений, сигнализации о состоянии компонентов системы, а также выполнения функции синхронизации времени. Передача данных от системы в АСУ ТП ГЭС должна осуществляться в цифровом виде с использованием интерфейсов и протоколов на базе открытых спецификаций.

Эффективная скорость передачи должна позволять передачу данных автоматизированной системы измерения турбинных расходов в режиме реального времени исходя из требуемой периодичности измерений и вычислений.

Взаимодействие со станционным уровнем АСУ ТП должно осуществляться с помощью включения автоматизированной системы измерения турбинных расходов в технологическую сеть управления СУГ или локальную сеть станции. Взаимодействие автоматизированной системы измерения турбинных расходов с АСУ ТП ГЭС должно осуществляться в автоматическом режиме.

9.2 Типовые схемы и рекомендации по установке расходомеров в проточных трактах гидротурбин

9.2.1 Установка УЗР на напорных водоводах

9.2.1.1 Схема расположения преобразователей в водоводе круглого сечения при акустическом методе измерения расхода приведена на рисунке 9.1.

9.2.1.2 Для уменьшения систематической погрешности вследствие влияния поперечных составляющих скорости потока используют две группы акустических лучей, расположенные в двух плоскостях А и Б.

9.2.1.3 Если акустический луч лежит в плоскости, проходящей через ось водовода круглого поперечного сечения с осимметричным распределением скоростей, то измеренное среднее значение скорости принимают в качестве среднего значения скорости потока в водоводе.

9.2.1.4 Для учета реального распределения скоростей устанавливают несколько пар преобразователей.

9.2.1.5 Применяют два основных метода измерения времени прохождения:

- прямое измерение времени прохождения сигналом расстояния между двумя преобразователями в прямом и обратном направлениях (так называемая времяимпульсная измерительная схема – см. приложение И);

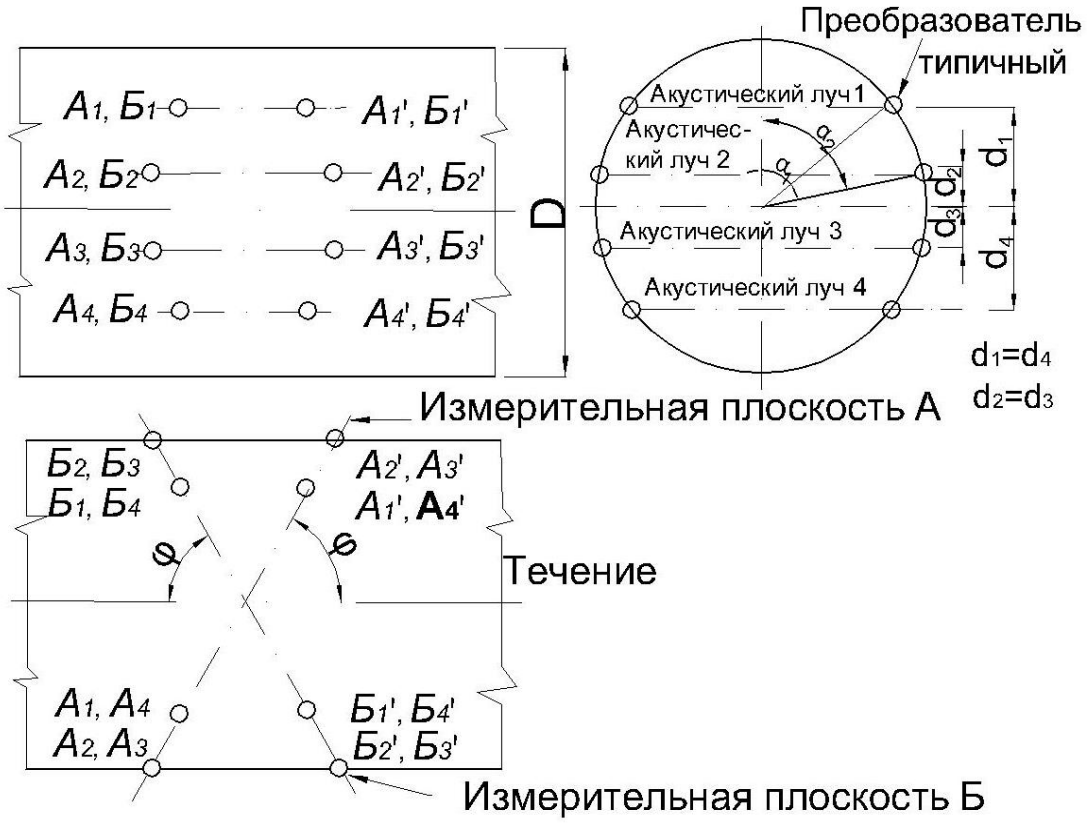


Рисунок 9.1 – Схема расположения преобразователей в водоводе круглого сечения при измерении расхода акустическим методом

- сигнал от передатчика, поступающий на приемник, инициирует посылку передатчиком нового сигнала в том же направлении. Измеряют разность частот серии таких импульсов, посылаемых по потоку и против (частотная измерительная схема).

9.2.1.6 Излучающий и принимающий преобразователь располагают таким образом, чтобы направление излучения сигналов составляло некоторый угол φ с осью водовода. Значения углов следует принимать от 45° до 75°.

9.2.1.7 Принципиальная схема измерения скорости воды с применением акустического метода приведена на рисунке 9.2.

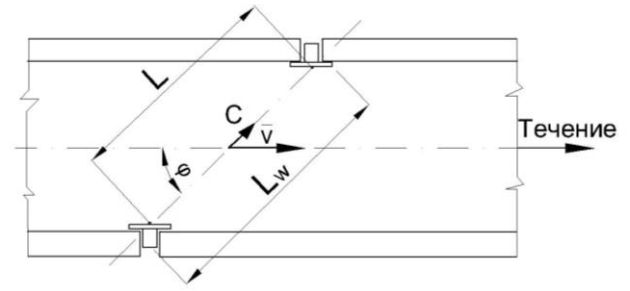


Рисунок 9.2 – Принципиальная схема измерения скорости воды с применением акустического метода

9.2.1.8 Необходимо учитывать задержки прохождения импульса в электронных цепях и кабелях, а также, время прохождения акустического импульса через нежидкие элементы акустического луча.

9.2.1.9 Разметка мест установки преобразователей и определение фактических размеров, необходимых для расчета расхода, должны быть выполнены с необходимой точностью. Погрешности определения расхода должны быть учтены при анализе ошибок.

Место установки преобразователей должно отстоять от источника искажения на 10 диаметров вверх по потоку и на 3 диаметра вниз по течению.

9.2.1.10 Измерение расхода с использованием одного луча не допускается.

9.2.1.11 Проверка акустического расходомера включает:

- контроль за прохождением акустических импульсов с демонстрацией на осциллографе;

- контроль программ и введенных постоянных коэффициентов;

- сравнение вычисленных значений скоростей звука (определяемых как отношение длины акустического луча ко времени прохождения сигнала) при нулевом расходе со справочными значениями, приведенными к температуре воды во время опыта;

- раздельные измерения скорости потока по каждому лучу.

9.2.1.12 Длина пути импульса должна быть достаточно большой, чтобы можно было обеспечить требуемую точность измерения. Скорость потока должна быть не менее 1,5 м/с.

9.2.1.13 При установке преобразователей в двух наклонных плоскостях систематическая погрешность, как и в случае турбинного расходомера, должна быть в пределах от ±1 до ±2%.

Требования к акустическому методу измерения расхода в водоводах круглого и прямоугольного поперечного сечений приведены в ГОСТ 28842.

Примеры оснащения напорных водоводов ГЭС ультразвуковыми расходомерами приведены в Приложении К.

9.2.2 Установка УЗР в спиральных камерах

9.2.2.1 Для гидроэлектростанций русловой компоновки, специфика турбинных водоводов которых заключается в отсутствии протяженных участков водоводов постоянного сечения, разработан и реализован способ измерения расхода турбины акустическим способом с помощью ультразвукового расходомера, установленного в спиральной камере.

9.2.2.2 В состав ультразвукового расходомера (УЗР-2) входят: два акустических преобразователя (АП); электронный блок, изготовленный на базе микроконтроллера промышленного типа; линии связи. Расходомер может работать в автономном режиме и передавать результаты измерений в автоматизированную систему измерений.

9.2.2.3 Схема размещения акустических преобразователей в спиральной камере приведена на рисунке 9.3. Один из акустических преобразователей АП1 устанавливается на стенке спиральной камеры, второй преобразователь АП2 – на одной из статорных колонн.

9.2.2.4 Выбор мест установки акустических преобразователей определяется исходя из оптимального сочетания условий расположения акустического луча в области спиральной камеры со стабильно сформировавшимся потоком и минимальной протяженности кабелей при выводе их из проточной части.

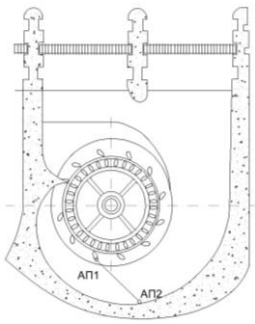


Рисунок 9.3 – Схема размещения акустических преобразователей в спиральной камере гидротурбины.

9.2.2.5 Ультразвуковой расходомер в спиральной камере функционально полностью заменяет традиционный спиральный расходомер, отвечает современным требованиям автоматизации измерений, а также монтируется накладным способом в короткие сроки и при необходимости может быть отремонтирован или заменен.

УЗР-2 обеспечивает ввод и запоминание измерительной информации по введенной в него программе, статистическую обработку информации, а также вывод её на дисплей и цифровой с интерфейсом RS-232 (RS-485) или аналоговый (токовый 4...20 мА) выходы.

Период измерения, вычисления и выдачи информации на дисплей и выходы составляет не более 15 секунд. В каждом периоде измеряется не менее 50 мгновенных значений расхода, из которых статистической обработкой получается среднее.

Средняя наработка на отказ не менее 24000 часов.

9.2.2.6 Опытная эксплуатация ультразвукового расходомера показала возможность его использования для постоянного учета расхода и стока воды с передачей показаний в компьютерную сеть. Кроме того, применение ультразвукового расходомера позволило оптимизировать комбинаторную зависимость, что повышает КПД турбины на 2-4%.

Положительный опыт оснащения русловой гидроэлектростанции УЗР показывает возможность его применения вместо морально и физически устаревших штатных расходомеров.

Опыт применения ультразвукового способа измерения расхода на русловой ГЭС приведен в приложении Л.

9.3 Требования к измерению расхода воды на водосбросных сооружениях

9.3.1 Измерение скоростей течения и определение расходов воды через водосбросные сооружения необходимо для уточнения их пропускной

способности, являющейся одним из контролируемых показателей состояния надежности и безопасности водосбросных сооружений и нижних бьефов гидроузлов.

9.3.2 Натурные измерения, входящие в состав работ по контролю состояния любых водосбросных сооружений, проводятся в период эксплуатации, как правило, при пропуске сбросных расходов и непосредственно после пропуска. Наблюдения за гидравлическим режимом необходимы для того, чтобы установить его отклонения от предусмотренного проектом. Отклонения свидетельствуют о наличии изменений в состоянии сооружения или нижнего бьефа или о нарушении правил эксплуатации.

Контроль и анализ состояния водосбросных сооружений и нижних бьефов гидроузлов обеспечивается в соответствии с рекомендациями стандарта СТО РусГидро 04.02.75-2011.

9.3.3 К измерению расхода на водосбросных и водопропускных сооружениях предъявляются следующие требования.

9.3.3.1 Способ измерения расхода воды должен выбираться в зависимости от ряда условий, в том числе: от конструкции и размеров сооружения, формы подводящего и отводящего русл и их гидрологических характеристик (глубина, ширина, скорость течения), режима эксплуатации гидроузла. Эти условия не только определяют возможности его применения, но и погрешности результатов измерения.

9.3.3.2 Прямые измерения должны проводиться при условии не нарушения разработанной для каждой конкретной ГЭС схемы оптимального маневрирования затворами, в зависимости от прохождения паводка обеспечивающей наиболее благоприятные условия сопряжения потока в нижнем бьефе и не приводящая к повреждениям сооружений, разрушению креплений и подмывам дна, с учетом режима работы гидроагрегатов ГЭС.

9.3.3.3 Габаритные размеры, характеризующие сечения водосбросных отверстий, должны быть тщательно измерены. Погрешность измерения линейных размеров при определении площади мерного прямоугольного сечения не должна превышать 0,2%, а круглого – 0,1%.

9.3.3.4 Все водосбросные отверстия должны быть оборудованы указателями величины открытия затворов. При этом открытие затвора должно быть определено с достаточной точностью. В ряде случаев для этого необходимо производить нивелировку затвора и строить графическую схему его перемещения.

9.3.3.5 Измерение скоростей течения и определение расхода воды допускается проводить в нижнем бьефе, а при технической возможности – в пределах сооружения.

9.3.3.6 Должно быть организовано измерение уровней воды в пределах подходного участка, сооружения и в нижнем бьефе. Створ измерения уровней нижнего бьефа, положение которого существенно зависит от конкретной компоновки сооружений, должен выбираться в зоне полного восстановления энергии суммарного потока от водосбросов и станции.

Для подтопляемых напорных водосбросов и поверхностных водосливов целесообразно, с целью уточнения уровня подтопления, дополнительно измерять давление на выходе потока в нижний бьеф.

9.3.3.7 Результаты измерений уровней нижнего бьефа, отвечающих определенным расходам, позволяют строить фактические кривые связи расходов и уровней, а также отслеживать изменения с течением времени этой важной характеристики условий работы гидроузла. Контроль положения кривых связи следует проводить каждые 5 лет. При проведении в нижнем бьефе строительных и иных работ, имеющих следствием создание подпора или размыв русла, контроль должен производиться чаще.

Измерение уровней и скоростей течения в нижнем бьефе должны проводиться также для сопоставления фактического режима с запроектированным и корректировки (при необходимости и возможности) режима работы водосбросного сооружения.

9.3.3.8 КИА, используемую для измерений, необходимо периодически калибровать, что значительно увеличивает время безотказной работы приборов и повышает достоверность измерительной информации. Периодичность калибровки зависит от назначения и типа прибора, условий его работы и должна определяться местной инструкцией.

Способы измерения расхода воды через водопропускные гидротехнические сооружения ГЭС и некоторые данные об измерительных приборах, используемых в практике наблюдений за водосбросными сооружениями, приведены в приложении М.

10 Контроль за организацией учета стока воды на гидроэлектростанциях

10.1 В соответствии с нормами Водного кодекса РФ водопользователи при использовании водных объектов обязаны вести в установленном порядке учет забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов и в установленные сроки представлять результаты такого учета в

уполномоченные Правительством РФ органы исполнительной власти в порядке и по формам, установленным этими органами (раздел 10 Стандарта). Учет водного стока производится эксплуатационным персоналом гидроэлектростанций.

ОАО «РусГидро» осуществляет внутренний контроль за организацией на каждой ГЭС учета водного стока в целях выполнения задач по эффективному использованию водных ресурсов и обеспечению безопасности объектов гидроэлектростанций.

10.2 Внутреннему контролю подлежат:

- состояние оборудования и устройств, используемых для учета стока воды;
- система организации учета стока воды;
- методы получения исходных данных по учету стока;
- способы обработки и получения исходных данных по учету стока;
- оформление документов и исполнение установленного порядка передачи данных о стоке.

10.3 Проведение внутреннего контроля организации и ведения учета стока воды на гидроэлектростанции осуществляется лицами, назначаемыми в порядке, установленном в ОАО «РусГидро», действующими в соответствии со следующими положениями.

10.3.1 Лица, осуществляющие контроль, подчиняются всем правилам внутреннего распорядка, действующим на ГЭС.

10.3.2 Лица, осуществляющие контроль, по предъявлении соответствующих документов пользуются правом:

- доступа на все водопропускные сооружения и устройства гидроэлектростанции;
- ревизии всех устройств и оборудования, установленных для получения учетных данных по стоку воды;
- доступа ко всем материалам по учету стока воды, которые хранятся на гидроэлектростанции.

10.3.3 Лица, осуществляющие контроль, по договоренности с руководством гидроэлектростанции имеют право использовать средства связи, транспорт, рабочий и инженерно-технический персонал ГЭС для выполнения своих задач.

10.3.4 Окончание работы по внутреннему контролю за состоянием учета стока воды на гидроэлектростанции должно быть оформлено актом, содержащим всестороннюю оценку организации и методов учета стока. Экземпляр акта о состоянии учета стока воды на гидроэлектростанции должен быть передан руководству гидроэлектростанции для принятия

решений по выполнению мероприятий по содержащимся в нем предложениям.

10.3.6 Лица, осуществляющие внутренний контроль, имеют право входить с представлениями к руководству гидроэлектростанции по вопросам улучшения и развития технической, организационной и методической сторон учета стока воды на данной ГЭС.

10.4. Организационные формы работы по внутреннему контролю за учетом стока воды, состав и численность лиц, осуществляющих контроль, определяются в зависимости от состава водопропускных сооружений данной гидроэлектростанции, сложности водохозяйственного комплекса, значимости изучения стоковых характеристик в створе данного гидроузла и иных местных факторов.

10.5 Внутренний контроль за учетом стока воды следует проводить не реже 1 раза в 5 лет.

10.6 Государственный контроль за организацией и ведением учета стока воды на гидроэлектростанциях осуществляется территориальными органами исполнительной власти, уполномоченными осуществлять государственный контроль и надзор за использованием и охраной водных объектов, и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации в пределах их компетенции, согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 25.12.2006 № 801 и Административному регламенту [4].

Руководство гидроэлектростанции обязано содействовать успешному проведению работ по государственному контролю за учетом стока воды, создавая для этого необходимые условия.

Акт государственного контроля состоянии учета стока воды на гидроэлектростанции должен быть передан руководству гидроэлектростанции, в Исполнительный аппарат ОАО «РусГидро», в соответствующие федеральные органы исполнительной власти и в ведомственные органы, эксплуатирующие отдельные сооружения гидроузла, не входящие в имущественный комплекс ОАО «РусГидро».

Акт о состоянии учета стока воды на ГЭС подлежит рассмотрению руководством гидроэлектростанции с вынесением согласованного решения об объемах, сроках и исполнителях практических мероприятий согласно предписаниям по упомянутому акту.

Приложение А
(справочное)

Методика оценки погрешности учета потерь напора на сороудерживающих решетках

А.1 Погрешность определения потерь напора на сороудерживающих решетках и ее влияние на точность учета стока воды рассмотрим на примере низконапорной ГЭС.

А.2 Перепады на сороудерживающих решетках определяются как разность показателей уровня верхнего бьефа и уровней воды за решетками. Уровни воды за решетками измеряются на каждой секции два раза в сутки – утром и вечером.

В таблице А.1 приведены данные о перепаде уровней на решетках за одни сутки и рассчитанные по ним среднесуточные перепады при напоре на гидроэлектростанции 7,3 м.

Т а б л и ц а А.1 – Исходные данные для определения погрешности учета потерь напора на сороудерживающих решетках

Номер секции решетки	Нагрузка гидро-агрегата, МВт	Перепады напора на решетках, см						Средне-суточные перепады напора на решетках, см
		Утренние измерения на секциях			Вечерние измерения на секциях			
		левой	средней	правой	левой	средней	правой	
1	24	82	82	52	90	80	65	75
2	20	127	122	97	110	110	98	111
3	39	32	25	12	30	30	25	26
4	38	44	47	32	45	55	45	45
5	37	32	32	17	32	30	15	26
6	40	42	22	12	50	17	5	25
7	30	52	42	37	55	55	50	49
8	39	32	32	32	32	35	32	33
9	38	19	12	7	18	20	10	14
10	38	32	27	14	33	28	15	25
11	39	47	17	12	50	25	20	29
12	39	32	32	7	18	17	5	19
13	40	32	12	12	25	25	15	20
14	40	22	12	12	20	25	15	18
15	39	27	22	17	26	22	18	22
16	39	52	35	9	55	40	25	36
17	32	52	62	37	63	70	45	55
18	41	22	30	17	20	30	14	22
Среднее значение		43	37	24	43	40	29	36

А.3 Как видно из таблицы в это время большинство гидроагрегатов несло постоянную нагрузку, близкую к 40 МВт, и лишь два агрегата работали с нагрузкой около 20 МВт. Какой-либо зависимости между нагрузкой и потерями напора на

сороудерживающих решетках из-за различной степени их засоренности не обнаруживалось; при меньших нагрузках иногда даже наблюдались большие потери на решетках (гидроагрегат №1: нагрузка 20 МВт, перепад на решетках 111 см; гидроагрегаты № 6-16: нагрузка 38-40 МВт, перепад на решетках 20-25 см). Это свидетельствует о том, что в данном случае фактором, определяющим потери напора на сороудерживающих решетках, является наличие плавающего мусора, а не нагрузка гидроагрегата.

А.4 Из таблицы видно, что максимальное значение потерь напора в течение суток было на секциях сороудерживающих решеток – 111 см (секция № 2), минимальное – 14 см (секция № 9). При этом среднее значение потерь напора на всех секциях составило 36 см. Погрешность из-за неучтенных среднесуточных потерь напора по отношению к полному напору 7,3 м составит для гидроагрегата № 2 – 15% (111/7,3), гидроагрегата № 9 – 2% (14/7,3), в целом по гидроэлектростанции – 5% (36/7,3).

А.5 С увеличением напора на гидроэлектростанции данная погрешность будет уменьшаться. Так, при том же среднесуточном перепаде в 36 см, погрешность от неучтенных потерь напора на решетках составит на низконапорных гидроэлектростанциях с напором 20 м – 1,8 %, на средненапорных гидроэлектростанциях с напором 20-60 м – от 1,8 до 0,6% (в среднем 1,2 %), на высоконапорных гидроэлектростанциях с напором свыше 60 м – менее 0,6%.

А.6 Если потери напора на решетках учитываются постоянным значением, равным среднеарифметическому значению напора на всех гидроагрегатах, т.е. 36 см, то на гидроагрегате № 2 ошибка в среднесуточном напоре составит 75 см (111-36) или ~ 10% (75/7,3) по отношению к полному напору; а на гидроагрегате № 9 – 22 см (36-14) или 3% (22/7,3). В целом же, по гидроэлектростанции, ошибка сведется к нулю.

А.7 Допустим, в различные дни среднесуточные потери на решетках по всей гидроэлектростанции колеблются в каких-то пределах, например, 10-15 см по отношению к некоторому среднему значению. Принятие этого значения напора на решетках в качестве постоянного даст погрешность по отношению к напору 7,3 м около 1,4-2,0%. Аналогичные потери напора на решетках, отнесенные к другому значению напора гидроэлектростанции, дадут другие значения относительных погрешностей. Например, при напоре на гидроэлектростанции в 9,7 м, погрешность уменьшится до 1,0-1,5%.

А.8 С увеличением напора на гидроэлектростанции данная погрешность будет уменьшаться. Сравнительно, при том же перепаде на решетках, допустим в 15 см, погрешность от неучтенных потерь напора на решетках составит: на низконапорных гидроэлектростанциях с напором 20 м – 0,7 %, на средненапорных гидроэлектростанциях с напором 20-60 м – от 0,75 до 0,25% (в среднем 0,5 %), на высоконапорных гидроэлектростанциях с напором свыше 60 м – 0,2%.

А.9 При этом, необходимо при этом подчеркнуть, что полученные значения погрешностей для гидроэлектростанций разного напора не являются граничными (максимальными или минимальными), учитывающими все многообразие условий их работы. Они имеют ориентировочное, оценочное значение для некоторых средних условий эксплуатации гидроэлектростанции. При чистом верхнем бьефе перепады на решетках могут быть меньшими, чем приведенные. И наоборот, погрешности могут быть несколько большими с увеличением перепада на решетках и неравномерности распределения его между отдельными гидроагрегатами в течение суток.

А.10 Учет потерь напора в качестве постоянного значения сокращает

продолжительность определения рабочего напора и вместе с тем обеспечивает достаточную точность этого определения. Однако, следует иметь в виду, что введение постоянных поправочных коэффициентов, учитывающих потери, возможно только после проведения соответствующего анализа фактических результатов измерений. В периоды большого поступления плавающего сора перепады напора на сороудерживающих решетках и диапазон их колебаний могут оказаться настолько большими, что это исключит возможность применения постоянного коэффициента. В таком случае необходимы непосредственные измерения потерь напора.

Приложение Б
(справочное)

Оценка погрешности учета напора по среднеарифметическому значению

Б.1 Для определения величины погрешности, которая может возникнуть при учете напора по его среднеарифметическому значению, рассмотрим в качестве примера порядок расчета напоров на ГЭС, имеющей пиковый характер суточного графика нагрузки и значительные колебания напора в течение суток.

Б.2 Допустим, что нагрузка на ГЭС в течение суток изменяется от 165 до 825 МВт (рисунок Б.1), напор изменяется в пределах 11% от 34,3 до 38,7 м (рисунок Б.2). Исходные данные для расчета и сравнения среднеарифметического и средневзвешенного значений напора представлены в таблице Б.1. Расходы через гидротурбины определяются по расходно-мощностной характеристике гидроагрегата (рисунок Б.3).

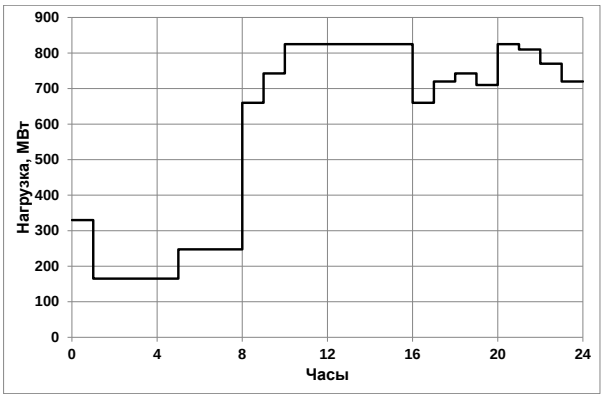


Рисунок Б.1 – Суточный график нагрузки

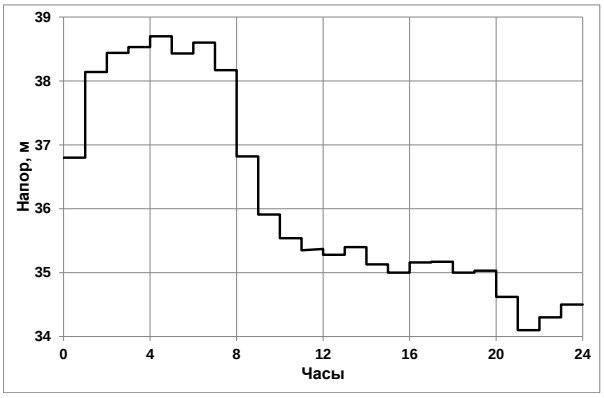


Рисунок Б.2 – Изменение напора

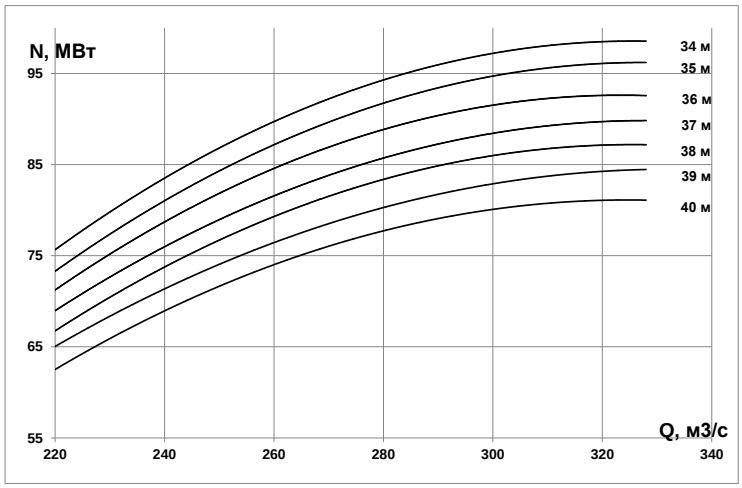


Рисунок Б.3 – Расходно-мощностная характеристика гидроагрегата при напорах от 34 до 40 м

Т а б л и ц а Б.1 – Исходные данные для расчета и сравнения среднеарифметического и средневзвешенного значений напора

Время	Мощность ГЭС, МВт	Число работающих агрегатов	Напор Н, м	Расход 1-го агрегата, $м^3/с$	Расход ГЭС $Q_{ГЭС}$, $м^3/с$	$HQ_{ГЭС}$, $м^4/с$
0-1	330,0	4	36,80	266	1064	39155,2
1-2	165,0	2	38,14	250	500	19070,0
2-3	165,0	2	38,44	248	496	19066,2
3-4	165,0	2	38,53	248	496	19110,9
4-5	165,0	2	38,70	247	494	19117,8
5-6	247,5	3	38,43	248	744	28591,9
6-7	247,5	3	38,60	248	744	28718,4
7-8	247,5	3	38,17	250	750	28627,5
8-9	660,0	8	36,82	266	2128	78353,0
9-10	742,5	9	35,91	278	2502	89846,8
10-11	825,0	10	35,54	286	2860	101644,4
11-12	825,0	10	35,37	289	2890	102219,3
12-13	825,0	10	35,28	290	2900	102312,0
13-14	825,0	10	35,40	288	2880	101952,0
14-15	825,0	10	35,13	293	2930	102930,9
15-16	825,0	10	35,00	287	2870	100450,0
16-17	660,0	8	35,16	293	2344	82415,0
17-18	720,0	8	35,17	293	2344	82438,5
18-19	742,5	9	35,00	297	2673	93555,0
19-20	710,0	9	35,03	297	2673	93635,2
20-21	825,0	10	34,62	320	3200	110784,0
21-22	810,0	10	34,10	330	3300	112530,0
22-23	770,0	10	34,30	335	3350	114905,0
23-24	720,0	9	34,50	325	2925	100912,5
Среднее			36,17			
Сумма					50057	1772341,5

Б.3 Согласно расчетам, среднеарифметическое значение напора за сутки составило 36,17 м. Средневзвешенное значение напора за сутки рассчитывается по формуле (Б.1) и равно:

$$H_{ср.взв} = \frac{\sum HQ_{ГЭС}}{\sum Q_{ГЭС}} = \frac{1772341{,}5}{50057} = 35{,}41 \text{ м.} \qquad (Б.1)$$

Б.4 Разница между среднеарифметическим значением напора и его средневзвешенным значением составляет 0,76 м, или 2,1%. Среднесуточный расход через турбины, определенный по среднеарифметическому значению напора, будет также уменьшен на 2% фактического.

Б.5 Величина погрешности учета напора по среднеарифметическому значению будет зависеть от характера суточного графика нагрузки, колебания напора и общего напора на гидроэлектростанции. Для низконапорных гидроэлектростанций, с аналогичными рассмотренному гидроузлу условиями для определения среднесуточного расхода по среднесуточному напору, погрешности будут больше. Для сравнения, при допущении того же расхождения между среднеарифметическим и средневзвешенным

значениями напора (~ 0,8 м) на низконапорных гидроэлектростанциях (20 м) погрешность составит порядка 4%, на средненапорных гидроэлектростанциях (20-40 м) – 2%, на высоконапорных гидроэлектростанциях – уменьшится до 1%.

Приложение В
(справочное)

Пример оценки суммарной погрешности определения напора

В.1 На каждом гидроузле в разное время года и при различных режимах работы гидротурбин погрешность определения среднесуточного напора изменяется. Диапазон этих колебаний может быть достаточно широк и зависит от эксплуатационных условий.

В.2 Для оценки суммарной погрешности определения напора в качестве примера воспользуемся показателями составляющих ее погрешностей, приведенными в приложениях А и Б и являющихся ориентировочными, подсчитанными со многими условностями и для некоторых осредненных условий измерения.

В.3 Основные виды погрешностей на низко-, средне- и высоконапорных гидроэлектростанциях составили соответственно:

1,8%, 1,2% и 0,6% – из-за определения напора без учета потерь на сороудерживающих решетках (σ_1);

4%, 2% и 1% – из-за определения среднесуточного напора по среднеарифметическому значению (σ_2);

1% – из-за погрешности средств измерения (σ_3).

В.4 Все три погрешности, возникшие при определении действующего напора, являются систематическими, при этом, две первые погрешности (σ_1 и σ_2) всегда преуменьшают расчетное значение напора по сравнению с действительным, т.е. имеют отрицательный знак, а погрешность средства измерения (σ_3) – знак «±».

В.5 Суммарная погрешность определения напора $\sigma_н$ получается в результате сложения величин отдельных погрешностей с учетом их знака.

Для низконапорных гидроэлектростанций:

$\sigma_н$ = (-1,8) + (-4) ± 1 = -5,8±1%; т. е. среднее значение $\sigma_н$=-5,8%, возможный интервал колебания погрешности – (-4,8÷-6,8) %.

Для средненапорных гидроэлектростанций:

$\sigma_н$ = (-1,2) + (-2) ± 1 = -3,2±1%; т. е. среднее значение $\sigma_н$=-3,2%, возможный интервал колебания погрешности – (-2,2 ÷-4,2)%.

Для высоконапорных гидроэлектростанций:

$\sigma_н$ = (-0,6) + (-1) ± 1 = -1,6±1%; т. е. среднее значение $\sigma_н$=-1,6%, возможный интервал колебания погрешности – (-2,6 ÷ -0,6)%.

В.6 Погрешности измерений, как было показано в приложении А, могут быть снижены, в частности, при учете потерь напора на сороудерживающих решетках (σ_1) для низко-, средне- и высоконапорных гидроэлектростанций соответственно до ±0,7%, ±0,5% и ±0,2%; при определении среднесуточного напора по среднеарифметическому значению (σ_2) – 1,0%.

При этом погрешности определения потерь напора на решетках уже являются случайными погрешностями, как и инструментальные погрешности σ_3 =±1%.

В.7 Суммарная погрешность определения напора в этом случае находится как среднеквадратичное двух переменных составляющих σ_1 и σ_3 в сумме с погрешностью определения среднесуточного напора по среднеарифметическому значению (σ_2), имеющей отрицательный знак.

Для низконапорных гидроэлектростанций:

$\sigma_н = -1{,}0 \pm \sqrt{0{,}7^2 + 1{,}5^2} = -1{,}0 \pm 1{,}6$; т. е. среднее значение $\sigma_н$ = -1,0%, интервал погрешности – (-2,6÷+0,6) %.

Для средненапорных гидроэлектростанций:

$\sigma_н = -1{,}0 \pm \sqrt{0{,}5^2 + 1{,}5^2} = -1{,}0 \pm 1{,}6$; т. е. среднее значение $\sigma_н$ = -1,0%, интервал погрешности – (-2,6÷+0,6).

Для высоконапорных гидроэлектростанций:

$\sigma_н = -1{,}0 \pm \sqrt{0{,}2^2 + 1{,}5^2} = -1{,}0 \pm 1{,}5$; т. е. среднее значение $\sigma_н$ = -1,0%, интервал погрешности – (-2,5÷+0,5) %.

В.8 На совмещенных гидроэлектростанциях в суммарную погрешность следует включать погрешность определения напора при наличии эжекционного эффекта, учет которой всегда будет приводить к увеличению значения напора.

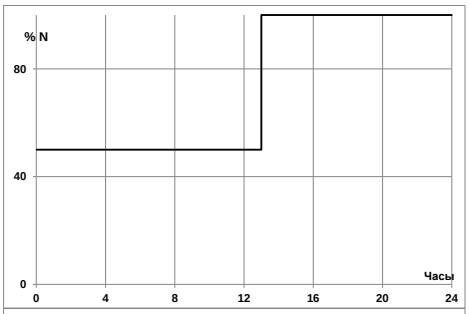
Приложение Г
(справочное)

Пример оценки погрешности определения среднесуточного расхода

Г.1 Для оценки величин погрешностей, возникающих при определении среднесуточного расхода, в качестве примера рассмотрим работу двух гидроэлектростанций при различных режимах нагрузки. Гидростанции оборудованы разными типами гидротурбин и напоры их отличаются один от другого в два раза.

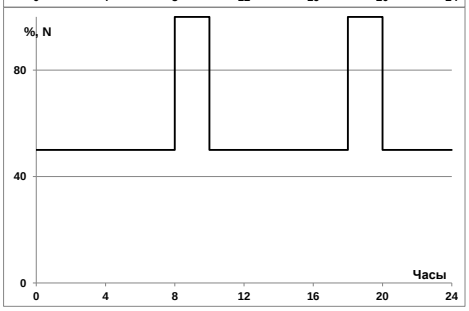
Г.2 Графики суточной нагрузки выбраны такими, которые близки к граничным режимам работы любой гидроэлектростанции: нагрузка меняется редко и режим близок к базисному; гидроэлектростанция работает в остропиковом режиме или несет ступенчатую нагрузку. Большая часть реальных суточных графиков нагрузки находится в границах, описываемых тремя режимами работы гидроагрегатов (см. рисунок Г.1):

Режим 1



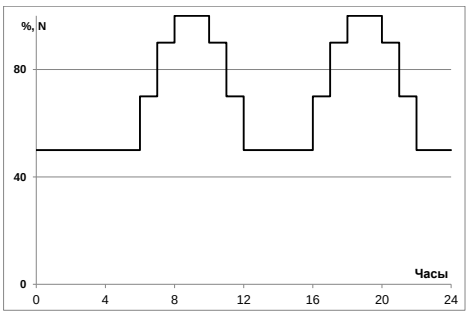
В течение 12 часов гидроагрегат работает с полной нагрузкой (100%), остальные 12 часов – с нагрузкой 50% от полной

Режим 2



В течение 2 часов утреннего и 2 часов вечернего максимумов гидроагрегат работает с полной нагрузкой (100%), в остальное время – с нагрузкой 50% от полной

Режим 3



В течение 12 часов нагрузка составляет 50% от полной, в течение 6 часов утреннего и 6 часов вечернего максимумов – нагрузка ступенями возрастает до полной и снова уменьшается до 50% от полной

Рисунок Г.1 – Расчетные режимы суточных графиков нагрузки

Г.3 Определение среднесуточного расхода на гидроэлектростанции, оборудованной поворотнолопастными гидротурбинами

Г.3.1 Для определения расхода производятся почасовые измерения нагрузки гидроагрегата. По данным почасовых измерений нагрузки с использованием расходно-мощностной характеристики находятся почасовые значения расхода, по эксплуатационной характеристике – почасовые значения КПД (последние будут

использованы в приложении Д для оценки погрешности определения среднесуточного расхода через гидротурбины по формуле при принятом постоянном значении КПД). Эксплуатационная характеристика гидротурбины и расходно-мощностная характеристика гидроагрегата представлены на рисунках Г.2 и Г.3.

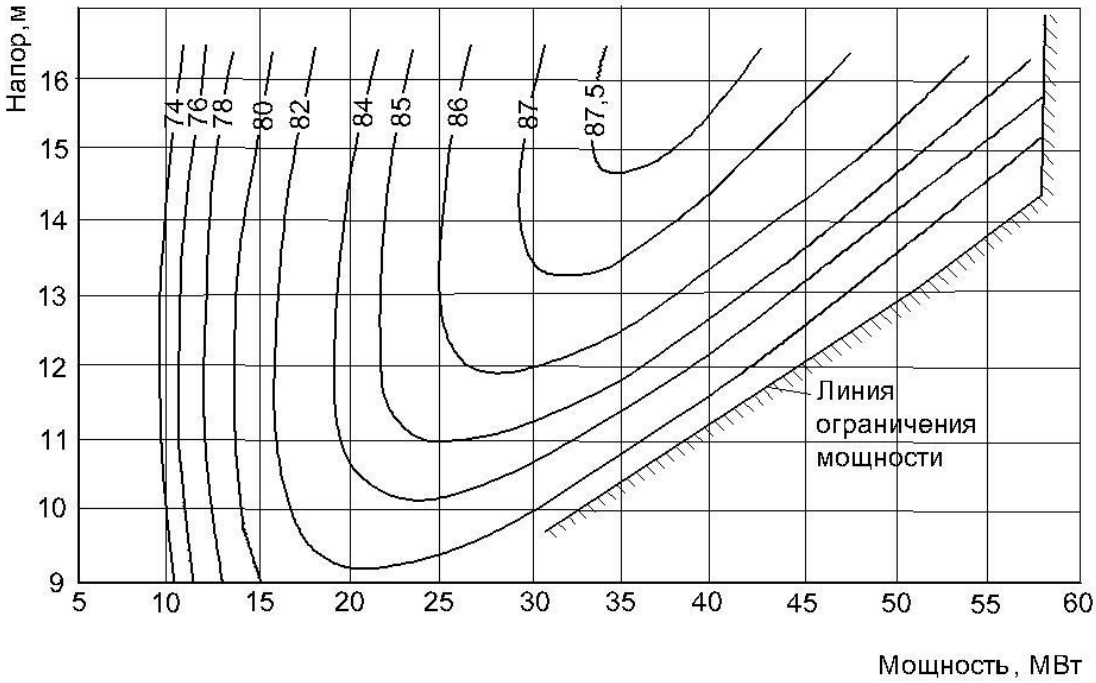


Рисунок Г.2 – Эксплуатационная характеристика ПЛ-гидротурбины

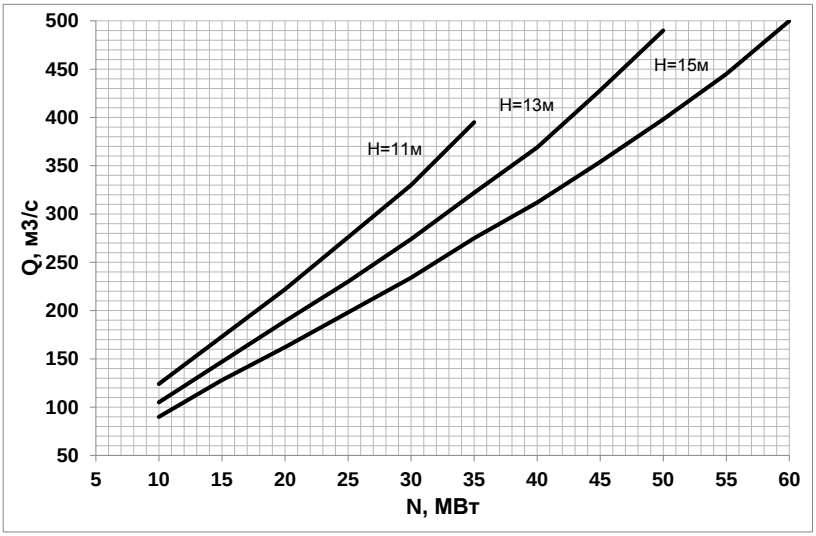


Рисунок Г.3 – Расходно-мощностная характеристика гидроагрегата

Г.3.2 Исходные данные для расчета среднесуточного расхода при трех режимах работы гидроагрегата и принятом среднесуточном напоре в 15 м приведены в таблице Г.1.

Т а б л и ц а Г.1 – Исходные данные для расчета среднесуточного расхода

Режим работы гидроагрегатов	Параметры	Время работы в течение суток и количество часов работы												
		0-6	6-7	7-8	8-10	10-11	11-12	12-16	16-17	17-18	18-20	20-21	21-22	22-24
		6	1	1	2	1	1	4	1	1	2	1	1	2
1	*N*, МВт	29	29	29	29	29	29	58	58	58	58	58	58	58
	Q, м^3/с	228	228	228	228	228	228	480	480	480	480	480	480	480
	КПД, %	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	80,7	80,7	80,7	80,7	80,7	80,7	80,7
2	*N*, МВт	29	29	29	58	29	29	29	29	29	58	29	29	29
	Q, м^3/с	228	228	228	480	228	228	228	228	228	480	228	228	228
	КПД, %	86,9	86,9	86,9	80,7	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	80,7	86,9	86,9	86,9
3	*N*, МВт	29	40	50	58	50	40	29	40	50	58	50	40	29
	Q, м^3/с	228	310	400	480	400	310	228	310	400	480	400	310	228
	КПД, %	86,9	87,3	85,5	80,7	85,5	87,3	86,9	87,3	85,5	80,7	85,5	87,3	86,9

Г.3.3 Среднесуточный расход $Q_{ср.сут}$ по данным почасовых значений расхода определяется по формуле (Г.1):

$$Q_{ср.сут} = \frac{Q_1 t_1 + Q_2 t_2 + ... + Q_n t_n}{\sum t}, \qquad (Г.1)$$

где Q_1, Q_2, Q_n – постоянные в течение суток расходы воды через гидротурбины, м^3/с;

t_1 , t_2, t_n – продолжительность работы гидротурбин с постоянными расходами (Q_1, Q_2, Q_n), ч;

$\sum t$ – суммарная продолжительность работы гидроагрегатов, ч.

Г.3.4 Среднесуточные расходы воды, пропущенной через гидротурбину, при разных режимах суточной нагрузки составят:

Режим 1 $$Q^1_{ср.сут} = \frac{228 \cdot 12 + 480 \cdot 12}{24} = 354 \text{ м}^3/\text{с}$$

Режим 2 $$Q^2_{ср.сут} = \frac{228 \cdot 20 + 480 \cdot 4}{24} = 270 \text{ м}^3/\text{с}$$

Режим 3 $$Q^3_{ср.сут} = \frac{228 \cdot 12 + 310 \cdot 4 + 400 \cdot 4 + 480 \cdot 4}{24} = 312 \text{ м}^3/\text{с}$$

Г.3.5 Среднесуточный расход воды через гидротурбину также можно определить по среднесуточной нагрузке гидроагрегата, рассчитав ее значение по данным почасовых измерений нагрузки по формуле (Г.2):

$$N_{ср.сут} = \frac{N_1 t_1 + N_2 t_2 + ... + N_n t_n}{\sum t}. \qquad (Г.2)$$

Г.3.6 Среднесуточная нагрузка гидроагрегата при разных режимах суточной нагрузки и среднесуточный расход гидротурбины, найденный для этой нагрузки и принятого среднесуточного напора в 15 м по расходно-мощностной характеристике, составят, соответственно:

Режим 1 $N^1_{ср.сут} = \frac{29 \cdot 12 + 58 \cdot 12}{24} = 43{,}5$ МВт $Q^1_{ср.сут} = 340$ м^3/с

Режим 2 $N^2_{ср.сут} = \frac{29 \cdot 20 + 58 \cdot 4}{24} = 33{,}9$ МВт $Q^2_{ср.сут} = 263$ м^3/с

Режим 3 $N^3_{ср.сут} = \frac{29 \cdot 12 + 40 \cdot 4 + 50 \cdot 4 + 58 \cdot 4}{24} = 39{,}2$ МВт $Q^3_{ср.сут} = 304$ м^3/с

Г.3.7 Расхождения в значениях среднесуточных расходов воды, полученных по данным почасовых значений расхода и по среднесуточной нагрузке, составляют: при режиме 1 – 14 м^3/с (354-340) или 4%; при режиме 2 – 7 м^3/с (270-263) или 2,6%; при режиме 3 – 10 м^3/с (312-304) или 2,5%.

Таким образом, для условий, использованных в примере, наиболее неблагоприятным с точки зрения точности определения расхода по среднесуточной нагрузке оказался режим 1, когда гидроагрегат половину суток работает с максимальной нагрузкой, а другую половину – с нагрузкой 50% номинальной.

Г.4 Определение среднесуточного расхода на гидроэлектростанции, оборудованной радиально-осевыми гидротурбинами

Г.4.1 Определение расхода проводится также по почасовым измерениям нагрузки гидроагрегата, способы определения среднесуточного расхода – аналогичны приведенным выше. Эксплуатационная характеристика турбины и расходно-мощностная характеристика гидроагрегата представлены на рисунках Г.4 и Г.5.

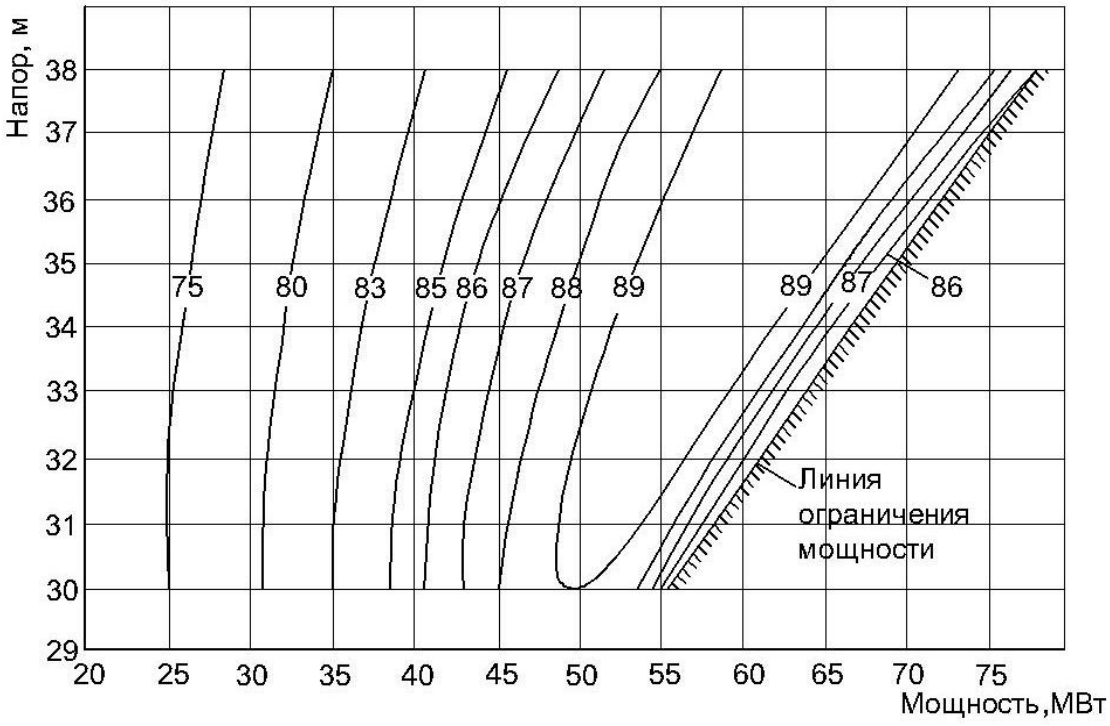


Рисунок Г.4 – Эксплуатационная характеристика РО-гидротурбины

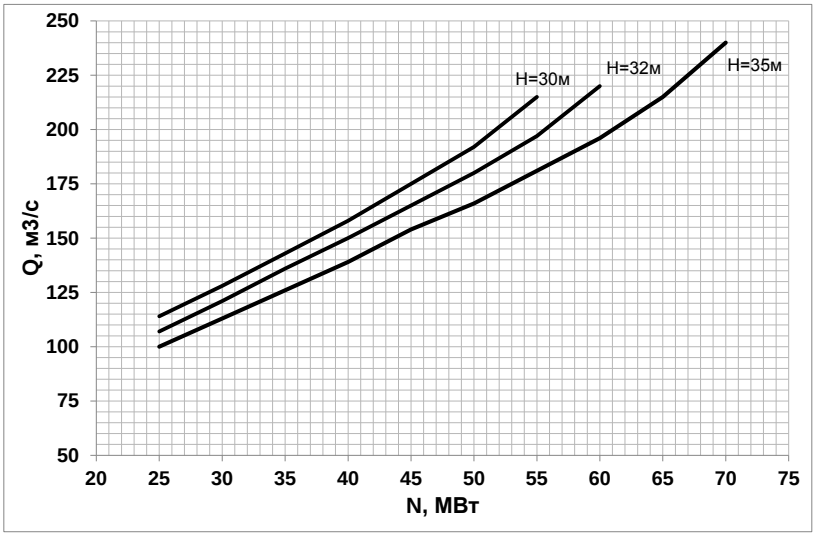


Рисунок Г.5 – Расходно-мощностная характеристика гидроагрегата

Г.4.2 Исходные данные для расчета среднесуточного расхода при трех режимах работы гидроагрегатов и принятом среднесуточном напоре в 35 м приведены в таблице Г.2.

Т а б л и ц а Г.2 – Исходные данные для расчета среднесуточного расхода

Режим работы гидроагрегатов	Параметры	Время работы в течение суток и количество часов работы												
		0-6	6-7	7-8	8-10	10-11	11-12	12-16	16-17	17-18	18-20	20-21	21-22	22-24
		6	1	1	2	1	1	4	1	1	2	1	1	2
1	*N*, МВт	35	35	35	35	35	35	68	68	68	68	68	68	68
	Q, м^3/с	125	125	125	125	125	125	230	230	230	230	230	230	230
	КПД, %	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	86,0	86,0	86,0	86,0	86,0	86,0	86,0
2	*N*, МВт	35	35	35	68	35	35	35	35	35	68	35	35	35
	Q, м^3/с	125	125	125	230	125	125	125	125	125	230	125	125	125
	КПД, %	82,0	82,0	82,0	86,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	86,0	82,0	82,0	82,0
3	*N*, МВт	35	50	63	68	63	50	35	50	63	68	63	50	35
	Q, м^3/с	125	166	205	230	205	166	125	166	205	230	205	166	125
	КПД, %	82,0	88,0	89,0	86,0	89,0	88,0	82,0	88,0	89,0	86,0	89,0	88,0	82,0

Г.4.3 Среднесуточные расходы воды, пропущенной через гидротурбины, при разных режимах суточной нагрузки составят:

Режим 1 $$Q^1_{ср.сут} = \frac{125 \cdot 12 + 230 \cdot 12}{24} = 177{,}5 \text{ м}^3/\text{с}$$

Режим 2 $$Q^2_{ср.сут} = \frac{125 \cdot 20 + 230 \cdot 4}{24} = 142{,}5 \text{ м}^3/\text{с}$$

Режим 3 $$Q^3_{ср.сут} = \frac{125 \cdot 12 + 166 \cdot 4 + 205 \cdot 4 + 230 \cdot 4}{24} = 162{,}7 \text{ м}^3/\text{с}$$

Г.4.4 Среднесуточная нагрузка при разных режимах суточной нагрузки и среднесуточный расход, найденный для этой нагрузки и принятого среднесуточного напора в 35 м по расходно-мощностной характеристике, составят, соответственно:

Режим 1 $N^{1}_{ср.сут} = \frac{35 \cdot 12 + 68 \cdot 12}{24} = 51{,}5$ МВт $Q^{1}_{ср.сут}$ = 170 м^3/с

Режим 2 $N^{2}_{ср.сут} = \frac{35 \cdot 20 + 68 \cdot 4}{24} = 40{,}5$ МВт $Q^{2}_{ср.сут}$ = 140,5 м^3/с

Режим 3 $N^{3}_{ср.сут} = \frac{35 \cdot 12 + 50 \cdot 4 + 63 \cdot 4 + 68 \cdot 4}{24} = 47{,}7$ МВт $Q^{3}_{ср.сут}$ = 160 м^3/с

Г.4.5 Расхождения в значениях среднесуточных расходов воды, полученных по данным почасовых значений расхода и по среднесуточной нагрузке, составляют при режиме 1 – 7,5 м^3/с (177,5-170) или 4,2%; при режиме 2 – 2 м^3/с (142,5-140,5) или 1,4%; при режиме 3 – 2,7 м^3/с (162,7-160) или 1,7%. Также как и в первом примере, значительная погрешность определения расхода по среднесуточной нагрузке – при работе гидроагрегата в режиме 1 (половину суток работает с максимальной нагрузкой, а другую половину – с нагрузкой 50% номинальной).

Г.4.6 Анализ работы того же гидроагрегата, но при меньшем напоре (32 м), показал следующее. Среднесуточный расход, рассчитанный по часовым значениям расхода, для режима 1 составил 170 м^3/с, а, определенный по среднесуточной нагрузке – 164 м^3/с, т.е. расхождения составляют 6 м^3/с или 3,5%, для режима 2 погрешность составляет 1,5 м^3/с или 1,1%, для режима 3 – 2,5 м^3/с или 1,6%.

Таким образом, по данной методике для любого конкретного гидроузла и применительно к условиям его работы могут быть определены погрешности, появляющиеся в результате подсчета среднесуточных расходов по среднесуточной нагрузке, и приняты необходимые меры по устранению или уменьшению погрешности.

Приложение Д
(справочное)

Оценка погрешности определения среднесуточного расхода при подсчете его по методу с использованием показателя КПД

Д.1 Оценка погрешности определения среднесуточного расхода воды через гидротурбины по методу с использованием показателя КПД при принятом его постоянном значении (согласно 6.2.3.5) выполнена на примере работы двух ГЭС, оборудованных разными типами гидротурбин, при трех режимах работы гидроагрегата, приведенных в приложении Г.

Д.2 Оценка погрешности определения среднесуточного расхода воды на гидроэлектростанции с поворотнолопастными гидротурбинами

Д.2.1 Для режима 1 ($Q^1_{ср.сут}$) максимальное значение КПД составило 86,9%, минимальное – 80,7% (см. табл. Г.1). Среднее значение равно 83,8%. При среднесуточной нагрузке гидроагрегата 43,5 МВт, среднесуточный расход по формуле (6.6), составит:

$$Q^1_{ср.сут} = \frac{N}{9.81 \cdot H_{ср} \cdot \eta} = \frac{43500}{9{,}81 \cdot 15 \cdot 0{,}838} = 353 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Среднесуточный расход, определенный по данным почасовых значений расхода, составил 354 м^3/с (см. приложение Г), т.е. ошибка в расчете стока для режима 1, равна 1 м^3/с (354-353) или 0,3%.

Д.2.2 Для режима 2 ($Q^2_{ср.сут}$) максимальные и минимальные значения КПД остались такими же, как и для режима 1, поэтому сохранилось и среднее значение КПД – 83,8%. При среднесуточной нагрузке 33,9 МВт среднесуточный расход составляет:

$$Q^2_{ср.сут} = \frac{33900}{9{,}81 \cdot 15 \cdot 0{,}838} = 275 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расхождение со среднесуточным расходом, определенным по данным почасовых измерений (270 м^3/с), составляет 5 м^3/с или 1,8%. Тогда как в предыдущем примере (см. приложение Г) ошибка в расчете стока при данном режиме составляла 7 м^3/с или 2,6%.

Д.2.3 Для режима 3 ($Q^3_{ср.сут}$) максимальный КПД равен 87,3%, минимальный – 80,7%, средний – 84,0%. При среднесуточной нагрузке 39,2 МВт среднесуточный расход составляет:

$$Q^3_{ср.сут} = \frac{39200}{9{,}81 \cdot 15 \cdot 0{,}84} = 317 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расхождение с действительным среднесуточным расходом (312 м^3/с) составляет 5 м^3/с (1,6%); ранее было 10 м^3/с (3,2%) – см. приложение Г.

Таким образом, погрешность при определении среднесуточного расхода по формуле (6.6) с усреднением КПД снизилась при режиме 1 практически до нуля, при режимах 2 и 3 – примерно в два раза.

Д.3 Аналогичные подсчеты, проведенные для гидроэлектростанции, оборудованной радиально-осевыми турбинами, работающей при напоре 35 м, показали, что погрешность определения среднесуточного расхода по формуле для режима 1 составила 2 м^3/с (1,1%), режима 2 – 1,5 м^3/с (1,1%), режима 3 – 1,0 м^3/с (0,6%). Т.е. по сравнению с методом определения расхода по среднесуточной нагрузке погрешность определения по формуле уменьшилась в два-четыре раза. При работе турбин ГЭС с напором 32 м имеет место уменьшение погрешности примерно в два раза.

Приложение Е
(справочное)

Пример оценки суммарной погрешности определения расхода воды

Е.1 Общая погрешность определения расхода воды зависит от погрешностей определения напора, нагрузки и КПД гидроагрегатов.

Е.2 Погрешность определения напора на высоко-, средне- и низконапорных гидроэлектростанциях составила от -2,6% до +0,5%, т.е. в среднем σ_H = -1,0% (см. приложение В). Указанные значения условные, подсчитаны для некоторых осредненных условий измерения.

Е.3 Погрешности измерения нагрузки гидроагрегата по счетчикам выработки электроэнергии или ваттметрами, определяемые классом точности измерительного прибора, принимаем для подсчетов равными $\sigma_N = \pm 1\%$.

Е.4 Точность натурных эксплуатационных и расходных характеристик гидроагрегатов оценивается, в среднем, $\sigma_x = \pm 1{,}5\%$. Погрешность заводских эксплуатационных характеристик, построенных на основании модельных испытаний гидротурбин, можно принять равной $\sigma_x = \pm 2{,}5\%$, как для радиально-осевых, так и для поворотно-лопастных турбин с правильно налаженной комбинаторной зависимостью.

Е.5 Погрешности из-за неучтенных изменений КПД при пиковом режиме суточных нагрузок, когда среднесуточный расход вычисляется с использованием показателя КПД гидроагрегата, а КПД принимается как среднее значение, при разных режимах суточного графика нагрузки составили: для поворотно-лопастных турбин от 0 до 1,8% (в среднем, $\sigma_\eta = \pm 0{,}9\%$); для радиально-осевых турбин – от 0,6 до 1,1% (в среднем $\sigma_\eta = \pm 0{,}85\%$).

Е.6 Суммарная погрешность определения среднесуточного расхода воды через гидротурбины находится по выражению:

$$\sigma_Q = \sqrt{{\sigma_H}^2 + \sigma_N^2 + \sigma_x^2 + \sigma_\eta^2}$$

Е.6.1 При использовании для определения расхода заводских характеристик суммарная погрешность составит:

$$\sigma_Q = \sqrt{1{,}0^2 + 1{,}0^2 + 2{,}5^2 + 0{,}9^2} \approx 3\%;$$

Е.6.2 При использовании для определения расхода эксплуатационных характеристик суммарная погрешность составит:

$$\sigma_Q = \sqrt{1{,}0^2 + 1{,}0^2 + 1{,}5^2 + 0{,}9^2} \approx 2{,}2\%.$$

Приложение Ж
(справочное)

Примеры восстановления и модернизации штатной системы измерения расходов

Ж.1 В практике наблюдений за водосбросными сооружениями, и, в частности для определения расходов воды через подводящие напорные водоводы, использовались приборы, которые выпускались промышленностью малыми сериями или изготавливались непосредственно в научно-исследовательских организациях (см. приложение М, таблица М.1). При комплектации КИА их можно заменять на аналогичные, имеющиеся в наличии.

Ж.1.1 В их числе – перепадный расходомер «ЭРИС», в котором также как и в традиционных турбинных расходомерах, используется метод измерения расхода, основанный на связи перепада давления измерительного преобразователя со скоростью течения воды.

Ж.1.2 Первичный измерительный преобразователь представляет собой устройство в виде обтекаемого тела с лобовым и боковым отборниками давления. Преобразователь состоит из съемной части, имеющей форму крыла с параллельными боковыми стенками, и стационарной платформы, привариваемой к металлической облицовке проточного тракта. Геометрические размеры преобразователя 250х200х40 мм.

Ж.1.3 Преобразователь устанавливается в месте, обеспечивающем устойчивую связь расхода и перепада давления (могут быть установлены накладным способом на эксплуатируемых объектах и при необходимости быстро заменяться). Прокладка пьезометрических трубопроводов производится по внутренней границе проточной части к месту вывода их в помещение.

Ж.1.4 Электронный преобразователь разности давлений типа Сапфир или Метран комплектуется демпферными устройствами и устанавливается при выходе пьезометрических трубок в помещение. Электронный блок, обеспечивающий выдачу показаний расхода и объема стока воды, устанавливается на щите управления агрегатов и может быть включен в АСУ ТП ГЭС.

Ж.1.5 Достоинством данной системы измерения расхода являются доступность ко всем ее элементам; возможность изготовления преобразователя в заводских условиях, что обеспечивает единую величину коэффициента расхода; более значительная величина перепада давления по сравнению с расходомером спиральной камеры.

После успешных испытаний таких преобразователей давления на Нурекской ГЭС (1987 г.) были выполнены поставки комплектов первичных преобразователей на Байпазинскую ГЭС и Вилюйские ГЭС.

Ж.2 Модернизация штатной расходоизмерительной системы была произведена при создании автоматизированной системы контроля уровней бьефов и расхода воды через агрегаты ГЭС Аль-Баас (Сирия, 1997 г.).

Модернизация заключалась в следующем:

- штатные преобразователи разности давлений заменены на преобразователи типа «Метран 45ДД», имеющий более высокий класс точности;
- система импульсных трубок, передающих давление к датчикам «Метран», переведена с воздушного питания на гидравлическое и оснащена демпферными устройствами;

- вторичная аппаратура заменена на автоматизированную систему, основным элементом которой является микроконтролер-5083 фирмы «Octagon Systems», обеспечивающий вычисление и выдачу результатов измерений расхода и стока воды в цифровой форме на дисплей, а также использование полученных данных в АСУ ТП ГЭС.

Приложение И
(справочное)

Классификация ультразвуковых расходомеров (УЗР) и методы измерения расхода с помощью ультразвука

И.1 Обилие и разнообразие конструкций и схем УЗР вызвано постоянным совершенствованием ультразвукового метода, как наиболее перспективного метода измерения расхода. Те или иные конструкции специально создавались для определенных условий (накладные УЗР для учета энергоносителя без остановки технологического процесса, многоканальные УЗР при необходимости измерений с высокой точностью и т.п.).

И.2 Ультразвуковые расходомеры можно классифицировать по (см. рисунок И.1):

- способу перемещения УЗ волны;
- положению УЗ луча относительно потока;
- способу размещения пьезопреобразователя;
- количеству измерительных каналов;
- направленности УЗ излучения.

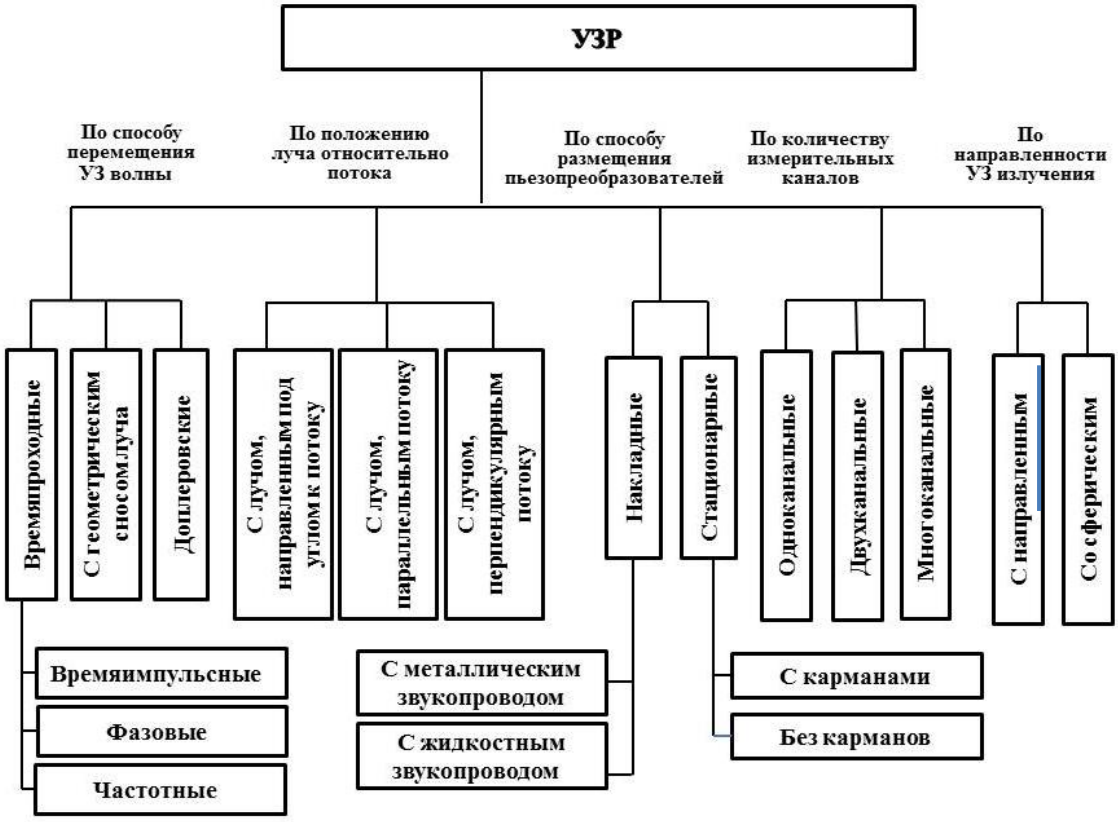


Рисунок И.1 – Общая классификация УЗР

И.3 В настоящее время известны три метода измерения расхода с помощью ультразвука:

И.3.1 Метод, основанный на разности времен распространения ультразвуковых волн, направленных за потоком и против него (см. рисунок И.2). Ультразвуковые колебания перемещаются подвижной средой. Поверхностью отражения для импульса зондирования является естественная внутренняя поверхность трубопровода или специальный экран непосредственно в измеряемой среде. При этом средняя скорость измеренной среды может определяться на основании эффекта сноса ультразвукового колебания подвижной средой и изменения времени прохождения луча как векторная разность скоростей ультразвуковых колебаний по направлению движения измерительной среды и против нее.

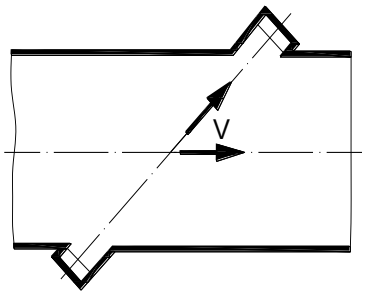


Рисунок И.2

Акустические измерительные схемы основаны на принципах измерения: разности времен, сдвига фаз, разности частот прохождения ультразвуковых сигналов, обусловленных скоростью потока:

И.3.1.1 Времяимпульсная схема. Измеряется разность продолжительности прохождения коротких импульсов, которые направлены по потоку и против него:

$$\Delta\tau = \frac{2LQB}{c^2 - (\sin\beta QB)^2}, \qquad (И.1)$$

где L – путь ультразвукового луча;

Q – расход;

B (Re, ρ, μ, t, P, ε, D) – функция, зависящая от параметров измеряемой среды и параметров трубопровода:

- Re – число Рейнольдса измеряемой среды;
- ρ – плотность измеряемой среды;
- μ – вязкость измеряемой среды;
- t – температура измеряемой среды;
- P – давление измеряемой среды;
- ε – шероховатость трубопровода;
- D – диаметр трубопровода;

c – скорость ультразвука в измеряемой среде;

β – угол ввода ультразвукового луча относительно вертикали.

Времяимпульсные (transit time) расходомеры применимы для измерения расхода воды в самотечных и напорных трубах и каналах большого размера.

И.3.1.2 Фазовая схема. Измеряется разность фазовых сдвигов ультразвуковых колебаний, которые направлены по потоку и против него:

$$\Delta\varphi = \omega \cdot \frac{2LQB}{c^2 - (\sin\beta QB)^2}, \qquad (И.2)$$

где ω – круговая скорость ультразвуковых колебаний.

И.3.1.3 Частотная схема. Измеряется разность частот повторения коротких импульсов или пакетов УЗ колебаний, которые направлены по потоку и против него:

$$\Delta f = \frac{\sin \beta QB}{L}. \qquad (И.3)$$

Для высокоточных измерений расхода целесообразно применять метод, основанный на разности времен распространения ультразвуковых волн, направленных по потоку и против него.

И.3.2 Метод, основанный на геометрическом сносе ультразвуковой волны (с лучом перпендикулярным к потоку), обусловленном движением потока вещества (рисунок И.3). Ультразвуковые волны излучаются в измеряемую среду по нормали к направлению движения потока. Два приемных пьезоэлемента устанавливаются рядом таким образом, что при недвижном измеряемом потоке интенсивности колебаний, принятых каждым пьезоэлементом, равны. При движении измеряемого потока ультразвуковые волны распространяются в направлении потока, при этом интенсивность ультразвуковых колебаний на приемных пьезоэлементах разная. Измеренная разность сигналов на приемных пьезоэлементах является мерой расхода потока вещества.

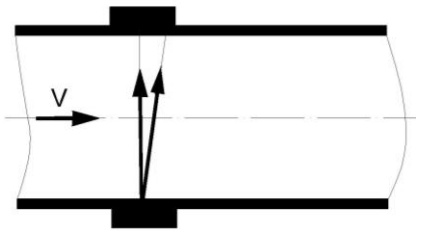


Рисунок И.3

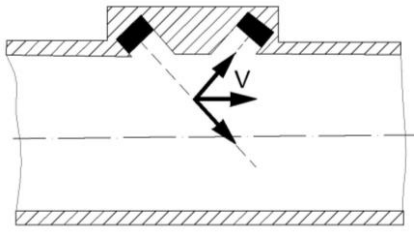


Рисунок И.4

Метод применим для измерения в трубопроводах больших диаметров и при больших скоростях потоков. По своей сути данный метод отличается от описанного выше тем, что измеряется не время, а геометрический снос луча.

Вследствие небольшой чувствительности, крутизны градуировочной характеристики невозможно получить высокую точность измерений методом геометрического сноса ультразвуковой волны.

И.3.3 Метод, основанный на доплеровском сдвиге частоты ультразвукового сигнала, отраженного от частиц измеряемого потока (рисунок И.4). Передающий пьезоэлемент излучает гармонический ультразвуковой сигнал в измеряемую среду.

Приемный пьезоэлемент воспринимает отраженный от неоднородностей потока, имеющий доплеровский сдвиг частот сигнал. Мерой расхода является доплеровская разность частот излучаемого и отраженного сигналов:

$$\Delta f_{Д} = \frac{f_1(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)QB}{c}, \qquad (И.4)$$

где f_1 – исходная частота ультразвуковых колебаний;

α_1 – угол между вектором скорости частицы отражателя и направлением исходного луча;

α_2 – угол между вектором скорости частицы отражателя и направлением отраженного луча.

Доплеровский метод наиболее широко применяется для измерения локальных скоростей, а в области измерения расхода имеет ограниченные возможности.

И.3.4 Ультразвуковые расходомеры разделяются по количеству каналов измерения так называемых лучей:

- одноканальные (однолучевые) – имеют два пьезоэлемента, каждый из которых поочередно выполняет функции излучения или приема (см. рисунок И.2);
- двухканальные (двулучевые) – имеют два излучателя и два приемника, которые создают два независимых акустических канала (см. рисунок И.5); эти каналы или расположены параллельно, или перекрещиваются;
- многоканальные (многолучевые) – имеют больше двух каналов и применяются для измерения расхода деформированных потоков с целью достижения повышенной точности (см. рисунок И.6).

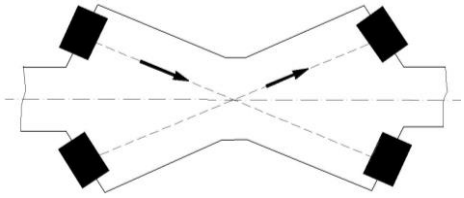


Рисунок И.5

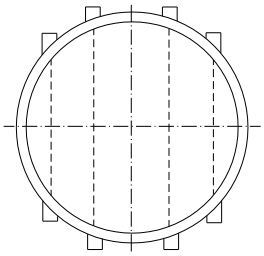


Рисунок И.6

И.3.4 По способам размещения электроакустических преобразователей ультразвуковые расходомеры разделяют на приборы:

- со стационарными электроакустическими преобразователями (расходомеры без преломления), могут быть без карманов (см. рисунок И.7) и с карманами (см. рисунок И.2);
- с накладными электроакустическими преобразователями (расходомеры с преломлением), могут быть с металлическим звукопроводом (см. рисунок И.8) и с жидкостным звукопроводом (см. рисунок И.9).

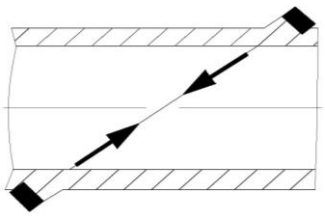


Рисунок И.7

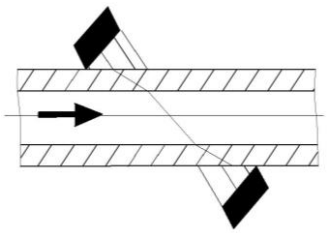


Рисунок И.8

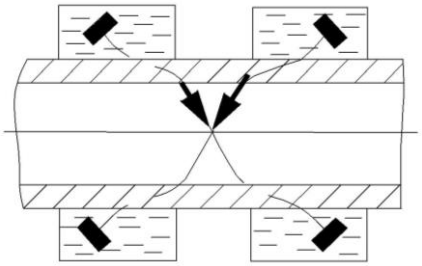


Рисунок И.9

Приложение К
(справочное)

Опыт оснащения водоводов гидроагрегатов ультразвуковыми расходомерами

К.1 Эксплуатационная расходоизмерительная ультразвуковая система типа «ЭРУС» для напорных водоводов ГЭС была разработана научно-исследовательскими организациями в конце 1970-х годов. Системы измерения расхода с использованием многоканального ультразвукового расходомера «ЭРУС» установлены и применяются на ряде ГЭС.

К.1.1 В ультразвуковом расходомере «ЭРУС» используется метод определения расхода, базирующийся на измерении времени прохождения ультразвукового импульса, посланного вверх и вниз по течению жидкости. При наличии стационарности потока средняя скорость, измеренная вдоль одиночного луча, пропорциональна средней скорости потока в водоводе. В зависимости от требуемой точности градуировка «ЭРУС» производится при натурных измерениях расхода или при энергетических испытаниях индексным методом.

К.1.2 Акустический створ состоит из двух акустических преобразователей, устанавливаемых на противоположных концах луча, располагаемого под углом от 45 до 75° к продольной оси водовода. Акустические преобразователи монтируются в специальных обтекателях и могут заменяться. Кабельная проводка от акустических преобразователей прокладывается в защитных трубах и выводится из проточной части через сальниковое устройство. Электронный блок устанавливается в машинном зале.

К.1.3 Функциональные возможности ультразвукового расходомера такие же, как и расходоизмерительной системы «ЭРИС» (Приложение Ж), но в эксплуатации он более надежен, так как не имеет в своем составе гидравлической подсистемы. Опытный экземпляр «ЭРУС» прошел успешные испытания на ГЭС. В настоящее время разработан микроконтрольный ультразвуковой расходомер (УЗР) с возможностью использования одного электронного блока для измерения расхода на трех гидроагрегатах с программированием его режимов работы с передней панели. УЗР имеет дисплей для отображения величины расхода с учетом направления движения и объема протекшей воды через агрегаты, энергонезависимую память для хранения измеренной информации и интерфейс для подключения к компьютерной сети. Функциональная блок-схема ультразвукового расходомера приведена на рисунке К.1.

К.2 Примером применения ультразвуковых расходомеров для учёта расхода воды через водовод являются расходомеры Accusonic, установленные в 2009-2010 гг. на водоводах одной из ГЭС. Расходомеры используют время-импульсный метод измерения «transit-time», в котором скорости на разных уровнях измеряются акустическими лучами. Метод измерения не требует калибровки, текущее значение расхода вычисляется с точностью до 0,5 %.

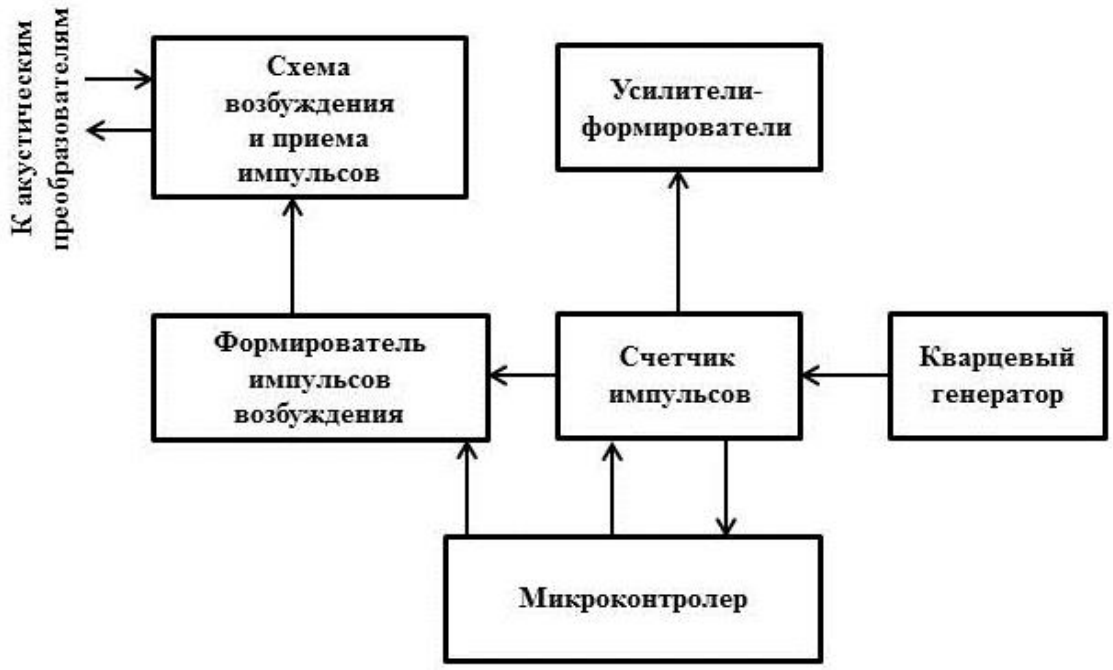


Рисунок К.1 - Функциональная блок-схема ультразвукового расходомера

К.2.1 Расходомеры Accusonic работают в соответствии с принятым международным методом ультразвукового (акустического) измерения времени распространения по нескольким лучам. Такой метод может применяться для определения расхода в замкнутых трубах и трубопроводах с использованием европейского стандарта IEC60041 или эквивалентного американского стандарта ASME PTC 18 для полных труб.

К.2.2 В каждом водоводе создано четыре акустических траектории в конфигурации 2x2 (всего 8 преобразователей на водовод) с использованием двухэлементных преобразователи Model 7634. Преобразователи Accusonic Model 763 подключены к электронному устройству управления (Model 7510+), которое может контролировать до 8 акустических траекторий (макс. 16 преобразователей). Устройство имеет встроенный регистратор данных, до 9 реле, 4 изолированных аналоговых выхода, экран на передней панели, изолированный привод преобразователя, автоматический регистратор прироста для каждой траектории и процессор цифровых сигналов для анализа и накопления полученных сигналов.

К.2.3 Расходомеры Accusonic обеспечивают ввод и запоминание измерительной информации по введенной в него программе, статистическую обработку информации, а также вывод её на дисплей и цифровой с интерфейсом RS-232 (RS-485) или аналоговый (токовый 4...20 мА) выходы.

К.2.4 Возможность программирования, суммирования расхода и диагностики осуществляется с помощью программы Accuflow под Windows.

Приложение Л
(справочное)

Измерение расхода воды гидроагрегатов русловых ГЭС акустическим способом

Л.1 Для русловых гидроэлектростанций разработан способ измерения расхода с размещением ультразвукового расходомера в спиральной камере, обеспечивающий повышение надежности и точности измерений, а также применимость на действующих гидроэнергетических установках взамен вышедших из строя эксплуатационных расходомеров.

Л.2 Основой данного принципа измерения расхода, применяемого для всех типов спиральных камер, послужило следующее их свойство. Многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями было установлено, что эпюры окружных, радиальных и вертикальных составляющих скоростей в спиральной камере для различных значений скоростей подобны (автомодельны). Таким образом, безразмерные поля в спиральной камере не зависят от режима работы гидротурбины (от величины расхода) и определяются только размерами камеры, ее формой и условиями входа.

Л.3 Для реализации этого принципа используется следующая схема установки акустической системы расходомера. Акустические преобразователи (АП), трассирующие акустический луч, размещаются в горизонтальной плоскости, пересекающей створ на половине высоты статорных колон (см. рисунок Л.1, плоскость 1-1).

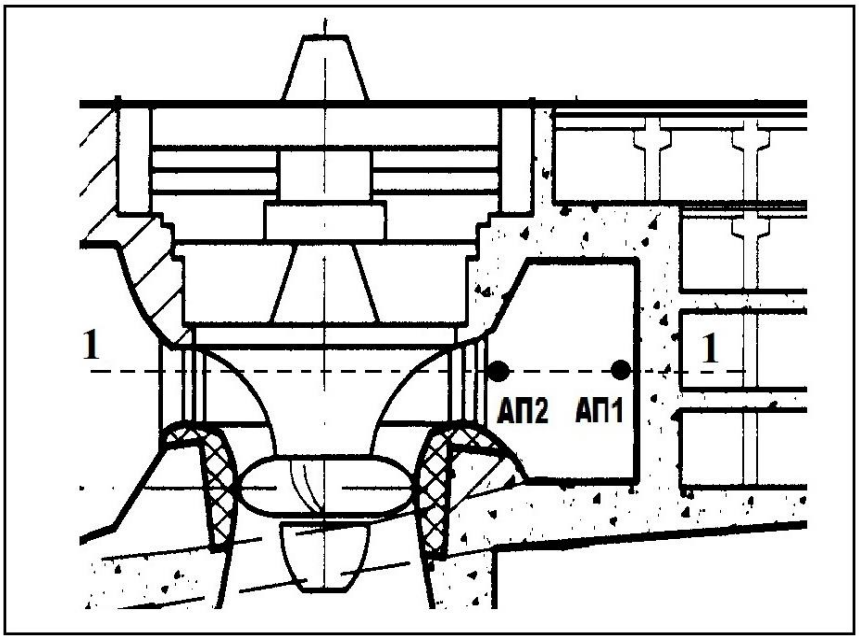


Рисунок Л.1 – Схема установки акустических преобразователей

Один акустический преобразователь устанавливается на поверхности спиральной камеры в точке *N*, а второй (АП 2) – на статорной колонне в точке *К* (см. рисунок Л.2, АП 1).

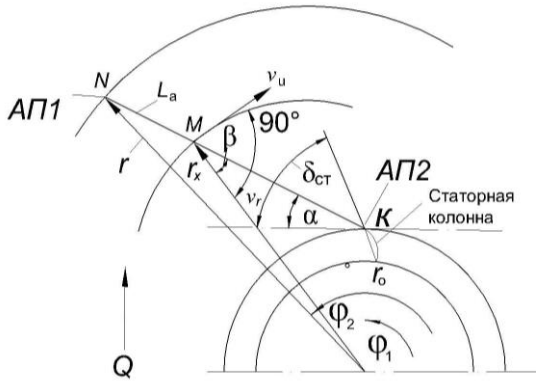


Рисунок Л.2 – Схема трассировки акустического луча

Л.4 Исходя из геометрической схемы трассировки акустического луча L_a, можно рассчитать среднюю величину проекций абсолютных скоростей течения воды V_a на акустический луч по формуле

$$V_a^{cp} = \frac{Q_{\varphi_1}\left(1-\frac{r_0}{r}\right)\cos\alpha}{B_0 tg\,\delta_{cm}\left[(r_0)^2 + r^2 - 2r_0 r\cos(\varphi_2-\varphi_1)\right]^{0,5}}, \qquad (Л.1)$$

где B_0 – высота статорной колонны;

δ_{cm} – угол установки статорной колонные.

Уравнение (1) можно представить в виде формулы

$$V_a^{cp} = \frac{Q_{\varphi_1}}{K_2} K(\alpha,\varphi_1), \qquad (Л.2)$$

где $Q\varphi_1$ – расход на входном участке статора от зуба точки К (см. рисунок Л.2);

$K_2 = B_0 tg\delta_{cm}$ – постоянная для конкретной установки величина;

$K_1(\alpha, \varphi_1)$ – постоянный коэффициент для выбранного угла α трассировки акустического луча и угла φ_1 на участке от зуба спирали до статорной колонны, где установлен акустический преобразователь (рисунок Л.3).

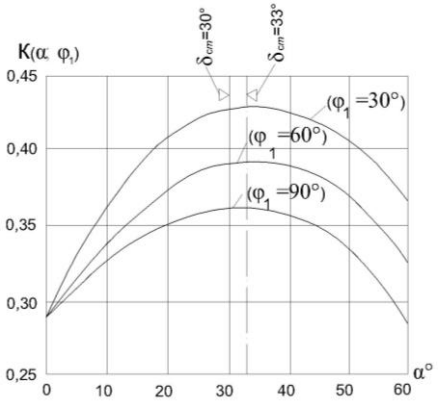


Рисунок Л.3 – Зависимость коэффициента $K_1(\alpha, \varphi_1)$ от трассировки акустического луча

Л.5 Полный расход по всему периметру статора рассчитывается по формулам

$$Q = Q_{\varphi_1} \frac{360^o}{\varphi_1} \quad (Л.3)$$

или

$$Q = \frac{360^o}{\varphi_1} \frac{K_2}{K(\alpha, \varphi_1)} V_a^{cp} \quad (Л.4)$$

Уравнение (Л.4) справедливо при условии достаточного равномерного распределения расхода по всему периметру статора (360°) и при $\alpha = \delta_{cm}$ (рисунок Л.2).

Л.6 При энергетических испытаниях, которые желательно проводить при напоре, соответствующем области максимального расчетного КПД, производится уточнение коэффициента, вычисленного по результатам проектных параметров или обмеров проточной части по формуле (Л.1).

Л.7 Ниже приведен пример применения акустической системы измерения расхода, установленной в 2005 г. на гидроагрегате крупной ГЭС, имеющей типичную русловую компоновку (штатные расходомеры большинства гидроагрегатов неработоспособны и выведены из эксплуатации).

Л.7.1 В состав данного ультразвукового расходомера (УЗР-2) входят: два акустических преобразователя (АП); электронный блок, изготовленный на базе микроконтроллера промышленного типа; линии связи.

Л.7.2 Расходомер может работать в автономном режиме, а также передавать результаты измерений в автоматизированную систему измерений через интерфейс RS485 и токовый выход 4-20 мА.

Л.7.3 Исполнительная схема размещения акустических преобразователей в спиральной камере и трассировка кабельных линий приведены на рисунке Л.4.

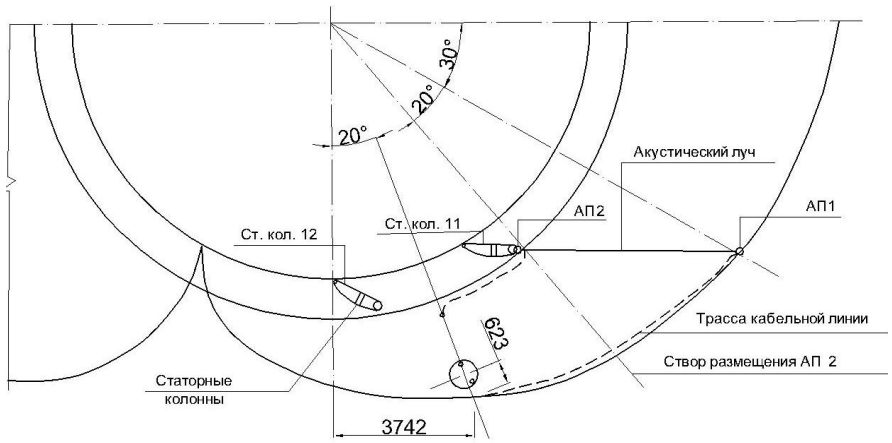


Рисунок Л.4 – Схема расположения акустической системы ультразвукового расходомера

Один из акустических преобразователей АП1 устанавливается на стенке спиральной камеры, второй преобразователь АП2 – на одной из статорных колонн.

Место установки акустических преобразователей определилось исходя из оптимального сочетания условий расположения акустического луча в области спиральной камеры со стабильно сформировавшимся потоком и минимальной протяженностью кабелей при выводе их из проточной части. Обследование спиральной камеры показало, что таким условиям отвечает створ, проходящий через входную кромку статорной

колонны № 11. Акустический преобразователь АП2 устанавливался в торце статорной колонны таким образом, чтобы акустический луч был направлен горизонтально на стенку спирали с углом установки статорной колонны. В месте пересечения оси акустического луча с бетонной стенкой спирали устанавливался акустический преобразователь АП1. Длина акустического луча составила около 6 м.

АП2 монтировался в накладную крепежную конструкцию, прикрепляемую к статорной колонне с помощью сварки. Преобразователь АП1 устанавливался на бетонной стенке спиральной камеры в накладную крепежную конструкцию, прикрепляемую к бетонной поверхности анкерами. Прокладка кабелей на бетонной поверхности выполнялась в стальных защитных трубах, привариваемых к металлической полосе. Полосы закреплялись к бетонной поверхности анкерами. Вывод кабелей из спиральной камеры в помещение здания ГЭС производился через неиспользуемую закладную трубу пьезометра спиральной камеры. Электронный блок ультразвукового расходомера устанавливался на панели гидротехнических сооружений агрегатного щита управления.

Оценка работоспособности расходомера производилась в процессе энергетических испытаний.

Л.7.4 В технических средствах ультразвукового расходомера использован метод прямого измерения ультразвукового импульса от одного акустического преобразователя к другому в обоих направлениях. При этом средняя скорость в плоскости размещения акустических преобразователей, пропорциональная абсолютному расходу турбины, вычислялась в соответствии с формулой

$$V_a^{cp} = \frac{(t_2 - t_1)C_0^2}{2L_\alpha \cos\delta_{cm}}, \qquad (Л.5)$$

где t_1 и t_2 – время распространения ультразвуковых импульсов по потоку и против него;

L_α – длина акустического луча;

$\delta_{ст}$ – угол трассировки акустического луча, принятый равным углу установки статорной колонны;

$C_0 = 2L_\alpha/(t_1+t_2)$ – скорость распространения ультразвука в стоячей воде.

Л.7.5 Коэффициент расходомера определялся косвенным путем исходя из условия, что максимальное значение КПД турбины, полученное при испытаниях, равно максимальному значению КПД, определенному по эксплуатационной характеристике турбины для имевшегося напора. Энергетические испытания были выполнены при двух значениях напора турбины 8,2 м и 11,5 м. Испытания проводились при работе агрегата по существующей комбинаторной зависимости и в пропеллерных режимах.

Л.7.6 Результаты измерений расхода ультразвуковым расходомером были стабильны, опытные точки не имеют большого разброса и образуют плавные, типичные для поворотно-лопастных турбин зависимости. Отмечено существенное отличие характеристик, полученных при оптимальной и проектной комбинаторных зависимостях. При проектной комбинаторной зависимости для некоторых режимов отмечено снижение КПД от 2 до 4%, а завышение величины расхода более чем на 10%. Подобные результаты характерны для поворотно-лопастных турбин и объясняются тем, что проектные комбинаторные зависимости определяются на основе результатов испытаний на модели.

Сравнение результатов, полученных с использованием штатного спирального (в первые годы эксплуатации ГЭС в 1982-1983 гг.) и ультразвукового расходомеров,

показало их подобие при более стабильных показаниях последнего. Следует вывод, что ультразвуковой расходомер можно использовать не только при энергетических испытаниях с целью определения оптимальных комбинаторных зависимостей, но и в качестве штатного расходомера.

Л.7.7 Ультразвуковой расходомер прошел пробную эксплуатацию в компьютерной сети ГЭС. Замечаний по работе не выявлено. Прибор надежно работал при разных гидравлических режимах, пусках, наборах и снижениях нагрузки на гидроагрегате.

В случае установки ультразвуковых расходомеров на других русловых гидроэлектростанциях целесообразно дополнить имеющийся опыт результатами испытаний с одновременным использованием штатных и ультразвуковых расходомеров.

Приложение М
(справочное)

Способы измерения расхода воды через водопропускные гидротехнические сооружения

М.1 Учет воды через гидротехнические сооружения в зависимости от конструкции сооружения, наличия или отсутствия соответствующей измерительной аппаратуры и створа измерений, режимов работы сооружения, требований точности и других факторов может производится различными способами. Условно их можно разделить на две группы.

М.1.1 К первой группе относятся способы, при которых расход, пропускаемый через гидросооружение, непосредственно измеряется какими-либо приборами или устройствами. В зависимости от принципа измерения различают:

- способы, при которых измеряются скорости в отдельных точках потока. Расход определяется по среднему для сечения значению скорости и площади сечения. Для измерения скорости используются приборы: гидрометрические вертушки, трубка Пито, турбинные расходомеры, батометр, флюгер-скоростемер, термоанемометр.

- способы, при которых расход определяется сразу для всего потока: объемный, солевого облака, гидравлического удара (метод Гибсона), термодинамический, подвижного экрана, мерного водослива, мерных отверстий, насадок, водомеров Вентури, теплового и химического смешения, способ разжижения, пьезометрический, барботажный, звуковой и электромагнитный, прыжковый, поплавковый, способ качающейся решетки, способ падающей струи.

Требования к условиям измерений и обработке полученных результатов отдельных из перечисленных способов, таких как: определение скоростей потока турбинными расходомерами, трубками Пито, гидроудара, использование специальных устройств с измерением перепадов давлений, концентрационного и меточного, стандартного водослива, объемного, изложены в ГОСТ 28842.

М.1.2 Ко второй группе относятся способы, при которых расход воды определяется по эксплуатационным характеристикам водопропускного гидросооружения измерением лишь основных параметров работы гидросооружения – напора и открытия затвора.

Учет воды способами первой группы с помощью приборов является, безусловно, более удобным по сравнению с характеристиками. Использование автоматизированных средств измерения и программ для учета стока с использованием вычислительной техники позволяет учитывать сток с минимальной затратой труда обслуживающего персонала. На базе приборов, измеряющих расход или сток, возможна автоматизация режимов работы водопропускного отверстия.

М.2 Учет стока через гидросооружение может быть организован в русле нижнего бьефа или непосредственно в створе гидросооружения.

М.2.1 Организация учета воды ниже сооружения широко практикуется на каналах оросительных систем, где устанавливают специальные гидрометрические сооружения или устройства (водосливы, водомерные лотки разных типов, контрольные сечения и т.п.). Существуют методы гидравлического расчета этих устройств, которые позволяют с достаточно высокой точностью определять расход воды даже без предварительной тарировки.

М.2.2 В частности, широкое распространение для автоматизации учета стока

получил водомерный порог САНИИРИ, представляющий собой порог-водослив пологого практического профиля, вписанный в бетонированный участок канала трапецеидального сечения. Один из таких порогов, эксплуатируемый на системе Большого Ферганского канала, используется для измерения расходов воды до 50 м^3/с.

М.2.3 Разновидностью контрольных сечений являются водомеры, в которых скорость течения воды (расход воды) определяется как функция перепада гидродинамического давления в искусственном сужении русла; перепад фиксируют при помощи дифференциального манометра. К таким водомерам относятся, например, водомеры Глубшева. Известны и другие типы сооружений-водомеров (парциальные водомеры, трубчатые водомеры-регуляторы и т.п.)

Некоторые, из применяемых в ирригационных системах, способы измерения расхода воды могут применяться на гидроэлектростанциях при определении различных потерь, протечек и пр.

М.3 Практическое распространение на объектах гидроэнергетики получили следующие способы измерения расхода воды:

М.3.1 Вертушечный способ, наиболее распространенный в практике натурных исследований. Гидрометрической вертушкой может производиться измерение скоростей потока в русле (канале) за водосбросом гидротехнического сооружения сооружением или перед ним.

Требования, предъявляемые к измерительному створу, включают:

- четко фиксированные размеры створа;
- поток должен быть сравнительно спокойным, без сбойных течений, завихрений, обратных токов и т.п.;
- крайне нежелательно наличие в потоке взвешенных и влекомых наносов, плавающего сора.

Измерения гидрометрической вертушкой непосредственно в створе водопропускного отверстия не получили широкого распространения. Несмотря на то, что при данных измерениях на результат измерения не влияют «посторонние» попуски воды и ограничения по режиму гидроузла, применение вертушки ограничивается высокими скоростями потока и трудностью оборудования створа измерения.

Кроме того, применение вертушечного способа измерения может быть ограничено по условиям, связанным с размерами живого сечения. Затруднения возникают при размерах сечения мерного створа более 5-6 м по ширине и напорах более 2,5-3 м.

Данный способ дает большие погрешности при измерениях расходов воды в отводящем или подводящем русле гидросооружения в случае неправильного очертания русла. Кроме того, он имеет ограничение по продолжительности измерений, если это русло одновременно используется для подвода воды к зданию ГЭС или отвода воды от него, или даже соединяется с отводящим или отводящим каналом здания ГЭС, а гидроагрегаты по условиям работы в энергосистеме не могут работать в постоянном режиме.

Из-за больших погрешностей способа не рекомендуется использовать этот способ для тарирования гидротехнического сооружения с пропускной способностью 15-20 м^3/с.

М.3.2 Способ «контрольного отверстия» – наиболее распространенный в практике натурных испытаний водопропускных сооружений относительный способ измерения расходов воды. Принцип этого способа заключается в тарировке испытуемого отверстия

по контрольному отверстию с известным расходом. Т.е. если известен расход воды, проходящий через одно отверстие (контрольное), и этому расходу соответствует некоторый уровень воды в русле, то можно подобрать такую величину открытия основного затвора другого отверстия (испытуемого), при котором после закрытия затвора контрольного отверстия уровень воды в русле не изменится; в этом случае расход воды, проходящий через испытываемое отверстие, будет равен расходу, который проходил ранее через контрольное отверстие. В качестве контрольного отверстия, как правило, используют гидротурбины, поскольку их расходные характеристики достаточно достоверны.

Применение способа контрольных отверстий ограничено при широких отводящих или подводящих руслах (где расположен контрольный створ) со сравнительно малыми уклонами воды, при возможных сгонно-нагонных ветровых явлениях в зоне контрольного створа, а также при подпоре со стороны нижерасположенного гидроузла.

М.3.3 Пьезометрический способ измерения расхода основан на использовании зависимости расхода воды от пьезометрического напора в потоке, протекающем через водослив, и уровнями свободной поверхности воды. Пьезометрический способ с достаточной уверенностью может быть применен при измерениях расходов воды через отверстия водосливных плотин.

При измерении расхода воды через водослив пьезометрическим способом различают два случая: свободный перелив и истечение из-под затвора. В случае свободного перелива измеряют пьезометрический напор на пороге водослива по его оси, глубину потока над ним и полный напор над гребнем водослива.

М.3.4 Измерение расходов воды с использованием ультразвуковых (акустических) измерителей скорости применяется в открытых водотоках, реках, каналах или закрытых водоводах со свободной поверхностью воды. В основу метода «скорость-площадь» положен принцип измерения разности времени прохождения ультразвуковыми импульсами базового измерительного участка по направлению движения потока и против него. Эта разность при неизменных характеристиках контролируемого потока определяется средней скоростью движения воды на участке измерения.

Базовый измерительный участок задается в водном потоке между двумя пунктами (точками), в которых располагают соответственно источник и приемник ультразвуковых колебаний. Ультразвуковые колебания распространяются от источника к приемнику в виде «акустического луча».

Общие технические требования к данному способу измерения и условиям применения ультразвуковых (акустических) измерителей скорости изложены в ГОСТ Р 51657.5.

М.4 Типы КИА, используемой в практике наблюдений за водосбросными сооружениями.

М.4.1 Перечень измерительных приборов и некоторые данные об измерительных приборах (первичных преобразователях-датчиках и, частично, вторичных преобразователях и регистрирующих приборах), приведенных в таблице М.1., может служить ориентиром для предварительной оценки аппаратуры, и, в частности для определения расходов воды. Эти приборы выпускались промышленностью малыми сериями или изготавливались непосредственно в научно-исследовательских организациях. При комплектации КИА их можно заменять на аналогичные, имеющиеся в наличии.

Т а б л и ц а М.1 – Измерительные приборы

Вид наблюдений или измеряемая величина	Прибор	Тип прибора	Диапазон измерения, разрешающая способность ε, рабочая полоса частот, приведенная относительная погрешность γ
Уровень воды	Самописец уровня длительного действия	ГР-38	До 6,0 м ε = ±0,01 м
	Ультразвуковой уровнемер*	ЭУС-ИУВ	0,10 м γ = ±0,02%
	Преобразователь уровня измерительный струнный	ПУВС	0,10 м γ = ±1,0%
Осредненный пьезометрический напор (давление) воды и воздуха (вакуум)	Пьезометр		ε = ±0,1 м (1кПа)
	Пьезометр-вакуумометр	ПДС-II-0,1	ε = ±0,1 м (1кПа)
	Преобразователь давления измерительный струнный прецизионный*		0…0,1 мПа γ = ±0,6% ε = ≤0,1 м (1кПа)
	Пружинный манометр		
Осредненный пульсационный пьезометрический напор (давление)	Измеритель осредненного пьезометрического напора (давления)	ОПТ-С ДД-10 ДД-20	0,100 м ε = ±0,1 м (1кПа) 0-2,9 мПа
	Измеритель пьезометрического напора (индуктивный датчик давления)		ε = ±0,1 м (1кПа) в диапазонах частот 0…1000 Гц 0…10000 Гц 0…6,9 мПа
Осредненный пьезометрический напор (давление) на площадке	Измеритель осредненного и пульсационного напора (давления) на площадке	ОПП-С	0,30 м ε = ±0,04 м (0,4кПа) 0,150 м ε = ±0,1 м (1кПа)
Скорость течения воды	Трубка Пито		γ = ±2%
	Вертушка	ГР-21 ГР-55	0,04…0,20 м/с γ = ±2% 0,2…5,0 м/с γ = ±2%
Расход через подводящие напорные водоводы	Ультразвуковой расходомер*	ЭРУС	2,0…300,0 $м^3/с$ γ = ±2%
	Перепадный расходомер*	ЭРИС	2,0…300,0 $м^3/с$ γ = ±2%
	Ультразвуковой расходомер*	СПРИНТ	2,0…300,0 $м^3/с$ γ = ±2%
* Прибор разработан ОАО «ДИГЭС» и ОАО «НИИЭС»			

М.4.2 Для регистрации уровней воды могут применяться самописцы поплавкового типа.

М.4.3 Измерения осредненного давления на обтекаемых поверхностях могут выполняться пьезометром, представляющим собой отрезок трубы, устье которой заделано заподлицо с этой поверхностью. В устье трубы может быть заложен двух- или трехслойный фильтр. Для наблюдения за показаниями этих пьезометров трубы от них выводятся в пункты наблюдения, где производится снятие отсчетов по измерительным рейкам (в случае стеклянных трубок) или с помощью спускных приборов.

Для измерения гидродинамического давления используются, в основном, датчики индуктивного типа с чувствительным элементом в виде плоской мембраны, преобразующие механическое воздействие в электрические сигналы.

М.4.4 Приборы регистрации позволяют контролировать соответствующий процесс, например, по стрелочному индикатору, фиксировать экстремальные и промежуточные значения измеряемых характеристик, а также записывать непрерывную реализацию процесса для последующей полной статистической обработки: определения математического ожидания, дисперсии, плотности распределения величины и т. п.

Регистрацию процесса пульсации давления следует осуществлять непосредственно на ЭВМ с определенным шагом, который должен быть выбран на основе методических опытов или прогноза частотного диапазона процесса. В некоторых случаях возможна регистрация процесса с помощью измерительного магнитофона с последующим воспроизведением и регистрацией на ЭВМ.

Возможны и непосредственные измерения статистических характеристик пульсации давления с помощью аналоговых приборов. Аналогичным образом можно регистрировать информацию, полученную от датчиков других типов КИА.

М.4.5 КИА необходимо периодически калибровать, что значительно увеличивает время безотказной работы приборов и повышает достоверность измерительной информации. Периодичность калибровки зависит от назначения и типа прибора, условий его работы и должна определяться местной инструкцией.

Библиография

[1] СО 34.21.308-2005 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. Утвержден БЕ Гидрогенерация РАО «ЕЭС России» 12.04.2005).

[2] СО 153-34.20.501-2003 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утверждены Минэнерго России от 19.06.2003 № 229. Зарегистрированы Минюстом России 20.06.2003, № 4799.

[3] Указания по заполнению формы федерального статистического наблюдения № 6-ТП (гидро) «Сведения о работе гидроэлектростанции». Утверждены приказом федеральной службы Государственной статистики Минэкономразвития России от 13.11.2010 № 391.

[4] Административный регламент исполнения Федеральной службой по надзору в сфере природопользования государственной функции по осуществлению федерального государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов. Утвержден Приказом Минприроды России от 26.08.2008 № 192. Зарегистрирован Минюстом России 05.11.2008 № 12574.

УДК ОКС

Ключевые слова: гидроэлектростанция, учет стока воды, расход воды через гидротурбины, водопропускные, водосбросные и водозаборные сооружения, фильтрационный расход, утечки, эксплуатационная характеристика, расходомер.

Руководитель организации-разработчика:
Некоммерческое партнёрство «Гидроэнергетика России»

Исполнительный директор _____ Р.М. Хазиахметов

Руководитель разработки
Главный эксперт, к.т.н. _____ В.С. Серков

Соисполнитель:

Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»

Генеральный директор, к.т.н. _____ Ю.Б.Шполянский

Руководитель разработки

Директор ЦСС _____ Л.В. Варигина

Ответственный исполнитель

Директор Волгоградского филиала, к.т.н. _____ Г.Л. Мажбиц