

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 Анализ нормативных требований, описание объекта исследования	10
1.1 Нормативные требования к эксплуатационным характеристикам технических устройств и методов контроля гидротехнических сооружений	10
1.2 Характеристика производственного объекта	12
1.2.1 Общие сведения	12
1.2.2 Расположение	14
1.2.3 Промышленная и экономическая значимость объекта	15
2 Анализ технического оснащения приборами и средствами контроля технического состояния объекта исследования – Жигулевской ГЭС	17
2.1 Описание действующей системы сбора данных с контрольно-измерительной аппаратуры ГТС	17
2.2 Недостатки действующей системы	19
3 Описание предлагаемой системы автоматизации контрольно-измерительной аппаратуры на гидротехнических сооружениях ГЭС	20
3.1 Общие сведения	20
3.2 Концепция, архитектура и описание системы автоматизации контрольно-измерительной аппаратуры на здании Жигулевской ГЭС	21
3.2.1 Общая концепция и архитектура АСДК ГТС	21
3.2.2 Описание автоматизированной системы опроса КИА на бетонных сооружениях Жигулевской ГЭС	25
3.3 Анализ данных натурных наблюдений. Выбор диапазона	

измерений датчиков	27
3.4 Выбор типов датчиков и основной телекоммуникационной аппаратуры.....	40
3.4.1 Техничко-экономическое сравнение датчиков избыточного давления ..	40
3.4.2 Выбор датчиков линейных перемещений	44
3.4.3 Общий итог по выбору типов датчиков	46
3.4.4 Выбор основной телекоммуникационной аппаратуры для интеграционных шкафов	47
3.5 Технические характеристики датчиков и основной аппаратуры системы автоматизации	48
3.6 Схемы и оборудование системы телекоммуникаций	66
3.7 Конструкции и описание автоматизированной контрольно-измерительной аппаратуры	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	87

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Гидроэлектростанция - электростанция, использующая в качестве источника энергии энергию водных масс в русловых водотоках и приливных движениях. Гидроэлектростанции обычно строят на реках, сооружая плотины и водохранилища.

Гидротехнические сооружения - сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов (рек, озёр, морей, грунтовых вод) или для борьбы с разрушительным действием водной стихии.

Автоматизированная система - система, состоящая из взаимосвязанной совокупности подразделений организации и комплекса средств автоматизации и деятельности, реализующая автоматизированные функции по отдельным видам деятельности. Главной целью создания АС является категорирование и стандартизация автоматизируемого процесса, что позволяет обеспечить стабильность работы системы, прозрачность её контроля и анализа слабых мест и основания её развития.

Контрольно-измерительная аппаратура – совокупность технических средств измерений (измерительных приборов, датчиков и др.) и вспомогательных устройств, предназначенных для контрольных натурных наблюдений и исследований состояния сооружения.

Автоматизированная система диагностического контроля – система автоматического опроса дистанционной контрольно-измерительной аппаратуры, установленной на сооружении, одновременно сравнивающая полученные результаты с критериями безопасности, на основании чего автоматически диагностируется состояние сооружения.

Информационно диагностическая система - Система, диагностирующая состояние контролируемого объекта, включающая базу

данных наблюдений, программу их обработки и диагностические критерии для оценки состояния сооружений.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- ГЭС - гидроэлектростанция;
- ГТС - гидротехнические сооружения;
- КИА - контрольно-измерительная аппаратура;
- АСО - автоматизированная система опроса;
- АСДК - автоматизированная система диагностического контроля;
- ИДС - информационно-диагностическая система;
- СУС - сороудерживающие сооружения;
- ТСПД - технологическая сеть передачи данных;
- АСОКУ - автоматизированная система оперативного контроля и управления;
- ЩОВБ - щитовое отделение верхнего бьефа;
- ЩОНБ – щитовое отделение нижнего бьефа.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Российской Федерации (РФ) имеется более 30 тыс. водохранилищ и около тысячи накопителей промышленных стоков и отходов. Наиболее крупные водохранилища созданы плотинами гидроэлектростанций. На предприятиях топливно-энергетического комплекса эксплуатируется 240 водохозяйственных сооружений, в том числе 105 гидроэлектростанций.

При эксплуатации гидротехнических сооружений должны быть обеспечены надежность и безопасность их работы, а также бесперебойная и экономичная работа технологического оборудования электростанций при соблюдении положения по охране окружающей среды. Также гидротехнические сооружения должны удовлетворять нормативной документации по устойчивости, прочности, долговечности.

Обеспечение безопасности и надежности в процессе эксплуатации бетонных гидротехнических сооружений тесно связано с качеством и эффективностью их контроля.

Особенностью большей части гидротехнических сооружений является то, что они возводятся на участках местности со сложными геологическими и гидрогеологическими показателями, подвержены воздействию сил напора воды, ее размывающему воздействию, действию льда и волн, фильтрационных потоков и т.п. Эти условия требуют особого внимания при эксплуатации гидротехнических сооружений. Мировой опыт гидротехнической эксплуатации показывает, что ослабление контроля приводит к повреждению и разрушению гидротехнических сооружений, для крупных объектов это может быть связано с катастрофическими последствиями.

Кроме того в процессе эксплуатации ГТС разрабатываются новые регламентирующие документы, появляются новые средства и методы контроля, применение которых обеспечивает эффективность мониторинга.

Поэтому проблема совершенствования контроля состояния ГТС является актуальной.

Целью работы является разработка рекомендаций по улучшению системы мониторинга безопасности гидротехнических сооружений и их реализация на примере Жигулевской ГЭС.

Задачи:

- Анализ состояния системы диагностики бетонных гидротехнических сооружений;
- Разработка проекта автоматизации процессов измерений и сбора информации с контрольно-измерительной аппаратуры гидротехнических сооружений;
- Определение диапазона измерений датчиков;
- Выбор типов датчиков и основной телекоммуникационной аппаратуры.

Объектом исследования является система мониторинга безопасности гидротехнических сооружений. Предметом исследования является автоматизированная система диагностического контроля.

Теоретическая база основывается на результатах теоретических исследований отечественных и зарубежных авторов в области обеспечения безопасности гидротехнических сооружений.

Научная новизна исследования:

- Изменение подхода к мониторингу состояния тела бетонной плотины гидроэлектростанции, и улучшение методов регистрации механических параметров характеризующих состояние плотины;
- Разработка современного, отвечающего последним требованиям стандартов, проекта автоматизации процессов измерений и сбора информации с контрольно-измерительной аппаратуры гидротехнических сооружений.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методических основ мониторинга гидротехнических сооружений.

Практическая значимость заключается в разработке и реализации системы мониторинга с применением магнитострикционных датчиков перемещения и пьезометрических датчиков давления.

1 Анализ нормативных требований, описание объекта исследования

1.1 Нормативные требования к эксплуатационным характеристикам технических устройств и методов контроля гидротехнических сооружений

«Задача совершенствования контроля состояния гидротехнических сооружений определяется необходимостью обеспечения безопасности эксплуатации особо опасных и технически сложных объектов.

Основной задачей мониторинга является контроль эксплуатационного состояния ГТС. Мониторинг осуществляется с помощью закладной контрольно-измерительной аппаратуры, установленной в процессе строительства, геодезических, сейсмометрических и прочих инструментальных методов, а также визуальными наблюдениями»[37].

«Мониторинг состояния ГТС проводится в соответствии с требованиями Федерального закона "О безопасности гидротехнических сооружений" № 117-ФЗ»[1], СТО 17230282.27.010.001-2007 [10], СТО 17330282.27.140.004-2008 [14], СТО 17330282.27.140.021-2008 [15], СТО 70238424.27.140.035-2009 [16], СТО 17330282.27.140.003-2008 [17]. «Состав и объем наблюдений определяются проектом, нормативными документами в зависимости от класса сооружения, особенностей основания ГТС, климатических и сейсмических условий, экологической ситуации и т.д. Периодичность натуральных наблюдений задается различными нормами»[23, 26, 39].

«Современное законодательство РФ о безопасности гидроузлов включает:

- закон РФ «О безопасности гидротехнических сооружений»;
- технические регламенты, регулирующие безопасность гидросооружений на всех стадиях их жизненного цикла;

- другие законы и кодексы, регулирующие общие вопросы гражданских отношений и технического регулирования в части, касающейся безопасности водохозяйственных сооружений;

- постановления правительства страны по отдельным положениям закона, реализация которых возложена на правительство;

- нормативные правовые акты по безопасности ГТС, издаваемые уполномоченными органами исполнительной власти.

В соответствии с законодательством России выделяют такие требования к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений:

- создание минимального уровня риска возникновения поломки или аварии объекта;

- осуществление регулярного государственного контроля состояния безопасности сооружения;

- непрерывная работа гидротехнической постройки;

- наличие документации о безопасности сооружений;

- оснащение гидротехнических сооружений всеми необходимыми техническими средствами и внедрение новых технологий для постоянного контроля их безопасности;

- обеспечение необходимой квалификации обслуживающего персонала;

- регулярное осуществление технических осмотров и ремонтов гидротехнических сооружений, а также проведение комплекса работ, нацеленных на уменьшение риска возникновения ЧС» [46].

«На бетонных гидротехнических сооружениях ГЭС I и II класса, согласно действующим нормам [7], должны контролироваться следующие параметры:

- осадки сооружений;

- горизонтальные перемещения;

- наклоны сооружений;

- взаимные смещения элементов сооружений;

- фильтрационное противодействие по подошве сооружений;

- фильтрационные напоры в основании;
- фильтрационные расходы через тело и швы плотины;
- температурный режим в теле сооружения;
- раскрытие трещин, температурно-осадочных и строительных швов;
- химическая и механическая суффозия в плотине и основании;
- размывы дна и берегов в нижнем бьефе.

Специальные виды наблюдений на бетонных и железобетонных сооружениях должны включать:

- контроль деформаций и напряжений в бетоне;
- контроль деформаций и напряжений в основании и на контакте с сооружением;
- контроль напряжений в арматуре;
- контроль изменения деформационно-прочностных характеристик материала плотины и основания;
- сейсмометрические и сейсмологические наблюдения.

Кроме того, независимо от класса сооружения, на всех ГЭС проводятся визуальные наблюдения, которые являются основой, поскольку при визуальных наблюдениях, как правило, обнаруживаются первые признаки деградации сооружения»[37].

1.2 Характеристика производственного объекта

1.2.1 Общие сведения

«Жигулевская ГЭС является одной из крупнейших гидроэлектростанций в мире по мощности и выработке электроэнергии и самым первым гигантом отечественной энергетики. Это шестая ступень и вторая по мощности ГЭС Волжско-Камского каскада. Станция ежегодно вырабатывает более 10 млрд кВт·ч недорогой электроэнергии с последующей ее передачей в Единую энергосистему России.

Жигулевская ГЭС участвует в покрытии пиковых нагрузок и регулировании частоты в энергосистеме страны, регулирует сток воды в Волге и способствует эффективному ее использованию нижележащими волжскими гидроэлектростанциями, а также обеспечивает создание судоходных глубин и создает благоприятные условия для орошения больших площадей засушливых земель Заволжья.

Сооружение гидроузла решило еще одну важную задачу — создание автомобильного перехода через Волгу на магистрали Москва — Самара, в связи с чем отпала необходимость в строительстве моста» [61].

Таблица 1.1 - Состав сооружений напорного фронта Жигулевской ГЭС

Наименование	Длина напорного фронта в м.	Наименование организации, на чьем балансе находится сооружение
1	2	3
Здание ГЭС	669	«Жигулёвская ГЭС»
Сопрягающая дамба №-49	448	«Жигулёвская ГЭС»
Земляная плотина	2153	«Жигулёвская ГЭС»
Сопрягающая дамба №-50	200	«Жигулёвская ГЭС»
Водосливная плотина	981	«Жигулёвская ГЭС»
Дамба №-53	500	«Жигулёвская ГЭС»
Верхние шлюзы №-21 и 22.	140	Самарский район гидротехнических сооружений и судоходства
Дамба №-45, отделяющая <u>межшлюзовой</u> бьеф от НБ	4300	«Жигулёвская ГЭС»

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
Нижние шлюзы №-23 и 24.	140	Самарский район гидротехнических сооружений и судоходства
Дамба №-42 - сопряжение верхних шлюзов с берегом	409	«Жигулёвская ГЭС»
Итого по оси створа	5500	
Всего:	9940	

«Здание ГЭС состоит из десяти агрегатных секций с донными водосбросами над отсасывающими трубами. В машинном зале длиной 600 м размещено 20 гидроагрегатов с поворотными лопастными турбинами диаметром рабочего колеса 9,3 м и генераторами зонтичного исполнения. Суммарная установленная мощность по состоянию на февраль 2017 года составляет 2446 МВт.

Гидроэлектростанция, совмещенная с донными водосбросами (40 отверстий), рассчитана на пропуск 29600 м³/с воды, в том числе через донные водосбросы 18000 м³/с.

В левом устье станции расположен грязеспуск с пролетом шириной 10,5 м. Пропускная способность — 315 м³/с» [61].

1.2.3 Промышленная и экономическая значимость объекта

«Водосбросная плотина длиной 981,2 м имеет 38 пролетов шириной по 20 м и рассчитана на пропуск 40300 м³/с. В целом пропускная способность сооружений гидроузла, достигающая 85000 м³/с, является рекордной для гидроузла, возведенного на песчаных и глинистых грунтах» [61].

2 Анализ технического оснащения приборами и средствами контроля технического состояния объекта исследования – Жигулевской ГЭС

2.1 Описание действующей системы сбора данных с контрольно-измерительной аппаратуры ГТС

Производство сбора данных с контрольно-измерительной аппаратуры состоит из следующих основных этапов:

- составление программы (проекта) наблюдений;
- установка на объекте наблюдений контрольно-измерительной аппаратуры;
- выполнение измерений;
- обработка полученных данных и составление отчетных документов.

Для реализации программы наблюдений на гидроузле организовано специальное производственное звено – служба мониторинга гидротехнических сооружений, укомплектованная квалифицированными кадрами и оснащенная необходимым оборудованием. Служба мониторинга ГТС осуществляет:

- закладку или контроль за закладкой КИА;
- выполнение или контроль за выполнением подготовительных работ;
- проведение натурных наблюдений и камеральной обработки;
- составление отчетной документации о выполненных работах.

Важнейшими условиями успешного проведения наблюдений являются:

- своевременная и качественная закладка КИА;
- соблюдение сроков и дат измерений;
- оперативная отчетность о выполненных работах.

Несоблюдение этих условий лишает возможности вовремя оценить состояние сооружения, а запаздывание закладки КИА или ее некачественное

выполнение может вообще дезорганизовать и обесценить наблюдения [56, 60].

Состояние ГТС характеризуют осадки и горизонтальные смещения как основания, так и самой плотины.

Осадка основания на различных участках неодинакова и зависит от характеристики грунтов.

Большая часть осадок и смещений основания (до 70%) приходится на период возведения плотины и первого полного наполнения водохранилища, после чего они затухают.

Смещения можно подразделить на остаточные (безвозвратные) и сезонные. И те и другие имеют наибольшее значение вблизи гребня. Сезонные смещения в основном зависят от температуры и зимой направлены в сторону нижнего бьефа, а летом - в сторону верхнего бьефа [35, 58, 59].

Также ГТС испытывают осадку, вызванную собственным весом и весом воды в водохранилище, а также горизонтальные смещения от гидростатической нагрузки [6].

Осадки здания ГЭС определяют по маркам, закладываемым в потерне подводной части. В каждом блоке размещены марки вблизи межблочных швов, чтобы из результатов наблюдений можно было определить наклон блока.

Также по основанию здания ГЭС в нижней части (потерне) расположены сдвигомеры для изучения горизонтальных смещений основания здания ГЭС.

Наблюдения за горизонтальными смещениями позволяют выявить:

- общее смещение каждой секции;
- неравномерные смещения отдельных секций;
- наклоны секций [27].

2.2 Недостатки действующей системы

К недостаткам действующей системы безопасности ГТС можно отнести:

- несоответствие системы мониторинга требованиям современных стандартов в области безопасности ГТС;
- частый выход из строя изношенной и устаревшей КИА;
- необходимость применения в некоторых случаях инструментального контроля технического состояния ГТС ручными методами;
- процесс измерений и сбора информации с КИА ГТС не автоматизирован, обладает низкой оперативностью получения информации.

3 Описание предлагаемой системы автоматизации контрольно-измерительной аппаратуры на гидротехнических сооружениях ГЭС

3.1 Общие сведения

Работа имеет целью создание автоматизированной системы опроса (АСО) КИА, как составной части общей автоматизированной системы диагностического контроля (АСДК) ГТС Жигулевской ГЭС.

Также предусматривается автоматизация следующей контрольно-измерительной аппаратуры, установленной в здании Жигулевской ГЭС:

- пьезометров напорных,
- пьезометров безнапорных,
- щелемеров двухмарочных,
- щелемеров трехмарочных.

Работой предусмотрена интеграция АСО КИА с информационно-диагностической системой (ИДС) БИНГ-3 на программном уровне. Автоматизированная система мониторинга безопасности ГТС создается «открытой» для возможности ее расширения. Таким образом, в будущем в АСДК могут быть включены и другие измерительные устройства, оснащенные дистанционными датчиками различного типа.

Всего предусматривается 175 измерительных устройства (294 датчика):

- Напорные пьезометры – 98 датчиков.
- Безнапорные пьезометры – 12 датчиков.
- Двухмерные щелемеры – $1 \times 2 = 22$ датчика.
- Трехмерные щелемеры – $54 \times 3 = 162$ датчика.

Автоматизированная система опроса КИА включает в себя 294 датчика и такое же число измерительных каналов.

Щелемеры на здании Жигулевской ГЭС установлены в шести створах. Два створа на сороудерживающем сооружении (Щ-1, Щ-2), один створ в

щитовом отделении верхнего бьефа (Щ-3), один створ в насосной потерне (Щ-4), один створ в щитовом отделении нижнего бьефа (Щ-5) и один створ на пристройке здания ГЭС (Щ-6).

Оголовки пьезометров, также как и щелемеры расположены по створам.

Принципиальная схема расположения контрольно-измерительной аппаратуры, подлежащей автоматизации представлена на рисунке 3.1.

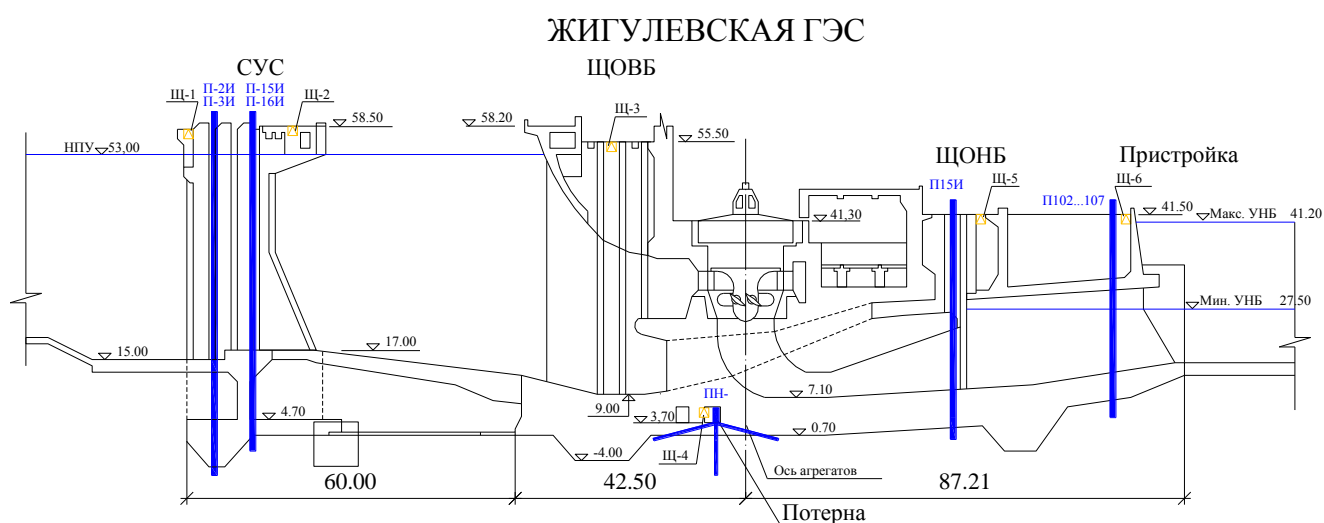


Рисунок 3.1 – Схема расположения КИА, подлежащей автоматизации.

3.2 Концепция, архитектура и описание системы автоматизации контрольно-измерительной аппаратуры на здании Жигулевской ГЭС

3.2.1 Общая концепция и архитектура АСДК ГТС

Принципы построения и архитектура автоматизированной системы диагностического контроля состояния гидротехнических сооружений (АСДК ГТС) заключаются в следующем:

- Система АСДК включает в себя автоматизированную систему опроса датчиков (АСО КИА) и информационно-диагностическую систему (ИДС) БИНГ-3, работающие в общей компьютерной сети (локальной или корпоративной) и интегрированные на программном уровне;

- АСО КИА осуществляет сквозную передачу данных от первичных датчиков до центрального сервера сбора данных. На выходе из сервера сбора

данных АСО КИА интегрируется с ИДС БИНГ-3. При этом в целом АСДК ГТС представляет собой АС «открытого» типа, что обеспечивает возможность поэтапного развития системы, взаимозаменяемость аппаратных и программных средств и совместимость с АСУ другого уровня;

- АСО КИА представляет собой распределенную систему дистанционного контроля, которая построена по технологии «промышленной сети», что обеспечивает надежную защиту от помех, удешевление и упрощение работ по монтажу и эксплуатации системы автоматике;

- «Промышленная сеть» осуществляет физическое объединение измерительных, коммуникационных и управляющих устройств (например, по интерфейсу RS-485) и позволяет использовать открытые программно-логические протоколы обмена информацией;

- Применяются датчики промышленного (серийного) типа, имеющие высокие метрологические характеристики и обеспечивающие выходной сигнал унифицированного вида;

- Автоматизированная система диагностического контроля безопасности (АСДК) ГТС удовлетворяет требованиям по функциональности, надежности и экономичности;

- Применяемые для создания АСДК ГТС датчики, оборудование, телекоммуникационная аппаратура и принципиальные подходы соответствуют требованиям «Положения о технической политике ОАО «ГидроОГК».

АСДК ГТС структурно включает в себя следующие элементы:

- нижний уровень – контрольно-измерительная аппаратура (КИА): датчики, измерительные устройства;

- средний уровень – система телекоммуникаций, преобразования и передачи информации в цифровом коде на центральный блок сбора данных АСО КИА;

- верхний уровень – программно-технический комплекс, содержащий центральный блок автоматизированного опроса АСО КИА и

информационно-диагностическую систему контроля безопасности сооружений (ИДС) с соответствующим компьютерным и программным обеспечением.

На нижнем уровне АСДК использует непосредственно измерительные устройства с датчиками, которые регистрируют физические процессы и воздействия на сооружения. В системе автоматизации могут применяться: датчики уровней воды, датчики избыточного давления на напорных и безнапорных пьезометрах, расходомеры на дренажных скважинах и мерных водосливах, датчики перемещений на щелемерах, отвесах, струнных створах, датчики температуры. Общим требованием к датчикам является их унифицированный аналоговый, цифровой или радиочастотный выход стандартного вида и взаимозаменяемость. Таким требованиям на сегодня удовлетворяет большинство датчиков серийного промышленного производства.

Средний уровень АСДК ГТС включает в себя средства коммутации датчиков, преобразования аналогового сигнала в цифровой код и линии связи для передачи сигналов от датчиков на центральный блок системы автоматизированного опроса КИА. Для присоединения датчиков к линии связи с промышленным интерфейсом используются модули сбора данных, располагаемые в зонах наибольшей концентрации измерительных устройств. Преобразование аналоговых сигналов от датчиков в цифровые коды с использованием стандартного интерфейса позволяет осуществлять передачу данных по проводным и радиочастотным линиям связи на сравнительно большие расстояния. В качестве интерфейса используется в основном стандартный промышленный интерфейс RS-485 как наиболее широко распространенный в современных системах телекоммуникаций. Кабельные (проводные) линии связи преимущественно применяются внутри сооружений и служебных помещений. Беспроводные (радиочастотные) линии связи могут быть использованы как внутри сооружений, так и для связи с удаленными

датчиками, расположенными на открытых участках сооружений и прилегающей к ним территории.

Верхний уровень системы АСДК ГТС представляет собой программно-технический комплекс, включающий контроллер ввода-вывода данных, центральный блок на базе промышленного сервера сбора данных, базовое и специализированное программное обеспечение для управления автоматизированным опросом датчиков и автоматизированные рабочие места с комплексом программ в составе ИДС контроля безопасности ГТС. Информационно-диагностическая система представляет собой заключительное звено АСДК ГТС. Она взаимодействует с системой АСО КИА на программном уровне по локальной компьютерной сети гидроэлектростанции.

В соответствии с современными требованиями к безопасности ГТС (Федеральный закон РФ «О безопасности гидротехнических сооружений» №117-ФЗ от 21.07.97 и «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ») информационно-диагностическая система контроля безопасности сооружений является обязательным элементом при эксплуатации ГТС электростанций. Она осуществляет функции сбора, хранения, обработки, анализа данных по всем видам натуральных наблюдений (инструментальных, визуальных), а также выполняет оперативную диагностику безопасности сооружений на основе сопоставления измеренных показателей состояния с их критериальными значениями (РД 153-34.2-21.342-00) [1, 7].

Система АСДК ГТС на Жигулевской ГЭС должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать автоматизированный опрос датчиков, сбор информации, ее хранение, передачу, обработку и анализ в информационно-диагностической системе контроля безопасности сооружений БИНГ-3;
- использовать существующую сеть пьезометров и щелемеров на здании ГЭС;

- использовать датчики давления и перемещения промышленного типа, современные микропроцессорные устройства серийного производства, базовые и апробированные программные продукты;

- формировать информационный пакет данных натуральных наблюдений с сохранением всей информации в памяти сервера сбора данных и в архивах на независимых носителях;

- обеспечивать автоматический опрос датчиков по заданному временному режиму с возможностью ручного запуска опроса при наладке и проверке системы АСО КИА;

- производить обработку измерительной информации: пересчет отсчетов в показания, определяет работоспособность датчиков и линий связи, выполняет сравнение показателей состояния ГТС с их критериальными значениями;

- все технические средства АСДК, включая контрольно-измерительную аппаратуру, должны быть предназначены к работе в условиях промышленной эксплуатации, имеющих место на сооружениях гидроэлектростанции [2, 3, 13].

3.2.2 Описание автоматизированной системы опроса КИА на бетонных сооружениях Жигулевской ГЭС

В систему автоматизации включены следующие виды измерительных устройств:

- напорные пьезометры;
- безнапорные пьезометры;
- двухмарочные щелемеры;
- трехмарочные щелемеры.

Количественно автоматизируемая КИА включает в себя:

- 98 напорных пьезометров;
- 12 безнапорных пьезометров;
- 11 двухмерных щелемеров (22 датчика линейных перемещений);

- 54 трехмерных щелемера (162 датчика линейных перемещений).

Всего в системе АСДК ГТС по проекту используются 294 датчика (измерительных канала).

Установка датчиков предусмотрена непосредственно на существующих измерительных устройствах или рядом с ними (для щелемеров), что обеспечивает использование существующей сети измерительных устройств.

Измерительные устройства в соответствии с их расположением коммутируются группами в настенных интеграционных шкафах, внутри которых установлены модули сбора данных и блоки питания на 24В постоянного тока. Модули сбора данных имеют на выходе цифровой интерфейс RS-485, что позволяет объединять их в единую линию «шинной» топологии и передавать данные опроса датчиков по проводной или беспроводной связи на сервер сбора данных центрального пункта АСО КИА.

Для совместимости протокола обмена данными все применяемые первичные датчики выбраны с аналоговым токовым выходом унифицированного вида 4...20мА. Исключение составляет контрольно-измерительная аппаратура, установленная на пристройке здания ГЭС. Данные от безнапорных пьезометров будут передаваться при помощи радиомодемов, а от датчиков перемещения на щелемерах - по «шине» цифрового интерфейса CANbus с использованием аппаратуры, поддерживающей телекоммуникационный протокол CANopen.

Для измерения пьезометрических уровней воды в напорных пьезометрах на их оголовках предусмотрена установка датчиков избыточного давления. Всего используется 98 датчиков избыточного давления.

На безнапорных пьезометрах ГЭС предусмотрена установка датчиков уровня воды погружного типа. Общее число погружных датчиков уровня воды составляет 12 шт. [54].

На 11 двухмерных щелемерах запроектирована установка 22 датчиков линейных перемещений.

На 54 трехмерных щелемерах запроектирована установка 162 датчиков линейных перемещений. Итоговое количество датчиков и измерительных каналов в АСО КИА составит 294 шт.

3.3 Анализ данных натуральных наблюдений. Выбор диапазона измерений датчиков

В целях выбора конкретных значений требуемого диапазона измерений для различных групп контрольно-измерительной аппаратуры здания ГЭС с помощью системы БИНГ-3 были проанализированы натурные данные.

Данные натуральных наблюдений по пьезометрам и щелемерам проанализированы с 1992 г. По контрольно-измерительной аппаратуре, установленной после 1992 года, анализ проведен за весь период наблюдений.

Результаты анализа натуральных данных и выбранный диапазон измерений по всей КИА, которую предполагается автоматизировать, представлены в таблицах 3.1 - 3.3.

Таблица 3.1 - Выбор диапазона измерений датчиков линейных перемещений для щелемеров.

Наименование в БИНГ	Макс. изм., мм	Мин изм., мм	Размах изм., мм	Критерий К2	Размах с учетом К2, мм	Диапазон датчика, мм
1	2	3	4	5	6	7
Щ4/д*1х	0.10	-2.80	2.90			50.00
Щ4/д*1z	0.20	-0.50	0.70			50.00
Щ4/1*1х	2.00	-10.40	12.40			50.00
Щ4/1*1z	0.80	-0.40	1.20			50.00
Щ4/2*1х	0.80	-7.50	8.30			50.00
Щ4/2*1z	0.70	-2.00	2.70			50.00
Щ4/3*1х	3.80	-3.00	6.80			50.00

Продолжение таблицы 3.1

Наименование в БИНГ	Макс. изм., мм	Мин изм., мм	Размах изм., мм	Критерий К2	Размах с учетом К2, мм	Диапазон датчика, мм
Щ4/3*1z	2.00	-1.00	3.00			50.00
Щ4/4*1x	2.00	-3.50	5.50			50.00
Щ4/4*1z	0.60	-1.50	2.10			50.00
Щ4/5*1x	2.10	-1.90	4.00			50.00
Щ4/5*1z	0.20	-1.30	1.50			50.00
Щ4/6*1x	0.70	-13.90	14.60			50.00
Щ4/6*1z	0.40	-0.60	1.00			50.00
Щ4/7*1x	0.50	-11.60	12.10			50.00
Щ4/7*1z	0.20	-4.60	4.80			50.00
Щ4/8*1x	0.80	-7.90	8.70			50.00
Щ4/8*1z	1.27	-2.20	3.47			50.00
Щ4/9*1x	0.80	-15.70	16.50			50.00
Щ4/9*1z	6.10	-8.50	14.60			50.00
Щ4/10*1x	0.40	-4.20	4.60			50.00
Щ4/10*1z	0.30	-3.20	3.50			50.00
Щ3/д*1x	12.00	1.30	10.70	25.00	23.70	50.00
Щ3/д*1y	-1.90	-7.20	5.30			50.00
Щ3/д*1z	3.08	-2.30	5.38			50.00
Щ3/1*1x	6.91	-7.80	14.71	25.00	32.80	50.00
Щ3/1*1y	-1.10	-4.20	3.10			50.00
Щ3/1*1z	2.62	1.40	1.22			50.00
Щ3/2*1x	9.30	-5.30	14.60	23.60	28.90	50.00
Щ3/2*1y	1.00	-1.90	2.90			50.00
Щ3/2*1z	2.20	-0.70	2.90			50.00

Продолжение таблицы 3.1

Наименование в БИНГ	Макс. изм., мм	Мин изм., мм	Размах изм, мм	Критерий К2	Размах с учетом К2, мм	Диапазон датчика, мм
Щ3/3*1x	3.40	-10.70	14.10	18.80	29.50	50.00
Щ3/3*1y	-2.20	-6.94	4.74			50.00
Щ3/3*1z	4.16	1.10	3.06			50.00
Щ3/4*1x	11.30	-7.10	18.40	32.60	39.70	50.00
Щ3/4*1y	3.37	0.50	2.87			50.00
Щ3/4*1z	-1.60	-3.97	2.37			50.00
Щ3/5*1x	9.29	-6.60	15.89	24.10	30.70	50.00
Щ3/5*1y	3.60	0.70	2.90			50.00
Щ3/5*1z	-0.80	-2.81	2.01			50.00
Щ3/6*1x	13.60	0.60	13.00	25.30	24.70	50.00
Щ3/6*1y	2.50	-1.20	3.70			50.00
Щ3/6*1z	0.09	-0.70	0.79			50.00
Щ3/7*1x	10.62	-4.70	15.32	24.70	29.40	50.00
Щ3/7*1y	3.00	1.02	1.98			50.00
Щ3/7*1z	-2.70	-4.20	1.50			50.00
Щ3/8*1x	7.50	-5.56	13.06	17.80	23.36	50.00
Щ3/8*1y	4.60	1.40	3.20			50.00
Щ3/8*1z	0.00	-1.00	1.00			50.00
Щ3/9*1x	15.36	-3.60	18.96	35.30	38.90	50.00
Щ3/9*1y	5.07	-0.20	5.27			50.00
Щ3/9*1z	-0.10	-0.80	0.70			50.00
Щ3/10*1x	9.90	-2.30	12.20	21.10	23.40	50.00
Щ3/10*1y	5.98	0.30	5.68			50.00
Щ3/10*1z	-1.20	-8.50	7.30			50.00

Продолжение таблицы 3.1

Наименование в БИНГ	Макс. изм., мм	Мин изм., мм	Размах изм, мм	Критерий К2	Размах с учетом К2, мм	Диапазон датчика, мм
Щ5/д*1х	6.20	-9.30	15.50	11.20	20.50	50.00
Щ5/д*1у	0.70	-4.09	4.79			50.00
Щ5/д*1z	-0.90	-3.88	2.98			50.00
Щ5/1*1х	5.50	-16.14	21.64	19.80	35.94	50.00
Щ5/1*1у	10.62	8.10	2.52			50.00
Щ5/1*1z	0.60	-0.40	1.00			50.00
Щ5/2*1х	6.40	-14.63	21.03	19.40	34.03	50.00
Щ5/2*1у	1.20	-1.35	2.55			50.00
Щ5/2*1z	3.40	0.80	2.60			50.00
Щ5/3*1х	9.20	-15.99	25.19	23.10	39.09	50.00
Щ5/3*1у	-0.80	-3.13	2.33			50.00
Щ5/3*1z	-0.25	-2.80	2.55			50.00
Щ5/4*1х	9.40	-14.67	24.07	20.50	35.17	50.00
Щ5/4*1у	6.70	2.70	4.00			50.00
Щ5/4*1z	2.00	0.80	1.20			50.00
Щ5/5*1х	10.50	-14.01	24.51	26.10	40.11	50.00
Щ5/5*1у	4.55	2.40	2.15			50.00
Щ5/5*1z	1.80	1.20	0.60			50.00
Щ5/6*1х	11.90	-11.20	23.10	20.60	31.80	50.00
Щ5/6*1у	3.10	0.00	3.10			50.00
Щ5/6*1z	1.50	0.20	1.30			50.00
Щ5/7*1х	3.40	-18.30	21.70	9.30	27.60	50.00
Щ5/7*1у	7.75	5.08	2.67			50.00
Щ5/7*1z	1.84	0.60	1.24			50.00

Продолжение таблицы 3.1

Наименование в БИНГ	Макс. изм., мм	Мин изм., мм	Размах изм, мм	Критерий К2	Размах с учетом К2, мм	Диапазон датчика, мм
Щ5/8*1x	-2.00	-24.42	22.42	0.10	24.52	50.00
Щ5/8*1y	3.30	1.20	2.10			50.00
Щ5/8*1z	-0.50	-2.62	2.12			50.00
Щ5/9*1x	2.30	-20.25	22.55	12.50	32.75	50.00
Щ5/9*1y	0.80	-1.55	2.35			50.00
Щ5/9*1z	-0.60	-3.00	2.40			50.00
Щ5/10*1x	-4.70	-29.61	24.91	-6.9	22.71	50.00
Щ5/10*1y	-1.84	-7.10	5.26			50.00
Щ5/10*1z	2.85	-1.00	3.85			50.00
Щ1/д*1x	22.00	-26.57	48.57	46.80	73.37	100.00
Щ1/д*1y	-5.00	-18.01	13.01			50.00
Щ1/д*1z	5.50	4.00	1.50			50.00
Щ1/1*1x	26.80	-18.62	45.42	26.40	45.02	50.00
Щ1/1*1y	-15.30	-18.90	3.60			50.00
Щ1/1*1z	1.00	-0.62	1.62			50.00
Щ1/2*1x	23.20	-4.17	27.37	39.10	43.27	50.00
Щ1/2*1y	-11.60	-12.90	1.30			50.00
Щ1/2*1z	3.18	1.70	1.48			50.00
Щ1/3*1x	25.20	-22.95	48.15	32.30	55.25	100.00
Щ1/3*1y	8.68	4.80	3.88			50.00
Щ1/3*1z	-1.80	-2.80	1.00			50.00
Щ1/4*1x	7.00	-22.09	29.09	-0.2	21.89	50.00
Щ1/4*1y	18.34	13.20	5.14			50.00
Щ1/4*1z	3.15	1.60	1.55			50.00

Продолжение таблицы 3.1

Наименование в БИНГ	Макс. изм., мм	Мин изм., мм	Размах изм, мм	Критерий К2	Размах с учетом К2, мм	Диапазон датчика, мм
Щ1/5*1x	20.80	-35.41	56.21	21.80	57.21	100.00
Щ1/5*1y	13.73	10.00	3.73			50.00
Щ1/5*1z	-0.87	-1.40	0.53			50.00
Щ1/6*1x	23.40	-37.18	60.58	47.20	84.38	100.00
Щ1/6*1y	23.30	18.00	5.30			50.00
Щ1/6*1z	-5.20	-8.74	3.54			50.00
Щ1/7*1x	8.50	-18.90	27.40	7.30	26.20	50.00
Щ1/7*1y	9.90	4.95	4.95			50.00
Щ1/7*1z	0.70	-0.80	1.50			50.00
Щ1/8*1x	22.80	-24.89	47.69	33.00	57.89	100.00
Щ1/8*1y	14.93	10.10	4.83			50.00
Щ1/8*1z	1.16	-0.20	1.36			50.00
Щ1/9*1x	5.40	-25.15	30.55	15.70	40.85	50.00
Щ1/9*1y	5.34	0.80	4.54			50.00
Щ1/9*1z	-1.40	-15.23	13.83			50.00
Щ1/10*1x	9.60	-14.10	23.70	0.7	14.8	50.00
Щ1/10*1y	1.00	-10.00	11.00			50.00
Щ1/10*1z	-4.90	-11.77	6.87			50.00
Щ2/д*1x	27.30	-13.55	40.85	58.20	71.75	100.00
Щ2/д*1y	-5.10	-10.97	5.87			50.00
Щ2/д*1z	4.80	3.05	1.75			50.00
Щ2/1*1x	25.90	-16.30	42.20	44.10	60.40	100.00
Щ2/1*1y	-2.50	-6.45	3.95			50.00
Щ2/1*1z	0.20	-5.24	5.44			50.00

Продолжение таблицы 3.1

Наименование в БИНГ	Макс. изм., мм	Мин изм., мм	Размах изм, мм	Критерий К2	Размах с учетом К2, мм	Диапазон датчика, мм
Щ2/2*1x	22.90	6.10	16.80	40.70	34.60	50.00
Щ2/2*1y	4.72	-0.10	4.82			50.00
Щ2/2*1z	0.30	-1.43	1.73			50.00
Щ2/3*1x	27.20	-12.97	40.17	42.00	54.97	100.00
Щ2/3*1y	13.57	7.30	6.27			50.00
Щ2/3*1z	-0.50	-1.29	0.79			50.00
Щ2/4*1x	10.96	-1.00	11.96	22.80	23.80	50.00
Щ2/4*1y	1.07	-1.50	2.57			50.00
Щ2/4*1z	2.09	0.60	1.49			50.00
Щ2/5*1x	18.90	-23.38	42.28	50.50	73.88	100.00
Щ2/5*1y	7.94	2.60	5.34			50.00
Щ2/5*1z	-3.10	-6.04	2.94			50.00
Щ2/6*1x	27.00	-28.67	55.67	63.00	91.67	100.00
Щ2/6*1y	18.50	16.40	2.10			50.00
Щ2/6*1z	0.83	-1.00	1.83			50.00
Щ2/7*1x	5.30	-17.39	22.69	6.30	23.69	50.00
Щ2/7*1y	-0.64	-2.40	1.76			50.00
Щ2/7*1z	-2.00	-3.90	1.90			50.00
Щ2/8*1x	22.60	-20.25	42.85	43.10	63.35	100.00
Щ2/8*1y	1.30	-0.76	2.06			50.00
Щ2/8*1z	-0.60	-2.88	2.28			50.00
Щ2/9*1x	11.80	-14.30	26.10	25.70	40.00	50.00
Щ2/9*1y	3.20	-0.70	3.90			50.00
Щ2/9*1z	0.00	-1.55	1.55			50.00

Продолжение таблицы 3.1

Наименование в БИНГ	Макс. изм., мм	Мин изм., мм	Размах изм, мм	Критерий К2	Размах с учетом К2, мм	Диапазон датчика, мм
Щ2/10*1x	1.70	-12.01	13.71	-3.5	8.41	50.00
Щ2/10*1y	-10.50	-17.22	6.72			50.00
Щ2/10*1z	-5.41	-8.10	2.69			50.00
Щ6/1*1x	1.90	-31.32	33.22			70.00
Щ6/1*1y	17.04	10.10	6.94			70.00
Щ6/1*1z	-0.20	-7.34	7.14			70.00
Щ6/2*1x	9.00	-22.04	31.04			70.00
Щ6/2*1y	-2.60	-8.60	6.00			70.00
Щ6/2*1z	-1.40	-5.84	4.44			70.00
Щ6/3*1x	6.10	-33.09	39.19			70.00
Щ6/3*1y	5.71	1.70	4.01			70.00
Щ6/3*1z	-0.30	-2.30	2.00			70.00
Щ6/4*1x	6.30	-25.38	31.68			70.00
Щ6/4*1y	8.30	2.70	5.60			70.00
Щ6/4*1z	1.50	0.20	1.30			70.00
Щ6/5*1x	9.50	-18.80	28.30			70.00
Щ6/5*1y	-13.30	-24.81	11.51			70.00
Щ6/5*1z	4.00	2.60	1.40			70.00
Щ6/6*1x	13.40	-10.70	24.10			70.00
Щ6/6*1y	0.00	-5.20	5.20			70.00
Щ6/6*1z	2.61	0.60	2.01			70.00
Щ6/7*1x	3.90	-23.17	27.07			70.00
Щ6/7*1y	6.30	4.30	2.00			70.00
Щ6/7*1z	-0.50	-2.17	1.67			70.00

Продолжение таблицы 3.1

Наименование в БИНГ	Макс. изм., мм	Мин изм., мм	Размах изм., мм	Критерий К2	Размах с учетом К2, мм	Диапазон датчика, мм
Щ6/8*1x	5.70	-14.91	20.61			70.00
Щ6/8*1y	8.24	0.60	7.64			70.00
Щ6/8*1z	2.37	0.90	1.47			70.00
Щ6/9*1x	10.10	-10.60	20.70			70.00
Щ6/9*1y	-4.60	-15.83	11.23			70.00
Щ6/9*1z	-0.30	-2.10	1.80			70.00
Щ6/10*1x	10.93	-23.20	34.13			70.00
Щ6/10*1y	11.30	-1.32	12.62			70.00
Щ6/10*1z	2.70	-25.80	28.50			70.00

Таблица 3.2 - Выбор диапазона измерений датчиков давления для напорных пьезометров .

Наименование в БИНГ	Мах изм. уровень, м	Отм. оголовка, м	Мах измеренный напор, м	К2, м	Напор с учетом м К2, м	Диапазон датчика, м
1	2	3	4	5	6	7
П2*1.1	47.50	6.01	41.49			40
П3*1.1	39.97	6.03	33.94	42.60	36.57	40
П4*1.1	35.03	5.96	29.07	41.20	35.24	40
П6*1.1	34.89	6.09	28.80			30
П8*1.1	37.47	5.87	31.60			40
П9*1.1	35.38	5.98	29.40			30

Продолжение таблицы 3.2

Наименование в БИНГ	Мах изм. уровень, м	Отм. оголовка, м	Мах измеренный напор, м	К2, м	Напор с учетом К2, м	Диапазон датчика, м
П1*1.2	51.70	6.12	45.58			50
П2*1.2	48.82	6.11	42.71			50
П3*1.2	40.20	6.03	34.17	42.70	36.67	40
П4*1.2	35.12	6.14	28.98	41.20	35.06	40
П5*1.2	35.04	6.04	29.00			30
П6*1.2	35.41	6.01	29.40			30
П7*1.2	37.25	6.04	31.21			40
П1*1.3	52.38	5.88	46.50			50
П2*1.3	51.50	5.85	45.65			50
П3*1.3	50.60	6.02	44.58	52.20	46.18	50
П4*1.3	35.71	6.03	29.68	41.20	35.17	40
П4А*1.3	37.75	6.03	31.72			40
П5*1.3	34.25	6.04	28.21			30
П5А*1.3	35.15	6.04	29.11			30
П6А*1.3	34.46	6.06	28.40			30
П8*1.3	38.81	6.01	32.80			40
П9*1.3	33.68	6.08	27.60			30
П10*1.3	35.71	6.11	29.60			30
П1*1.4	52.50	6.07	46.43			50
П2*1.4	52.60	6.11	46.49			50
П3*1.4	49.10	6.09	43.01	51.80	45.71	50
П4*1.4	35.51	6.01	29.50	41.20	35.19	40
П4А*1.4	34.46	6.06	28.40			30
П5*1.4	35.05	6.04	29.01			30

Продолжение таблицы 3.2

Наименование в БИНГ	Мах изм. уровень, м	Отм. оголовка, м	Мах измеренный напор, м	К2, м	Напор с учетом К2, м	Диапазон датчика, м
П5А*1.4	34.88	6.08	28.80			30
П7*1.4	35.45	6.08	29.37			30
П1*1.5	49.10	5.98	43.12			50
П2*1.5	47.48	5.98	41.50			50
П3*1.5	45.12	6.12	39.00	48.60	42.48	50
П4*1.5	33.59	6.04	27.55	41.20	35.16	40
П4А*1.5	35.32	6.12	29.20			30
П5*1.5	35.12	6.04	29.08			30
П5А*1.5	34.99	6.1	28.89			30
П6*1.5	34.55	6.15	28.40			30
П7*1.5	35.57	6.14	29.43			30
П8*1.5	37.47	6.07	31.40			40
П9*1.5	35.17	5.97	29.20			30
П1*1.6	52.02	5.95	46.07			50
П2*1.6	44.94	5.96	38.98			40
П4*1.6	37.76	6.02	31.74	41.20	35.18	40
П4А*1.6	33.49	6.09	27.40			30
П5А*1.6	34.40	6.04	28.36			30
П6*1.6	35.01	6.08	28.93			30
П6А*1.6	34.43	6.01	28.42			30
П7*1.6	30.86	6.06	24.80			30
П1*1.7	50.00	5.96	44.04			50
П2*1.7	48.20	5.94	42.26			50
П3*1.7	37.45	5.95	31.50	42.00	36.05	40

Продолжение таблицы 3.2

Наименование в БИНГ	Мах изм. уровень, м	Отм. оголовка, м	Мах измеренный напор, м	К2, м	Напор с учетом К2, м	Диапазон датчика, м
П4*1.7	34.83	5.83	29.00	41.20	35.37	40
П4А*1.7	34.88	5.88	29.00			30
П5*1.7	35.02	6.01	29.01			30
П5А*1.7	34.69	5.89	28.80			30
П6*1.7	34.72	5.92	28.80			30
П6А*1.7	33.00	5.89	27.11			30
П7*1.7	34.02	5.82	28.20			30
П1*1.8	44.14	6.14	38.00			40
П2*1.8	43.06	6.15	36.91			40
П3*1.8	40.00	6.12	33.88	42.80	36.68	40
П4*1.8	35.13	6.13	29.00	41.20	35.07	40
П4А*1.8	34.86	6.04	28.82			30
П5*1.8	35.07	6.06	29.01			30
П5А*1.8	34.87	6.07	28.80			30
П6*1.8	35.01	6.13	28.88			30
П6А*1.8	34.87	6.07	28.80			30
П7*1.8	35.10	6.15	28.95			30
П7А*1.8	33.65	6.12	27.53			30
П8*1.8	39.53	6.13	33.40			40
П9*1.8	35.37	6.17	29.20			30
П10*1.8	35.60	6.2	29.40			30
П1*1.9	47.99	5.99	42.00			50
П2*1.9	44.56	6.06	38.50			40
П3*1.9	36.57	5.96	30.61	41.50	35.54	40

Продолжение таблицы 3.2

Наименование в БИНГ	Мах изм. уровень, м	Отм. оголовка, м	Мах измеренный напор, м	К2, м	Напор с учетом К2, м	Диапазон датчика, м
П4*1.9	35.07	6	29.07	41.20	35.20	40
П4А*1.9	35.13	5.93	29.20			30
П5*1.9	35.01	5.96	29.05			30
П5А*1.9	34.64	5.99	28.65			30
П6*1.9	35.10	6.01	29.09			30
П6А*1.9	34.40	5.97	28.43			30
П7*1.9	38.51	5.92	32.59			40
П7А*1.9	35.33	5.88	29.45			30
П1*1.10	47.90	5.87	42.03			50
П2*1.10	46.86	5.86	41.00			50
П3*1.10	42.90	5.81	37.09	45.80	39.99	40
П4*1.10	35.02	5.78	29.24	41.20	35.42	40
П4А*1.10	35.91	5.81	30.10			30
П5*1.10	34.82	5.75	29.07			30
П5А*1.10	35.59	5.99	29.60			30
П6А*1.10	37.01	5.81	31.20			40
П7*1.10	39.40	6.07	33.33			40
П7А*1.10	28.93	5.79	23.14			30
П8*1.10	39.31	5.81	33.50			40
П9*1.10	35.93	5.79	30.14			30

Таблица 3.3 – Выбор диапазона измерений датчиков уровня воды для безнапорных пьезометров.

Наименование в БИНГ	Макс. изм., м	Мин. изм., м	Отм. датчика, м	Макс. измеренный напор, м	Диапазон датчика, м.в.с.
П5И*1.3	34.05	27.95	26	8.05	10
П15И*1.4	51.95	45.08	44	7.95	10
П2И*1.6	52.42	45.76	44	8.42	10
П3И*1.9	38.22	29.04	28	10.22	10
П16И*1.9	48.76	40.05	39	9.76	10
П1_04*1.1	47.10	43.72	42	5.10	10
П102*1	34.02	28.61	27	7.02	10
П103*1	35.22	28.44	27	8.22	10
П104*1	36.91	28.70	27	9.91	10
П105*1	34.95	27.65	26	8.95	10
П106*1	35.08	28.51	27	8.08	10
П107*1	35.82	29.00	27	8.82	10

3.4 Выбор типов датчиков и основной телекоммуникационной аппаратуры

Для выбора датчиков и телекоммуникационной аппаратуры предварительно проработаны варианты автоматизированной системы опроса КИА (АСО КИА) применительно к условиям Жигулевской ГЭС.

3.4.1 Техничко-экономическое сравнение датчиков избыточного давления.

Техничко-экономическое сравнение выполнено для напорных пьезометров потерны здания ГЭС (на 7 датчиков давления). Рассмотрено 2

варианта системы АСО КИА, основанные на датчиках и аппаратуре двух поставщиков:

- промышленная группа «Метран» (Россия, г. Челябинск);
- компания ООО «Геолинк» (Россия, г. Москва).

Вариант 1. Аппаратура ПГ «Метран»

Рассмотрена автоматизированная система опроса КИА для напорных пьезометров насосной потерны здания ГЭС, реализованная на базе аппаратуры ПГ «Метран». Измерения осуществляются промышленными датчиками избыточного давления Метран 150 (диапазон измерения до 50м водяного столба, основная погрешность 0.1%, выход аналогового сигнала 4...20мА, питание 12...42В). Токовый сигнал с датчиков поступает на 8-канальные блоки аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) типа I-7017 (изготовитель аппаратуры серии I – фирма ICP/DAS, Тайвань). АЦП подключается к секционному контроллеру I-7188ХА сегментом сети промышленного интерфейса RS-485. Данные, считанные и обработанные секционными контроллерами по сети RS-485, передаются на центральный пункт сбора и обработки информации. Подключение сети RS-485 к серверу производится через контроллер PCI-161А-А Dual port RS-422/485 PCI card. Для питания отдельных блоков аппаратуры используются адаптеры напряжения Метран 604, имеющие 4 выхода стабилизированного напряжения 24В.

Датчик Метран 150-ДИ оснащен поворотным электронным блоком.

Состав и стоимость используемого оборудования и стандартизированного программного обеспечения представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Перечень и стоимость аппаратуры ПГ «Метран»

Наименование	Кол-во	Цена за	Стоимость,
1	2	3	4
Контроллер I-7188ХА	1	9 000	9 000

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4
АЦП I-7017	1	8 000	8 000
Блок питания Метран-604	1	7 000	7 000
Датчик давления Метран-150	6+1*	24 072	168 504
Интерфейсная плата PCI-161A- A Dual port RS-422/485 PCI	1	5 000	5 000
ICONICS «Genesys 32» 75 points Runtime System (**)	1	92 200	92 200
Итого			289 704

* - количество резервных датчиков.

(**) – стандартизированное программное обеспечение.

Вариант 2. Аппаратура ООО «Геолинк»

Планируется использование промышленных датчиков избыточного давления типа DMP-331i (изготовитель фирма BD SENSORS RUS - совместное производство Чехия - России; поставщик: ООО «Геолинк»). Датчики имеют диапазон измерений до 50м водяного столба, основная погрешность 0.1%, аналоговый выход 4...20мА, питание 12...36В. Для измерения и преобразования токового сигнала в цифровой код используются 8-х и/или 4-х каналные модули сбора данных типа НЕВОД (изготовитель ООО «Геолинк»), которые через стандартный контроллер CP-114is 4xRS-232/RS-485 соединены с центральным сервером АСО КИА. При использовании одного 2-х или 3-х парного кабеля, прокладываемого вдоль потерны здания ГЭС, создается независимый сегмент сети RS-485. Одна витая пара в кабеле и один свободный порт на контролере CP-114is остаются резервными. Это повышает надежность эксплуатации системы АСО КИА. Перечень и стоимость используемой аппаратуры и программных продуктов для второго варианта АСО КИА представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Перечень и стоимость аппаратуры ООО «Геолинк»

Наименование	Кол-	Цена за	Стоимость,
Шкаф настенный 380x380x210 мм	1	4 000	4 000
НЕВОД	1	12 000	12 000
Блок питания ~36-24 V	1	3 000	3 000
Датчик давления DMP-331i	6+1*	18 000	126 000
Контроллер CP-114is 4xRS-485	1	14 000	14 000
Программное обеспечение специализированное	1	40 000	40 000
Итого:			199 000

Примечания: Стоимость монтажных работ, монтажных приспособлений, кабельных линий не включена в оценку стоимости основного оборудования.

* - количество резервных датчиков.

Сопоставление вариантов

Сопоставление двух вариантов АСО КИА по стоимости датчиков, основной аппаратуры и программных средств показало, что вариант на базе аппаратуры ООО «Геолинк» дает снижение стоимости в 1.5 раза.

Анализ рынка промышленных датчиков давления показал, что датчики давления компании BD SENSORS RUS являются оптимальными по соотношению цена – качество. Непосредственно из каталогов аппаратуры ПГ «Метран» следует, что предлагаемые датчики давления используют в качестве основного измерительного элемента также датчики фирмы BD Sensors. Оснащенность датчиков Метран электронным блоком и ЖКИ для системы автоматизации измерений является излишней, так как опрос датчиков будет производиться автоматически без участия человека.

Компания ООО «Геолинк» является эксклюзивным представителем фирмы BD SENSORS RUS . Она поддерживает сертификацию датчиков BD Sensors в России.

Для датчиков и аппаратуры ООО «Геолинк» следует отметить важное преимущество, заключающееся в том, что они прошли практическую

проверку в реальных производственных условиях эксплуатации гидротехнических и промышленных объектов, таких как: Кислогубская ПЭС, Бурейская ГЭС, Воткинская ГЭС (датчики находятся в работе 2-3 года).

Проведенное сравнение технико-экономических показателей двух вариантов АСО КИА позволило обосновать выбор типа основной аппаратуры и датчиков давления для рабочего проекта автоматизации инструментальных наблюдений по напорным пьезометрам здания Жигулевской ГЭС.

3.4.2. Выбор датчиков линейных перемещений

Высокие требования к точности регистрации смещений (не хуже 0.1мм) в широком диапазоне температур (-40°C...+50°C), при сложных условиях эксплуатации вне помещений (класс защиты не менее IP67) и при диапазоне измерений до 100мм исключают использование традиционных датчиков линейных перемещений: потенциометрических, магнитоиндуктивных, емкостных, магниторезисторных, вихревых для контроля величины смещений по межсекционным швам бетонных сооружений.

Наличие значительных перемещений не только вдоль оси измерения, но и в перпендикулярных этой оси направлениях не позволяет использовать широко распространенные датчики контактного типа с закрепленным штоком. Кроме того, для датчиков контактного типа трудно обеспечить высокую надежность и долговечность в условиях длительной эксплуатации из-за наличия трущихся элементов.

Оптимальным решением является использование магнитострикционных бесконтактных датчиков перемещений, обладающих широким диапазоном измерений, необходимыми эксплуатационными характеристиками для установки их вне помещений, достаточно высокой точностью.

Данным требованиям удовлетворят датчики фирмы BALLUFF (Германия – США) и фирмы GEFRAN (Италия).

Сравнение по стоимости двух вариантов АСО КИА, основанных на разных магнитострикционных датчиках указанных фирм, приведено в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Сравнение двух вариантов АСО КИА

Наименование	Кол-во	Цена за	Стоимость,
1	2	3	4
Шкаф настенный 380x380x210 мм	1	4 000	4 000
НЕВОД	1	12 000	12 000
Блок питания ~36-24 V	1	3 000	3 000
Датчик перемещения Balluff	6+1*	22 000	154 000
Контроллер CP-114is 4xRS-485	1	14 000	14 000
Программное обеспечение специализированное	1	40 000	40 000
Итого:			227 000
Наименование	Кол-во	Цена за	Стоимость,
Шкаф настенный 380x380x210 мм	1	4 000	4 000
НЕВОД	1	12 000	12 000
Блок питания ~36-24 V	1	3 000	3 000
Датчик перемещения Gefran	6+1*	26 000	182 000
Контроллер CP-114is 4xRS-485	1	14 000	14 000
Программное обеспечение специализированное	1	40 000	40 000
Итого:			255 000

* - количество резервных датчиков.

Датчики фирмы GEFRAN имеют меньший, по сравнению с датчиками фирмы BALLUFF, диапазон рабочих температур, а также меньший диапазон

допустимых поперечных смещений магнита (± 8 мм). В связи с этим для измерения линейных перемещений на Жигулевской ГЭС целесообразно использовать магнитострикционные датчики фирмы BALLUFF.

Заключение по выбору датчиков линейных перемещений

В качестве основного типа датчиков линейных перемещений для автоматизации щелемерных наблюдений на бетонных сооружениях Жигулевской ГЭС рекомендуются магнитострикционные датчики фирмы BALLUFF (Германия – США) серии BTL5.

3.4.3 Общий итог по выбору типов датчиков

При выборе конкретных типов и параметров датчиков был учтен факторы экономичности, требуемых условий эксплуатации КИА и основные метрологические характеристики датчиков: диапазон измерений, погрешность, вид выходного сигнала, долговременная стабильность, периодичность поверок и др. Учитывалось также соотношение цена-качество, проанализированное для известных промышленных (серийных) датчиков. Был принят во внимание также имеющийся опыт эксплуатации датчиков на ГЭС. С учетом всего комплекса указанных факторов были выбраны следующие датчики:

- для измерений в напорных пьезометрах приняты датчики давления DMP-331i (погрешность 0.1%, фирма изготовитель BD Sensors RUS, г. Москва);

- для измерений в безнапорных пьезометрах применены датчики уровня жидкости погружного типа LMP-308 (погрешность 0.25%, фирма изготовитель BD Sensors RUS, г. Москва);

- для измерений линейных перемещений на щелемерах приняты магнитострикционные датчики BALLUFF BTL5 (диапазон измерений 0...50 мм и 0...100 мм, погрешность 0.1 мм, изготовитель фирма BALLUFF, Германия).

3.4.4 Выбор основной телекоммуникационной аппаратуры для интеграционных шкафов

Основное оборудование интеграционных шкафов – модули распределенного сбора данных. Также в интеграционных шкафах располагаются источник питания, двухполюсный выключатель и другое оборудование. Технико-экономическое сравнение выполнено для модулей распределенного сбора данных фирмы ООО «Геолинк» и фирма «ICP-DAS».

Модули распределенного сбора данных фирмы ООО «Геолинк»:

Модуль сбора данных и управления НЕВОД предназначен для использования в распределенных системах сбора данных и управления технологическими процессами. Модуль НЕВОД представляет собой универсальный 8-ми или 4-х канальный вторичный преобразователь аналоговых сигналов датчиков в цифровой код физического последовательного интерфейса RS-485. Модуль осуществляет измерение аналоговых сигналов, их преобразование в цифровую форму и масштабирование, а также обмен командами и данными по протоколу ADAM-4000 (Advantech) и физическому интерфейсу RS-485. Модуль может поставляться с клавиатурой для настройки режимов работы и с жидкокристаллическим индикатором (ЖКИ) для отображения состояния входов/выходов. Имеет диапазон рабочих температур: 0...70°C для версии с ЖКИ; -40...70°C для версии без ЖКИ.

Модули распределенного сбора данных фирмы «ICP-DAS»:

Аналогово-цифровой преобразователь I-7017RC также как и НЕВОД предназначен для использования в распределенных системах сбора данных. Модуль I-7017RC представляет собой 8-канальный модуль аналогового ввода. Модуль осуществляет измерение аналоговых сигналов, их преобразование в цифровую форму, а также обмен командами и данными по протоколу ADAM-4000 (Advantech) и физическому интерфейсу RS-485. Поставляется без ЖКИ.

Заключение по выбору модулей распределенного сбора данных

В качестве основного варианта выбраны модули фирмы ООО «Геолинк», так как по сравнению с модулями фирмы «ICP-DAS» они имеют ЖКИ дисплей для настройки модуля сбора непосредственно в точке установки, что как показал опыт, является весьма полезной и актуальной функцией.

3.5 Технические характеристики датчиков и основной аппаратуры системы автоматизации

Датчики давления DMP-331i

DMP-331i – универсальный сравнительно недорогой датчик давления, применяемый в различных отраслях промышленности, преобразующий давление рабочей среды на мембрану датчика в электрический сигнал унифицированного типа. Корпус датчика изготавливают из нержавеющей стали, стандартное уплотнение – витон (FMK). Благодаря многообразию значений диапазона измерений датчики DMP-331i применимы для решений широкого круга задач. Датчик давления DMP-331i представлен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 - Датчики давления DMP-331i

Основные технические характеристики датчика DMP-331i:

- выходные сигналы стандартно – 4...20 мА/ 2-х проводной, дополнительно – 0...20 мА/ 3-х проводной, 0...10 В/ 3-х проводной и другие;
- точность по IEC 60770 во всем диапазоне измерений (нелинейность, гистерезис, повторяемость) – 0.1% от полного диапазона значений (FSO);
- долговременная стабильность - $\pm 0.1\%$ FSO/год;
- срок службы более $100 \cdot 10^6$ циклов;
- влияние температур на точность при номинальном давлении > 1.0 бар
- $\pm 0.02\%$ FSO/10°C;
- диапазон компенсации влияния температур - 0...70°C;
- электрическое присоединение - стандартно IP65, по заказу - IP68 (разъем Виссaneer);
- механическое присоединение стандартно - G1/2" DIN 3852 или M20x1.5;
- время отклика менее < 40 мс;
- выходной ток менее 25 мА;
- установочное положение: любое;
- вес – 180-200 г.

Погружные зонды для измерения уровня воды LMP-308

LMP-308 – погружной зонд предназначен для измерения уровня жидкостей, не агрессивных к нержавеющей стали. Зонд подвешивается на собственном гидрометрическом кабеле, имеющем пустотелую жилу.

Для снижения эксплуатационных расходов соединение зонда с кабелем осуществляется при помощи специального разъема, что позволяет при необходимости произвести замену датчика.

Предусмотрена активная компенсация отклонений характеристик чувствительного элемента: компенсация нелинейности, компенсация влияния температур. Погружной зонд для измерения уровня воды LMP-308 представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 - Погружной зонд для измерения уровня воды LMP-308

Основные технические характеристики датчиков LMP-308:

- выходные сигналы стандартно – 4...20 мА/ 2-х проводной;
- точность по IEC 60770 во всем диапазоне измерений (нелинейность, гистерезис, повторяемость) для LMP-308 – стандартно 0.35% от полного диапазона значений (FSO), дополнительно по заказу 0.25 %;
- долговременная стабильность - $\pm 0.1\%$ FSO/год;
- срок службы более $100 \cdot 10^6$ циклов;
- влияние температур на точность при номинальном давлении > 1.0 бар
- для LMP-308 $\pm 0.07\%$ FSO/10К;
- диапазон компенсации влияния температур - $0 \dots 70^\circ\text{C}$;
- электрическое присоединение - IP68;
- выходной ток менее 25 мА;
- вес – 250 г.

Датчики линейных перемещений магнитострикционные BTL5
BALLUFF

В качестве основного типа датчиков линейных перемещений для автоматизации щелемерных наблюдений на здании Жигулевской ГЭС приняты магнитострикционные датчики серии BTL5 фирмы Баллуфф (Германия), рисунок 3.3.



Рисунок 3.3 - Магнитострикционный датчик BTL5

Магнитоотрицательные датчики предполагается использовать для долговременного прецизионного контроля величины смещений по швам в гидротехнических сооружениях. Они применяются в системах, где нужно обеспечить высокую точность и разрешающую способность при любых, в том числе относительно больших перемещениях. Принцип работы магнитоотрицательных датчиков представлен на рисунке 3.4 и основан на измерении времени прохождения механической волны (ультразвуковой сигнал) до позиции, определяемой положением магнита.

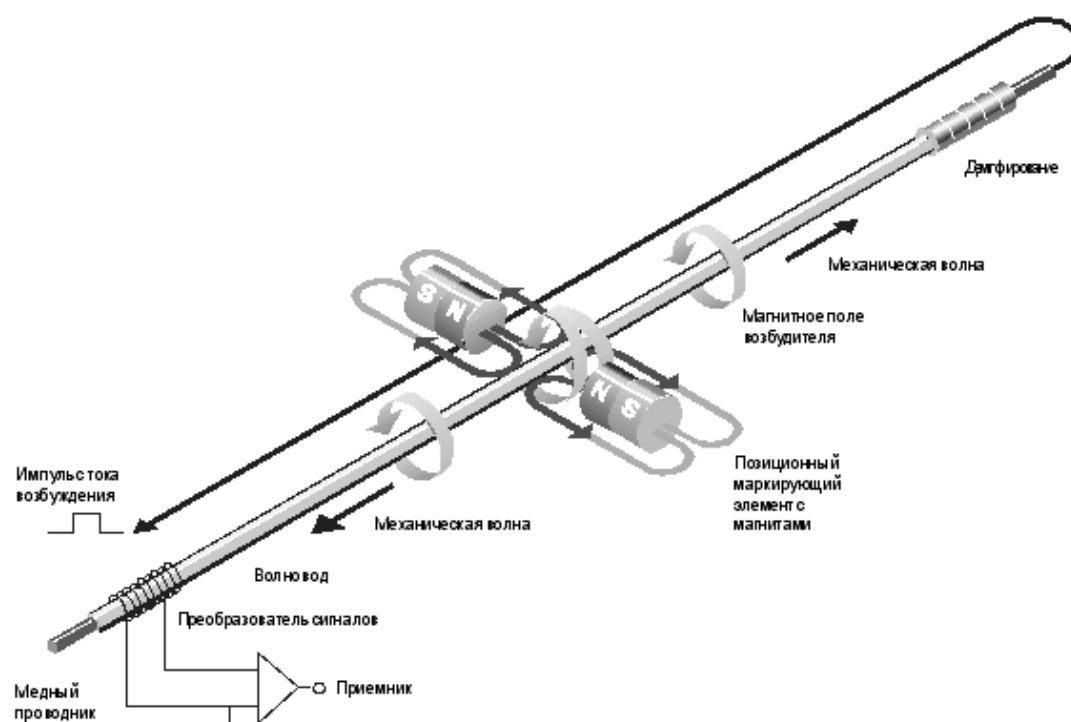


Рисунок 3.4 - Принцип работы магнитоотрицательных датчиков перемещений

Измерительный элемент, волновод, изготовлен из железоникелевого сплава, обладающего низким температурным коэффициентом. Он выполнен в виде трубки с диаметром менее 1 мм. Медный проводник проходит по всей длине этой трубки. Измерительный процесс инициируется коротким импульсом тока. Этот ток генерирует магнитное поле, которое распространяется вдоль волновода. В измеряемой точке перемещения в

качестве маркирующего элемента устанавливается постоянный магнит, магнитные линии которого перпендикулярны линиям электромагнитного поля волновода. В области, где магнитные поля пересекаются, магнитострикционный эффект вызывает упругую деформацию волновода, которая порождает механическую волну. Скорость распространения этой волны в волноводе практически не чувствительна к внешним факторам (температуре, загрязнению, вибрации). Компонента волны, которая достигает дальнего конца волновода, подавляется (область демпфирования), тогда как сигнал, поступающий на передний конец волновода регистрируется преобразователем. Время прохождения механической волны от точки ее возникновения до преобразователя сигналов прямо пропорционально расстоянию между постоянным магнитом и преобразователем. Измерение времени прохождения сигнала позволяет измерить расстояния с чрезвычайно высокой точностью, вплоть до нескольких микрон.

Магнитострикционные датчики Баллуфф, благодаря жесткому корпусу, оптимально подходят для измерений в диапазоне перемещений от 50 до 4000 мм при самых неблагоприятных условиях окружающей среды. Для интегрирования в систему контроля фирма BALLUFF предлагает различные форматы выходного сигнала. По сравнению с другими измерительными системами, магнитострикционные датчики Баллуфф обладают следующими преимуществами:

- нечувствительность к ударам, вибрациям, влиянию температур, загрязнению, влажности и помехам, создаваемыми электромагнитными полями;
- неизнашиваемость и отсутствие потребности в уходе благодаря бесконтактному принципу работы;
- наличие абсолютного выходного сигнала; даже после прерывания электропитания нет необходимости устанавливать начальный отсчет;
- высокое разрешение, повторяемость и линейность;
- магнит не нуждается в электропитании;

- поперечные смещения магнита от оси волновода до 15 мм
- класс защиты IP 67 по IEC 60529

Основные технические характеристики датчиков линейных перемещений BTL-5 представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Технические характеристики датчиков линейных перемещений BTL-5

Класс защиты	IP67
Диапазон измерений, мм	50 и 100
Выходной сигнал	4...20 мА, CANopen
Разрешение	2 мкм
Гистерезис	4 мкм
Повторяемость	6 мкм
Максимальная нелинейность	±100 мкм
Температурный коэффициент (*)	0.6 $\text{мкА}/^{\circ}\text{C} + (10\text{ppm}/^{\circ}\text{C} \times P \times I/NL) \times \Delta T$
Температурный диапазон	-40°C ... +85°C
Вибрация	12g, 10...2000 Гц
Защита от переплюсовки	Есть
Защита от перенапряжения	Есть
Материал корпуса	Анодированный алюминий
Потребление тока	<150 мА
Питание	20 В 28 В

(*) I – выходной ток, NL – номинальная длина, P – положение магнита, ΔT – разность температур; 10ppm=10*10⁻⁶ – относительная деформация.

Модуль сбора данных НЕВОД

Модуль сбора данных и управления НЕВОД предназначен для использования в распределенных системах сбора данных и управления технологическими процессами. Модуль НЕВОД представляет собой универсальный 4-х или 8-ми канальный вторичный преобразователь аналоговых сигналов датчиков в цифровой код физического

последовательного интерфейса RS-485. Модуль осуществляет измерение аналоговых сигналов, их преобразование в цифровую форму и масштабирование, а также обмен командами и данными по последовательному интерфейсу RS-485. Совместим по набору команд с аппаратурой серии ADAM-4000 (Advantech). Имеет широкий диапазон рабочих температур. Модуль может поставляться с клавиатурой для настройки режимов работы и с жидкокристаллическим индикатором для отображения состояния входов/выходов.

Модуль сбора данных НЕВОД представлен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 - Модуль сбора данных НЕВОД

Технические характеристики:

- аналоговые входы – 4 или 8 дифференциальных, различные диапазоны сигналов;
- обмен по интерфейсу RS-485 (2-х проводной) на скоростях 9600-115200 бит/с;
- погрешность <0.1% FSO;
- номинальное напряжение питания – 12 В (допустимое 10...29 В);
- напряжение питания допустимое – 10-30 В;
- потребляемая мощность – не более 2 Вт;
- гальваническая развязка по аналоговым входам – 500 В;
- габаритные размеры – 116x70x65 мм;
- способ установки – на DIN-рейку.

Для электропитания модулей НЕВОД и одновременно датчиков давления ООО «Геолинк» выпускает специализированные источники питания AGP-24-1 от сети ~ 220В и AGP-36/24-1 от сети ~ 36В.

Контроллер – РС плата преобразователя интерфейса

1) Контроллер ввода/вывода – PCI адаптер в виде компьютерной платы модели CP-114is 4xRS-232/485 устанавливается на шинах сервера сбора данных. Адаптер служит для преобразования цифровых сигналов интерфейса RS-485 в кодовые сигналы COM-порта компьютера (интерфейс RS-232). PCI адаптер указанной модели имеет защиту выходов от импульсных помех на 25 кВ, гальваническую опторазвязку на 2000В. На одну плату PCI адаптера может быть подключено 4 сегмента линий RS-485. Максимальная скорость передачи данных 921.6 Кбод. Имеет встроенный резистор-терминатор на 120 Ом. Поддерживает ОС Windows 2000/XP. Выпускается фирмой MOXA (Тайвань) в качестве серийного устройства для ПК. PCI адаптер модели CP-114is 4xRS-232/485 представлен на рисунке 3.6.

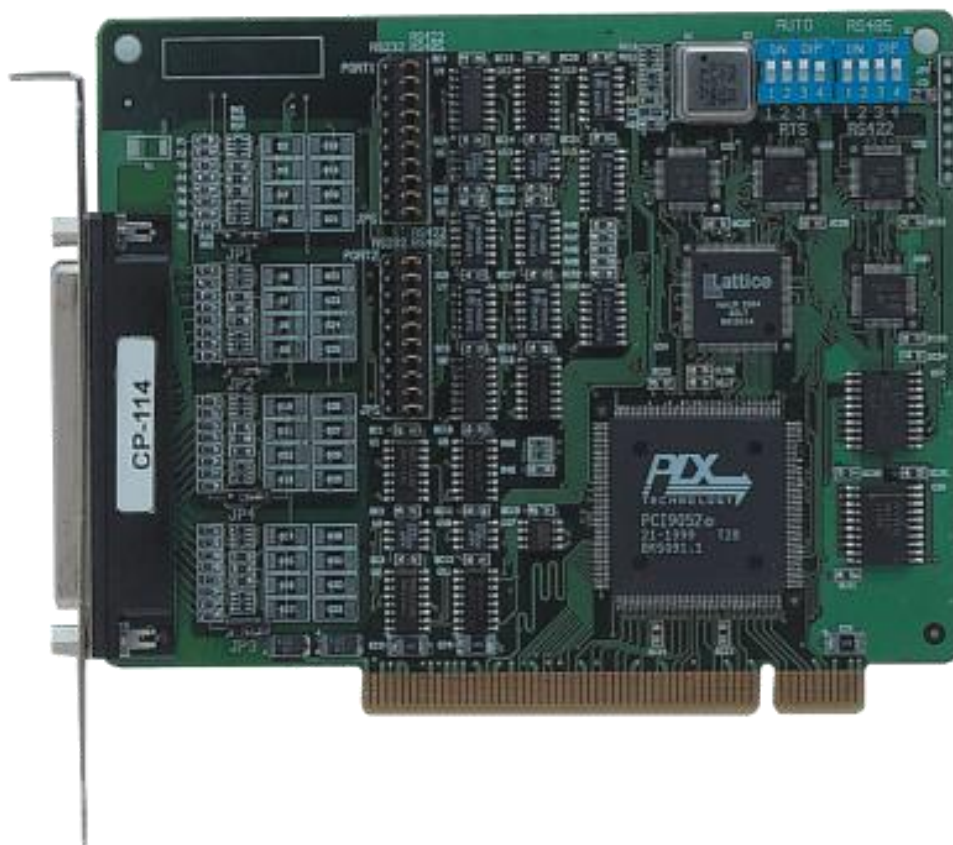


Рисунок 3.6 - Контроллер ввода/вывода – PCI адаптер модели CP-114is

2) Плата PCI-7841 – 2-х портовый PCI адаптер интерфейса CANbus изготовлен в виде компьютерной платы, устанавливаемой в сервер сбора данных и служит для преобразования цифровых сигналов интерфейса CAN в кодовые сигналы COM-порта компьютера (интерфейс RS-232). Данный адаптер имеет два независимых порта CAN интерфейса и гальваническую опторазвязку на 2500В. Поддерживает ОС Windows. Максимальная скорость передачи данных 1000 Кбод. 2-х портовый PCI адаптер интерфейса PCI-7841 представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 - 2-х портовый PCI адаптер интерфейса PCI-7841

Указанные выше аппаратные средства охватывают основные элементы системы АСО КИА. Остальное оборудование представлено серийными компьютерными устройствами в промышленном и офисном исполнении: ПК-сервер, ЖК-монитор, клавиатура, блоки бесперебойного питания, а также некоторыми другими устройствами, играющими вспомогательную роль.

Блок питания АРР

Стабилизированный источник питания предназначен для питания маломощных электрических приборов и устройств в составе промышленных измерительных комплексов.

Источник питания относится к импульсному типу и преобразует напряжение промышленной сети в постоянное напряжение 24В. Источник

питания имеет 4 параллельных гальванически неразвязанных стабилизированных выхода с суммарным максимальным током нагрузки 2А и светодиодной индикацией наличия выходного напряжения. Изготавливается в пластиковом корпусе с защелкой для крепления на DIN-рейке. Блок питания АGR представлен на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 - Блок питания АGR-24-1

Технические характеристики:

- номинальное входное напряжение – АGR24-1 – 220В, АGR36/24-1 – 36В;
- количество выходов постоянного тока – 4;

- номинальное выходное напряжение – 24В;
- максимальный суммарный ток нагрузки по всем 4 каналам – 2000 мА;
- допустимый температурный диапазон – от - 20 до + 50 °С;
- габаритные размеры – 70x94x51 мм;
- тип DIN-рейки – 35x7,5 мм.

Прибор обеспечивает:

- подавление радиопомех;
- защиту силовых компонентов при перегрузке и коротком замыкании

нагрузки.

Многофункциональный измерительный комплекс АДУ-02

АДУ-02 – это многофункциональный измерительный комплекс с возможностями передачи как текущих, так и накопленных значений физических величин через коммуникационный модуль (радиомодем «НЕВОД-5» или GSM-модем «НЕВОД GSM»), либо через последовательный com-порт. Многофункциональный измерительный комплекс АДУ-02 представлен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 - Многофункциональный измерительный комплекс АДУ-02

Комплекс АДУ-02 предназначен для организации автономных систем долговременного мониторинга. На базе комплексов АДУ-02 могут строиться системы гидрологического, гидрогеологического, метеорологического, экологического мониторинга, системы безопасности гидросооружений, автономные системы контроля технологических процессов. Для установки на оголовке безнапорного пьезометра комплекс АДУ-02 выпускается в комплектации с автономным питанием, радиомодемом и вандалозащищенным корпусом.

Технические характеристики АДУ-02 с радиомодемом:

- аналоговые входы – 2 дифференциальных;
- диапазон входного аналогового сигнала – 0...20 мА;

- основная погрешность измерения тока $<0.1\%$;
- номинальное напряжение питания – 4 В;
- напряжение питания допустимое – 3-6 В;
- потребляемая мощность – не более 2 Вт;
- диапазон рабочих температур $-40\dots70^{\circ}\text{C}$;
- габаритные размеры – $300\times\text{Ø}140$ мм (оголовок пьезометра);
- модуль связи – радиомодем Невод-5.

Радиомодем для систем телеметрии НЕВОД-5

Радиомодем НЕВОД-5 предназначен для передачи и приема цифровой информации при работе в составе распределенных сетей телеметрии, управления и автоматизации технологических процессов. Радиомодем для систем телеметрии НЕВОД-5 представлен на рисунке 3.9.

Радиомодем представляет собой программно-управляемое приемно-передающее устройство, преобразующее сигналы стандартных последовательных интерфейсов RS-232 или RS-485 в радиочастотные посылки и обратно. Конфигурация радиомодема осуществляется через последовательный интерфейс набором команд.



Рисунок 3.9 - Радиомодем НЕВОД-5

Технические характеристики:

- напряжение питания – 10...25 В;
- потребляемый ток в режиме приема (от 12 В) – 80 мА;
- потребляемый ток в режиме передачи (от 12 В) – 150 мА;
- выходная мощность передатчика – 10 мВт;
- волновое сопротивление нагрузки – 50 Ом;
- допустимый температурный диапазон – -40...70°C;
- внешний интерфейс – RS-485;
- габаритный размеры – 118x70x50 мм;
- способ установки – DIN-рейка.

3.6 Схемы и оборудование системы телекоммуникаций

Принципиальная схема телекоммуникаций

При разработке принципиальной схемы телекоммуникаций на здании ГЭС была использована разбивка датчиков на группы по условиям их расположения. Исходя из этого, были выбраны места размещения интеграционных шкафов. Всего на здании ГЭС намечено 33 группы датчиков и соответственно 33 интеграционных шкафа. Кроме того, создается группа датчиков с интерфейсом CANopen и группа радиочастотных датчиков. Принципиальная схема телекоммуникаций в здании ГЭС, включающая 6 сегментов линий RS-485, один сегмент CANbus и один сегмент радиочастотных датчиков, представлена на рисунке 3.10.

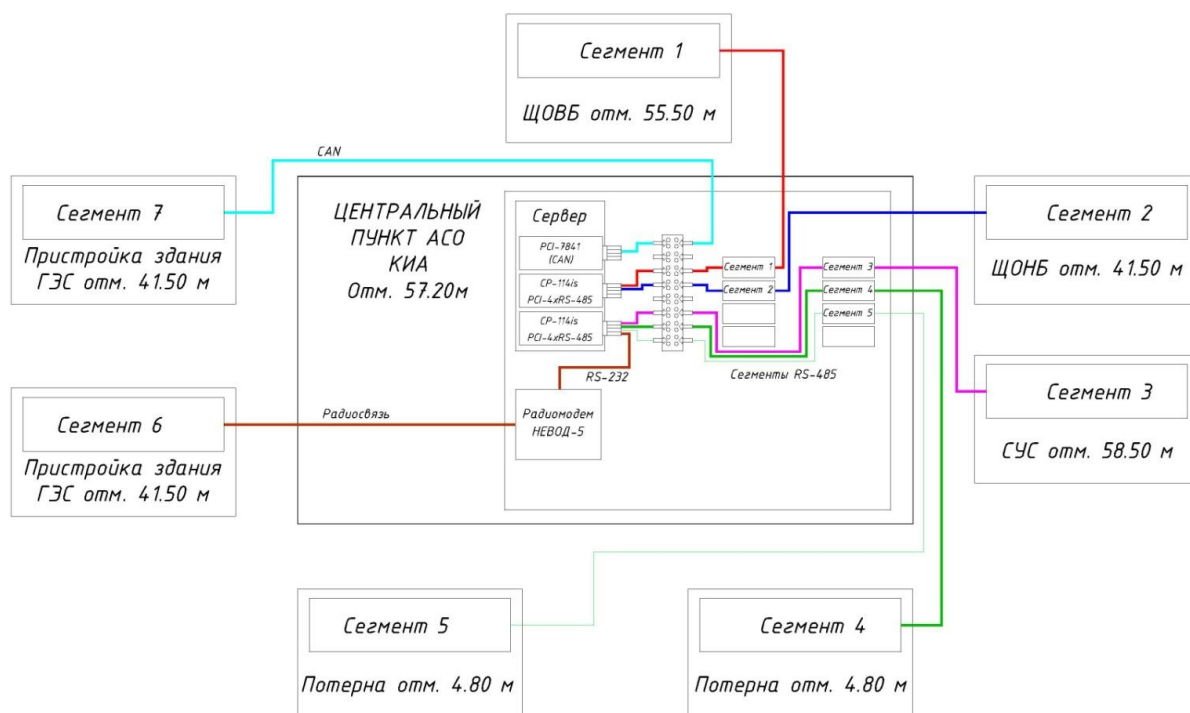


Рисунок 3.10 – Принципиальная схема телекоммуникаций АСО КИА

Сегментация принята исходя из расположения шкафов и технической возможности их объединение в линию «шинной» топологии, так чтобы оптимально довести проводную связь до центрального пункта сбора данных на ГЭС (помещение линейно-аппаратного зала АСДТУ).

Сегмент 1 цифровой линии RS-485 охватывает 6 интеграционных шкафов в щитовом отделении верхнего бьефа здания ГЭС. Предназначен для коммутации датчиков на щелемерах, расположенных на отметке 55.5 м. Сегмент 1 собирает информацию от 11 точек расположения трехмерных щелемеров. От каждого датчика щелемера аналоговый сигнал подается в настенный шкаф на модуль сбора данных НЕВОД. От модулей сбора данных цифровой сигнал по сегменту линии RS-485 (витая пара в цифровом кабеле) подается в центральный пункт сбора данных на вход контроллера CP-114is (PCI-шина сервера сбора данных). Сегмент 1 объединяет 33 измерительных канала.

Сегмент 2 цифровой линии RS-485 охватывает 6 интеграционных шкафов на нижнем щитовом отделении здания ГЭС, расположенных на отметке 41.3 м. Сегмент 2 собирает информацию от трехмерных щелемеров и безнапорного пьезометра. Сегмент 2 объединяет 34 измерительных канала.

Сегмент 3 цифровой линии RS-485 охватывает 11 интеграционных шкафов на СУСе. Предназначен для коммутации датчиков, расположенных на отметке 58.5 м. Сегмент 3 собирает информацию от трехмерных щелемеров и безнапорных пьезометров. Сегмент 3 объединяет 71 измерительный канал.

Сегмент 4 цифровой линии RS-485 охватывает 5 интеграционных шкафов в потерне здания ГЭС. Предназначен для коммутации датчиков, расположенных на отметке 4.8 м. Сегмент 4 собирает информацию от двухмерных щелемеров и напорных пьезометров, расположенных в секциях 6-10. Сегмент 4 объединяет 65 измерительных каналов.

Сегмент 5 цифровой линии RS-485 охватывает 5 интеграционных шкафов в потерне здания ГЭС. Предназначен для коммутации датчиков, расположенных на отметке 4.8 м. Сегмент 5 собирает информацию от двухмерных щелемеров и напорных пьезометров, расположенных в секциях 1-5. Сегмент 5 объединяет 55 измерительных каналов.

Сегмент 6 цифровой линии RS-485 охватывает 6 безнапорных пьезометров на пристройке здания ГЭС, оборудованных радиопередающей аппаратурой (АДУ-02). Сигнал от них поступает на приемно-передающую антенну, установленную на крыше административного здания. От приемно-передающей антенны данные по кабелю передаются в центральный пункт сбора данных. Сегмент 6 объединяет 6 измерительных каналов.

Сегмент 7 цифровой линии CANbus охватывает 30 датчиков перемещений на трехмерных щелемерах, установленных на пристройке здания ГЭС. Сегмент 7 объединяет 30 измерительных каналов.

Интеграционные шкафы

Общее количество интеграционных (телекоммуникационных) настенных шкафов типоразмера 380x380x210мм составляет 33 шт. Шкафы делятся по исполнению на 2 типа: для внутренних помещений обычное исполнение и для наружных условий – специальное исполнение с теплоизоляцией стенок, системой терморегулирования и грозозащитой для размещения вне помещений или внутри холодных помещений, температура в которых может быть отрицательной. По комплектации модулями сбора данных в зависимости от числа присоединяемых к шкафу датчиков шкафы подразделяются на три вида: с одним, двумя и тремя модулями НЕВОД.

Общие сведения по комплектации всех шкафов модулями сбора данных собраны. Кроме модулей сбора данных в каждом шкафу устанавливаются источник питания AGP-24-1 (или AGP-36/24-1. Комплект) и автоматический двухполюсный выключатель. Кроме того в шкафах наружного исполнения предназначенных для установки вне помещений предусмотрена установка модулей грозозащиты НЕВОД+З. Теплонагреватель SK3106.000 и терморегулятор SK3110.000 устанавливаются во всех шкафах наружного исполнения. На нижней кабельной панели настенных шкафов запроектирована установка кабельных гермовводов (сальников) под два номинала диаметров кабеля: PG-9 (Дкаб=5-10 мм) и PG-13.5 (Дкаб=8-12 мм).

Также каждый шкаф оборудован сигнализацией на открытие-закрытие дверцы.

Размещение аппаратуры в интеграционных шкафах и их монтажные схемы представлены на рисунке. Шкафы предназначены для монтажа на бетонных стенах или металлических конструкциях с применением кронштейнов штатного типа. Шкафы поставляются под монтаж в собранном виде с предварительно отлаженной аппаратурой.

Клеммные коробки

На пристройке здания ГЭС намечено установить 10 клеммных коробок типоразмера 305x230x100мм. Клеммные коробки предназначены для коммутации щелемеров, расположенных на пристройке здания ГЭС, в единую «шину» цифрового интерфейса CANbus с использованием аппаратуры, поддерживающей телекоммуникационный протокол CANopen.

Клеммные коробки устанавливаются рядом с датчиками щелемеров на специальные держатели в швы на пристройке здания ГЭС.

Трансформаторные шкафы

По условиям питания настенных шкафов в потерне здания ГЭС принято использовать электропитание 36 В. Для этого в составе оборудования АСО КИА предусмотрены два трансформаторных шкафа размером 400x500x210 мм, каждый с одним понижающими трансформатором 220/36, 250 Ватт.

В южной и северной частях насосной потерны предполагается установить трансформаторные шкафы, необходимые для преобразования напряжения из 220 В в 36 В.

Центральный пункт сбора данных АСО КИА

Все кабели проводных сегментов цифровых линий (RS-485, CANbus) и антенный кабель беспроводного сегмента заводятся в центральный пункт сбора данных. Центральный пункт сбора данных представляет собой: шкаф-стойку с промышленным сервером, платами преобразователя интерфейса CP-114is 4xRS-232/485 для сегментов цифровых линий RS-485 и PCI-7841 для

CAN-интерфейса; источник бесперебойного питания; монитор; регулируемый преобразователь напряжения на 110В; специализированное программное обеспечение.

Схемы электропитания

Каждый интеграционный шкаф и центральный блок АСО КИА на ГЭС запитываются от электросети 220В. Питание 36В к интеграционным шкафам, расположенным в потерне здания ГЭС, подается с южной и северной сторон потерны через трансформаторные шкафы. К клеммным коробкам, устанавливаемым на пристройке здания ГЭС питание 110В, подается параллельно «шине» цифрового интерфейса CAN (в общем кабеле) непосредственно из шкафа-стойки центрального пункта сбора данных.

Описание работ по прокладке линий электропитания, включая кабельный журнал, дано в разделе 9.6.

Система обогрева пьезометрических скважин

Пьезометры, расположенные на СУСе (П15И, П2И) и ЩОНБ (П5И), в холодный период года замерзают. В связи с этим в проекте предусмотрен их обогрев. Обогревать пьезометрические скважины необходимо только несколько месяцев в году, а в остальные месяцы электропитание от них должно быть отключено, для этого в соответствующих интеграционных шкафах (Ш-10, Ш-18, Ш-20) устанавливается дополнительный двухполюсный выключатель. От шкафов до каждого пьезометра в металлорукаве прокладывается силовой провод ПВС 3x1,5 мм², герметично соединенный с нагревательным кабелем (DEVI iceguard-18), который в свою очередь опускается непосредственно в пьезометрическую скважину.

Описание системы электрообогрева пьезометров Жигулевской ГЭС

Система обогрева пьезометрической трубы показана схематично на рисунке 3.11.

Конструкция обогревательных элементов показана на рисунке 3.12.

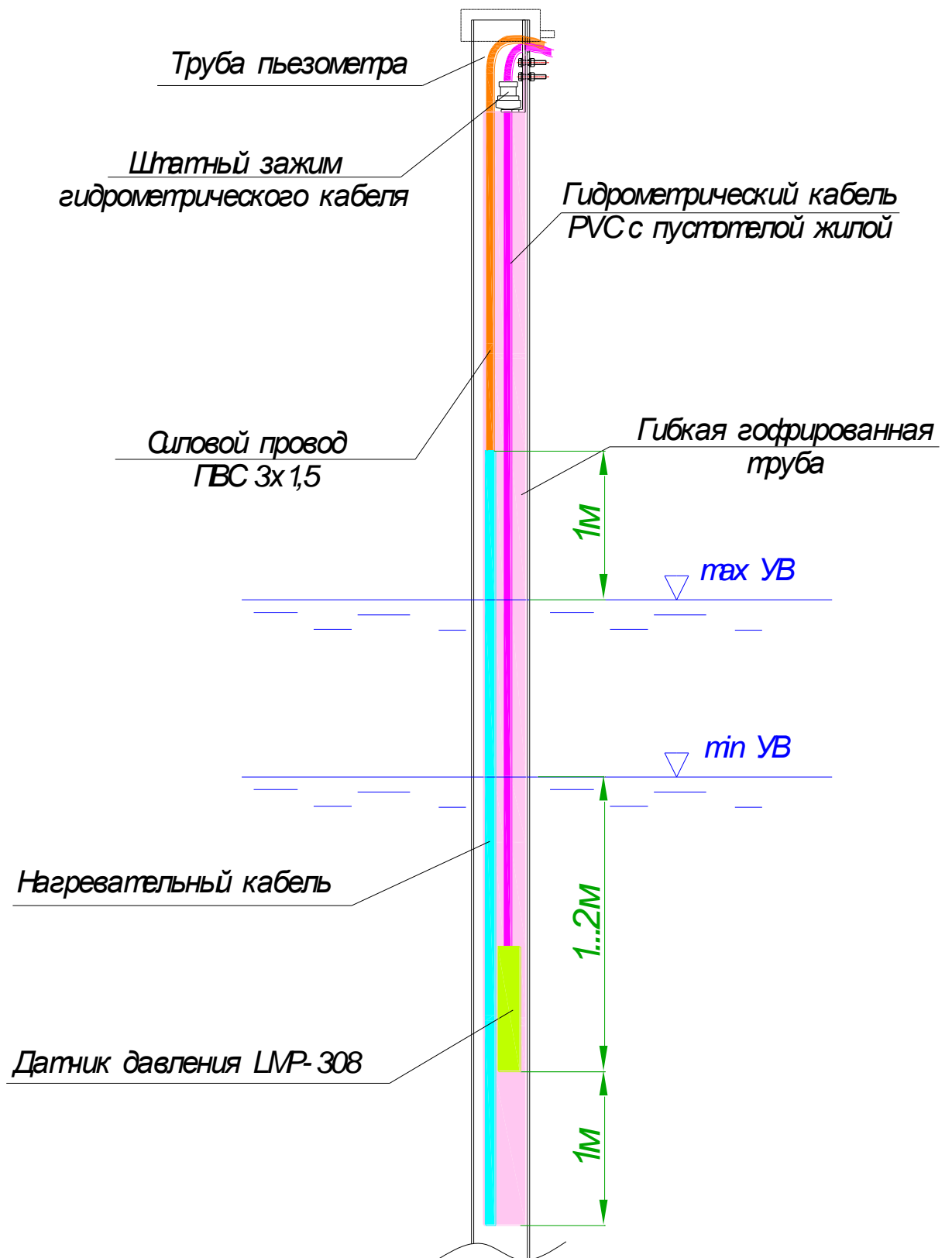


Рисунок 3.11 - Система обогрева пьезометрической трубы

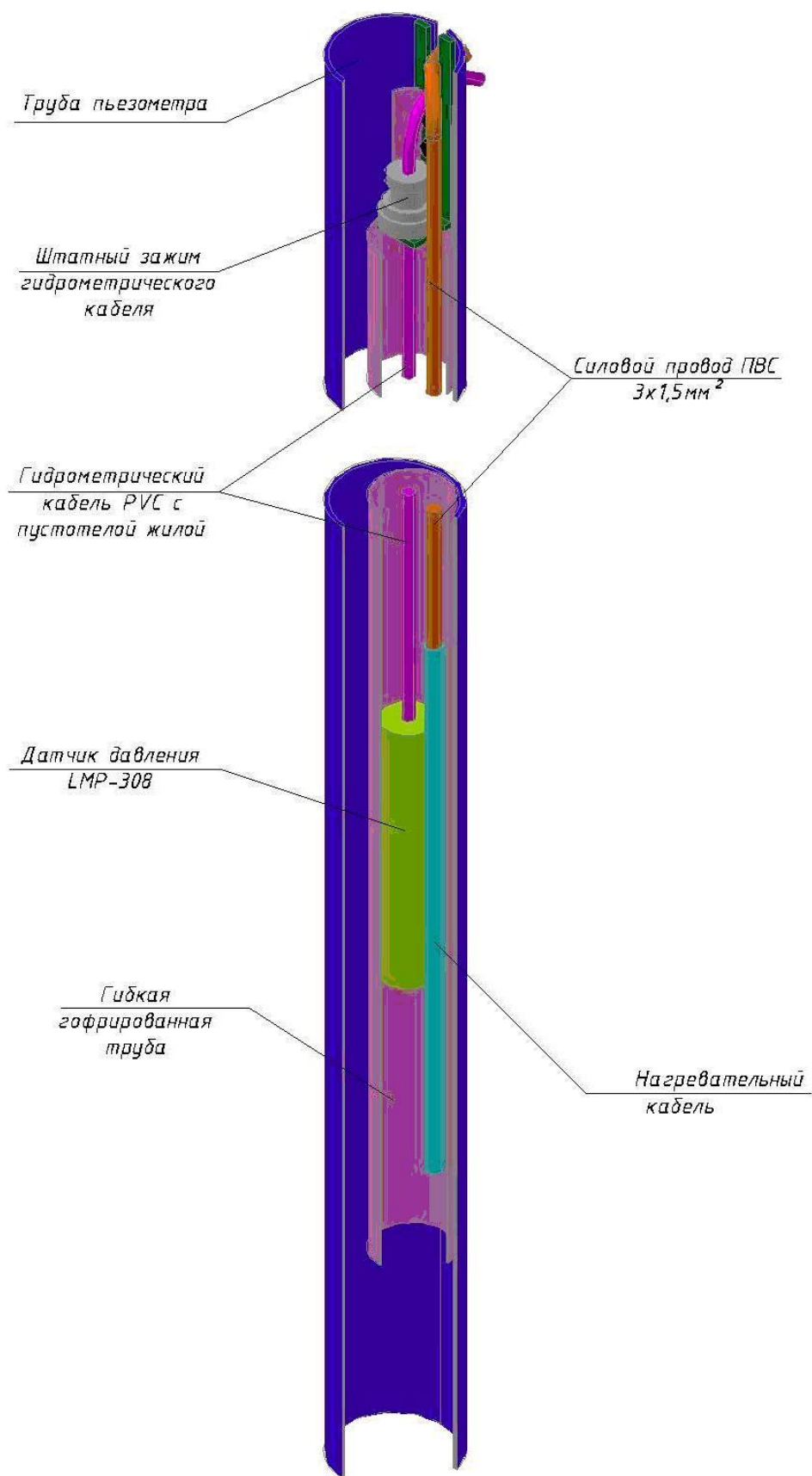


Рисунок 3.12 - Конструктивное решение система обогрева пьезометрической трубы

Нагревательный кабель и датчик уровня воды LMP-308 помещаются в гибкую гофрированную трубу из ПВХ диаметром 63 мм. Датчик подвешен на собственном информационном кабеле PVC с пустотелой жилой (для компенсации атмосферного давления). Точка расположения датчика принята на 1...2 м ниже минимально наблюдавшегося уровня воды в пьезометрической трубе. Нагревательный кабель заглублен на 1 м ниже датчика LMP-308. Нижний (свободный) конец гофрированной ПВХ-трубы расположен примерно на уровне конца нагревательного кабеля. Вверху торец ПВХ-трубы расположен на уровне точки подвески информационного кабеля датчика (закреплен на проволоке к пластине, которая служит опорой штатного держателя PVC кабеля датчика).

Нагревательный кабель выше максимального уровня воды на 1 м через гидроизолирующую муфту подсоединен к силовому проводу ПВС 3x1.5 мм². Силовые провода идут отдельно от каждого пьезометра к интеграционному шкафу.

3.7 Конструкции и описание автоматизированной контрольно-измерительной аппаратуры

Типы конструкций напорных пьезометров с датчиками давления DMP-331i

Напорные пьезометры здания ГЭС расположены в потерне на отметке 4.80 м. Принципиальное устройство оголовка напорного пьезометра показано на рисунках 3.13 и 3.14.

Оголовок имеет два или три выхода для подсоединения соответственно датчика давления DMP-331i, контрольного манометра, а также газосборника (для некоторых пьезометров). Все выходы перекрываются трехходовыми кранами. Фитинги выполнены из латуни (трехходовые краны, тройник, контргайки, футорка, муфта переходная), трубы – стальные оцинкованные.

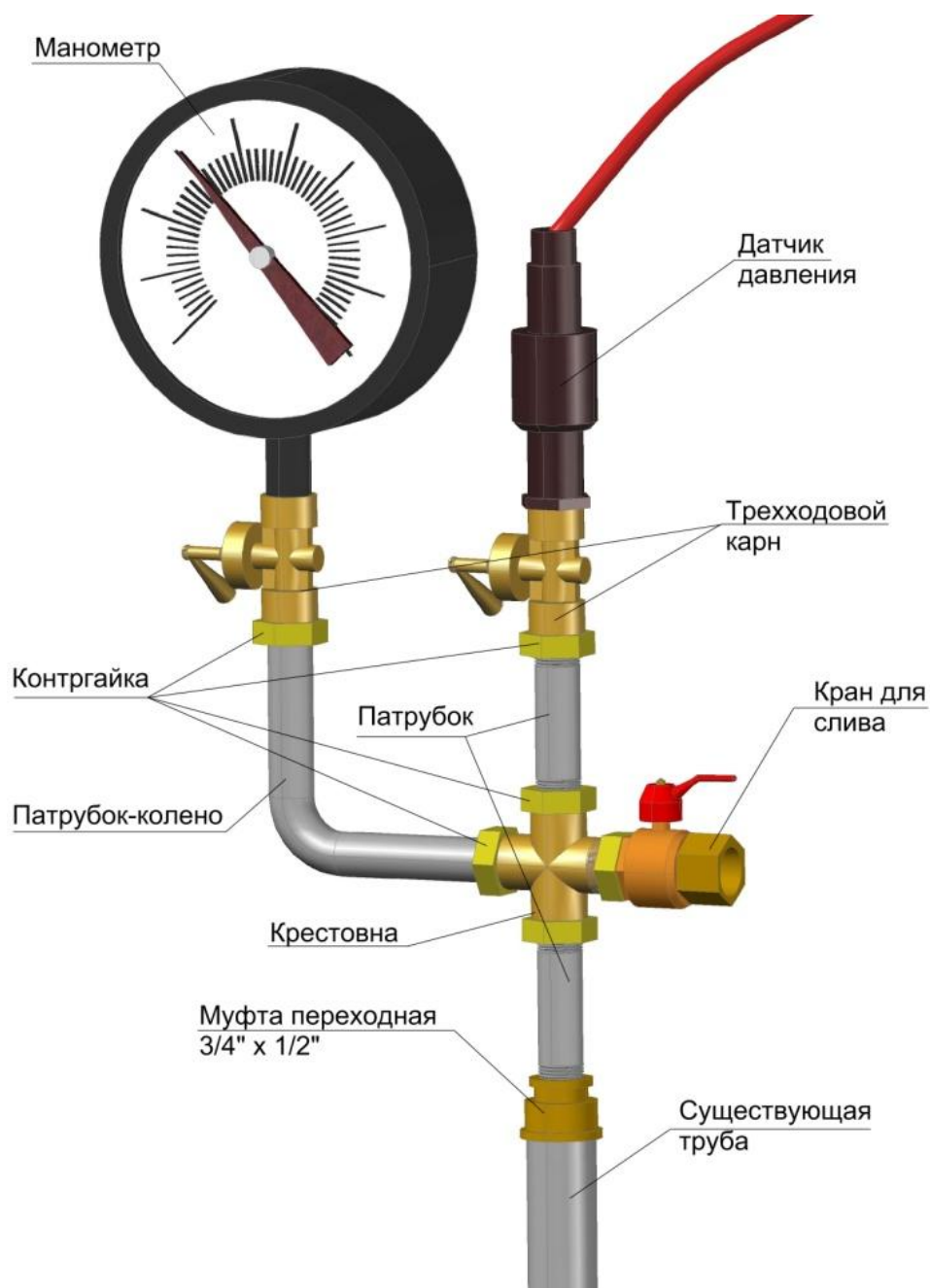


Рисунок 3.13 - Принципиальное устройство оголовка напорного пьезометра

Перечень пьезометров с газосборниками: П2*1.1.; П1*1.2.; П2*1.2.; П1*1.3.; П2*1.3.; П1*1.4.; П1*1.5.; П2*1.5.; П1*1.6.; П2*1.6.; П1*1.7.; П2*1.7.; П1*1.8.; П2*1.8.; П1*1.9.; П2*1.9.; П1*1.10. Используются существующие на этих пьезометрах газосборники.

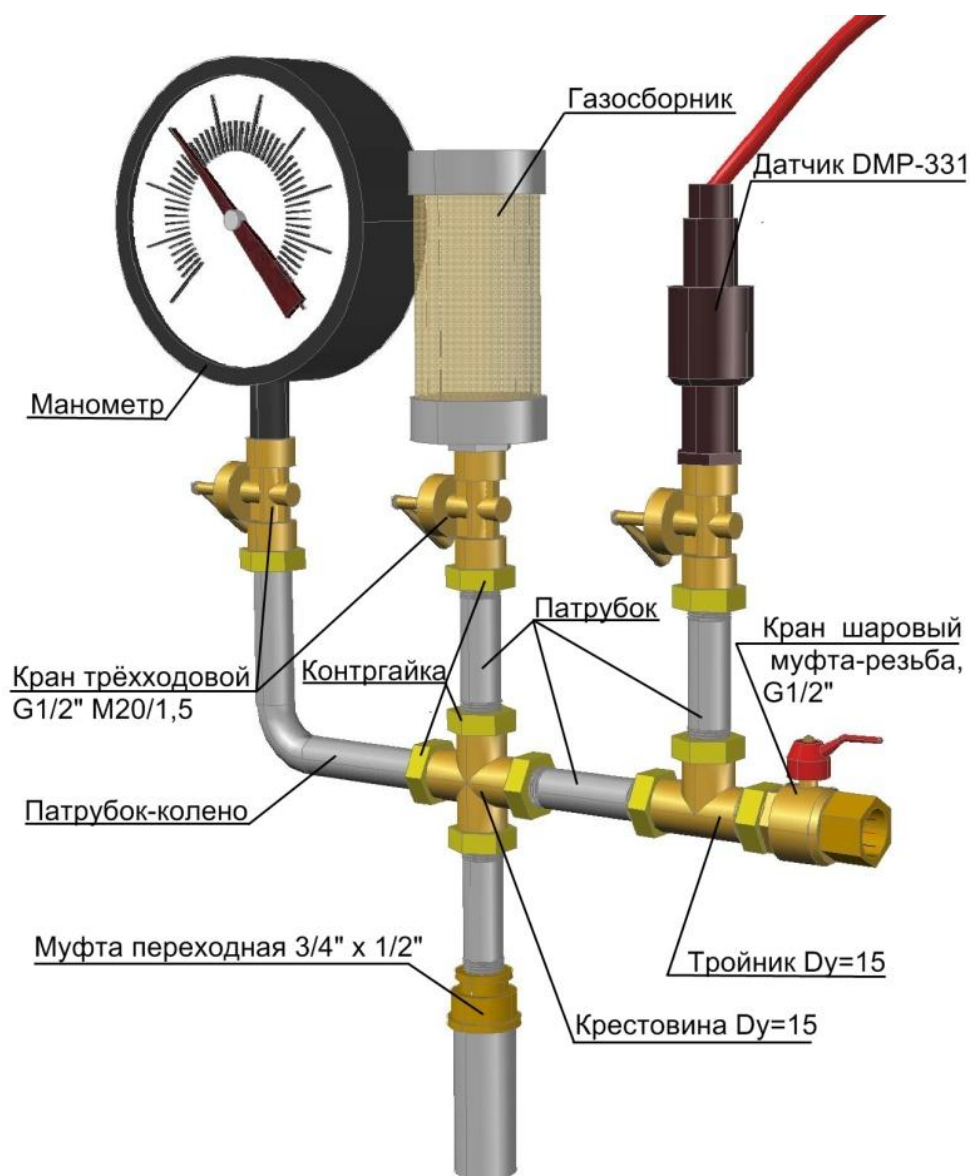


Рисунок 3.14 - Принципиальное устройство оголовка напорного пьезометра с газосборником

Типы конструкций безнапорных пьезометров с датчиками LMP-308

Измерения уровней воды в безнапорных пьезометрах намечено осуществлять с помощью датчиков уровня воды погружного типа LMP-308, которые подвешиваются в пьезометрической трубе при помощи штатного зажима (рисунок 3.15). Всего таких пьезометров 12 шт. Конструкции разделяются на четыре схемы по способу установки датчика уровня воды и передачи сигнала.

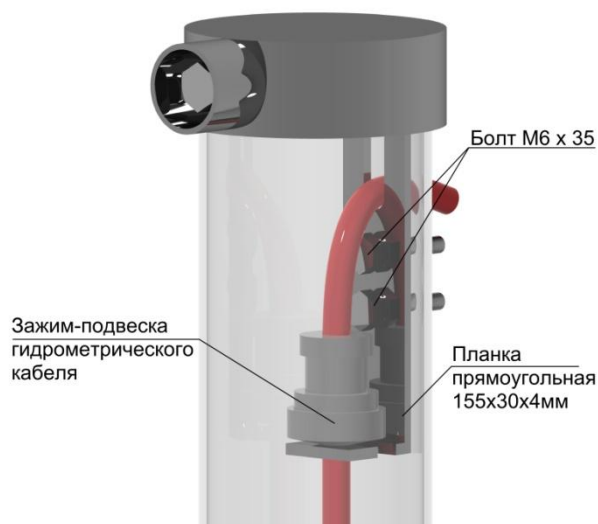


Рисунок 3.15 - Принципиальная схема подвески штатного зажима.

Схема №1 – безнапорные пьезометры с пьезометрической трубой диаметром 76 мм с креплением крышки оголовка на болтах (рисунок 3.16) 1 шт.;

Схема №2 – безнапорные пьезометры с пьезометрической трубой диаметром 76 мм, крышкой оголовка с замком – с обогревом 3шт., без обогрева (рисунок 3.17) 1 шт.;

Схема №3 – безнапорные пьезометры с пьезометрической трубой диаметром 57 мм и крышкой оголовка с замком (рисунок 3.18) 1 шт.;

Схема №4 – безнапорные пьезометры с передачей сигнала с помощью радиомодема (рисунок 3.19) 6 шт.



Рисунок 3.16 - Безнапорный пьезометр, схема №1

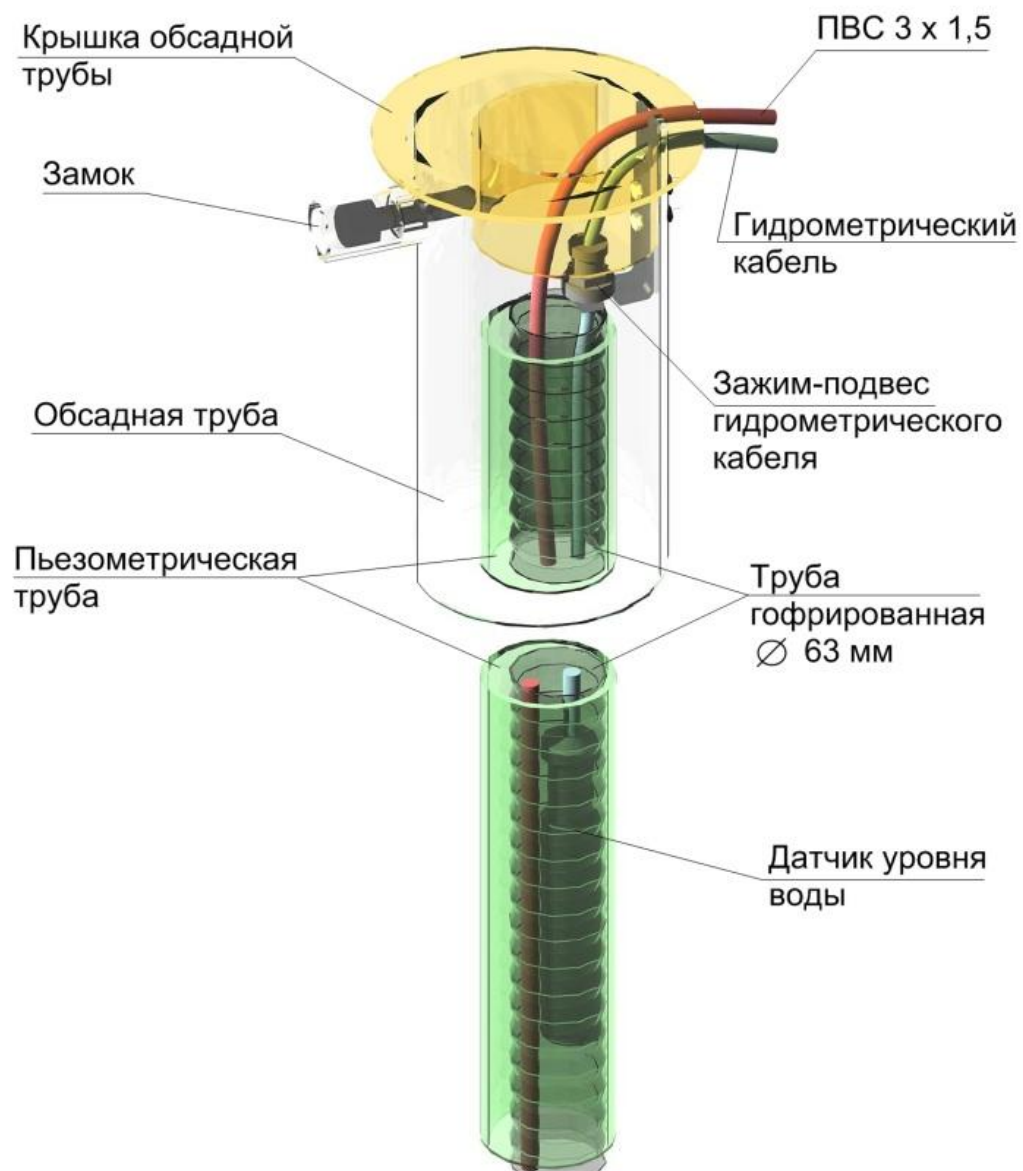


Рисунок 3.17 - Безнапорный пьезометр, схема №2

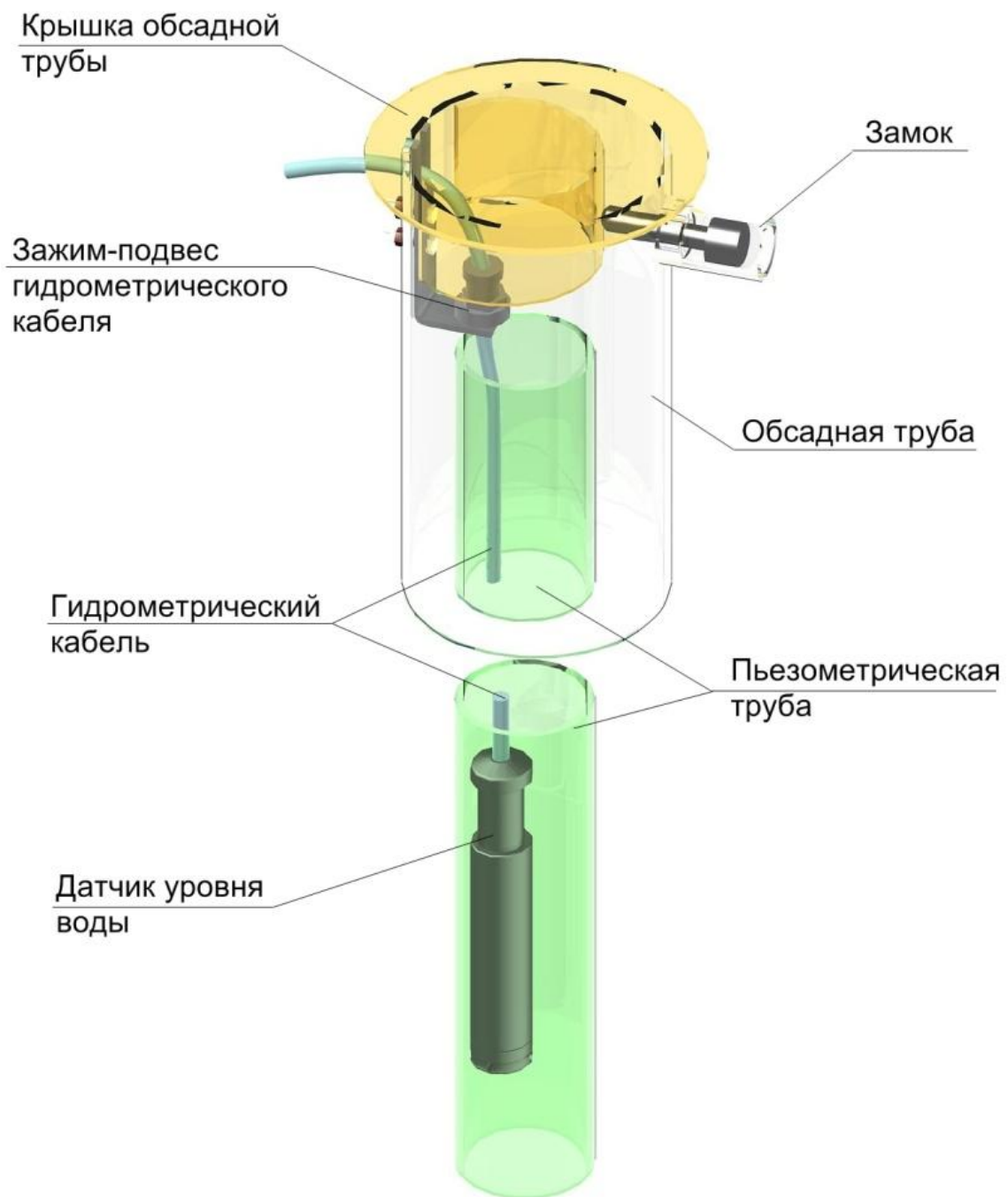


Рисунок 3.18 - Безнапорный пьезометр, схема №3



Рисунок 3.19 - Безнапорный пьезометр, схема №4

Типы конструкций щелемеров разного типа

Разработанные конструкции щелемеров с датчиками перемещений Баллуфф предусматривают сохранение на своих местах существующих щелемеров, что позволит при необходимости проводить измерения по ним вручную по обычной методике. Во всех случаях для автоматизируемых щелемеров монтируются новые конструктивные элементы, расположенные над существующими щелемерами или рядом с ними. Конструкция таких устройств разработана с учетом месторасположения щелемера, возможных

способов его крепления к бетону и ширины шва. Автоматизируемые щелемеры в 65 точках по конструкции разделены на 4 схемы, представлены на рисунках 3.20 – 3.23.

- Схема № 1 – двухосные щелемеры в потерне здания ГЭС на отметке 4.8м - 10 точек;

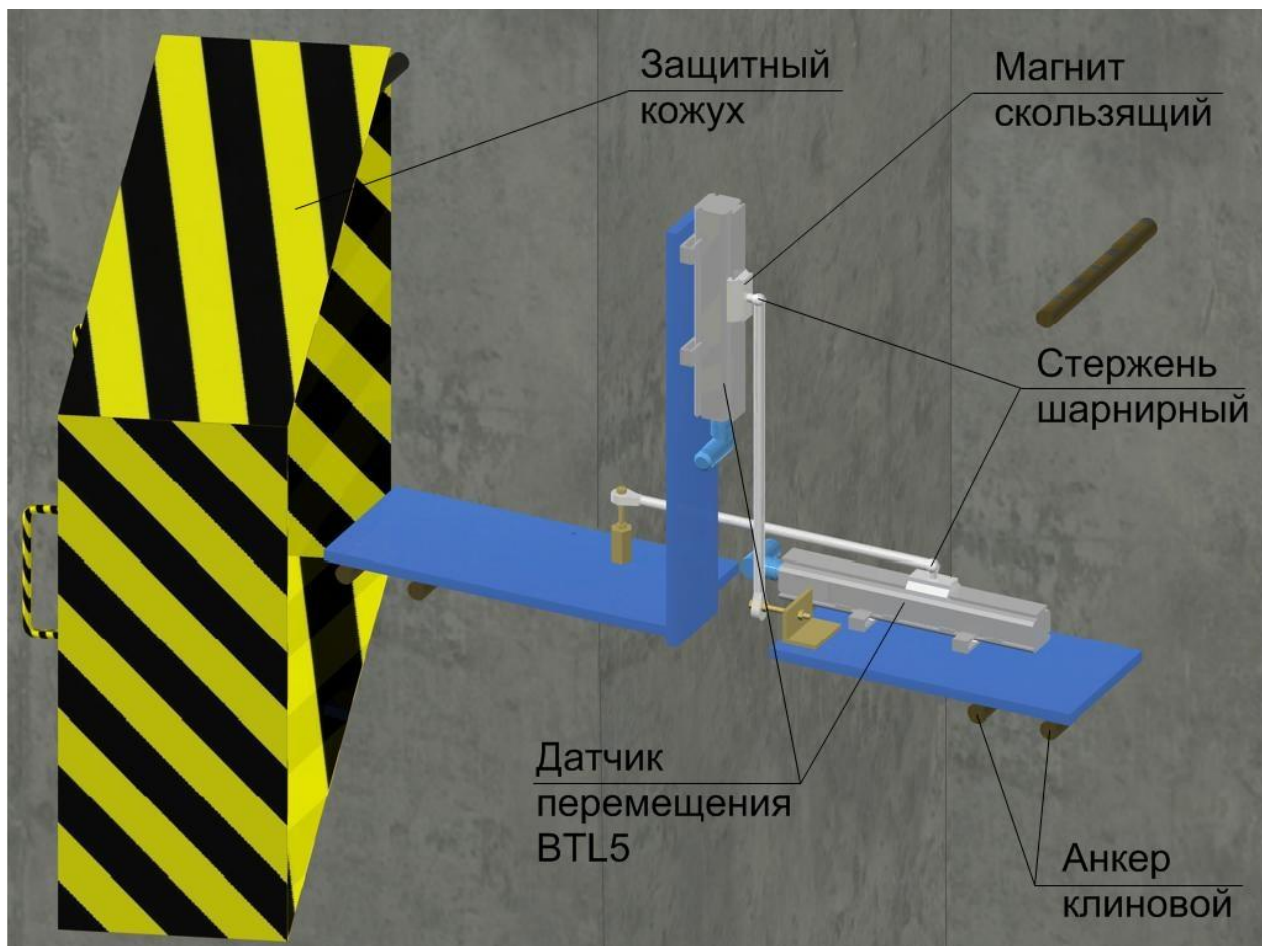


Рисунок 3.20 - Двухосный щелемер, схема №1

- Схема № 2 – двухосный щелемер Щ 4/1*1 в потерне здания ГЭС на отм. 4.8м - 1 точка;

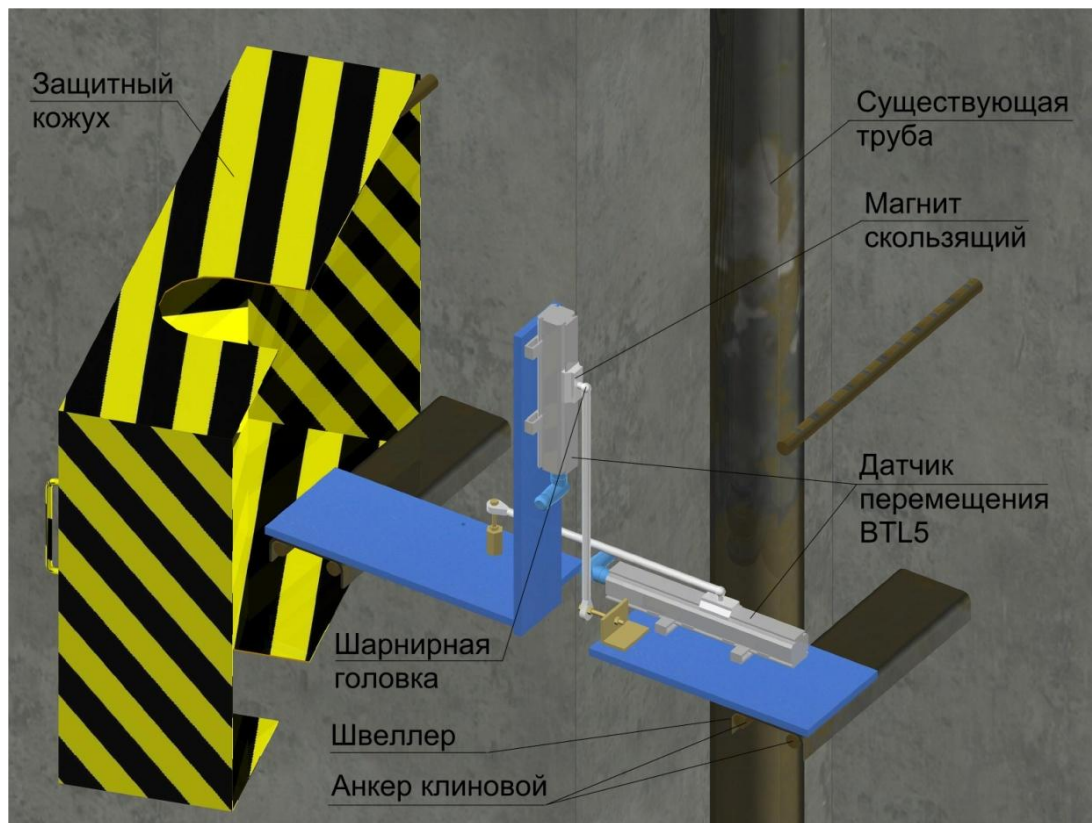


Рисунок 3.21 - Двухосный щелемер, схема №2

- Схема № 3 – трехосные щелемеры на СУС, ЩОВБ, ЩОНБ здания
ГЭС - 44 точки;

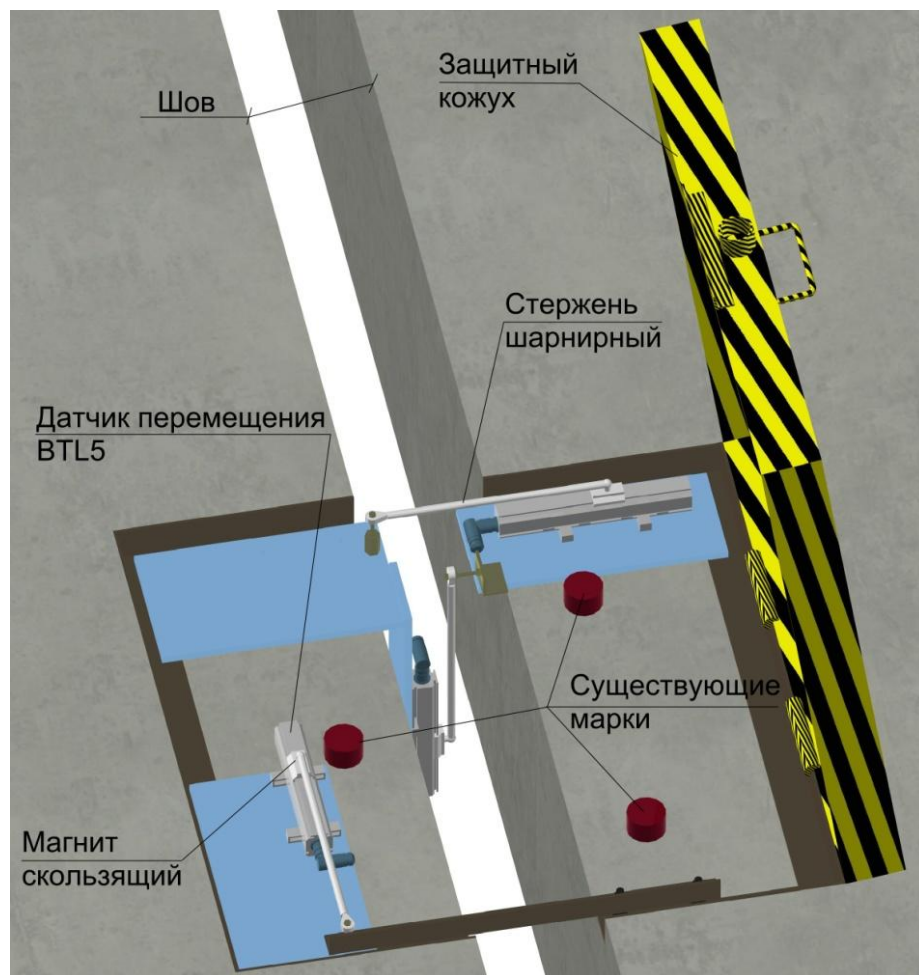


Рисунок 3.22 - Трехосный щелемер, схема №3

- Схема № 4 – трехосные щелемеры наружные на пристройке здания ГЭС - 10 точек.

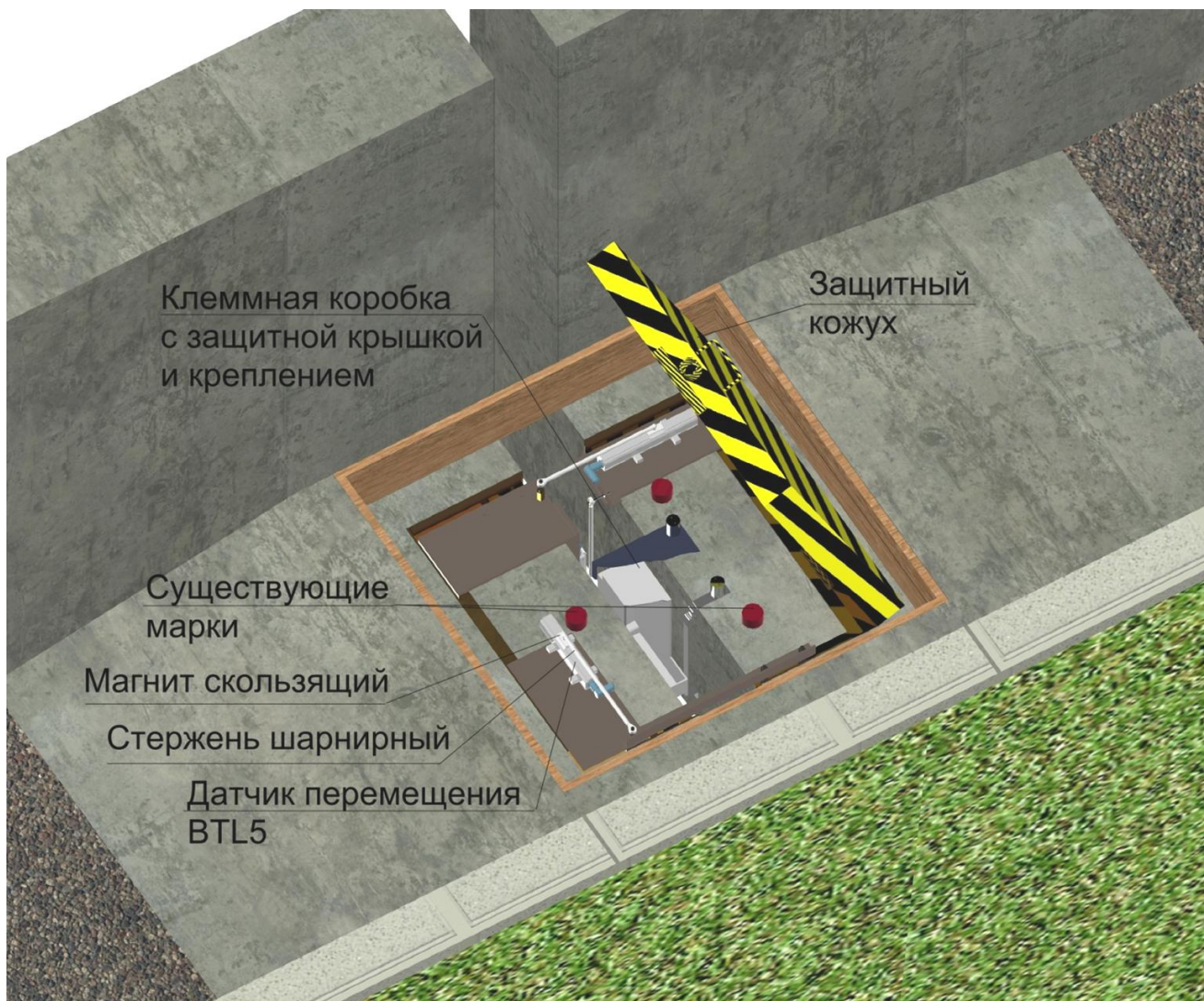


Рисунок 3.23 - Трехосный щелемер, схема №4

Схема № 1 относится к щелемерам, устанавливаемым на плоской вертикальной поверхности бетона. Схема № 2 относится к щелемеру устанавливаемому на вертикальной поверхности с расположенной в непосредственной близости от шва вертикальной трубой диаметром 65 мм. Схема № 3 относится к щелемерам, устанавливаемым на горизонтальной поверхности в существующих нишах щелемеров. Схема № 4 относится к щелемерам, устанавливаемым на пристройке здания ГЭС в существующих нишах щелемеров с устройством бетонного пандуса и второго защитного перекрытия.

В каждой точке схем № 1 и 2 автоматизируются измерения перемещений по двум осям. В каждой точке схем № 3 и № 4

автоматизируются измерения перемещений по трем осям. Конструктивные решения помимо компоновки определились также существующими размерами швов и требуемым диапазоном измерений по каждой оси. При этом принимались во внимания величины возможных перемещений по всем направлениям с учетом наблюдавшихся в натуре перемещений и установленных критериев безопасности. Анализ показаний существующих щелемеров для выбора требуемого диапазона измерений датчиков ВТЛ5 Баллуфф был выполнен ранее. Были выбраны датчики с диапазоном измерений 0...50 мм и 0...100мм.

Датчики перемещений фирмы «Баллуфф» рассчитаны на применение в условиях наружного воздуха, как по диапазону рабочих температур, так и по степени пылевлагозащиты. В нашем случае, когда наблюдаются большие поперечные смещения и заданы критерии безопасности величиной 25-40мм, применяются датчики со скользящими (шарнирными) магнитами, имеющие шарнирные головки по концам штанги, с помощью которой передаются перемещения от одной точки к другой. В щелемерах применены именно такие датчики с длиной шарнирных штанг (стержней) 300мм. В целях снижения температурных погрешностей измерений в этих случаях предусмотрено изготовление стержней из инвара (специальный железоникелевый сплав, имеющий коэффициент линейного расширения в 20 раз меньший по сравнению со штатными штангами фирмы Баллуфф). По концам стержней из инвара монтируются штатные шарниры Баллуфф, допускающие вращение в пределах сферического угла $\pm 18^\circ$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе рассмотрены вопросы, связанные с исследованием эффективности систем контроля и управления устройствами обеспечения безопасности бетонных плотин на объектах гидроэнергетики, проведен анализ существующей литературы и нормативных документов в данной области. Проанализированы действующие системы и выявлены их недостатки. Разработаны методические основы совершенствования систем безопасности и приведены практические рекомендации по совершенствованию системы мониторинга за счет применения новых систем диагностического контроля и современного оборудования. Выбраны технические характеристики, конструктивное исполнение и организация автоматизированной системы диагностического контроля состояния гидротехнических сооружений. Представлена структура автоматизированной системы диагностического контроля и характеристики ее различных подсистем с учетом реализации проекта создания автоматизированной системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Федеральный закон О безопасности гидротехнических сооружений [Текст]. - Введ. 1997-07-21.- Федеральный закон. М. : Собрание законодательства РФ, 1997. - 12 с.

2 ГОСТ 24.104-85 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования [Текст]. - Введ. 1987-01-01.- Межгосударственный стандарт. – М. : Стандартиформ, 2009. – 9 с.

3 ГОСТ 24.701-86 Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения [Текст]. - Введ. 1987-07-01.- Межгосударственный стандарт. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 12 с.

4 ГОСТ 34.601-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания [Текст]. - Введ. 1992-01-01.- Межгосударственный стандарт. – М. : Издательство стандартов, 2007. – 11 с.

5 ГОСТ Р 22.1.11-2002 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования [Текст]. - Введ. 2003-07-01.- Межгосударственный стандарт. – М. : Издательство стандартов, 2002. – 16 с.

6 РД 153-34.2-21.342-00. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений [Текст]. - Введ. 2001-01-01.- Руководящий документ. – М. : ОАО НИИЭС, 2001. – 33 с.

7 РД 153-34.2-21.342-00. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений [Текст]. - Введ. 2001-01-01.- Руководящий документ. – М. : ОАО НИИЭС, 2001. – 33 с.

8 Приказ Минэнерго РФ Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [Текст].

- Введ. 2003-07-01.- Приказ. – М. : Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, 2003. – 148 с.

9 СНиП 2.02.02-85* Основания гидротехнических сооружений [Текст]. - Введ. 1986-01-01.- Строительные нормы и правила. – М. : Минстрой, 1996. – 86 с.

10 СТО 70238424.27.140.009-2010 Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования [Текст]. - Введ. 2010-09-30.- Стандарт организации. – М. : НП ИНВЭЛ, 2010 – 81 с.

11 СТО 70238424.27.140.010-2010 Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГЭС И ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования [Текст]. - Введ. 2010-09-30.- Стандарт организации. – М. : НП ИНВЭЛ, 2010 – 43 с.

12 СТО 17230282.27.010.001-2007 Здания и сооружения объектов энергетики. Методика оценки технического состояния [Текст]. - Введ. 2007-11-15.- Стандарт организации. – М. : ОАО РАО "ЕЭС России", 2007 – 141 с.

13 СТО 17330282.27.140.004-2008 Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования [Текст]. - Введ. 2012-07-30.- Стандарт организации. – М. : ОАО «РусГидро», 2012 – 296 с.

14 СТО 70238424.27.140.035-2009 Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технического состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования [Текст]. - Введ. 2009-12-31.- Стандарт организации. – М. : НП ИНВЭЛ, 2009 – 64 с.

15 СТО 17330282.27.140.021-2008 Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования [Текст]. - Введ. 2008-07-30.- Стандарт организации. – М. : ОАО РАО «ЕЭС России», 2008 – 36 с.

16 СТО 17330282.27.140.003-2008 Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и

требования [Текст]. - Введ. 2008-04-15.- Стандарт организации. – М. : ОАО РАО «ЕЭС России», 2008 – 161 с.

17 СТО 70238424.27.140.035-2009 Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования [Текст]. - Введ. 2009-12-31.- Стандарт организации. – М. : НП ИНВЭЛ, 2009 – 64 с.

18 СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах (актуализированная редакция СНиП II-7-81*) [Текст]. - Введ. 2011-05-20.- Свод правил. – М. : Минрегион России, 2011 - 84 с.

19 СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений (актуализированная редакция 2.02.02-85) [Текст]. - Введ. 2011-05-20.- Свод правил. – М. : Минрегион России, 2011- 115 с.

20 П 82-2001 Рекомендации по выбору диагностических параметров, контролирующих состояние бетонных плотин [Текст]. - Введ. 2007-11-15.- Приказ. – М. : ОАО РАО "ЕЭС России", 2007 - 29 с.

21 П-648 Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами [Текст]. - Введ. 1980-07-01.- Приказ. – М. : Энергия, 1980 - 200 с

22. П 85-2001. Рекомендации по анализу данных и проведению натурных наблюдений за напряженно-деформированным состоянием, раскрытием швов и трещин в бетонных и железобетонных сооружениях [Текст]. - Введ. 2007-11-15.- Приказ. – М. : ОАО РАО "ЕЭС России", 2007 - 7 с.

23 П 61-94 Рекомендации по методике оценки надежности основных бетонных сооружений, находящихся в эксплуатации более 25 лет и оснащенных (или оснащенных минимально) контрольно-измерительной аппаратурой [Текст]. - Введ. 2007-11-15.- Приказ. – М. : ОАО РАО "ЕЭС России", 2007 - 34 с.

24 П 83-2001 Рекомендации по анализу данных и проведению натурных наблюдений за осадками и горизонтальными смещениями

бетонных плотин [Текст]. - Введ. 2007-11-15.- Приказ. – М. : ОАО РАО "ЕЭС России", 2007 - 24 с.

25 П 100-81 Рекомендации по наблюдениям за напряженно-деформированным состоянием бетонных плотин [Текст]. - Введ. 1982-10-10.- Приказ. – Л.: ВНИИ гидротехники им. Б. Е. Веденеева, 1982 - 141 с.

26 П 41-70 Методические рекомендации к составлению проекта размещения контрольно-измерительной аппаратуры в бетонных гидротехнических сооружениях [Текст]. - Введ. 2000-11-15.- Приказ. – Л. : ОАО РАО "ЕЭС России", 2000 - 101 с.

27 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [Текст]. - Введ. 2003-11-14.- Правила. - М.: Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти N 43, 2003 – 368 с.

28 Правила проведения натуральных наблюдений за работой бетонных плотин. РД 153-34.2-21.545-2003 [Текст]. - Введ. 2002-01-01.- Руководящий документ. - СПб.: ВНИИГ гидротехники им. Б.Е. Веденеева, 2003 – 34 с.

29 Абакаров, А.Р., Дурчева, В.Н. Система автоматизированного контроля за состоянием бетонной плотины Чиркейской ГЭС по данным натуральных наблюдений [Текст]. - СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2001 – 145 с.

30 Бродский, А.Д., Кан, В.Л. Краткий справочник по математической обработке результатов измерений [Текст]. - М.: Стандартгиз, 1960 – 167 с.

31 Вульфович, Н.А., Гордон, Л.А., Стефаненко, Н.И. Арочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС. (Оценка технического состояния по данным натуральных наблюдений) [Текст]. - СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2012 – 235 с.

32 Гинзбург, М.Б. Натурные исследования бетонных гидротехнических сооружений [Текст]. - М.: Энергия, 1964 – 359 с.

33 Гинзбург, С.М., Юделевич, А.М. Оценка надежности бетонных сооружений на стадии эксплуатации [Текст]. - СПб.: Известия ВНИИГ. Том 241, 2003 - 169-172 с.

34 Дурчева, В.Н., Пучкова, С.М., Загрядский, И.И. Учёт сезонных изменений схемы работы бетонных плотин при анализе натуральных данных [Текст]. - СПб.: Известия ВНИИГ им Б.Е. Веденеева Том 237, 2000 - 45-53 с.

35 Дурчева, В.Н. Натурные исследования монолитности высоких бетонных плотин [Текст]. - М.: Энергоатомиздат, 1988 – 118 с.

36 Заездный, А.М. Основы расчетов по статистической радиотехнике [Текст]. - М.: Связь, 1969 - 447 с.

37 Кузьмин, Н.Г. Усовершенствованная система контроля состояния бетонных плотин. [Текст]. - СПб.: ВНИИГ им Б.Е. Веденеева, 2016 – 158с.

38 Ляпичев, Ю.П. Гидрологическая и техническая безопасность гидросооружений [Текст]. Учебное пособие - М.: РУДН, 2008. – 220 с.

39 Марчук, А.Н. Статическая работа бетонных плотин [Текст]. - М.: Энергоатомиздат, 1983 - 208 с

40 Майорова, М.А. Соколовский, И.К. Способы выбора частоты натуральных наблюдений [Текст]. - СПб.: Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева Том 241, 2002 - 137-143 с..

41 Руководство по сбору, обработке и использованию инженерно-сейсмометрической информации [Текст]. - М.: Стройиздат, 1980 – 48 с.

42 Рассказов, Д.Н., Орехов, В.Г., Анискин, Н.А. Гидротехнические сооружения [Текст]. Учебник для вузов – М.: Издательство АСВ, 2011- 536 с.

43 Сабуров, В.С., Кузьменко, А.П. Методика обследования зданий повышенной этажности. Сейсмометрическо-инженерный метод [Текст]. - S.: LAMBERT Publishing Academic, 2013 - 175 с.

44 Савич, А.И., Бронштейн, В.И. Статическое и динамическое поведение Саяно-Шушенской арочно-гравитационной плотины [Текст]. - СПб.: Гидротехническое строительство №3, 2013 - 2-13 с.

45 Серков, В.С. Повышение эффективности контроля за гидротехническими сооружениями электростанций - СПб.: Гидротехническое строительство №7, 2013 - 8-11 с.

46 Савич, А.И., Речицкий, В.В. О влиянии Саяно-Шушенской ГЭС на геодинамические процессы в земной коре [Текст]. - СПб.: Гидротехническое строительство №7, 2013 - 39-48 с.

47 Стрижов, В.В., Крымова, Е.А. Выбор моделей в линейном регрессионном анализе [Текст]. - М.: Информационные технологии, 2011 - 21-26 с.

48 Пат. 2151234. РФ: МПК7 7 Е 02 В 1/02, G 01 М 7/00 Способ определения динамических характеристик основания и тела плотины ГЭС под воздействием импульсов, возникающих при запуске гидроагрегатов [Текст]. Селезнёв, В.С., Еманов, А.Ф., Кузьменко, А.П., Барышев, В.Г., Сабуров, В.С.; опубл. 20.06.2000. Бюл. № 17 – 6 с.

49 Функциональные возможности программы WSG. Комплект программной документации. НПП "Геотех", Центральная опытно-методическая экспедиция Геофизической Службы РАН [Текст]. 2010 – 71 с.

50 Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика) [Текст]. Справочник геофизика - Под ред. Н.Б. Дортман. М.: Недра, 1984 - 91-95 с.

51 Харкевич, А.А. Линейные и нелинейные системы. Том 2 [Текст]. - М.: Наука, 1973 – 566 с.

52 Шульман, С.Г. Влияние водной среды на частоты собственных колебаний массивных плотин [Текст]. - СПб.: Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Бетонные и железобетонные сооружения. Том 232. Часть 2, 1996 - 209-222 с.

53 Эйдельман, С.Я. Технологические указания по установке контрольно-измерительных приборов в бетонные сооружения, подготовке отчетов и их обработке [Текст]. проект. - Л.: Энергия, 1964 - 124 с.

54 Эйдельман, С.Я. Методика по обработке данных натурных наблюдений бетонных гидротехнических сооружений [Текст]. - Л.: Энергия, 1975 – 25 с.

55 Журнал Гидротехника №4 [Текст]. - СПб.: Гидротехника, 2015 – 117 с.

56 Rocha, M. In situ strain and stress measurements, [book auth.] Hollister, G. S., Sienkiewicz, O. C. "Stress analysis. Recent in numerical development and experimental methods". New York - London - Sydney : John Wiley & Sons LTD, 1965.

57 Gómez-Lahoz J., González-Aguilera D., Sánchez J. A New for Structural Approach Monitoring of Large Three-Dimensional Dams with a Laser Scanner. Basel. Sensors. September 2008.

58 Boavida, J., Oliveira, A., Berberan, A. Dam monitoring using combined terrestrial imaging systems. 13th Symposium on Deformation Measurement and Analysis/4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering. LNEC, Lisbon. 2008.

59 Widmann, R. Evaluation of performed deformation measurements at dams concrete. The trans. of the IX on large Congress dams. Vol. III, Q. 34, R. 38, 1967.

60 Silveira, A. F. Quantitative obtained interpretation of results in the concrete observation of the dams. The trans. of the VIII Congress Large on dams. Vol II, Q 29, R. 43, 1964.

61 Официальный сайт ПАО «РусГидро». Жигулевская ГЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zhiges.rushydro.ru/hpp/general-info/>