

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ _____
подпись, дата инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ЗАТВОРОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ. СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ПАЗОВ И ПЕРЕХВАТА
ПРОТЕЧЕК БУРЕЙСКОЙ ГЭС**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Научный
руководитель

подпись, дата

Доцент кафедры ГГЭЭС
СШФ СФУ
должность

В.И. Татарников
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

Е.М. Борисова
инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

Руководитель группы
ТиГМО ПТС Филиала
ПАО «РусГидро»-
«Бурейская ГЭС»
должность

Н.К. Комлев
инициалы, фамилия

Нормоконтролёр

подпись, дата

А.А. Чабанова
инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2020

АННОТАЦИЯ

Тема магистерской диссертации: Системы обогрева затворов гидротехнических сооружений. Системы обогрева пазов и перехвата протечек Бурейской ГЭС.

Объем диссертации составляет 78 страниц, содержит 24 рисунка, 11 таблиц и 12 формул. Список используемой литературы состоит из 11 наименований.

Объектом исследования при написании работы послужили протечки через уплотнения и процесс обледенения затворов водосливной плотны Бурейской ГЭС.

Предметом исследования стал вариант системы для устранения протечек и защиты затворов водосливной плотины Бурейской ГЭС от наледи.

В магистерскую диссертацию входят: введение, пять глав и заключение.

Во введении раскрывается актуальность исследования по выбранному направлению, указывается его значимость, ставятся цели и задачи, необходимые для её реализации.

Первая глава посвящена описанию существующих методов борьбы с обледенением металлических конструкций гидротехнических сооружений.

Вторая глава посвящена описанию разработанных проектов для борьбы с обледенением затворов водосливных плотин.

В третьей главе приводится общая характеристика Бурейской ГЭС.

В четвертой главе предложен вариант системы защиты затвора Бурейской ГЭС от обледенения и система сбора протечек, реконструкция межсекционного уплотнения затворов водосливной плотины.

В пятой главе проведен технико-экономический расчет предложенной системы защиты.

В заключении подведены итоги проделанной работы.

Ключевые слова: затвор, плоский, борьба, обледенение, обогрев, уплотнения, защита, протечки, коллектор, кабель, закладные части, паз.

АВТОРЕФЕРАТ

Актуальность. В России большое число гидротехнических сооружений расположено в районах с суровыми климатическими условиями, поэтому актуальным является вопрос борьбы с обледенением механического оборудования при эксплуатации водопропускных гидротехнических сооружений в осенне-зимний период.

Опасность обледенения несет в себе возможность отказа маневрирования затвором.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы предложить вариант системы защиты от обледенения затворов водосливной плотины и систему перехвата протечек воды через уплотнения на примере Бурейской ГЭС.

Для реализации этой цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

1. Проанализированы существующие средства защиты от обледенения металлоконструкций.
2. Приведен обзор разработанных проектов от обледенения затворов на ГЭС.
3. Изучены природные условия и климат в районе Бурейской ГЭС. Рассмотрена конструкция затворов водосливной плотины Бурейской ГЭС.
4. Предложен вариант системы защиты от обледенения затворов водосливной плотины и систему перехвата протечек воды через уплотнения.
5. Приведен технико-экономический расчет предложенной системы защиты от обледенения затворов водосливной плотины и систему перехвата протечек воды через уплотнения.

Объектом исследования при написании работы послужили процесс обледенения затворов водосливной плотины Бурейской ГЭС.

Предметом исследования стало устройство для борьбы с обледенением затворов и перехвата протечек через уплотнения Бурейской ГЭС.

Научная новизна: предложена система защиты затвора водосливной плотины Бурейской ГЭС и система перехвата протечек через уплотнения.

Первая глава магистерской диссертации имеет обзорный характер. Рассмотрены возможные методы борьбы с обледенением, такие как:

1. Механический.
2. Физико-химический.
3. Тепловой.

Приведена классификация и описана суть каждого метода. Подробно проработаны преимущества и недостатки.

Вторая глава имеет обзорно-практический характер. Приведены разработанные проекты защиты затворов от обледенения эксплуатируемых в настоящее время ГЭС с описанием принципа работы.

Третья глава носит обзорный характер. Рассмотрены природные условия и климат в районе, водный режим, назначение и характеристика водослива, конструкция затворов водосливной плотины Бурейской ГЭС.

Четвертая глава носит прикладной характер. Показана актуальность разработки системы защиты от обледенения гидромеханического оборудования водосливной плотины гидротехнического сооружения Бурейской ГЭС, сделан анализ проблемы обледенения затворов и образования протечек. Приведено подробное описание и принцип работы предлагаемой схемы обогрева и сбора протечек.

Выполнен тепловой расчет для определения необходимой мощности обогрева. Разработана электрическая схема обогрева затвора. Перечислены меры предосторожности при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте системы обогрева. Предложена реконструкция межсекционного уплотнения затворов водосливной плотины путем установки на напорной стороне затвора на верхней секции резинового фартука.

В пятой главе произведен технико-экономический расчет предлагаемой системы обогрева затворов водосливной плотины Бурейской ГЭС.

Заключение носит обобщающий характер. Подведены итоги о работе, проделанной в настоящей магистерской диссертации.

ABSTRACT

Relevance. In Russia, a large number of hydraulic structures are located in areas with severe climatic conditions, so the issue of combating icing of mechanical equipment during the operation of culverts in the autumn and winter is an urgent issue.

The risk of icing carries with it the possibility of failure to maneuver the shutter.

The purpose of this work is to propose a variant of an icing protection system for the gates of a spillway dam and a system for intercepting water leaks through seals using the example of the Bureyskaya HPP.

To achieve this goal, the following tasks were set and solved:

1. The existing means of protection against icing of metal structures are analyzed.

2. A review of the developed projects from the icing of gates at hydroelectric power stations is given.

3. The natural conditions and climate in the area of the Bureyskaya HPP were studied. The design of the gates of the spillway dam of the Bureyskaya HPP is considered.

4. A variant of a system for protection against icing of the gates of a spillway dam and a system for intercepting water leaks through seals is proposed.

5. The technical and economic calculation of the proposed system of protection against icing of the gates of the overflow dam and the system for intercepting water leaks through seals is given.

The object of research when writing the work was the process of icing the gates of the spillway dam of the Bureyskaya hydroelectric station.

The subject of the study was a device for combating icing of gates and intercepting leaks through the seals of the Bureyskaya HPP.

Scientific novelty: a shutter protection system for a spillway dam of the Bureyskaya HPP and a system for intercepting leaks through seals are proposed.

The first chapter of the master's thesis has a review character.

Possible methods of dealing with icing, such as:

1. Mechanical.

2. Physicochemical.

3. Thermal.

The classification is given and the essence of each method is described. The advantages and disadvantages are worked out in detail.

The second chapter has a review and practical character. The developed projects for the protection of gates from icing of currently operating hydroelectric power stations are described with a description of the principle of operation.

The third chapter is an overview. The natural conditions and climate in the area, the water regime, the purpose and characteristics of the spillway, the design of the gates of the spillway dam of the Bureyskaya HPP are considered.

The fourth chapter is applied in nature. The relevance of developing a system of protection against icing of hydromechanical equipment of a spillway dam of a hydraulic structure of the Bureyskaya HPP is shown, an analysis of the problem of

icing of gates and leakage is made. A detailed description and principle of operation of the proposed heating and leakage collection scheme are provided.

A thermal calculation has been performed to determine the required heating power. A shutter heating circuit has been developed. The precautions for operation, maintenance and repair of the heating system are listed. The reconstruction of the intersection seal of the gates of the spillway dam by installing on the pressure side of the shutter on the upper section of the rubber apron is proposed.

In the fifth chapter, the feasibility study of the proposed heating system for the gates of the overflow dam of the Bureyskaya HPP is made.

The conclusion is general. The results of the work done in this master's thesis are summed up.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 Классификация средств защиты от обледенения. Обзор существующих методов борьбы с наледью.....	10
1.1 Механические СЗО.....	11
1.2 Физико-химические СЗО.....	12
1.3 Тепловые СЗО.....	12
1.4 Обогрев теплоносителем.....	13
1.5 Обогрев калориферами.....	14
1.6 Индукционный обогрев.....	14
1.7 Обогрев инфракрасным излучением.....	15
1.8 Обогрев ТЭНами.....	16
1.9 Шинный обогрев.....	16
1.10 Обогрев резистивными кабелями или лентами.....	17
1.11 Обогрев нагревателями на основе композитного материала «ЭКОМ» (КРУТ).....	17
1.12 Майнообразование.....	18
2 Обзор существующих проектов обогрева механического оборудования гидротехнических сооружений.....	20
2.1 Проект системы обогрева затворов Угличской ГЭС.....	20
2.2 Проект системы обогрева затворов Майнской ГЭС.....	21
2.3 Проект системы обогрева затворов Зейской ГЭС.....	22
3 Общая характеристика Бурейской ГЭС.....	24
3.1 Природные условия. Климат.....	24
3.2 Водный режим.....	25
3.3 Назначение и краткая характеристика эксплуатационного водосброса Бурейской ГЭС.....	25
3.4 Затвор основной плоский колесный секционный (12,0-14,6-14,6).....	26
3.5 Затвор плоский колесный секционный (аварийно-ремонтный) (12-14,6-13,2).....	28
3.6 Закладные части затворов основных и аварийно-ремонтных.....	28
3.7 Гидроуплотнения затворов ЭВС.....	28
3.8 Обслуживание основного затвора.....	29
3.9 Система пневматическая для поддержания майн.....	31
4 Вариант системы защиты от обледенения затвора водосливной плотины Бурейской ГЭС.....	32
4.1 Анализ существующей проблемы.....	32
4.2 Тепловой расчет системы обогрева затвора водосливной плотины.....	37
4.3 Система обогрева пазов и система перехвата протечек.....	41
4.4 Схема обогрева электрическая принципиальная и перечень элементов ..	44
4.5 Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт.....	47

4.6 Реконструкция межсекционного уплотнения затворов водосливной плотины	47
5 Технико-экономический расчет.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	56
ПРИЛОЖЕНИЕ А Допустимый объем протечек через уплотнения.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Система перехвата протечек.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ В Система обогрева пазов	64
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Система обогрева порога	67
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Улавливающая воронка системы перехвата протечек	68
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Фиксаторы трубы для отвода протечек.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Улавливающий фартук.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ И Схема обогрева электрическая принципиальная	71
ПРИЛОЖЕНИЕ К Шкаф управления с АВР вблизи лестничной клетки на отметке 265,00	77

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших элементов оборудования любой гидроэлектростанции являются затворы, позволяющие регулировать пропуск воды через ее сооружения. От надежности затворов напрямую зависит безопасность эксплуатации всей станции, поэтому этим устройствам уделяется особое внимание.

В России большое число гидротехнических сооружений расположено в районах с суровыми климатическими условиями, поэтому актуальным является вопрос борьбы с обледенением механического оборудования при эксплуатации водопропускных гидротехнических сооружений в осенне-зимний период.

Затворы эксплуатационного водосброса Бурейской ГЭС не имеют систем обогрева конструктивных элементов (пазов затвора, опорно-ходовых частей, обшивки затвора, вертикальных и горизонтальных уплотнений). В результате чего в период низких температур происходит намораживание льда на конструктивных элементах затвора и на бетонных конструктивах водосбросной части плотины.

Указанную проблему можно решить реконструкцией существующих затворов путем оснащения их системой обогрева пазов и системой перехвата протечек воды через уплотнения.

Цель: предложить вариант системы защиты от обледенения затворов водосливной плотины и систему перехвата протечек воды через уплотнения на примере Бурейской ГЭС.

Для реализации этой цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- 1) Проанализированы существующие средства защиты от обледенения металлоконструкций.
- 2) Приведен обзор разработанных проектов от обледенения затворов на ГЭС.
- 3) Изучены природные условия и климат в районе Бурейской ГЭС. Рассмотрена конструкция затворов водосливной плотины Бурейской ГЭС.
- 4) Предложен вариант системы защиты от обледенения затворов водосливной плотины и систему перехвата протечек воды через уплотнения.
- 5) Приведен технико-экономический расчет предложенной системы защиты от обледенения затворов водосливной плотины и систему перехвата протечек воды через уплотнения.

1 Классификация средств защиты от обледенения. Обзор существующих методов борьбы с наледью

Агрессивное действие льда на техногенных и природных объектах является серьезной проблемой во всем мире. Задачи борьбы с обледенением приборов и устройств актуальны для многих отраслей промышленности. Лед в силу своих физических особенностей способствует разрушению оборудования и строительных конструкций, ухудшению их характеристик и качества и, в конечном счете, влияет на их долговечность и безопасность. Обмерзание ведет к катастрофам в авиации, ломает линии электропередач, препятствует работе газоперекачивающих станций и гидротехнических затворов [1].

Опыт эксплуатации затворов в период отрицательных температур наружного воздуха показывает, что необходимо учитывать риски нарушения нормальной работы затвора из-за возникновения всевозможных ледовых затруднений, таких как:

- обмерзание опорно-ходовых частей;
- обмерзание уплотнений на участках примыкания затвора к поверхности сооружения;
- обмерзание обшивки затвора с верхней стороны;
- примерзание затворов к их порогам;
- намерзание льда на боковых поверхностях быков и устоев.

Опасность обледенения несет в себе возможность отказа маневрирования затвором, что противоречит требованиям СТО 70238424.27.140.017-2010 [2], в соответствии с которым затворы водопропускных сооружений должны удовлетворять следующим требованиям:

- прочности и устойчивости конструкции в целом и ее отдельных узлов;
- водонепроницаемости затвора и мест сопряжений его с частями сооружений или мест сопряжений отдельных частей затвора;
- возможности свободного маневрирования в стоячей или текущей воде в зависимости от назначения затвора;
- возможности регулирования пропуска воды (при ее заборе или сбросе) при различных открытиях отверстий без нарушения нормальной работы затвора (для основных регулирующих затворов).

Все средства защиты от обледенения (СЗО) можно разделить на две группы: активные, предупреждающие обледенение или периодически удаляющие образовавшийся лед, и пассивные - заблаговременное прогнозирование, оповещение об обледенении, проведение организационных мероприятий, введение ограничений по эксплуатации объектов в районах, подверженных обледенению [3].

Активные средства защиты от обледенения представлены в таблице 1.1 и подразделяются на механические, физико-химические и тепловые.

Таблица 1.1 - Активные средства защиты от обледенения

Механические СЗО	<ul style="list-style-type: none"> - Околка льда - Электроимпульсная противообледенительная система (ЭИПОС) и упругие оболочки - Пневматические СЗО
Физико-химические СЗО	<ul style="list-style-type: none"> - Жидкостные СЗО - Вазелины - Низкоэнергетические поверхности - Комбинированные СЗО
Тепловые СЗО	<ul style="list-style-type: none"> - Обогрев теплоносителем - Тепловая завеса и калориферный обогрев - Индукционный обогрев - Обогрев инфракрасным излучением - Обогрев ТЭНами - Шинный обогрев - Электрообогрев с применением нагревательных элементов: - Обогрев кабелем и ленточными нагревателями - Обогрев нагревателями на основе композиционных резистивных материалов (КРМ)

Практически все механические СЗО неприменимы к гидротехническому строительству по причине возможного нарушения целостности защищаемых конструкций, а физико-химические - из-за низкого КПД и непрочности контакта с поверхностью затвора. Применяются в основном тепловые СЗО.

1.1 Механические СЗО

Механический способ представляет собой ручную очистку поверхностей (удаление льда производится с помощью лома или скребков, которые повреждают поверхность металла). Околка льда представляет собой механическое воздействие на уже образовавшуюся ледовую массу на поверхности затвора.

Столь же несовершенен и метод "расстрела" ледяных масс из брандспойтов сильной струей горячей воды под давлением 50...100 атмосфер. Механический способ самый дешевый способ, однако, трудоемкий и длительный [1].

Работа электроимпульсной противообледенительной системы (ЭИПОС) основана на принципе воздействия волновой интерференции непосредственно на ледяную массу, разрушая её при прохождении «пакета» импульсов по защищаемой от обледенения обшивке [4].

Принцип действия пневматической противообледенительной системы следующий: на защищаемой от обледенения обшивке устанавливается протектор из эластомерного материала. Внутри протектор имеет ряд камер, к

которым в определенном порядке подается сжатый воздух. Поочередно надуваясь, камеры протектора разламывают образовавшийся на защищаемой поверхности лед.

1.2 Физико-химические СЗО

Физико-химический способ представляет собой облив защищаемой поверхности специальной жидкостью или иными покрытиями (например, вазелин).

Низкоэнергетические поверхности имеют относительно низкую свободную поверхностную энергию; обычно это материалы, межмолекулярные взаимодействия в которых определяются преимущественно силами Ван-дер-Ваальса (например, парафин) [5].

Физико-химический способ либо влечет за собой значительный расход химикатов, вызывает коррозию и не применим на крутых и вертикальных поверхностях (нанесение солей), либо не дает достаточного снижения сил сцепления льда с металлоконструкцией (гидрофобные пленки, не считая фторопластовых, которые очень дороги).

Заслуживает внимание химический способ борьбы с обледенением, используемый на Саяно-Шушенском гидроузле для ограждающих водобойный колодец – использование природной соли – бишофита.

Бишофит ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) глубоко изучен рядом институтов, как МАДИ, ВНИИТМАШ, ГипродорНИИ на предмет использования для борьбы с обледенением и воздействия на технику и окружающую среду. Исследования подтвердили, что он в значительной степени менее подвергает металл коррозии, чем хлорид кальция и хлорид натрия. Бишофит предотвращает образование льда при более низкой температуре, чем остальные антиобледенители (до $-35\text{ }^{\circ}C$) и действует быстро – за 15 минут он растапливает вдвое больше льда, чем хлорид натрия. Но главное, что бишофит, по данным НИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, экологичен и безопасен для окружающей среды. Ни один из современных антиобледенителей не имеет таких характеристик [1].

1.3 Тепловые СЗО

В настоящее время наиболее эффективным способом борьбы с обмерзанием затворов является электрообогрев нагревательными элементами, который позволяет свободно маневрировать затвором и исключить образование льда на обшивке сегментных затворов водосливных отверстий в период отрицательных температур наружного воздуха.

Для реализации функции обогрева затвор должен в обязательном порядке оснащаться теплоизолирующей обшивкой с безнапорной стороны.

С точки зрения монтажа нагревателей обогрев сегментного затвора можно осуществить двумя способами:

- нагревом непосредственно облицовки затвора (Способ 1);

- нагревом воздушной среды в полости затвора (Способ 2).

Способ обогрева 1 является наиболее эффективным способом, так как осуществляется нагрев непосредственно облицовки безнапорной стороны затвора. При данном способе обогрева тепловая энергия при её выработке нагревателем сразу непосредственно передаётся к металлоконструкции облицовки и вызывает её нагрев. Тепловая энергия равномерно распределяется в металле облицовки. При данном способе обогрева важно обеспечить плотное прилегание нагревательного элемента (нагревателя) к обогреваемой поверхности. Плохое прилегание нагревателя в обшивке затрудняет теплопередачу и снижает эффективность обогрева.

Способ обогрева 2 является менее эффективным. В нём осуществляется нагрев воздушной среды между облицовкой напорной стороны и теплоизоляционной обшивкой безнапорной стороны. В данном случае тепловая энергия, выделяемая нагревателями, передаётся воздушной среде, а тепловая среда передаёт её окружающим металлоконструкциям затвора.

Основные недостатки данного способа:

- неравномерность нагрева, за счёт конвекции нижняя часть затвора прогревается хуже верхней;
- тепловая энергия используется не эффективно, так как осуществляется обогрев всех металлоконструкций затвора в полости;
- скорость обогрева ниже при использовании повторно-кратковременного режима, так как в первоначальный момент времени идёт обогрев воздушной среды, после чего начинает прогреваться облицовка напорной стороны.

При данном способе обогрева крайне важно обеспечить отсутствие доступа наружного воздуха внутрь полости, так как это значительно снижает его эффективность [2].

1.4 Обогрев теплоносителем

Различают противообледенительные системы воздушно-тепловые и жидкостно-топливные. Источником горячего воздуха для воздушно-тепловых СЗО служат теплообменники, обогреваемые выхлопными газами, отработанным паром и горячей водой. Такая система обогрева имеет низкий коэффициент теплоиспользования и для защиты затворов от обледенения не применяется. В качестве теплоносителя в жидкостно-топливной системе применяются кремнийорганические, фторорганические жидкости или вода. В большинстве случаев используется масло. Суть данного вида обогрева заключается в том, что в закладные части встраиваются трубы (корпус нагревателя). В трубах устанавливаются индукционные нагреватели с индукторами, после чего трубы заполняются маслом. При подаче напряжения на обмотку нагревателя, индуктор начинает нагреваться и передавать тепловую энергию в масляную среду, которая в свою очередь передаёт тепловую энергию металлической трубе (корпусу

нагревателя). Корпус нагревателя передаёт тепловую энергию металлоконструкции закладной части.

Достоинства масляного обогрева:

- равномерный прогрев закладной части;
- ремонтпригодность.

Недостатки масляного обогрева:

- высокая пожароопасность и взрывоопасность в случае отказа автоматики системы обогрева;
- опасность для окружающей среды в случае разгерметизации корпуса нагревателя;
- крайне сложная конструкция закладных частей и самого нагревателя;
- невозможность обогрева закладных частей порога в случае схемы с естественной циркуляцией масла.

1.5 Обогрев калориферами

Сущность данного метода заключается в том, что в полость затвора устанавливаются калориферы. Калориферы осуществляют разогрев воздуха и по воздуховодам подают к металлу облицовки безнапорной стороны. Разогретый воздух, соприкасаясь с холодной металлической облицовкой безнапорной стороны, осуществляет передачу тепловой энергии и нагрев облицовки.

Достоинства калориферного обогрева:

- налаженное производство калориферов, доступность приобретения;
- невысокая стоимость калориферов.

Недостатки калориферного обогрева:

- сложность конструкции воздуховодов ограничивает возможность применения данной системы;
- чрезвычайно низкая эффективность (недостатки способа 2);
- низкая надёжность и низкий ресурс из-за наличия вращающихся частей в калориферах;
- требует периодического технического обслуживания;
- низкая степень пыле- и влагозащиты калорифера ТР.

1.6 Индукционный обогрев

Суть индукционного обогрева заключается в том, что во внутренних полостях закладных частей размещаются обмотки индукционных нагревателей. По обмоткам индукционных нагревателей пропускается переменный ток промышленной частоты, при этом в металле закладных частей возникают вихревые токи. Наличие данных токов вызывает нагрев металлических конструкций закладных частей.

В настоящий момент существуют два варианта реализации систем индукционных нагревателей закладных частей:

- с заполнением свободного пространства закладных частей;

- с дренажом закладных частей.

Заполнение полостей закладных частей необходимо для предотвращения попадания и накопления воды внутри их полостей, и, как следствие этого, повреждение изоляции обмоток индукционных нагревателей. Заполнение осуществляется битумной мастикой в горячем состоянии либо полимерными компаундами с отвердителями в холодном состоянии.

При реализации дренажа закладных частей, удаление попавшей в закладные части влаги осуществляется через специальные трубы (дренажные трубы). В этом случае заполнение полостей закладных частей не требуется, так как накопление воды внутри полостей не происходит. Необходимым условием реализации данного способа является полная герметичность закладных частей, со стороны верхнего и нижнего бьефов и обеспечение защиты от атмосферных осадков. Данное требование реализуется применением сплошных сварных швов, крышек и люков с надёжным их уплотнением.

Реализация дренажа осуществляется в каждом случае индивидуально, в зависимости от конструкции плотины. В случае возможности замерзания дренажных труб они оснащаются системой обогрева на основе резистивных греющих кабелей или лент.

Конструкции систем индукционного обогрева по способу ремонтпригодности можно классифицировать на:

- ремонтпригодные;
- неремонтпригодные.

Способы обеспечения ремонтпригодности обмоток индукционных нагревателей закладных частей:

- отсутствие заполнения полостей закладных частей;
- конструктивная герметизация разборных закладных частей, для демонтажа обмоток нагревателей.

Достоинства индукционного обогрева:

- высокая эффективность обогрева; - возможность использования стандартного промышленного напряжения;
- низкая стоимость нагревателя.

Недостатки индукционного обогрева:

- сложная конструкция закладных частей (если реализуется дренаж или разборные крышки закладных);
- не ремонтпригодность (если производится заливка полостей закладных частей);
- низкий коэффициент мощности (сomp).

1.7 Обогрев инфракрасным излучением

Сущность данного метода заключается в том, что в полость затвора на кронштейнах устанавливаются инфракрасные обогреватели. Обогреватели устанавливаются таким образом, чтобы инфракрасное излучение от них было направлено на обогреваемую поверхность, в данном случае облицовку затвора.

Тепловая энергия в виде инфракрасного излучения, выделяемого нагревателем, направляется к облицовке затвора.

Достоинства обогрева ИК излучением:

- возможность нагрева до высоких температур;
- налаженное производство нагревателей, доступность приобретения;
- ремонтпригодность.

Недостатки обогрева ИК излучением:

- низкая степень пыле- и влагозащиты нагревателя (П);
- высокая пожароопасность;
- сложность реализации на металлоконструкциях сложной конфигурации.

1.8 Обогрев ТЭНами

Сущность данного метода заключается в том, что в полость затвора на кронштейнах устанавливаются трубчатые нагревательные элементы (ТЭНы). ТЭНы осуществляют нагрев воздуха внутри полости затвора и через воздушную среду осуществляют нагрев затвора.

Достоинства ТЭНового обогрева:

- налаженное производство нагревателей, доступность приобретения;
- невысокая стоимость нагревателей;
- широкий диапазон параметров нагревателей.

Недостатки ТЭНового обогрева:

- низкая эффективность обогрева (недостатки способа 2);
- низкая тепловая инерционность нагревателей при работе в повторнократковременно режиме;
- неравномерное распределение мощности внутри полости затвора;
- низкий уровень изоляции контактных соединений ТЭНов с питающими кабелями (ТОО);
- низкий уровень механической защиты ТЭНов;
- пожароопасность, из-за высокой температуры поверхности ТЭНов.

1.9 Шинный обогрев

Закладные части затворов зданий ГЭС и плотин обычно устанавливаются и бетонируются в штрабах. Закладные части, которые одновременно служат и шинами электрообогрева, состоят из швеллеров. При бетонировании они временно прикрепляются только к мощной наружной опалубке, чем обеспечивают отсутствие контакта с арматурой.

При применении электрообогрева путем непосредственного пропуска электрического тока по закладным частям достигается максимальный КПД. Ремонтпригодность электрической части системы высокая, эксплуатационные затраты невелики. Однако в процессе эксплуатации может возникнуть опасность короткого замыкания через арматуру железобетона, что повлечет выход системы

из строя и создаст опасность поражения электрическим током обслуживающего персонала. При нормальном режиме работы системы также весьма опасным является относительно высокое напряжение тока в воде. Капитальные затраты увеличиваются за счет необходимости применения мощных трансформаторов, так как напряжение обогрева в каждом случае является различным и нестандартным.

При шинном обогреве вблизи обогреваемого объекта (вблизи закладных частей затвора в бетоне) прикладываются токоведущие шины. Этим теплом прогревается окружающий шину бетон и близлежащие закладные части.

Чаще всего шинный обогрев применим для обогрева пазов затвора. Шинный обогрев является надежным, но дорогостоящим, поскольку он требует применения трансформаторов и силовых кабелей с большим сечением медных проводов (из-за больших значений токов).

1.10 Обогрев резистивными кабелями или лентами

Сущность данного метода заключается в том, что по облицовке затвора и металлоконструкциям осуществляется прокладка греющего резистивного кабеля. При протекании тока через греющий кабель происходит его нагрев. Тепловая энергия, выделяющаяся кабелем, передаётся обшивке затвора.

Достоинства обогрева резистивными кабелями:

- простота системы в целом;
- налаженное производство кабелей, доступность приобретения;
- удобство применения на конструкциях сложной конфигурации;
- высокая степень защиты от пыли и влаги (П);
- равномерное распределение мощности по затвору.

Недостатки обогрева резистивными кабелями:

- сложность монтажа кабеля на металлоконструкциях затвора, обеспечивающего его плотное прилегание к металлу затвора;
- низкая удельная мощность греющего кабеля;
- отсутствие механической защиты и, вследствие этого, недолговечность.

1.11 Обогрев нагревателями на основе композитного материала «ЭКОМ» (КРУТ)

Сущность данного метода заключается в том, что к облицовке затвора с безнапорной стороны, вплотную устанавливаются нагреватели на основе КРМ.

КРМ композитный резистивный материал на полимерных (синтетическое, фосфатное) или битумном вяжущих. Нагреватели из КРМ изготавливаются в виде панелей.

Нагревательный элемент выполнен из последовательно соединенных электропроводных элементов на основе композиционного материала «ЭКОМ»

(ТУ 3414-005-11840528-97), помещенных между изолирующими прокладками из слюдопласта в корпус из нержавеющей стали.

Достоинства обогрева на основе КРМ:

- высокая удельная мощность нагревателя;
- высокая степень механической защиты нагревателя;
- высокая степень защиты от пыли и влаги IP67 или IP68, 10бар (включая кабельный ввод);
- высокая эффективность обогрева при установке на затворе (достоинства способа 1);
- высокая тепловая инерционность нагревателей при работе в повторнократковременно режиме. При одних и тех же условиях и подаваемой мощности элементы на фосфатном и цементном вяжущем нагреваются до 100⁰С за время в 5 раз меньшее, чем остывание до начальной температуры. Данное свойство весьма полезно с точки зрения экономии энергии.

Недостатки обогрева на основе КРМ:

- сравнительно высокая стоимость нагревателей;
- сложность в приобретении. Изготавливаются и поставляются под заказ;
- большой вес нагревателей.

1.12 Майнообразование

Важную роль по защите гидротехнических сооружений от статического давления льда выполняет система поддержания майны [6].

Пневматическая система предназначена для поддержания незамерзающих промоин во льду (майн) на поверхности водохранилища перед затворами водосливной части плотины в осенне-зимний период, когда устанавливаются минусовые температуры окружающего воздуха, с целью предотвращения навала ледяного поля на данные затворы и подачи сжатого воздуха в цех ремонта и покраски затворов.

Работа пневматической системы для поддержания майн заключается в подаче сжатого воздуха от компрессора в воздухосборники. Осушенный в них воздух поступает в магистральный пневмопровод, а из него в коллекторы и далее в воду через их воздухопускные отверстия. В воде образуются пузырьки воздуха, которые всплывают, увлекая за собой теплые слои воды и вынося их на поверхность, где создается плюсовая температура и предотвращается возможность образования льда - образуется свободное ото льда пространство (полынья, майна). В зависимости от температуры окружающего воздуха (таблица 1.2) процесс идет или непрерывно, или циклами: выпуск воздуха - пауза (активный режим - пассивный режим). Во время пауз (пассивного режима) подача воздуха совсем не прекращается, он поступает с минимальным расходом, достаточным лишь для противодействия проходу воды в коллекторы или в отводы из них, до границы воды водохранилища - атмосфера, (во избежание замерзания воды в этих отводах или образования ледяных пробок).

Таблица 1.2 – Время чередования режимов работы пневматической системы

Температура окружающего воздуха, °С	Время активного режима, мин	Время пассивного режима, мин
0	5	15
минус 10	10	10
минус 20	15	5
минус 30 и ниже	постоянно	нет

2 Обзор существующих проектов обогрева механического оборудования гидротехнических сооружений

Сегодня, наиболее перспективным способом борьбы с обледенением затворов и других элементов механического оборудования водопропускных сооружений нужно признать системы обогрева электронагревателями с использованием активных греющих элементов на основе композиционных резистивных материалов (КРМ). Это материалы, которые в своем составе помимо прочих, содержат еще и токопроводящие компоненты, благодаря чему не только проводят электрический ток, но и обладают определенным удельным сопротивлением, в связи с чем, и получили название композиционных резистивных материалов. Важнейшим свойством композитов является возможность создавать из них активные греющие элементы с заранее заданными свойствами, наиболее полно отвечающими характеру и условиям работы; КРМ - класс материалов, обладающих свойствами, недостижимыми для уже известных материалов. В числе таких свойств можно назвать электропроводность, изменяющуюся в весьма широких пределах при сохранении прочностных характеристик в условиях отрицательных температур.

В настоящее время системы электрообогрева с использованием активных греющих элементов на основе композиционных резистивных материалов получают все большее распространение.

2.1 Проект системы обогрева затворов Угличской ГЭС

Электрообогрев затвора осуществляется при помощи нагревательных элементов в постоянном режиме.

При помощи датчиков температуры и измерителей регуляторов поддерживается заданная температура обшивки затвора и температура нагревательных элементов. В качестве нагревательных элементов выбраны нагреватели отечественного производителя - ООО «ПНП БОЛИД» из нержавеющей стали в исполнении IP67 на основе композиционного материала «ЭКОМ».

Нагревательные элементы устанавливаются во внутризатворные клетки затвора и распределены по затвору равномерно. Для уменьшения потерь тепла, необходимо после установки нагревательных элементов, внутризатворные клетки затвора обшить металлическими листами с утеплением с безнапорной стороны.

Система обогрева включает в себя следующее электрооборудование:

- нагревательные элементы 0,6 кВт (80 шт.);
- кабели силовые гибкие с медными жилами в резиновой оболочке повышенной морозостойкости марки КРШС и кабели марки КГРПУ гибкие с медными жилами в резиновой оболочке в холодостойком исполнении стойки к воздействию плесневых грибов, применяемые в силовых цепях;

- кабели контрольные гибкие с медными жилами не распространяющие горения с оболочкой из полиуретана в холодостойком исполнении стойки к воздействию повышенной относительной влажности воздуха до 98 %, стойки к воздействию плесневых грибов, экранированные, марки КГРУЭнг(А)-НЕ, применяемые в цепях управления;

- датчики контроля температуры нагревательных элементов (4шт.);

- датчики контроля температуры обшивки затвора (4шт.);

- аппаратура управления обогревом. Управление осуществляется как с местного поста управления (шкаф с аппаратурой), так и с центрального пульта управления;

- предусмотрено питание по 5-ти проводной схеме А, В, С, N, РЕ, напряжение сети 380/220В, 50 Гц;

- принята система заземления TN-S;

- для интеграции системы обогрева затвора в автоматизированную систему управления станции (АСУ ТП), для получения на АСУ ТП текущих значений измеренных величин, изменения уставок, а также любых программируемых параметров, используется модуль интерфейса RS-485, который установлен в измерителе - регуляторе. Подключение измерителя - регулятора к АСУ ТП осуществляется через преобразователь интерфейса Ethernet - RS-232/RS-485 ЕКОН134 [7].

2.2 Проект системы обогрева затворов Майнской ГЭС

В предлагаемой системе защиты сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС ТЭНы распределяются по безнапорной обшивке затвора.

Схема предусматривает местное управление электрообогревом затвора при помощи измерителя - регулятора температуры и датчиков температуры. Местное управление осуществляется с местного поста управления (со шкафа с аппаратурой).

В данной системе предусмотрено автоматическое регулирование обогревом затворов с помощью измерителя - регулятора температуры. Автоматическое включение обогрева затвора с регулировкой по температуре осуществляется с местного поста управления (со шкафа с аппаратурой).

Первоначальное включение обогрева затвора происходит при отрицательной температуре наружного воздуха. При нагреве металлической обшивки затвора до температуры +7°C происходит автоматическое отключение обогрева.

При понижении температуры на обогреваемой металлической обшивке затвора до +1 °с обогрев включается. Информация о температуре нагрева металлической обшивки затвора поступает от датчика температуры (терморезистора), постоянно контролирующего температуру обогреваемой обшивки.

Еще один датчик контролирует температуру нагрева воздуха внутри затвора рядом с ТЭНОМ. Датчик предназначен для защиты ТЭНа от перегрева. При достижении температуры нагрева воздуха рядом с ТЭНОМ до $+50^{\circ}\text{C}$ происходит автоматическое отключение обогрева.

При понижении температуры нагрева воздуха рядом с ТЭНОМ до $+10^{\circ}\text{C}$ автоматически обогрев включается. Температуру отключения ТЭНа, исключающую возможность выхода его из строя, определить и уточнить опытным путем при наладке системы обогрева.

В каждой обогреваемой полости устанавливается датчик температуры (термопреобразователь сопротивления). Подключение термопреобразователей сопротивления осуществляется к измерителю-регулятору.

Измеритель-регулятор обеспечивает работу системы обогрева в повторно-кратковременном режиме ограничивая максимальную температуру внутри каждой полости затвора.

Коммутационная, регулирующая аппаратура и аппаратура защиты устанавливается в электротехническом шкафу. Для предотвращения возможности появления конденсата в шкафу устанавливается обогреватель с термостатом.

Шкаф управления обогревом располагается в отапливаемом помещении плотины.

Силовые и контрольные кабели прокладываются от шкафа к обогревателям по «ногам» затвора в лотках [8].

2.3 Проект системы обогрева затворов Зейской ГЭС

Для обогрева основного затвора водосливной плотины, в его внутренних полостях устанавливаются нагреватели на основе КРМ. Нагреватели устанавливаются таким образом, чтобы равномерно распределить мощность обогрева по конструкции затвора. КРМ – это материалы, которые в своём составе помимо прочих, содержат токопроводящие компоненты, благодаря чему не только проводят электрический ток, но и обладают определённым удельным сопротивлением.

Обогреватели на основе КРМ представляют собой конструкцию из металлического корпуса, с установленными в ней нагревательными элементами. Для электро- и гидроизоляции используется мастика на битумной основе. Корпус нагревателя снаружи покрывается антикоррозионным составом, либо изготавливается с нержавеющей стали. Данная конструкция обладает высокой теплоёмкостью и прочностью.

При понижении температуры атмосферного воздуха ниже 0°C происходит образование наледи на следующих частях затворов:

- на обшивке с напорной поверхности плоского ремонтного затвора;
- на уплотнениях закладных частей плоского ремонтного затвора;
- на порогах плоского ремонтного и сегментного затворов.

Система обогрева затвора нагревателями на основе КРМ с циклическим режимом работы имеет ряд следующих преимуществ:

- высокая удельная мощность нагревателей;
- высокая тепловая инерционность;
- высокая ремонтпригодность;
- работа в условиях влажности воздуха 100%.

Электрообогрев закладных частей основного затвора водосливной плотины.

Электрообогрев осуществляется индукционным методом при помощи индукционных нагревателей, представляющих собой обмотку, выполненную специальным термостойким проводом.

Сечение провода и количество витков обмоток индукционных нагревателей выбраны на основании теплового и электрического расчётов.

Данный тип обогрева имеет высокую надёжность, экономичность и эффективность, умеренную стоимость и проверен на многих объектах гидротехники.

Обогреваемые части представляют собой металлические корпуса, куда укладывается индукционная обмотка из провода с термостойкой изоляцией.

По обмоткам индукционных нагревателей пропускается переменный ток заданной частоты. Физической основой индукционного обогрева является возникновение вихревых токов и потерь на "гистерезис" в металле при пересечении его, металла, переменным электромагнитным полем. Наличие этих токов и вызывает нагрев металлической конструкции.

Режим работы:

Автоматическое включение электрообогрева с регулировкой по температуре осуществляется как с местного, так и с центрального пульта управления, посредством нажатия соответствующих кнопок. Первоначальное включение электрообогрева происходит при отрицательной температуре наружного воздуха. При нагреве металла до температуры $+7^{\circ}\text{C}$ происходит автоматическое отключение обогрева. При понижении температуры на обогреваемой металлической поверхности до температуры $+1^{\circ}\text{C}$ обогрев включается снова. Информация о температуре нагрева металлической поверхности поступает от датчиков температуры (терморезисторов), постоянно контролирующей температуру обогреваемых поверхностей.

3 Общая характеристика Бурейской ГЭС

Бурейская ГЭС расположена на реке Бурей, в Амурской области у посёлка Талакан. Водоохранилище ГЭС расположено на территории двух субъектов федерации — Амурской области и Хабаровского края.

Бурейская ГЭС представляет собой мощную высоконапорную гидроэлектростанцию приплотинного типа. Конструктивно сооружения ГЭС разделяются на плотину, здание ГЭС, открытое распределительное устройство (ОРУ) и здание элегазового комплектного распределительного устройства (КРУЭ).

Установленная электрическая мощность 2010 МВт. На станции установлено шесть гидроагрегатов, в состав каждого из которых входит вертикальная радиально-осевая гидравлическая турбина максимальной мощностью 339,5 МВт и синхронный вертикальный гидрогенератор трехфазного тока номинальной мощностью 335 МВт и КПД 96,2 %.

Выдача мощности четырех из шести гидроагрегатов станции (с третьего по шестой) осуществляется по высоковольтным кабелям класса напряжения 500 кВ, объединенными в блоки: по одному кабелю - гидроагрегаты №№ 3 и 4, по второму - №№5 и 6. Диаметр кабеля - 128 мм, длина - 850 м. Кабельные линии протянулись от трансформаторов, входящих в энергоблоки, через 415-метровый тоннель и 115-метровую шахту, прорубленные в скале, к распределительному устройству (КРУЭ -500).

3.1 Природные условия. Климат

В районе Бурейской ГЭС климат муссонный. Зимой преобладает ясная и морозная погода при затишьях и слабых ветрах. Высота снежного покрова незначительная. Весна солнечна и сухая. Летом увеличиваются скорости ветра, облачность, влажность и количество выпадающих осадков. Температура воздуха относительно высокая. Осенью облачность и осадки уменьшаются, ветер ослабевает.

Средняя годовая температура воздуха составляет в створе ГЭС - 3,5°, в зоне выклинивания водоохранилища около -4,6°.

Самый холодный месяц январь, средняя температура которого составляет в створе ГЭС - 31°, в зоне выклинивания около -34°, а абсолютный минимум, соответственно, - 53° и - 58°, при этом абсолютный минимум в зоне водоохранилища наблюдается в феврале.

Самый теплый месяц июль со средней температурой около 19° и абсолютный максимум 40-41°.

Переход средней суточной температуры воздуха через 0° происходит в середине октября и апреля. В году бывает около 185 дней со средней суточной температурой выше 0°. Заморозки не отмечаются только в июле.

Средняя годовая относительная влажность составляет около 75%. Годовое количество осадков в зоне водоохранилища колеблется от 710 до 871 мм, в районе

створа ГЭС составляет 776 мм, из них 80% выпадает за пять теплых месяцев (V-IX). В году бывает около 146-152 дней с осадками. Часто осадки выпадают в виде ливней большой интенсивности, достигающей величины 71 мм/час обеспеченностью 1%. Наибольшие суточные осадки составляют 94-132 мм.

Первые заморозки на поверхности почвы отмечаются в первой половину сентября. Снежный покров образуется с 31 октября по 8 ноября, сходит во второй половину апреля. Наибольшая за зиму высота снежного покрова колеблется от 55 см.

3.2 Водный режим

По водному режиму р. Бурей относится к дальневосточному типу. Основным источником питания являются дожди, их доля составляет в среднем 50-70% общего годового стока. На снеговое питание приходится 10-20%, на подземное 10-30%.

Водный режим характеризуется небольшим весенним половодьем, частыми и значительными летне-осенними паводками, и низкой зимней меженью.

В начале апреля при ледоставе начинается весенний подъем уровня. Ледоход проходит в конце апреля - начале мая, как правило, на подъеме и пике весеннего половодья, длится чаще 8-10 суток, в отдельные годы - 2-18, сопровождается заторами и навалами льда на берега.

Паводочный период обычно продолжается около 150 дней, в отдельные воды 130-175 дней, число весенне-летне-осенних дождевых паводков в разные годы колеблется от 3 до 15. Наиболее значительные паводки проходят в основном в июле и августе, реже в мае - июне и сентябре. Между паводками наблюдаются кратковременные периоды низких уровней.

Обычно в октябре начинается спад уровней, но иногда в конце сентября и продолжается до начала ледообразования. Осенний ледоход, продолжавшийся в среднем 14 дней, в отдельные годы от 5 до 27 дней, носит зажорный характер. Ледостав наступает в начале ноября, обычно ему предшествует подъем уровня воды до 1 метра. После установления ледостава происходит медленный спад уровня.

Зимняя межень низкая устойчивая, длится с ноября по апрель. Многие реки бассейна зимой перемерзают и сток в них полностью прекращается. Годовой минимум наблюдается в январе - апреле.

Сток внутри года распределяется крайне неравномерно: 80-90% проходит в весенне-летний период с мая по сентябрь. В переходный период (октябрь - ноябрь) сток составляет 7-12% годового, в зимний - 2-5%.

3.3 Назначение и краткая характеристика эксплуатационного водосброса Бурейской ГЭС

Эксплуатационный водосброс (далее ЭВС) расположен в водосливной части плотины в секциях 26-34, оборудован восемью пропускными отверстиями. Пропускное отверстие имеет два ряда пазов для установки основного и аварийно-ремонтного затвора[8].

Маневрирование основным плоским колесным секционным затвором (12-14,6-14,6) осуществляется при помощи козлового крана 250/25/5-10.

Механическое оборудование эксплуатационного водосброса обеспечивает сброс воды из водохранилища в нижний бьеф или прекращение пропуска воды через водопропускные сооружения в любое время для обеспечения бесперебойной работы гидроузла. Поэтому затворы должны работать независимо и безотказно.

Основными функциями затворов водопропускных сооружений являются:

- поддержание заданного уровня в верхнем бьефе путем регулирования пропуска воды в нижний бьеф;

Затворы водопропускных сооружений должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- прочности и устойчивости конструкции в целом и её отдельных узлов;
- водонепроницаемости затвора и мест сопряжений его с частями сооружений или мест сопряжий отдельных частей затвора;
- возможности свободного маневрирования в стоячей воде в зависимости от назначения затвора;
- возможности регулирования объема сбрасываемой воды при различных открытиях проемов без нарушения работы затвора (для основных регулирующих затворов).

Все секции затвора должны быть пронумерованы во избежание аварий из-за неправильной их установке на высоте.

Для обеспечения маневрирования затворами при потере энергопитания кранов собственных нужд ГЭС предусмотрено подключение резервного электроснабжения (от резервных источников электроэнергии – дизельгенераторной установки БКАЭС1хР1250Х установленной на отметке 263.00 секция 3 [9]).

3.4 Затвор основной плоский колесный секционный (12,0-14,6-14,6)

Затвор плоский основной колесный секционный 12-14,6-14,6 является основным и предназначен для перекрытия водосливных отверстий плотины.

Технические характеристики затвора представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Техническая характеристика

Параметр	Значение
Пролет в свету (м)	12
Высота отверстия (м)	-
Расчетный напор (м)	12,82
Наружная высота (м)	14,6
Расчетное подъемное усилие (тс)	179,2
Расчетный напор (м)	14,6
Количество точек подвеса (шт)	2
Расстояние между точками подвеса (м)	13,04

Продолжение таблицы 3.1

Параметр	Значение
Количество основных затворов на водосливе (шт)	8
Количество аварийно - ремонтных затворов (шт)	2
Масса затвора(тн)	86,580
Подхват	консольный
Количество подхватов	2
Грузоподъемность подхватов, т	67

Каждая секция затвора представляет собой отдельный самостоятельный, по восприятию нагрузок, затвор. Размеры секций по высоте выбраны из условия одинаковых по величине нагрузок на секцию. Размещение колес принято таким, чтобы нагрузки на колеса были примерно равны. Секции объединены в единый затвор с помощью сурег, расположенных на опорно-концевых стойках (балках). На обшивке расположены конструкции, обеспечивающие взаимное удерживание секций относительно друг друга без больших смещений в направлении поперек пролета. Балочная клетка состоит из опорно - концевых балок, ригелей, стрингеров и диафрагм. Верх и низ обшивки секций подкреплены обвязками. Нижние обвязки служат также опорами для резины ножевых уплотнений. Вертикальные уплотнения из специального профиля (бульбы) и резиновых прокладок установлены таким образом, что бульба имеет предварительное натяжение путем изгиба основания бульбы. Натяг принят равным 5мм. Резиновый элемент «бульба» под действием давления воды прижимается к опорной поверхности, закладных частей. Прижимаясь к поверхности выполненной из нержавеющей стали, бульба уплотняет зазор. В тоже время, нержавеющая поверхность позволяет бульбе меньше изнашиваться, при перемещении затвора, так как долго остается гладкой.

Колеса с втулками из самосмазывающегося материала АСМ-К112 расположены в пазах, снаружи от опорно-концевых балок и закреплены на осях, которые, в свою очередь, заделаны в стенках опорно - концевых балок и диафрагмах, располагающихся внутри балочной клетки.

Затвор, состоящий из двух секций, работает как единое целое. Ни при установке его в пазы, ни при хранении он не разъединяется на секции. Разъединение секций предусмотрено только для ремонта затворов.

Затвор имеет две точки подвеса. С каждой стороны затвора имеются две штанги, с помощью которых производится подъем и опускание затвора в пазы, и подвешивание его в пазах при частичном открытии. На верхней секции затвора на опорно-концевых балках имеются консоли для непосредственного опирания затвора на подхваты. Имеются пара консолей, обеспечивающих открытие на 3,0; 6,0; 8,7; 10,73 м [9].

3.5 Затвор плоский колесный секционный (аварийно-ремонтный) (12-14,6-13,2)

Аварийно-ремонтный затвор (далее АРЗ) служит для перекрытия водосбросного отверстия в случае аварии основного затвора и необходимости прекратить незапланированный сброс воды или при необходимости произвести осмотр и ремонт основного затвора и его закладных частей.

Конструкция затвора аналогична конструкции основного затвора, кроме штанг, длина которых меньше чем на основном затворе [9].

3.6 Закладные части затворов основных и аварийно-ремонтных

Закладные части служат для направления движения затворов и передачи нагрузки от затвора на бетонные конструкции плотины в рабочем положении и при перемещении затворов во время открытия и закрытия пролетов.

Несущими элементами закладных частей являются литые рельсы. Другим главным назначением закладных частей является обеспечение плотного прилегания резиновых уплотняющих элементов затвора к поверхности пазовых конструкций. Для этой цели на закладных частях приварена полоса из нержавеющей стали [9].

3.7 Гидроуплотнения затворов ЭВС

Уплотнения резиновые для затворов гидротехнических сооружений пред назначены для герметизации и амортизации затворов гидротехнических сооружений, работающих в пресной или морской воде.

Уплотнения работоспособны в условиях умеренного климата при температуре от минус 35 до плюс 70 °С.

На Бурейской ГЭС для перекрытия зазоров между подвижной частью затвора и опорами установлены вертикальные (боковые - бульбовые) уплотнения типа 1-II ТУ-2539-019-00152106-00 (рисунок 3.1) и горизонтальные уплотнения типа XV (ножевые) (рисунок 3.2).

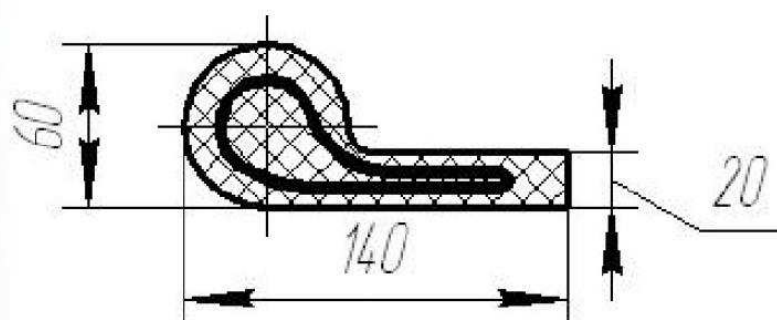


Рисунок 3.1 - Бульбовое уплотнение

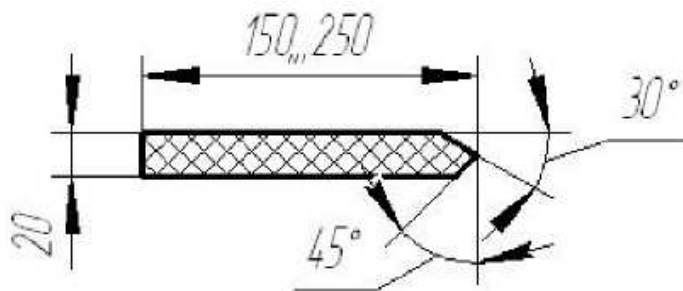


Рисунок 3.2 - Ножевое уплотнение

Работы по ремонту уплотнений должны включать в себя:

1. Установку аварийно-ремонтного затвора.
2. Осмотр основного затвора и закладных частей без подъем затвора.

При этом выявляются места неплотного прилегания элементов уплотнения к закладным частям и правильность опирания затвора на опорные элементы закладных частей, расположенные на горизонтальных площадках порога в пазах.

При опирании затвора на опорные площадки, ножевое уплотнение должно быть плотно и равномерно прижато к порогу на всей длине. Места отсутствия прилегания уплотнения проверяются путем осмотра уплотнения с двух сторон с помощью источника света (на просвет). Плотность опирания проверяется клиновым щупом. Усилие от вхождения щупа между резиной и порогом должно быть одинаковым при вхождении щупа на заданную глубину. Такие же измерения производят и при осмотре боковых вертикальных уплотнений. Бульбовое уплотнение должно плотно прижиматься с «натягом» не менее двух миллиметров, Все замеры производятся с составлением соответствующих эскизов, а точки для замеров выбираются равномерно вдоль уплотнения с шагом не более 500мм.

При обнаружении неприлегания ножевого уплотнения к порогу, резину следует заменить. Контур резины по вертикали привести в соответствие с профилем порога с помощью установки прокладок нужного размера и качества. В случае обнаружения дефектов на резине, она должна быть заменена. Боковые уплотнения так же устанавливаются в соответствии с положением конкретной закладной части на ее рабочей высоте.

Уплотнения стыкуются по длине только с помощью вулканизации. При другом способе стыков, нет ни какой гарантии от протечек.

Изготовление уплотнений и их подгонка к закладным частям должна производиться тщательно, без спешки, квалифицированным персоналом и под строгим контролем.

Производится также осмотр закладных частей и бетона в районе закладных с целью определения протечек в обход пазовых конструкций.

3.8 Обслуживание основного затвора

Осмотр затворов производится в плановом порядке в сроки согласованные с пропуском расходов и в зависимости от времени эксплуатации, а так же при

визуальных признаках неисправности: сверхнормативные протечки через уплотнения, признаки коррозии, возникновении сложностей при маневрировании, и особенно, при возникновении отказа в работе. Доступ к затвору при его рабочем положении ограничен, так как он находится частично в воде и в пазах. Для осмотра затвора на месте или подъема его, требуется установка аварийно-ремонтного затвора. При осмотре затвора определяют состояние металлоконструкций, наличие трещин, механических дефектов и т. п., состояние антикоррозионной защиты, износ поверхности колес, изменение геометрии окружности колес (овальность, лыски и т.п.), состояние втулок, наличие крепежных изделий на колесах и в местах крепления осей колес.

При осмотре уплотнений, в первую очередь, надо обратить внимание на те места, где наблюдались протечки. Определяется износ «бульбы» от трения, выявляются места вырывов резины, и оцениваются ее эластичные свойства.

При сроке эксплуатации после предыдущего ремонта более шести лет, резиновые элементы уплотнений заменяются в обязательном порядке. При назначении следующего планового ремонта затвора через пять лет и более, имеющиеся в наличии запасные резиновые элементы уплотнений, хранившиеся к началу ремонта два года и более, на затвор устанавливаются не рекомендуется, так как снижаются их эксплуатационные характеристики.

Не допускаются к дальнейшей эксплуатации затворы со следующими дефектами:

- наличие трещин на металлоконструкциях затвора и штанг;
- отсутствие части уплотнений и разрывы резиновых элементов;
- уменьшение толщины металла несущих элементов более, чем на 15%;
- преждевременно состарившаяся и затвердевшая резина уплотнений или резина старше десяти лет;
- если на колесах имеются «лыски» или другие отклонения от проектной формы поверхности катания;
- при износе втулки более 3 мм или ее разрушении.

Выявляются места неплотного прилегания элементов уплотнения к закладным частям и правильность опирания затвора на опорные элементы закладных частей, расположенные на горизонтальных площадках порога в пазах.

При опирании затвора на опорные площадки, ножевое уплотнение должно быть плотно и равномерно прижато к порогу на всей длине. Места отсутствия прилегания уплотнения проверяются путем осмотра уплотнения с двух сторон с помощью источника света (на просвет). Плотность опирания проверяется клиновым щупом. Усилие от вхождения щупа между резиной и порогом должно быть одинаковым при вхождении щупа на заданную глубину. Такие же измерения производят и при осмотре боковых вертикальных уплотнений. Бульбовое уплотнение должно плотно прижиматься с «натягом» не менее двух миллиметров. Все замеры производятся с составлением соответствующих эскизов, а точки для замеров выбираются равномерно вдоль уплотнения с шагом не более 500мм.

При обнаружении неприлегания ножевого уплотнения к порогу, резину следует заменить. Контур резины по вертикали привести в соответствие с профилем порога помощью установки прокладок нужного размера и качества. В случае обнаружения дефектов на резине, она должна быть заменена. Боковые уплотнения так же устанавливаются в соответствии с положением конкретной закладной части на ее рабочей высоте.

Уплотнения стыкуются по длине только с помощью вулканизации. При другом способе стыков, нет ни какой гарантии от протечек.

Производится также осмотр закладных частей и бетона в районе закладных с целью определения протечек в обход пазовых конструкций.

После проведения ремонта затвор опускают в пазы в обратном порядке. При первом пробном опускании выявляют места с неплотным прилеганием уплотнений по контуру затвора и другие скрытые дефекты. При необходимости производят дополнительные работы, после чего затвор еще два раза поднимают, и опускают на порог [9].

3.9 Система пневматическая для поддержания майн

Система пневматическая обеспечивает в зимнее время открытую воду перед затворами водосброса. Это нужно для того, чтобы ледяное поле не касалось обшивки затвора.

При непосредственном касании поля с обшивкой, при температурном расширении поля и примерзании его к берегам и конструкциям плотины возникает давление на обшивку затвора, которое не может быть воспринято затвором. Наличие свободной воды перед затвором обеспечивает расчетный режим работы затвора [9].

4 Вариант системы защиты от обледенения затвора водосливной плотины Бурейской ГЭС

4.1 Анализ существующей проблемы

Затворы эксплуатационного водосброса Бурейской ГЭС не имеют систем обогрева конструктивных элементов (пазов затвора, опорно-ходовых частей, обшивки затвора, вертикальных и горизонтальных уплотнений). В результате чего в период низких температур (октябрь-март) когда уровень верхнего бьефа находится выше порога водослива (243,0 и БС) происходит намораживание льда на конструктивных элементах затвора и на бетонных конструктивах водосбросной части плотины (рисунок 4.1.).

Несмотря на то, что указанные явления не представляют непосредственной угрозы для гидросооружения в целом, имеют место следующие негативные факторы:

1. Ледообразование в пазовых полостях затворов, создавая дополнительные нагрузки, может привести к деформации металлоконструкций затворов, разрушению ходовых частей, заклиниванию затворов в пазах.

2. Цикличное образование наледи на бетонных поверхностях и конструктивах водослива водосброса приводит к общему постепенному разрушению бетонных поверхностей при расширении льда, которое может привести к образованию трещин в бетоне, при этом наибольшие разрушения отмечаются по деформационным швам между секциями.

3. Устранение указанных дефектов довольно трудоемко, имеет периодический (ежегодный) характер и распространяется на весь срок службы сооружения, что в перспективе потребует значительных затрат.



Рисунок 4.1 – Образование льда на эксплуатационном водосбросе

В соответствии с требованиями ПТЭ [10]:

«3.1.40. Механическое оборудование гидротехнических сооружений (затворы и защитные заграждения с их механизмами), средства его дистанционного или автоматического управления и сигнализации, а также подъемные и транспортные устройства общего назначения должны быть в исправности и находиться в состоянии готовности к работе. Непосредственно перед весенним половодьем затворы водосбросных сооружений, используемые при пропуске половодья, должны быть освобождены от наледей и ледяного припая, чтобы обеспечить возможность маневрирования ими.

3.1.41. В необходимых случаях должны быть обеспечены утепление или обогрев пазов, опорных устройств и пролетных строений затворов, сороудерживающих решеток, предназначенных для работы в зимних условиях».

Так же согласно СНиП III-V.5-62 Госстрой (раздел VII «Дополнительные правила изготовления и монтажа стальных конструкций ГТС») [11] фильтрационные расходы через не плотности в уплотнениях не должны превышать при расчетном напоре величины, указанные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Допускаемая величина фильтрации в уплотнениях затворов

Вид уплотнения	Допускаемая величина фильтрации в л/сек на 1 пог. м уплотнения.
Неподвижные деревянные уплотнения без резиновой полосы	0,9
То же, с резиновой полосой	0,5
Подвижные деревянные уплотнения без резиновой полосы	0,8
То же, с резиновой полосой	0,3
Неподвижные резиновые уплотнения всех типов	0,3
Регулируемые (под напором) резиновые уплотнения	0,2
Неподвижные металлические уплотнения	0,9
Подвижные металлические уплотнения	0,8

Норма протечки для поверхностных затворов Бурейской ГЭС с неподвижными резиновыми уплотнениями составляет 0,3 л/сек на 1000 мм уплотнений.

Проведение ежегодных противофильтрационных мероприятий (конопачение и шлакование затворов) не приводит к полному исключению протечек из-за особенностей конструкции затворов и старения уплотнений.

Необходимо выполнить расчет допустимого объема возможных протечек через уплотнения.

Задача данного расчета определить массу льда, образующуюся вследствие протечек уплотнений эксплуатационных затворов.

К расчету принимаются следующие условия:

- объем протечек рассматривается как величина постоянная, не зависящая от величины статического давления обусловленного падением уровня в ВБ, равномерно и линейно, нормативная величина протечек составляет- 0,3 л/сек. ($1,08 \text{ м}^3/\text{ч}$) на 1п.м. уплотнения.

- начало периода ледообразования - принято с 1 ноября 2019г., на данный момент уровень ВБ составлял 255,51, принято по результатам наблюдений и данных режима.

- нижняя отметка ВБ – 243,05 м, дата достижения данной отметки 04.03.2020 г., принято по результатам наблюдений и данных режима.

- Линейная длина всех уплотнений эксплуатационного затвора принято по конструктивным данным из них:

Бульбовое уплотнение $-14,600 \cdot 8 \cdot 2 = 233,60 \text{ м}$.

Ножевое уплотнение $-12,820 \cdot 8 = 102,56 \text{ м}$.

Межсекционное уплотнение $-12,820 \cdot 8 = 102,56 \text{ м}$. отм.246,90м.

- высота столба воды за затвором зависит от уровня верхнего бьефа и определяется от отметки порога водослива 243,00 м.

Высота столба за затвором от порога затвора при отметке ВБ 255,51 м равна:

$$255,51 \text{ м} - 243,00 \text{ м} = 12,51 \text{ м}.$$

Длина бульбовых уплотнений, находящихся под водой, в зависимости от уровня воды за затвором:

$$12,51 \text{ м} \cdot 2 \cdot 8 = 200,24 \text{ м}.$$

Длина ножевого уплотнения, находящихся под водой:

$$12,82 \text{ м} \cdot 8 = 102,56 \text{ м}.$$

Длина межсекционного уплотнения, находящихся под водой:

$$12,82 \text{ м} \cdot 8 = 102,56 \text{ м}.$$

Сумма длин уплотнений, находящихся под водой:

$$200,24 \text{ м} + 102,56 \text{ м} + 102,56 \text{ м} = 405,36 \text{ м}.$$

Объем протечек за сутки составит:

$$405,36 \text{ м} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 1,08 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 10\,506,81 \text{ м}^3.$$

Остальные результаты расчета представлены в приложении А.

Зависимость объема протечек через затворы от уровня верхнего бьефа представлена на рисунке 4.2.

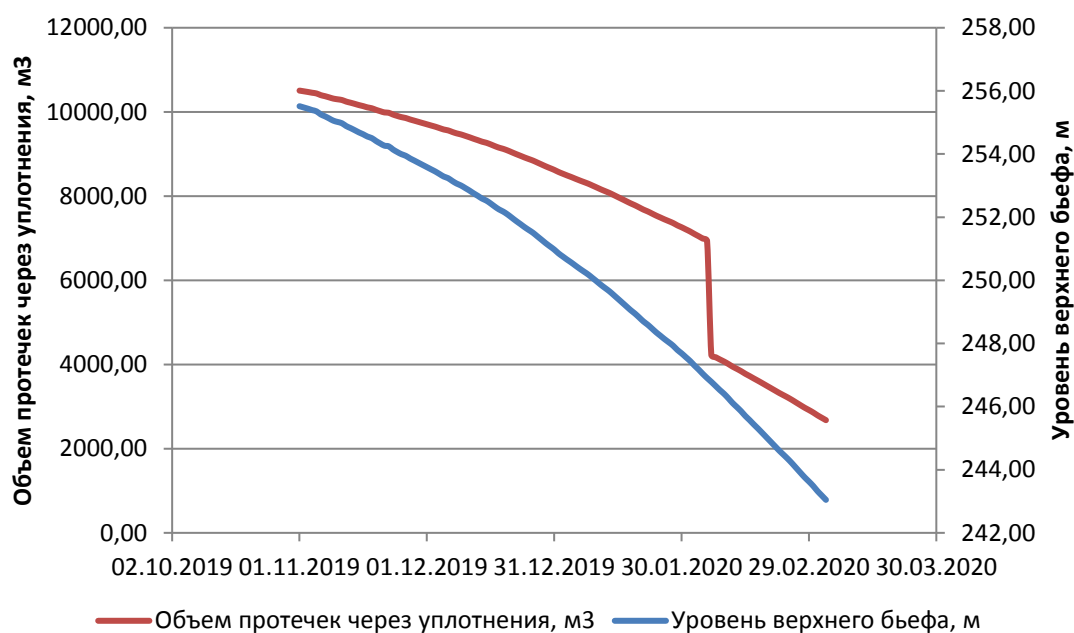


Рисунок 4.2 – Зависимость объема протечек через затворы от уровня ВБ

Объем протечек с 8-ми затворов с 01.11.2019г. по 04.03.2020г. (5 месяцев) составляет 967 191,18 м³, получилась внушительная цифра.

Масса льда составит – 886 914,31 тонн. (при уд. весе льда 917 кг/м³). В зимних условиях это лед, намерзающий за затворами.

При попадании воды и дальнейшем замораживании в микротрещинах бетона водосливной грани, возможен процесс разрушения бетона.

Поэтому производится освидетельствование поверхности водосливной грани производится ежегодно после зимнего сезона в течение мая месяца всех пролетов и отдельных стенок.

Бетонные поверхности водослива, находящиеся в постоянной эксплуатации, могут иметь разрушения и дефекты (рисунок 4.3), которые впоследствии могут влиять на эксплуатационно-технические характеристики водослива и на надежность ж/б элементов водосливной плотины в целом.

Среди таких разрушений и дефектов выделяются:

- каверны, выбоины и царапины на водосливной грани;
- наплывы, уступы и переломы в строительных швах;
- места с оголенным крупным заполнителем;
- зоны отколовшегося бетона различной мощности;
- трещины, кавитационные каверны и др.

Чтобы устранить вышеприведенные разрушения на бетонных поверхностях водосливной грани производятся дорогие и сложные ремонтные работы включающие в себя набор специальных мероприятий, таких, как оконтуривание дефектных мест, тщательную подготовку бетонного

основания, установку дополнительного армирования (при необходимости), уход за свежееуложенным составом и пр., позволяющих продлить межремонтный срок эксплуатации сооружения.

При производстве ремонтных работ в последние несколько лет используют либо сухие готовые строительные смеси, либо составы бетонов и растворов, содержащие специальные комплексные добавки, позволяющие получать ремонтный состав с высокими показателями прочности, водонепроницаемости и морозостойкости.

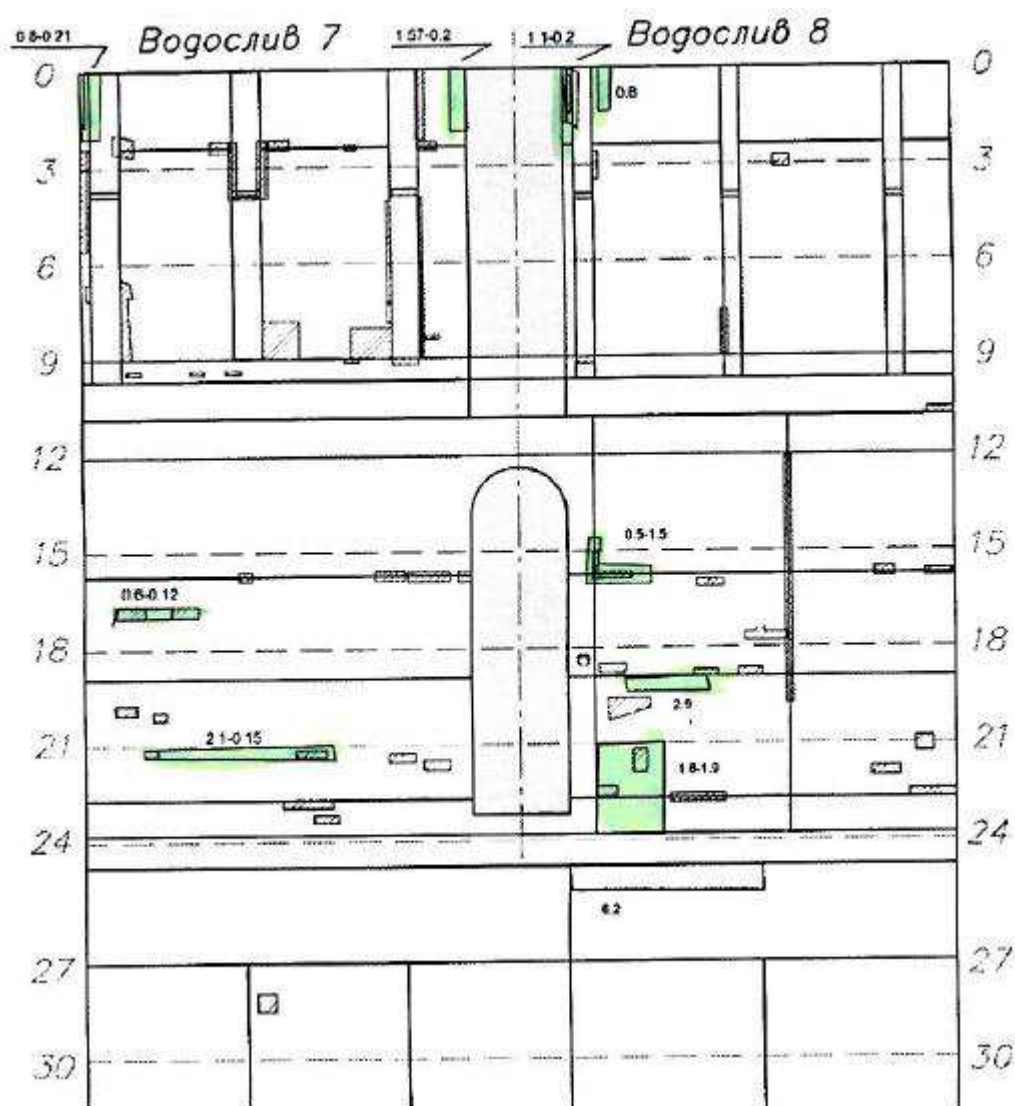


Рисунок 4.3 - Схема дефектов на водосливе

Указанные проблемы можно решить реконструкцией существующих затворов путем оснащения их системой обогрева пазов и системой перехвата протечек воды через уплотнения.

Для откачки дренажных вод установлено на отм. 129.0 по два погружных насосов FLYGHT RT 3231/605.

Производительность одного насоса $Q = 304 \text{ м}^3/\text{ч}$.

4.2 Тепловой расчет системы обогрева затвора водосливной плотины

Исходные данные:

- Расчетная температура наружного воздуха $\theta = -31^\circ\text{C}$.
- Время подготовки затвора к маневрированию $\tau = 10$ ч.
- Длина обогреваемых частей $l = 87,8$ м.
- Толщина намерзшего слоя льда $\delta = 0,01$ м.
- Толщина слоя льда, подлежащего растоплению $\delta_o = 0,01$ м.
- Подводимое напряжение 380/220 В.
- Количество обогреваемых затворов $n = 8$ шт.

Обозначения, размерности и численные значения коэффициентов приняты в соответствии с ВСН 029-70/Минэнерго СССР «Указания по расчету систем обогрева элементов гидромеханического оборудования гидротехнических сооружений».

Тепловой расчет обогрева закладных частей и порога затвора водосливной плотины производится по методике, разработанной ВНИИГом имени Б.Е. Веденеева в техническом отчете по работе: "Исследование различных методов обогрева значительных поверхностей бетона".

Для определения мощности необходимой для обогрева затвора, обеспечивающий таяние слоя льда толщиной $\delta=0,01$ м, находим зависимость между интенсивностью теплового потока (q_l), идущего ко льду, намерзшему на закладные части и временем (τ), необходимым для таяния слоя льда (δ_o) толщиной 0,01 м.

$$\tau = \frac{k}{q_l} \cdot \delta + k \cdot \frac{\lambda(t_{\text{ср}} - \theta)}{q_l^2} \cdot \ln \frac{m}{m - q_l \cdot \delta}, \quad (4.1)$$

где:

$$k = \rho \cdot \gamma_l + \frac{c_l \cdot \gamma_l (t_{\text{ср}} - \theta)}{2}; \quad (4.2)$$

$$m = q_l \cdot \left(\frac{\lambda}{\alpha} + \delta_o \right) - \lambda (t_{\text{ср}} - \theta); \quad (4.3)$$

$$\alpha = 20 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}} - \text{коэффициент теплоотдачи от льда в воздух};$$

$$\rho = 80 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} - \text{теплота плавления льда};$$

$$C = 0,5 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}} - \text{теплоемкость льда};$$

$$\lambda = 2 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}} - \text{коэффициент теплопроводности льда};$$

$$\gamma = 920 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3} - \text{объемный вес льда};$$

$t_{cp} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура на поверхности закладной части.

Таяние льда будет происходить, если величина $q_{л}$ будет удовлетворять условия:

$$q_{л} \geq q_{л \min} = \frac{\lambda(t_{cp} - \theta)}{\frac{\lambda}{\alpha} + \delta - \delta_0} = \frac{2 \cdot (0 - (-31))}{\frac{2}{20} + 0,01 - 0,01} = 620 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}; \quad (4.4)$$

Следовательно, таяние льда будет происходить при $q_{л} \geq 620 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$.
Подставив в формулы 4.1, 4.2, 4.3 известные величины, получим:

$$k = 80 \cdot 920 + \frac{0,5 \cdot 920 \cdot 31}{2} = 73600 + 7150 = 80750 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2};$$

$$m = q_{л} \cdot \left(\frac{2}{20} + 0,01 \right) - 2 \cdot 31 = 0,11 \cdot q_{л} - 62 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2};$$

$$\tau = \frac{80750}{q_{л}} \cdot 0,01 + \frac{2(0 - (-31))}{q_{л}^2} \cdot 80750 \cdot \ln \frac{0,11 \cdot q_{л} - 62}{0,11 \cdot q_{л} - 62 - 0,01 \cdot q_{л}} = \frac{807,5}{q_{л}} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{q_{л}^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot q_{л} - 62}{0,1 \cdot q_{л} - 62} \text{ ч};$$

Задаваясь различными значениями $q_{л} \geq q_{л \min}$ вычислим время обогрева.

$$\text{При } q_{л1} = 800 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}},$$

$$\tau_1 = \frac{807,5}{800} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{800^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 800 - 62}{0,1 \cdot 800 - 62} = \frac{807,5}{800} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{800^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 800 - 62}{0,1 \cdot 800 - 62} = 1,01 + 7,8 \cdot \ln \cdot 1,44 = 1,01 + 7,8 \cdot 1,36 = 1,01 + 10,6 = 11,6 \text{ ч.}$$

$$\text{При } q_{л2} = 850 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}};$$

$$\tau_2 = \frac{807,5}{850} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{850^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 850 - 62}{0,1 \cdot 850 - 62} = 0,95 + 6,95 \cdot \ln \cdot 1,37 = 0,95 + 6,95 \cdot 1,315 = 10,1 \text{ ч.}$$

$$\text{При } q_{л3} = 900 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}};$$

$$\tau_3 = \frac{807,5}{900} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{900^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 900 - 62}{0,1 \cdot 900 - 62} = 0,95 + 6,15 \cdot \ln \cdot 1,32 = 0,90 + 6,15 \cdot 1,278 = 8,75 \text{ ч.}$$

$$\text{При } q_{л4} = 1000 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}};$$

$$\tau_4 = \frac{807,5}{1000} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{1000^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 1000 - 62}{0,1 \cdot 1000 - 62} = 6,95 \text{ ч.}$$

$$\text{При } q_{л5} = 1200 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}};$$

$$\tau_5 = \frac{807,5}{1200} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{1200^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 1200 - 62}{0,1 \cdot 1200 - 62} = 0,67 + 3,48 \cdot \ln \cdot 1,2 = 0,67 + 3,48 \cdot 1,18 = 4,7 \text{ ч.}$$

$$\text{При } q_{л6} = 1300 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}};$$

$$\tau_6 = \frac{807,5}{1300} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{1300^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 1300 - 62}{0,1 \cdot 1300 - 62} = 0,62 + 2,96 \cdot \ln \cdot 1,19 = 4,1 \text{ ч.}$$

$$\text{При } q_{л7} = 1500 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}};$$

$$\tau_7 = \frac{807,5}{1500} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{1500^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 1500 - 62}{0,1 \cdot 1500 - 62} = 0,54 + 2,22 \cdot \ln \cdot 1,17 = 3,1 \text{ ч.}$$

$$\text{При } q_{л8} = 1700 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}};$$

$$\tau_8 = \frac{807,5}{1700} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{1700^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 1700 - 62}{0,1 \cdot 1700 - 62} = 0,475 + 1,73 \cdot \ln \cdot 1,15 = 0,475 + 1,73 \cdot 1,134 = 2,43 \text{ ч.}$$

$$\text{При } q_{л9} = 2000 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}};$$

$$\tau_9 = \frac{807,5}{2000} + \frac{5,0 \cdot 10^6}{2000^2} \cdot \ln \frac{0,11 \cdot 2000 - 62}{0,1 \cdot 2000 - 62} = 0,404 + 1,25 \cdot \ln \cdot 1,14 = 0,404 + 1,25 \cdot 1,131 = 1,8 \text{ ч.}$$

Данные расчета сводятся в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Данные расчета

$q_{л}, \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	800	850	900	1000	1200	1300	1500	1700	2000
$\tau, \text{ч}$	11,6	10,1	8,75	6,95	4,7	4,1	3,1	2,43	1,8

По данным таблицы 4.2 строится график зависимости $\tau = f(q_{л})$ (рисунок 4.4).

Из графика $\tau = f(q_{л})$ для заданного значения времени обогрева $\tau = 10 \text{ ч}$ определяется $q_{л} = 850 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$.

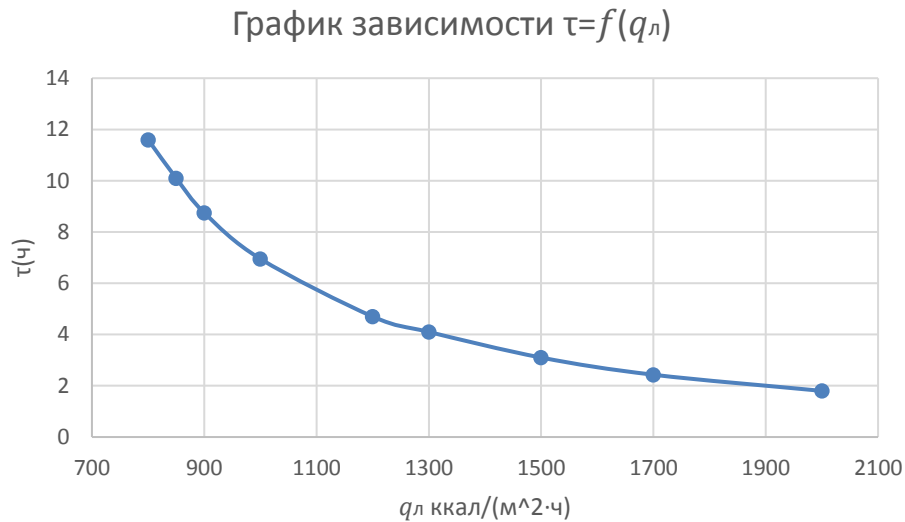


Рисунок 4.4 - График зависимости $\tau = f(q_l)$

Определяется значение критерия Фурье, необходимое для определения теплового потока в бетон:

$$F_a = \frac{a \cdot \tau}{b^2} = \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{0,02^2} = 75, \quad (4.5)$$

где:

$a = 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$ – коэффициент температуропроводности бетона;

$b = 0,02 \text{ м}$ – глубина заложения закладных частей в бетон.

Величина отношения между тепловым потоком в лед q_l и в бетон q_b определяется из графика зависимостей $\varepsilon_{1\text{ср}} = f(F_0)$, согласно техническому отчету ВНИИГа им. Б.Е. Веденеева по теме: «Исследования различных методов обогрева значительных поверхностей бетона».

$$\varepsilon_{1\text{ср}} = \frac{q_l}{q_b} = f(F_0) = 12. \quad (4.6)$$

Находится удельный тепловой поток в бетон:

$$q_b = \frac{q_l}{\varepsilon_{1\text{ср}}} = \frac{850}{12} = 70 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}. \quad (4.7)$$

Площадь обогреваемых частей, обращенных в сторону льда, определяется графически с помощью программы AutoCAD: $F_l = 4,89 \text{ м}^2$.

Площадь обогреваемых частей, обращенных в сторону бетона, определяется графически с помощью программы AutoCAD: $F_b = 5,47 \text{ м}^2$.

Количество тепла, необходимое для таяния льда с учетом потерь на нагрев бетона равно:

$$Q = q_{\text{л}} \cdot F_{\text{л}} + q_{\text{б}} \cdot F_{\text{б}} = 850 \cdot 4,89 + 70 \cdot 5,47 = 4539,61 \frac{\text{ккал}}{\text{ч}}. \quad (4.8)$$

Мощность, необходимая для обогрева ремонтного затвора будет равна:

$$P = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot Q = 1,3 \cdot \frac{1}{860} \cdot 4539,61 = 6,86 \text{ кВт}, \quad (4.9)$$

где:

κ_1 - коэффициент запаса, учитывающий прогрев примыкающих металлоконструкций;

$$\kappa_2 = \frac{1}{860} - \text{коэффициент перевода } \frac{\text{ккал}}{\text{ч}} \text{ в кВт}.$$

Мощность, необходимая для обогрева 8-ми пролетов:

$$P_{\text{общ}} = P \cdot 8 = 6,86 \cdot 8 = 54,90 \text{ кВт}, \quad (4.10)$$

4.3 Система обогрева пазов и система перехвата протечек

Предлагаю рассмотреть проект «Система обогрева пазов и система перехвата протечек» на примере Бурейской ГЭС.

Система предназначена для обогрева пазовых конструкций основного затвора и перехвата протечек через уплотнения с последующим удалением их в дренажную систему Бурейской ГЭС через галерею №9 (приложение Б).

Система состоит из следующих составных частей:

1. Система обогрева пазов в месте примыкания вертикальных уплотнений основного затвора.

2. Система обогрева порога.

3. Система перехвата протечек с обогреваемым коллектором.

4. Улавливающий фартук для направления протечек в коллектор.

Состав системы обогрева пазов в месте примыкания вертикальных уплотнений основного затвора (приложение В):

- тепловой коллектор;

- кабель с опорой (тип кабеля - SM2-CR);

- длина обогреваемой части уплотнения – 14 м;

- длина холодной вертикального уплотнения до отметки гребня плотины (265,000м) - 8,188 м;

- тип кабеля - SM2-CR;

- высота теплового коллектора – 22,2 м.

Характеристики греющего кабеля приведены в таблицах 4.3 и 4.4, внешний вид показан на рисунке 4.5.

Таблица 4.3 – Характеристики греющего кабеля

Тип медной шины	14 AWG
Номинальная выходная мощность	80 Вт/м
Максимально поддерживаемая температура	90°C
Максимальная кратковременная температура воздействия	100°C
Напряжение	208~277 В

Таблица 4.4 - Зависимость тока автомата защитного отключения и максимальная длина цепи

Марка кабеля	Пусковая температура	20А	30А	40А	50А
SM2-CR 220V	10°C	35	50	65	80
	0°C	33	47	61	75
	-10°C	31	43	56	70

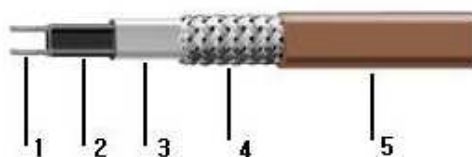


Рисунок 4.5 – Греющий кабель

На рисунке позициями указаны составные части кабеля:

1. Медная шина
2. Саморегулирующийся проводящий сердечник.
3. Модифицированная полиолефиновая изоляция.
4. Медная луженая оплетка.
5. Модифицированная полиолефиновая внешняя термоизоляция.

Кабель SM2-CR состоит из непрерывного сердечника из проводящего полимера, выполненного методом экструзии между двумя медными шинами. Кабели SM2-CR регулируют свою собственную выходную мощность в зависимости от окружающей температуры под воздействием тока, протекающего через сердечник кабеля, и уменьшают потребление электроэнергии при эксплуатации.

Состав системы обогрева порога (приложение Г):

- защитный порог с фиксаторами кабеля;
- кабель греющий (тип кабеля - SM2-CR);
- длина обогреваемой части уплотнения порога – 12 м;

- длина холодной части уплотнения порога до отметки гребня плотины (+265,000) - 23,8 м.

Система перехвата протечек состоит из улавливающей воронки (приложение Д), трубы для отвода утечек в галерею №9 и греющего кабеля, расположенного на трубе для отвода утечек. Улавливающая воронка заделана в штрабу, выполненную на водосливе ниже порога. Воронка выполнена из листовой стали. К воронке приварена стальная горячекатаная бесшовная труба, которая служит направляющей для трубы отвода протечек. Для установки трубы для отвода протечек в бетоне водосливного лотка выполнено отверстие, в которое вставлена стальная труба. Вся конструкция герметизируется и заливается бетоном. На трубе для отвода протечек установлены фиксаторы (приложение Е), предохраняющие греющий кабель от механических повреждений. Греющий кабель наматывается по спирали в промежутки между фиксаторами и закрепляется при помощи крепёжной ленты, рекомендуемой производителем кабеля.

Улавливающий фартук (приложение Ж) выполнен из листовой резины и крепится на нижней секции затвора с безнапорной стороны таким образом, чтобы исключить или свести до минимума протекание воды между ним и лотком водосливной плотины. В фартуке выполнены выемки, через которые вода попадает в улавливающие воронки. Для дополнительной жёсткости фартук подкреплён стальным листом, который одновременно служит крепление фартука. Крепление фартука к порогу выполнено болтовыми соединениями.

Система эксплуатируется в холодное время года ориентировочно с сентября по апрель включительно, когда возможно образование льда на уплотнениях закладных частей.

Основные технические характеристики представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Основные технические характеристики

Параметр	Значение	Примечание
Система обогрева		
Потребляемая мощность, Вт	7024	На 1 пролет
Рабочее напряжение, В	220	
Удельная мощность кабеля, Вт/м	80	
Рабочая температура кабеля, °С	80	
Масса конструкции, кг	1700	
Система сбора протечек		
Пропускная способность системы, м ³ /мин	1,5	
Одного коллектора, м ³ /мин	0,5	
Количество коллекторов, шт	3	
Масса конструкции, т	3000	

4.4 Схема обогрева электрическая принципиальная и перечень элементов

Обеспечение работоспособности затвора в зимний период возможно лишь при наличии электрообогрева, который позволит свободно маневрировать затвором и исключить образование льда на затворе в период отрицательных температур наружного воздуха.

Электрообогрев затвора осуществляется при помощи нагревательных элементов в постоянном режиме.

Система обогрева включает в себя следующее электрооборудование:

- нагревательные элементы SM2-CR220V;
- кабели силовые гибкие с медными жилами в резиновой оболочке повышенной морозостойкости КГ 4x70 и кабели рабочие КГ 2x2,5 с медной жилой, изоляцией и оболочкой из резины;
- аппаратура управления обогревом. Управление осуществляется как с местного поста управления (шкаф с аппаратурой), так и с главного пульта управления;
- предусмотрено питание по 5-ти проводной схеме А, В, С, N, PE, напряжение сети 380/220В, 50 Гц;
- для интеграции системы обогрева затвора в автоматизированную систему управления станции (АСУ ТП), для получения на АСУ ТП текущих значений измеренных величин, изменения уставок, а также любых программируемых параметров, используется модуль интерфейса RS-485, который установлен в измерителе - регуляторе. Подключение измерителя - регулятора к АСУ ТП осуществляется через преобразователь интерфейса Ethernet - RS-232/RS-485 ЕКОН134.

Предлагаю установить один общий шкаф управления с АВР вблизи лестничной клетки на отметке 265,00 (приложение К).

В данном варианте достигается оптимальная длина кабелей от подстанции №17 6/0,4 кВ до АВР, совмещённым со шкафом управления. Далее, по местам обогрева к потребителям (приложение К).

Для обогрева пазов кабели прокладываются по гребню со стороны нижнего бьефа между подкрановыми путями и пазами основных затворов.

Для обогрева сливных коллекторов, через лестничную клетку ЛК-30А до галереи №9. В схеме применяются 2 типоразмера кабеля, силовой КГ 4x70 от подстанции к АВР и рабочие КГ 2x2,5 от АВР к потребителям (приложение И).

Основной перечень элементов представлен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Основные технические характеристики представлены.

Поз. обознач.	Наименование	Количество
Секция АВР		
1HL1	Лампа ХВ4ВVM1 230-240В сигнальная белая. "Schneider Electric"	1
2HL1	Лампа ХВ4ВVM5 230-240В сигнальная желтая. "Schneider Electric"	1
1KM1, 2KM1	Контактор LC1E95004M7 4P(4НО)125А АС1 220В 50/60Гц. "Schneider Electric"	2
1KV1, 2KV1	Реле контроля чередов обрыва фаз RM17TG20 200/500В, 2СО. "Schneider Electric"	2
1QF1, 2QF1	Автоматический выключатель EZC100N3100 100А/3п. "Schneider Electric"	2
1QF2, 2QF2	Автоматический выключатель А9F79306 6А С iC60N 6кА. "Schneider Electric"	2
XT1	Клемма проходная AVK 95 Арт. 304340	8
	Клемма земля AVK 50Т. Арт. 334190	1
Шкаф SH1		
BT	Термостат NSYCCOTHС, 1НЗ, от 0 до +60 "Schneider Electric"	1
EK	Резистивный нагреватель NSYCR100WU2 100Вт, 110-250. "Schneider Electric"	1
HL1	Лампа ХВ4ВVM3 230-240В сигнальная зеленая. "Schneider Electric"	1
HL2-HL17	Лампа ХВ4ВVM4 230-240В сигнальная красная. "Schneider Electric"	16
K1-K18	Реле промежуточное RXM4AB1P7 6А 230В 4ПК	18
	Скоба-держатель RXZ400. "Schneider Electric"	18
	Колодка RXZE2M114, 2/4ПК. "Schneider Electric"	18
KM1	Пускатель магнитный LC1E120M5, 3P.120А. НО+НЗ.380В.АС3.220VАС. "Schneider Electric"	1
SA1	Переключатель с фиксацией ХВ4BD25 2 позиции 1но+1нз. "Schneider Electric"	1
SB1	Кнопка аварийного останова ХВ4BS9442 возврат ключом, 1НЗ. "Schneider Electric"	1

Продолжение таблицы 4.6

Поз. обознач.	Наименование	Количество
SB2	Кнопка красная XB4BA42 возвратная 22мм без фиксации 1нз. "Schneider Electric"	1
SB3	Кнопка зеленая XB4BA31 возвратная 22мм без фиксации 1но. "Schneider Electric"	1
QF1	Автоматический выключатель EZC100N3100 100А/3п. "Schneider Electric"	1
QF2, QF3	Автоматический выключатель A9F79106 6А С iC60N 6кА. "Schneider Electric"	2
QF4-QF19	Автоматический выключатель A9F79125 6А С iC60N 6кА. "Schneider Electric"	16
	Блок-контакт состояния A9N26924 240-415В 6А. "Schneider Electric"	16
XT2	Клемма проходная AVK 4 Арт. 304130	36
XT3	Клемма проходная AVK 4 Арт. 304130	30
XT4	Клемма проходная AVK 4 Арт. 304130	30
XT5	Клемма проходная AVK 4 Арт. 304130	38
EK1-EK6	Нагревательный элемент 220В, 50Гц.	6

Схемой предусмотрено местное и удаленное управление системой обогрева. Выбор вида управления осуществляется переключателем SA1. Имеются кнопка "пуск" SB3 и кнопка "стоп" SB2, чтобы включать и отключать магнитный пускатель KM1.

Включение аварийного останова системы обогрева затвора осуществляется нажатием кнопки SB1 с возвратом от ключа.

О включении системы обогрева масляной или удаленной сигнализируют лампы 1HL1, 2HL1.

Для контроля наличия напряжения в питающей сети в шкафу управления SH1 устанавливаем соответственно реле контроля напряжения 1KV1, 2KV1, выбираем автоматический выключатель 1QF2, 2QF2.

В шкафу SH1 управления установлен обогреватель ВТ и резистивный нагреватель ЕК, для предотвращения выпадения конденсата в шкафу и регулирования температуры внутри шкафа, начинает свою работу при температуре меньше +5⁰С.

Если будет поврежден нагрев какого-либо из пролетов №№1-8 верхней или нижней части, об этом будут сигнализировать лампы HL2-HL17, при замыкании промежуточного реле К1-К18, так же будут загораться сигнальные лампы на щите управления, чтобы видеть на каком пролете произошел разрыв (приложение И).

4.5 Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт

Система используется в период времени, когда среднесуточная температура воздуха опускается ниже 0°C.

Система подключается к электрической сети напряжением 220В. Перед началом работ необходимо изучить инструкцию по эксплуатации системы.

До начала проведения работ всё оборудование системы должно быть подвергнуто визуальному осмотру на предмет обнаружения механических повреждений коллекторов, греющего кабеля и вспомогательного оборудования, проводов, клеммных коробок, аппаратуры управления.

После визуального осмотра необходимо проверить изоляцию системы, надёжность заземления и определить наличие токов утечки. В случае выявления дефектов, работа с системой запрещается до полного их устранения.

Система эксплуатируется в холодное время года ориентировочно с сентября по апрель включительно, когда возможно образование льда на уплотнениях закладных частей.

Рабочая труба коллектора, по которой удаляются протечки, снабжена заглушкой с штуцером для подачи сжатого воздуха. Это необходимо для прочистки рабочей трубы от засоров.

В процессе эксплуатации системы необходимо производить осмотр магистралей и аппаратуры. На металлоконструкциях системы не допускаются трещины, сколы металла, различные другие повреждения, которые могут привести к намерзанию льда и последующего отрыва его вместе с фрагментом конструкции.

В тёплое время года в соответствии с планом производства осмотров, должны проводиться осмотры системы с целью выявления неисправностей и своевременного их устранения.

Ремонт системы заключается в замене греющего кабеля в случае выхода его из строя в результате повреждения, обрыва, короткого замыкания.

Ремонт металлоконструкций выполняется в летнее время по показаниям и в плановом порядке.

4.6 Реконструкция межсекционного уплотнения затворов водосливной плотины

Наибольший объем протечек имеется между секциями затворов водосброса.

Протечки происходят из-за особенностей выполнения межсекционного сцепа. Для возможности беспрепятственного перемещения серьги во время соединения-разъединения секций, отверстие в серьге выполняется специальной формы, вытянутой вверх и с увеличивающимся диаметром. При этом в положение, когда верхняя секция установлена на нижнюю, ось сцепа находится в верхней части этого отверстия, которая с увеличенным диаметром. Благодаря этому осуществляется свободное перемещение оси. Но при подъеме происходит

перемещение оси в нижнее положение в отверстиях, за счет чего происходит раздвижение секций друг относительно друга на 20мм. Конструкция межсекционного уплотнения не предназначена для перекрытия таких зазоров. Это конструктивное упущение. Так же при попадании воды в зазор между секциями в холодное время года, вода замерзает, расширяется и смещает секции относительно друг друга, что приводит к появлению протечек между секциями.

Для решения этой проблемы предлагаю реконструкцию уплотнения с целью обеспечения возможности перекрытия большего зазора.

Вариант, который пусть и не гарантирует полного прекращения протечек через межсекционное уплотнение, но должен значительно снизить их. При этом возможно, что протечки в пролете прекратятся полностью, останутся только протечки по краям затвора, которые будут стекать в пазы затвора.

Для этого на напорной стороне затвора на верхней секции устанавливается резиновый фартук, который в положении, когда верхняя секция стоит нижней, просто висит вдоль обшивки нижней секции. Когда затвор установлен на пороге, а вода со стороны верхнего бьефа начинает давить на напорную поверхность, фартук прижимается к обшивке нижней секции и препятствует течению воды (Рисунок 4.6).

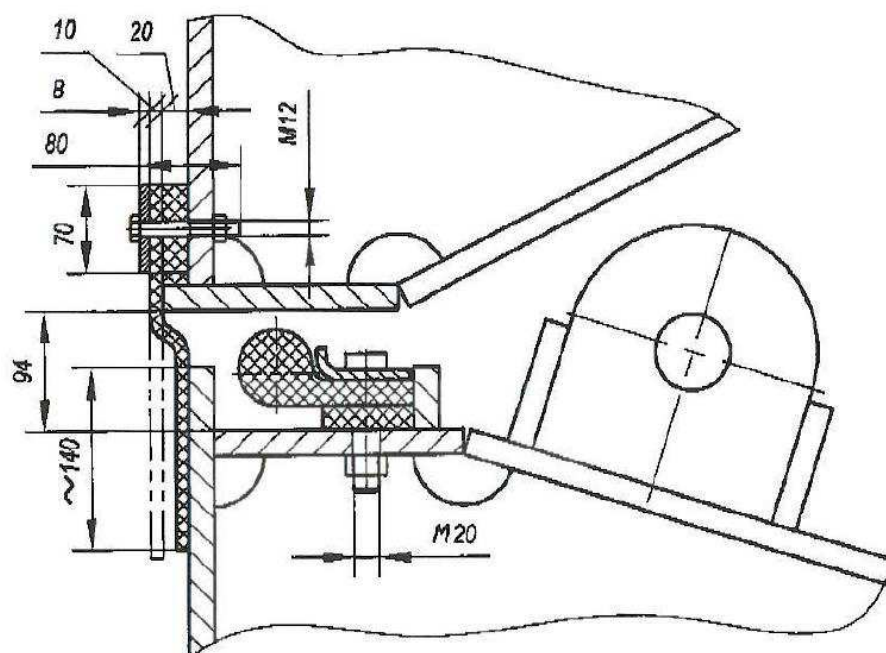


Рисунок 4.6 - Эскиз затвора, установленного на пороге с резиновым фартуком

Преимущества данного варианта:

1. Простота реализации на уже готовых конструкциях.

Недостатки:

1. Контур не является полностью герметичным. Он позволит значительно уменьшить протечки, но не полностью прекратить.

2. При установке секций друг на друга необходимо следить за

сохранностью фартука.

3. Требуется учитывать наличие фартука при хранении и перевозке секции чтобы не повредить его.

4. Из-за расположения фартука с напорной стороны затвора возможно его повреждение льдом при вмораживании затвора в лед вследствие не поддержания майны перед затвором.

5 Технико-экономический расчет

Произведем экономический расчет предлагаемой системы обогрева затворов водосливной плотины Бурейской ГЭС.

Для получения полной стоимости предлагаемой системы защиты затвора нужно определить, какое количество оборудования необходимо, умножить на соответствующую этому оборудованию стоимость.

Для наглядности расчет сведен в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Основные технические характеристики представлены

Наименование материалов	Ед. изм.	Кол-во	Формула расчёта расхода материалов	Стоимость за ед., руб.	Всего цена, руб.
Кабель SM2-CR в 2-х вертикальных тепловых коллекторах, расположенных в пазу затвора. Длина греющей части - 14,000м, длина холодной части определяется по месту до шкафа управления.	м	28	$2 \cdot 14,000 \cdot 8 = 224,000$ Общая длина греющей части $C = 1 \text{ п.м.} \cdot L$ - Длина холодной части, определяется по месту.	679,0	152 096,0
Кабель SM2-CR в тепловом коллекторе порога. Длина греющей части - 12,100м, длина холодной части определяется по месту до шкафа управления.	м	12,1	$12,100 \cdot 8 = 96,800$ - Длина греющей части $C = 1 \text{ п.м.} \cdot L$ - Длина холодной части, определяется по месту.	679,0	65 727,2
Кабель SM2-CR в 3-х трубах для отвода протечек намоткой на наружном диаметре трубы. Длина греющей части - 15,9м, длина холодной части определяется по месту до шкафа управления	м	47,7	$15,9 \cdot 3 \cdot 8 = 381,6$	679,0	259 106,4

Продолжение таблицы 5.1

Наименование материалов	Ед. изм.	Кол-во	Формула расчёта расхода материалов	Стоимость за ед., руб.	Всего цена, руб.
Лампа ХВ4ВVM1 230-240В сигнальная белая. "Schneider Electric"	шт	1		1192,0	1192,0
Лампа ХВ4ВVM5 230-240В сигнальная желтая. "Schneider Electric"	шт	1		1192,0	1192,0
Контактор LC1E95004M7 4P(4НО)125А АС1 220В 50/60Гц. "Schneider Electric"	шт	2		14378,0	28756,0
Реле контроля чередов обрыва фаз RM17TG20 200/500В, 2СО. "Schneider Electric"	шт	2		4997,0	9994,0
Автоматический выключатель EZC100N3100 100А/3п. "Schneider Electric"	шт	2		6132,0	12264,0
Автоматический выключатель А9F79306 6А С iC60N 6кА. "Schneider Electric"	шт	2		2638,0	5276,0
Клемма проходная AVK 95 Арт. 304340	шт	8		823,0	6584,0
Клемма земля AVK 50Т. Арт. 334190	шт	1		1131,0	1131,0
Термостат NSYCCOТНС, 1НЗ, от 0 до +60 "Schneider Electric"	шт	1		1147,0	1147,0

Продолжение таблицы 5.1

Наименование материалов	Ед. изм.	Кол-во	Формула расчёта расхода материалов	Стоимость за ед., руб.	Всего цена, руб.
Резистивный нагреватель NSYCR100WU2 100Вт, 110-250. "Schneider Electric"	шт	1		9416,0	9416,0
Лампа ХВ4BVM3 230-240В сигнальная зеленая. "Schneider Electric"	шт	1		1192,0	1192,0
Лампа ХВ4BVM4 230-240В сигнальная красная. "Schneider Electric"	шт	16		1192,0	19072,0
Реле промежуточное RXM4AB1P7 6А 230В 4ПК	шт	18		442,0	7956,0
Скоба-держатель RXZ400. "Schneider Electric"	шт	18		32,5	585,0
Колодка RXZE2M114, 2/4пк. "Schneider Electric"	шт	18		250,0	4500,0
Пускатель магнитный LC1E120M5, 3P.120A. HO+H3.380В.AC3.22 0VAC. "Schneider Electric"	шт	1		9202,0	9202,0
Переключатель с фиксацией ХВ4BD25 2 позиции 1но+1нз. "Schneider Electric"	шт	1		1163,0	1163,0
Кнопка аварийного останова ХВ4BS9442 возврат ключом, 1НЗ. "Schneider Electric"	шт	1		2206,0	2206,0

Продолжение таблицы 5.1

Наименование материалов	Ед. изм.	Кол-во	Формула расчёта расхода материалов	Стоимость за ед., руб.	Всего цена, руб.
Кнопка красная ХВ4ВА42 возвратная 22мм без фиксации 1нз. "Schneider Electric"	шт	1		630,0	630,0
Кнопка зеленая ХВ4ВА31 возвратная 22мм без фиксации 1но. "Schneider Electric"	шт	1		630,0	630,0
Автоматический выключатель EZC100N3100 100А/3п. "Schneider Electric"	шт	1		6132,0	6132,0
Автоматический выключатель А9F79106 6А С iC60N 6кА. "Schneider Electric"	шт	2		691,0	1382,0
Автоматический выключатель А9F79125 6А С iC60N 6кА. "Schneider Electric"	шт	16		601,0	9616,0
Блок-контакт состояния А9N26924 240-415В 6А. "Schneider Electric"	шт	16		2268,0	36288,0
Клемма проходная AVK 4 Арт. 304130	шт	36		34	1224,0
Клемма проходная AVK 4 Арт. 304130	шт	30		34	1020,0
Клемма проходная AVK 4 Арт. 304130	шт	30		34	1020,0
Клемма проходная AVK 4 Арт. 304130	шт	38		34	1292,0

Продолжение таблицы 5.1

Наименование материалов	Ед. изм.	Кол-во	Формула расчёта расхода материалов	Стоимость за ед., руб.	Всего цена, руб.
Шкаф S3D 300[200[150 IP66 NSYS3D3215	шт	1		5459,0	5459,0
Кабель КГ 4x70	м	390		1295,0	505050,0
Кабель КГ 2x2,5	м	8640		39,27	339292,8

Общая стоимость предложенной системы обогрева 1 508 793,40 руб.

Срок службы нагревателей 10 лет, поэтому дальнейшие расчеты проведены именно на этот срок.

Затраты на ремонт считаются по формуле:

$$Z_p = 10 \cdot l \cdot Ц, \quad (5.1)$$

где:

l - длинная греющего кабеля;

Ц = 679 руб. - базовая цена на ремонт нагревателя.

$$Z_p = 10 \cdot 87,8 \cdot 679 = 596 162 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию, потребляемую системой обогрева, считается по формуле:

$$Z_{э} = 10 \cdot t \cdot \tau \cdot P \cdot T \cdot k, \quad (5.2)$$

где:

t - период работы обогрева;

$\tau = 24$ ч - коэффициент, переводящий количество дней работы нагревателей в часы;

P — мощность системы обогрева, кВт;

T- тариф на электроэнергию, потребляемую нагревателями;

K - коэффициент, учитывающий режим работы нагревателей.

$$Z_{э} = 10 \cdot 125 \cdot 24 \cdot 56,2 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 826 140 \text{ руб.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одна из актуальнейших проблем гидромеханического оборудования водосливных плотин гидротехнических сооружений России это обледенение.

Настоящая работа посвящена методам борьбы с обледенением затворов.

Цель работы состояла в том, чтобы предложить вариант системы защиты от обледенения затвора и сбора протечек на примере Бурейской ГЭС.

В работе был проведен анализ методов защиты затворов от обледенения. Описан принцип работы каждого метода, их преимущества и недостатки.

Разработана система защиты от обледенения затвора водосливной плотины и система сбора протечек Бурейской ГЭС, описан принцип работы.

Был проведен тепловой расчет, на основании которого выбрано оборудование необходимой мощности. Разработана электрическая схема системы обогрева. Перечислены меры предосторожности при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте системы обогрева. Предложена реконструкция межсекционного уплотнения затворов водосливной плотины путем установки на напорной стороне затвора на верхней секции резинового фартука.

Выполнен технико-экономический расчет предложенной системы защиты от обледенения Бурейской ГЭС.

Посчитаны затраты на ремонт и электроэнергию в течение 10 лет для системы обогрева.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шорина Н.С., Смогунов В.В. Проблема обледенения и краткий обзор современных методов борьбы с ним. – Надежность и качество. Труды международного симпозиума: в 2т, Пенза, изд-во ПензГУ, 2010. Т2. С.103–105.
2. СТО 1733028.27.140.017-2008 Механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. — Введ. 30.07.2008. Москва: ОАО РАО «ЕЭС РОССИИ», 2008 - 73 с.
3. Бакановичус, Н.С. Обоснование новой конструкции обогрева затворов гидротехнических сооружений на основе композиционных резистивных материалов автореф. дис. канд. тех. Наук: 05.23.07 / Бакановичус Наталья Симовна. - Санкт-Петербург, 2007. — 23 с.
4. Система «ЭИПОС Снегосброс» [Электронный ресурс] / RoofStyle [<http://roofstyle.blogspot.com>] Москва, 2018. Режим доступа: [http://roofstyle.blogspot.com/2011/11/blog-post 21 .html](http://roofstyle.blogspot.com/2011/11/blog-post_21.html).
5. Арсланов В. В. Толковый англо-русский словарь по нанотехнологии / В. В. Арсланов. — Москва, 2009. — 261 с.
6. ИЭ-03-4.29 Инструкция по эксплуатации системы пневматической для поддержания майн. — Талакан, 2019. — 33 с.
7. Баранов, А. С. Системы обогрева затворов гидротехнических сооружений магистерская диссертация: 13.04.02 / Баранов Алексей Сергеевич. — Саяногорск, 2017. — 94 с.
8. Радченко М.И. Анализ методов борьбы с наледью на сегментных затворах гидротехнических сооружений магистерская диссертация: 13.04.02 / Радченко М.И. Саяногорск, 2018. — 70 с.
9. ИЭ-03-4.6 Инструкция по эксплуатации механического оборудования эксплуатационного водосброса Бурейской ГЭС. — Талакан, 2018. — 23 с.
10. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: изд. ЭНАС, 2018. – 272 с.
11. СНиП III-V.5-62* Металлические конструкции. Правила изготовления, монтажа и приемки. – Введен 01-07-1963. – Стройиздат, 1969. – 97 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Допустимый объем протечек через уплотнения

Таблица А.1 - Расчет допустимого объема возможных протечек через уплотнения

Дата	Отметка ВБ, м	Высота столба, м	Длина бульбового уплотнения затворов, м	Длина ножевого уплотнения затворов, м	Длина межсекционного уплотнения затворов, м	Линейная длина всех уплотнений, м	Время, ч	Допустимый объем протечек, м ³ /ч	Объем протечек за сутки, м ³
01.11.2019	255,51	12,51	200,24	102,56	102,56	405,36	24	1,08	10506,81
02.11.2019	255,47	12,47	199,60	102,56	102,56	404,72	24	1,08	10490,30
03.11.2019	255,43	12,43	198,96	102,56	102,56	404,08	24	1,08	10473,74
04.11.2019	255,39	12,39	198,25	102,56	102,56	403,37	24	1,08	10455,45
05.11.2019	255,35	12,35	197,63	102,56	102,56	402,75	24	1,08	10439,33
06.11.2019	255,25	12,25	196,08	102,56	102,56	401,20	24	1,08	10399,07
07.11.2019	255,19	12,19	195,12	102,56	102,56	400,24	24	1,08	10374,18
08.11.2019	255,12	12,12	194,00	102,56	102,56	399,12	24	1,08	10345,14
09.11.2019	255,05	12,05	192,88	102,56	102,56	398,00	24	1,08	10316,11
10.11.2019	255,02	12,02	192,24	102,56	102,56	397,36	24	1,08	10299,60
11.11.2019	254,97	11,97	191,60	102,56	102,56	396,72	24	1,08	10282,95
12.11.2019	254,88	11,88	190,16	102,56	102,56	395,28	24	1,08	10245,64
13.11.2019	254,82	11,82	189,16	102,56	102,56	394,28	24	1,08	10219,85
14.11.2019	254,75	11,75	188,08	102,56	102,56	393,20	24	1,08	10191,71
15.11.2019	254,68	11,68	186,96	102,56	102,56	392,08	24	1,08	10162,71
16.11.2019	254,62	11,62	186,00	102,56	102,56	391,12	24	1,08	10137,78
17.11.2019	254,55	11,55	184,86	102,56	102,56	389,98	24	1,08	10108,32
18.11.2019	254,51	11,51	184,08	102,56	102,56	389,20	24	1,08	10088,09
19.11.2019	254,41	11,41	182,64	102,56	102,56	387,76	24	1,08	10050,73

Продолжение приложения А
Продолжение таблицы А.1

Дата	Отметка ВБ, м	Высота столба, м	Длина бульбового уплотнения затворов, м	Длина ножевого уплотнения затворов, м	Длина межсекционного уплотнения затворов, м	Линейная длина всех уплотнений, м	Время, ч	Допустимый объем протечек, м ³ /ч	Объем протечек за сутки, м ³
20.11.2019	254,34	11,34	181,37	102,56	102,56	386,49	24	1,08	10017,90
21.11.2019	254,27	11,27	180,24	102,56	102,56	385,36	24	1,08	9988,54
22.11.2019	254,25	11,25	179,92	102,56	102,56	385,04	24	1,08	9980,29
23.11.2019	254,14	11,14	178,32	102,56	102,56	383,44	24	1,08	9938,75
24.11.2019	254,07	11,07	177,05	102,56	102,56	382,17	24	1,08	9905,92
25.11.2019	254,00	11,00	175,92	102,56	102,56	381,04	24	1,08	9876,59
26.11.2019	253,95	10,95	175,12	102,56	102,56	380,24	24	1,08	9855,85
27.11.2019	253,86	10,86	173,82	102,56	102,56	378,94	24	1,08	9822,19
28.11.2019	253,80	10,80	172,72	102,56	102,56	377,84	24	1,08	9793,64
29.11.2019	253,73	10,73	171,60	102,56	102,56	376,72	24	1,08	9764,59
30.11.2019	253,66	10,66	170,48	102,56	102,56	375,60	24	1,08	9735,60
01.12.2019	253,59	10,59	169,36	102,56	102,56	374,48	24	1,08	9706,55
02.12.2019	253,52	10,52	168,24	102,56	102,56	373,36	24	1,08	9677,51
03.12.2019	253,45	10,45	167,12	102,56	102,56	372,24	24	1,08	9648,46
04.12.2019	253,36	10,36	165,84	102,56	102,56	370,96	24	1,08	9615,24
05.12.2019	253,29	10,29	164,56	102,56	102,56	369,68	24	1,08	9582,23
06.12.2019	253,24	10,24	163,76	102,56	102,56	368,88	24	1,08	9561,38
07.12.2019	253,15	10,15	162,32	102,56	102,56	367,44	24	1,08	9524,08
08.12.2019	253,07	10,07	161,05	102,56	102,56	366,17	24	1,08	9491,02
09.12.2019	253,01	10,01	160,08	102,56	102,56	365,20	24	1,08	9466,05
10.12.2019	252,93	9,93	158,81	102,56	102,56	363,93	24	1,08	9433,07
11.12.2019	252,85	9,85	157,52	102,56	102,56	362,64	24	1,08	9399,67
12.12.2019	252,76	9,76	156,10	102,56	102,56	361,22	24	1,08	9362,89

Продолжение приложения А
Продолжение таблицы А.1

Дата	Отметка ВБ, м	Высота столба, м	Длина бульбового уплотнения затворов, м	Длина ножевого уплотнения затворов, м	Длина межсекционного уплотнения затворов, м	Линейная длина всех уплотнений, м	Время, ч	Допустимый объем протечек, м ³ /ч	Объем протечек за сутки, м ³
13.12.2019	252,68	9,68	154,80	102,56	102,56	359,92	24	1,08	9329,18
14.12.2019	252,59	9,59	153,42	102,56	102,56	358,54	24	1,08	9293,40
15.12.2019	252,53	9,53	152,40	102,56	102,56	357,52	24	1,08	9266,93
16.12.2019	252,43	9,43	150,96	102,56	102,56	356,08	24	1,08	9229,51
17.12.2019	252,33	9,33	149,36	102,56	102,56	354,48	24	1,08	9188,02
18.12.2019	252,24	9,24	147,92	102,56	102,56	353,04	24	1,08	9150,76
19.12.2019	252,18	9,18	146,80	102,56	102,56	351,92	24	1,08	9121,86
20.12.2019	252,09	9,09	145,39	102,56	102,56	350,51	24	1,08	9085,34
21.12.2019	251,98	8,98	143,74	102,56	102,56	348,86	24	1,08	9042,52
22.12.2019	251,88	8,88	142,09	102,56	102,56	347,21	24	1,08	8999,79
23.12.2019	251,79	8,79	140,56	102,56	102,56	345,68	24	1,08	8960,06
24.12.2019	251,69	8,69	138,96	102,56	102,56	344,08	24	1,08	8918,58
25.12.2019	251,60	8,60	137,52	102,56	102,56	342,64	24	1,08	8881,28
26.12.2019	251,51	8,51	136,08	102,56	102,56	341,20	24	1,08	8843,92
27.12.2019	251,39	8,39	134,31	102,56	102,56	339,43	24	1,08	8798,03
28.12.2019	251,29	8,29	132,57	102,56	102,56	337,69	24	1,08	8752,81
29.12.2019	251,17	8,17	130,80	102,56	102,56	335,92	24	1,08	8706,92
30.12.2019	251,07	8,07	129,19	102,56	102,56	334,31	24	1,08	8665,38
31.12.2019	250,97	7,97	127,58	102,56	102,56	332,70	24	1,08	8623,50
01.01.2020	250,85	7,85	125,68	102,56	102,56	330,80	24	1,08	8574,24
02.01.2020	250,76	7,76	124,08	102,56	102,56	329,20	24	1,08	8532,89
03.01.2020	250,66	7,66	122,51	102,56	102,56	327,63	24	1,08	8492,20
04.01.2020	250,57	7,57	121,04	102,56	102,56	326,16	24	1,08	8454,08

Продолжение приложения А
Продолжение таблицы А.1

Дата	Отметка ВБ, м	Высота столба, м	Длина бульбового уплотнения затворов, м	Длина ножевого уплотнения затворов, м	Длина межсекционного уплотнения затворов, м	Линейная длина всех уплотнений, м	Время, ч	Допустимый объем протечек, м ³ /ч	Объем протечек за сутки, м ³
05.01.2020	250,46	7,46	119,44	102,56	102,56	324,56	24	1,08	8412,56
06.01.2020	250,37	7,37	117,89	102,56	102,56	323,01	24	1,08	8372,33
07.01.2020	250,28	7,28	116,41	102,56	102,56	321,53	24	1,08	8334,03
08.01.2020	250,18	7,18	114,94	102,56	102,56	320,06	24	1,08	8295,97
09.01.2020	250,07	7,07	113,20	102,56	102,56	318,32	24	1,08	8250,81
10.01.2020	249,97	6,97	111,47	102,56	102,56	316,59	24	1,08	8205,93
11.01.2020	249,85	6,85	109,68	102,56	102,56	314,80	24	1,08	8159,51
12.01.2020	249,75	6,75	108,05	102,56	102,56	313,17	24	1,08	8117,32
13.01.2020	249,65	6,65	106,43	102,56	102,56	311,55	24	1,08	8075,44
14.01.2020	249,53	6,53	104,55	102,56	102,56	309,67	24	1,08	8026,71
15.01.2020	249,41	6,41	102,63	102,56	102,56	307,75	24	1,08	7976,96
16.01.2020	249,29	6,29	100,72	102,56	102,56	305,84	24	1,08	7927,33
17.01.2020	249,17	6,17	98,80	102,56	102,56	303,92	24	1,08	7877,58
18.01.2020	249,05	6,05	96,88	102,56	102,56	302,00	24	1,08	7827,82
19.01.2020	248,95	5,95	95,15	102,56	102,56	300,27	24	1,08	7783,08
20.01.2020	248,82	5,82	93,20	102,56	102,56	298,32	24	1,08	7732,40
21.01.2020	248,70	5,70	91,18	102,56	102,56	296,30	24	1,08	7679,97
22.01.2020	248,60	5,60	89,52	102,56	102,56	294,64	24	1,08	7637,12
23.01.2020	248,47	5,47	87,60	102,56	102,56	292,72	24	1,08	7587,26
24.01.2020	248,35	5,35	85,66	102,56	102,56	290,78	24	1,08	7536,95
25.01.2020	248,25	5,25	83,92	102,56	102,56	289,04	24	1,08	7491,98
26.01.2020	248,14	5,14	82,16	102,56	102,56	287,28	24	1,08	7446,31
27.01.2020	248,04	5,04	80,56	102,56	102,56	285,68	24	1,08	7404,84

Продолжение приложения А
Продолжение таблицы А.1

Дата	Отметка ВВ, м	Высота столба, м	Длина бульбового уплотнения затворов, м	Длина ножевого уплотнения затворов, м	Длина межсекционного уплотнения затворов, м	Линейная длина всех уплотнений, м	Время, ч	Допустимый объем протечек, м ³ /ч	Объем протечек за сутки, м ³
28.01.2020	247,93	4,93	78,84	102,56	102,56	283,96	24	1,08	7360,37
29.01.2020	247,79	4,79	76,72	102,56	102,56	281,84	24	1,08	7305,23
30.01.2020	247,69	4,69	74,98	102,56	102,56	280,10	24	1,08	7260,07
31.01.2020	247,57	4,57	73,04	102,56	102,56	278,16	24	1,08	7209,92
01.02.2020	247,44	4,44	71,12	102,56	102,56	276,24	24	1,08	7160,02
02.02.2020	247,30	4,30	68,88	102,56	102,56	274,00	24	1,08	7102,03
03.02.2020	247,17	4,17	66,80	102,56	102,56	271,92	24	1,08	7048,12
04.02.2020	247,03	4,03	64,56	102,56	102,56	269,68	24	1,08	6990,06
05.02.2020	246,90	3,90	62,48	102,56	102,56	267,60	24	1,08	6936,16
06.02.2020	246,78	3,78	60,54	102,56	102,56	163,10	24	1,08	4227,55
07.02.2020	246,65	3,65	58,48	102,56	102,56	161,04	24	1,08	4174,14
08.02.2020	246,52	3,52	56,40	102,56	102,56	158,96	24	1,08	4120,19
09.02.2020	246,41	3,41	54,48	102,56	102,56	157,04	24	1,08	4070,53
10.02.2020	246,26	3,26	52,24	102,56	102,56	154,80	24	1,08	4012,36
11.02.2020	246,11	3,11	49,84	102,56	102,56	152,40	24	1,08	3950,15
12.02.2020	245,99	2,99	47,79	102,56	102,56	150,35	24	1,08	3897,03
13.02.2020	245,85	2,85	45,68	102,56	102,56	148,24	24	1,08	3842,38
14.02.2020	245,70	2,70	43,28	102,56	102,56	145,84	24	1,08	3780,16
15.02.2020	245,57	2,57	41,20	102,56	102,56	143,76	24	1,08	3726,20
16.02.2020	245,44	2,44	38,96	102,56	102,56	141,52	24	1,08	3668,22
17.02.2020	245,30	2,30	36,85	102,56	102,56	139,41	24	1,08	3613,57
18.02.2020	245,16	2,16	34,64	102,56	102,56	137,20	24	1,08	3556,21
19.02.2020	245,02	2,02	32,40	102,56	102,56	134,96	24	1,08	3498,15

Окончание приложения А

Окончание таблицы А.1

Дата	Отметка ВБ, м	Высота столба, м	Длина бульбового уплотнения затворов, м	Длина ножевого уплотнения затворов, м	Длина межсекционного уплотнения затворов, м	Линейная длина всех уплотнений, м	Время, ч	Допустимый объем протечек, м ³ /ч	Объем протечек за сутки, м ³
20.02.2020	244,88	1,88	30,16	102,56	102,56	132,72	24	1,08	3440,08
21.02.2020	244,74	1,74	27,92	102,56	102,56	130,48	24	1,08	3381,97
22.02.2020	244,61	1,61	25,68	102,56	102,56	128,24	24	1,08	3324,00
23.02.2020	244,48	1,48	23,60	102,56	102,56	126,16	24	1,08	3270,08
24.02.2020	244,35	1,35	21,53	102,56	102,56	124,09	24	1,08	3216,37
25.02.2020	244,20	1,20	19,28	102,56	102,56	121,84	24	1,08	3158,04
26.02.2020	244,05	1,05	16,88	102,56	102,56	119,44	24	1,08	3095,82
27.02.2020	243,90	0,90	14,48	102,56	102,56	117,04	24	1,08	3033,64
28.02.2020	243,76	0,76	12,13	102,56	102,56	114,69	24	1,08	2972,75
29.02.2020	243,63	0,63	10,00	102,56	102,56	112,56	24	1,08	2917,59
01.03.2020	243,48	0,48	7,76	102,56	102,56	110,32	24	1,08	2859,46
02.03.2020	243,32	0,32	5,20	102,56	102,56	107,76	24	1,08	2793,07
03.03.2020	243,19	0,19	2,97	102,56	102,56	105,53	24	1,08	2735,24
04.03.2020	243,05	0,05	0,73	102,56	102,56	103,29	24	1,08	2677,40
Общий объем протечек									967 191,18

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Система обогрева пазов

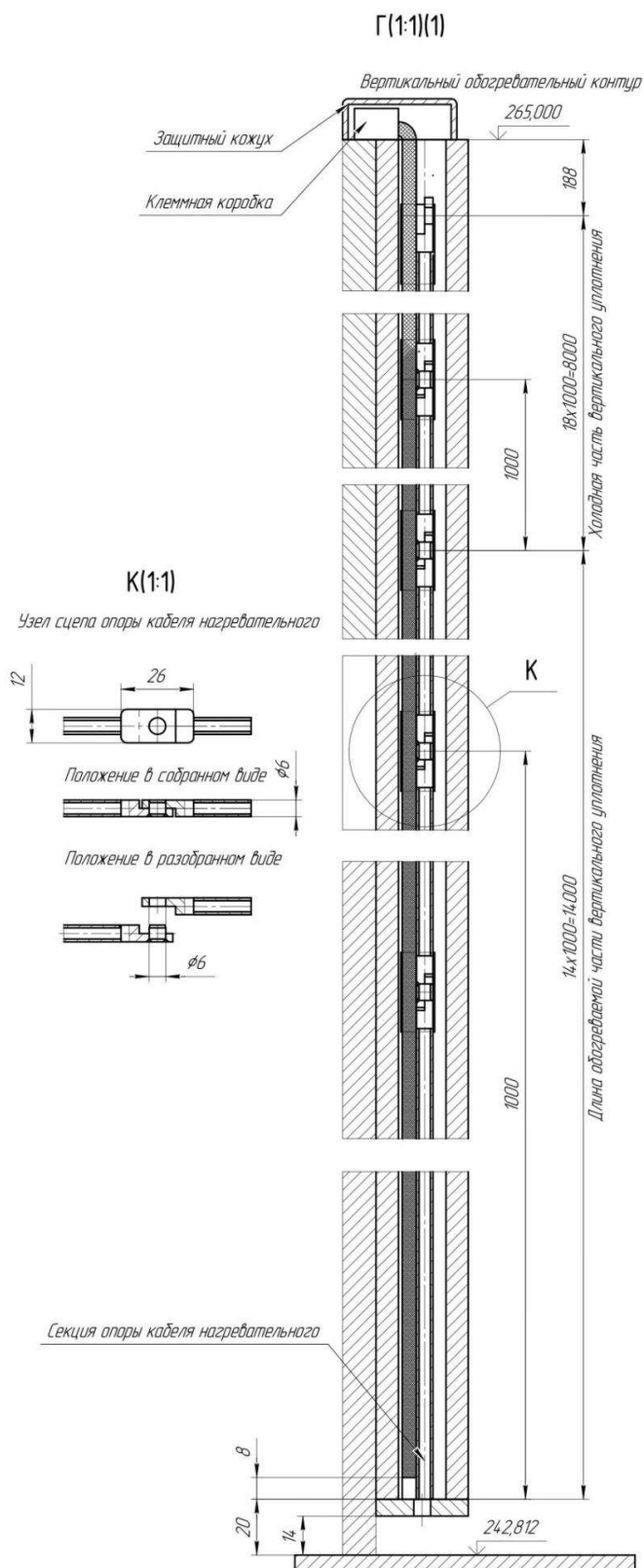
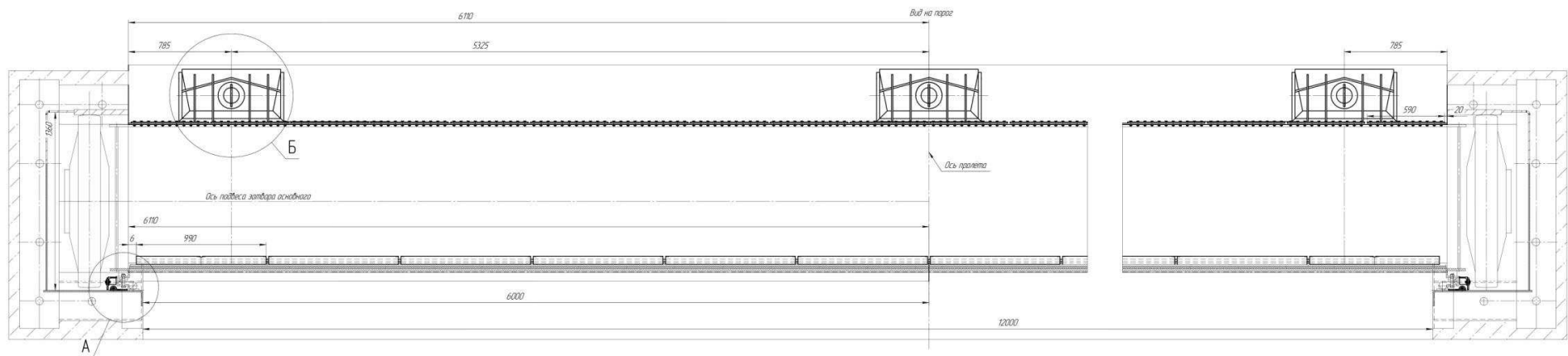
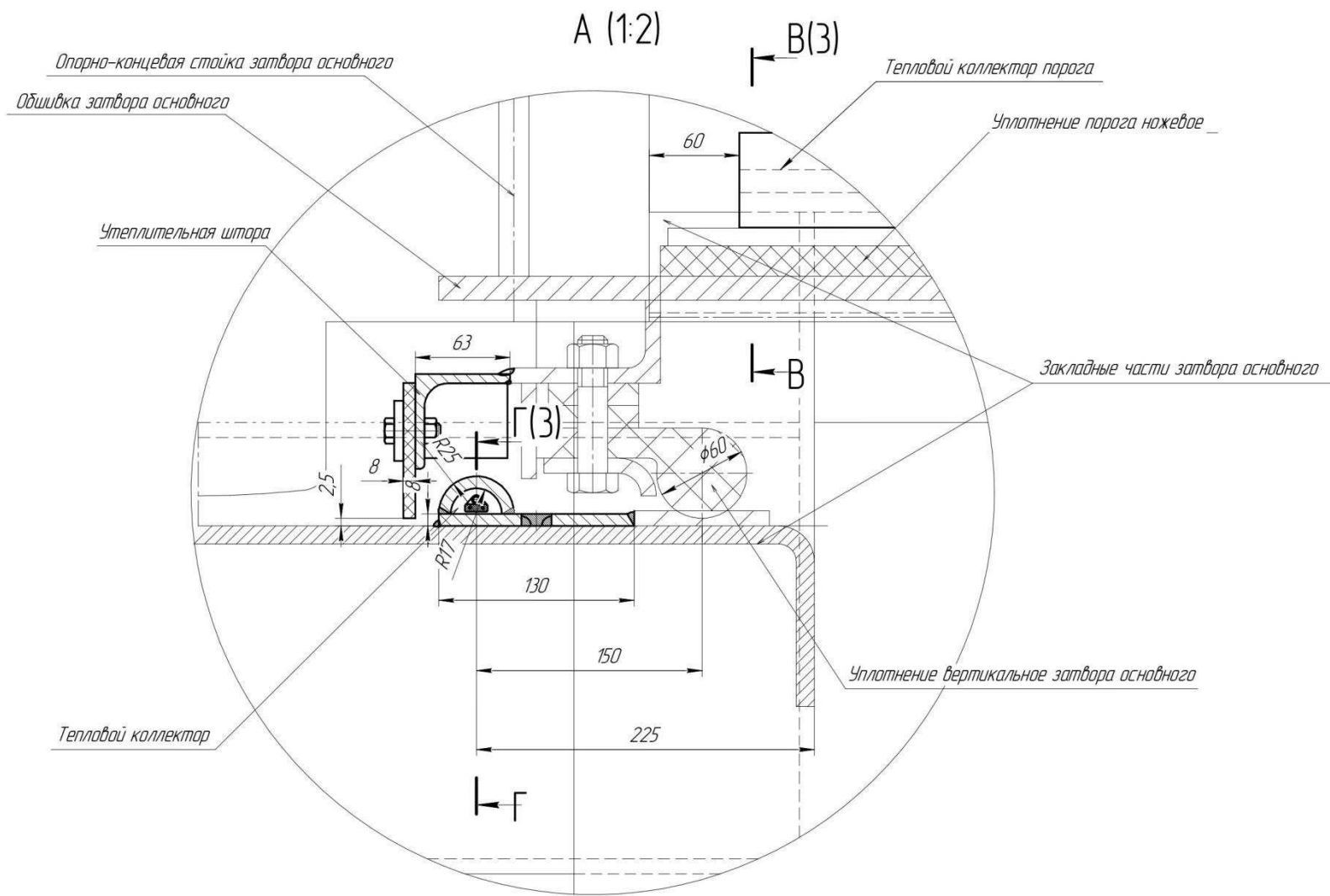


Рисунок В.1 - Система обогрева пазов в месте примыкания вертикальных уплотнений основного затвора



Продолжение рисунка В.1



Продолжение рисунка В.1

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Система обогрева порога

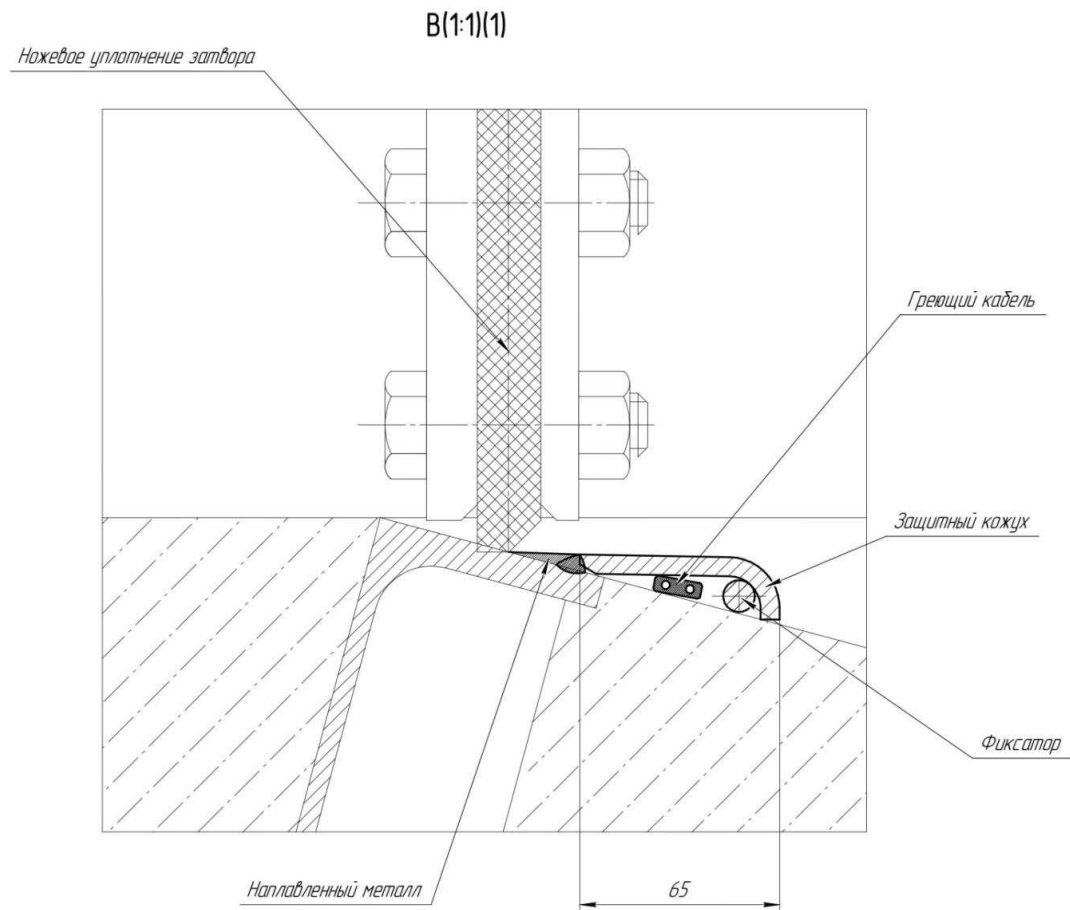


Рисунок Г.1 - Система обогрева порога

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Улавливающая воронка системы перехвата протечек

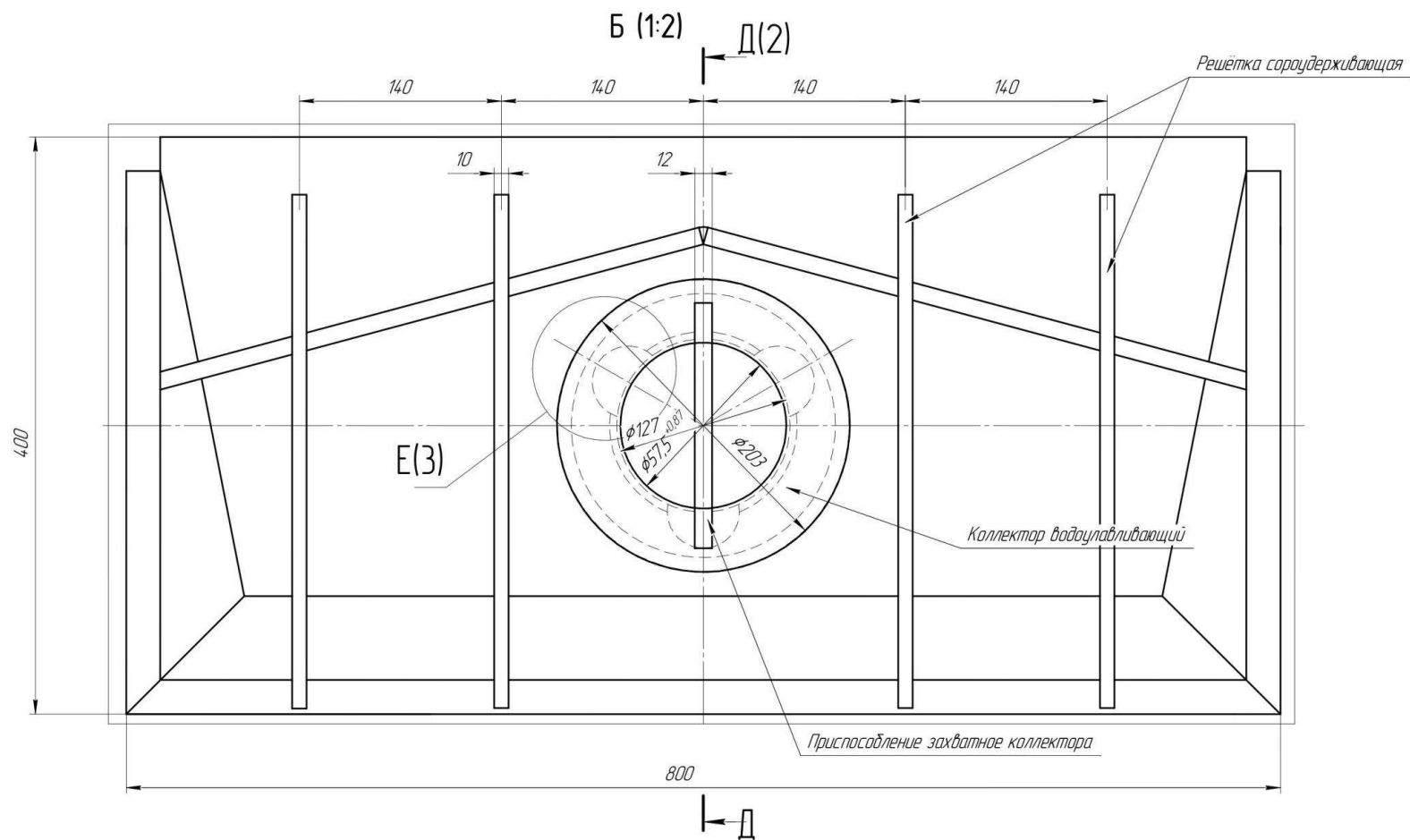


Рисунок Д.1 - Улавливающая воронка системы перехвата протечек

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Фиксаторы трубы для отвода протечек

E(1:1)(1)

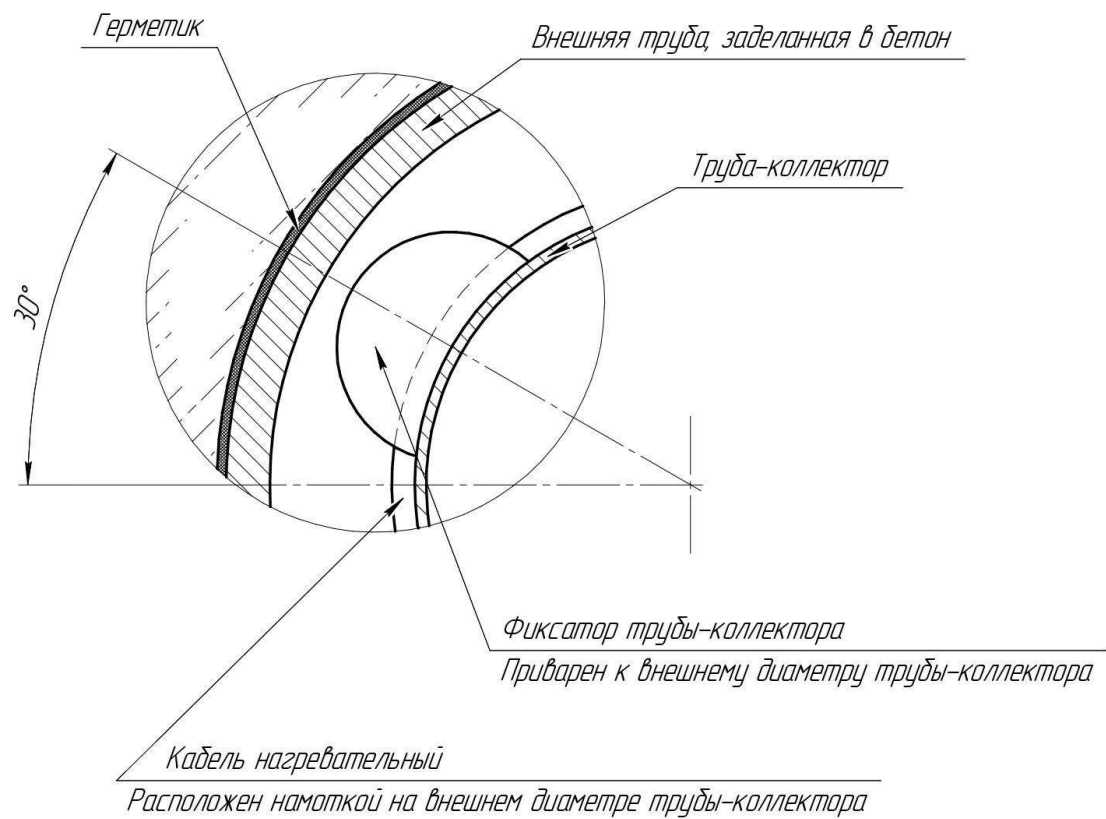


Рисунок Е.1 - Фиксаторы трубы для отвода протечек

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Улавливающий фартук

И(1:10)(2)

Штора утеплительная
12180

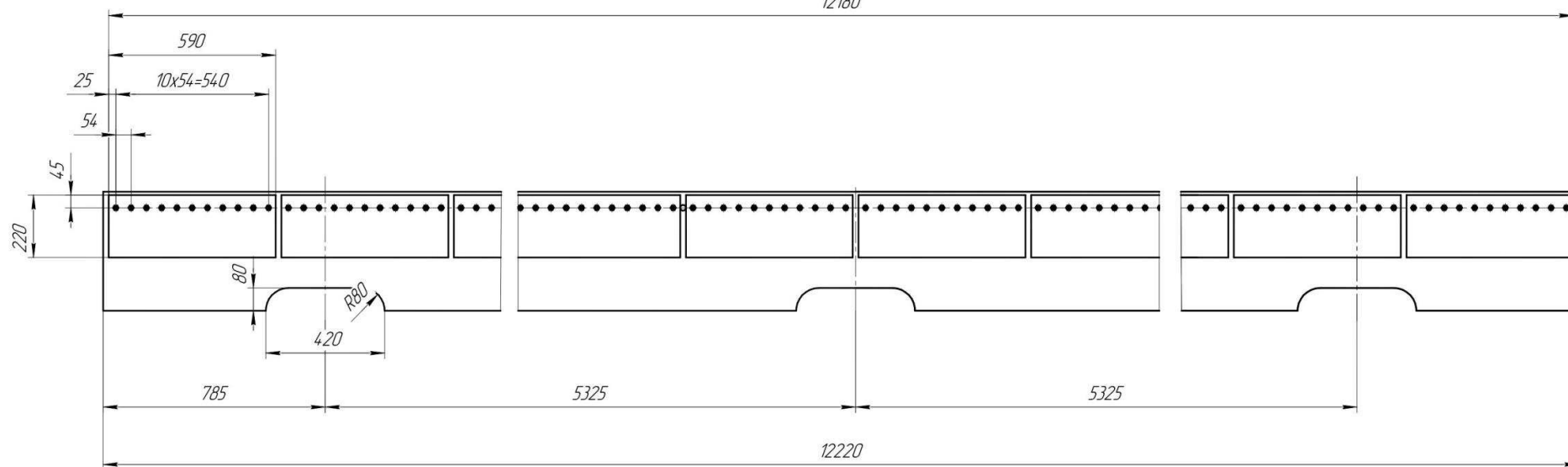


Рисунок Ж.1 - Улавливающий фартук

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Схема обогрева электрическая принципиальная

Автоматический ввод резерва

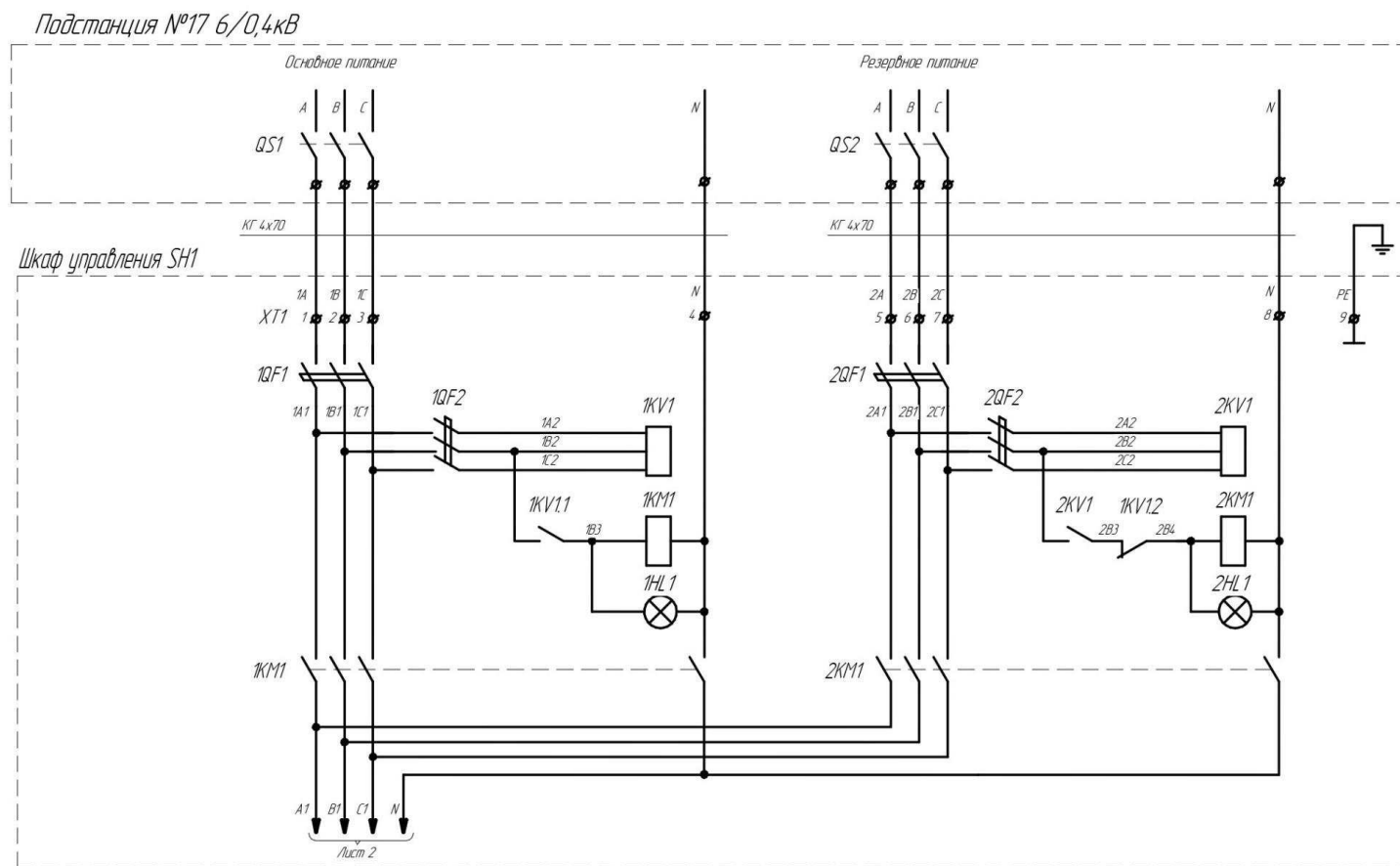
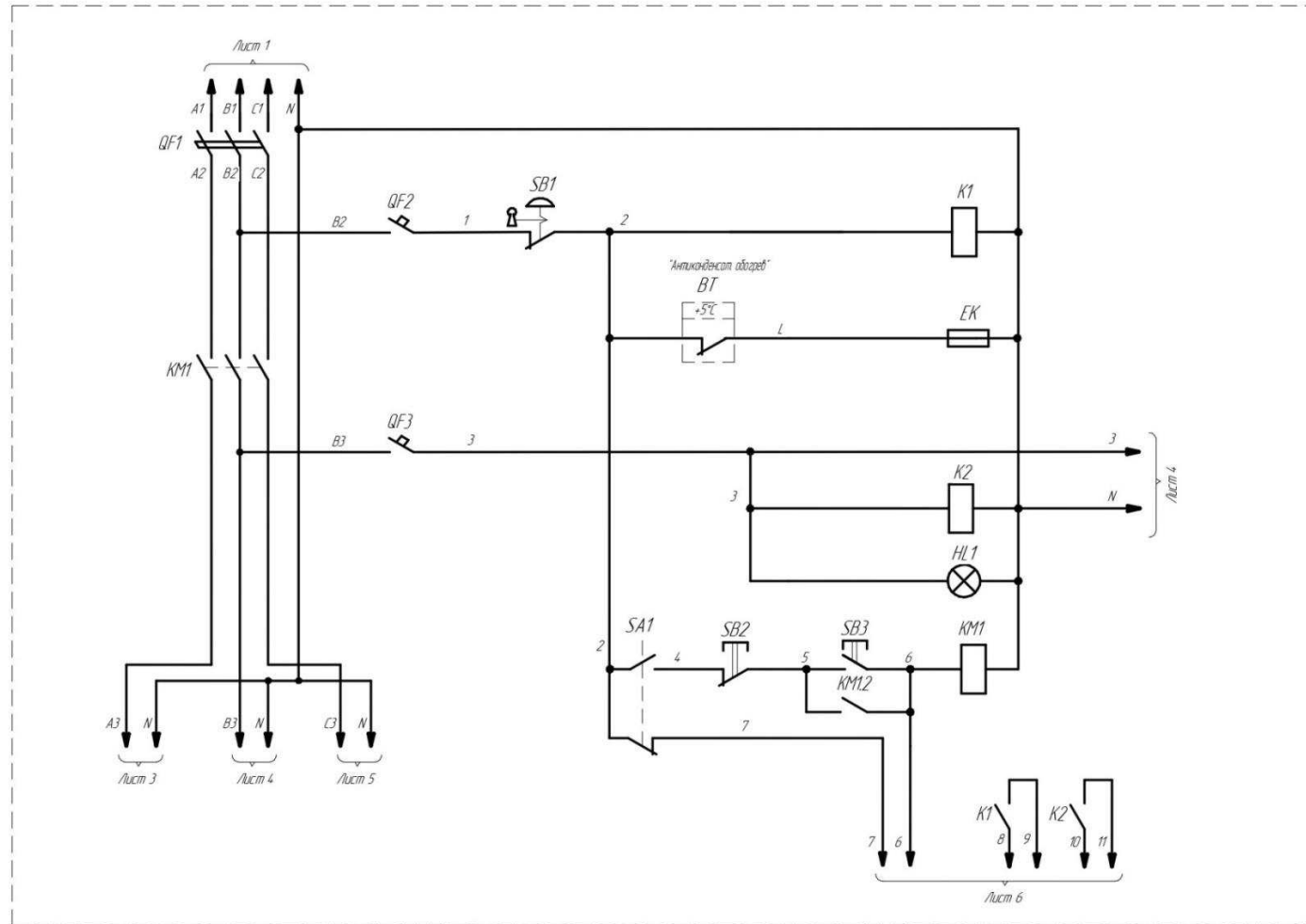


Рисунок И.1 - Схема обогрева электрическая принципиальная

Управление обогревом (местное / удаленное)

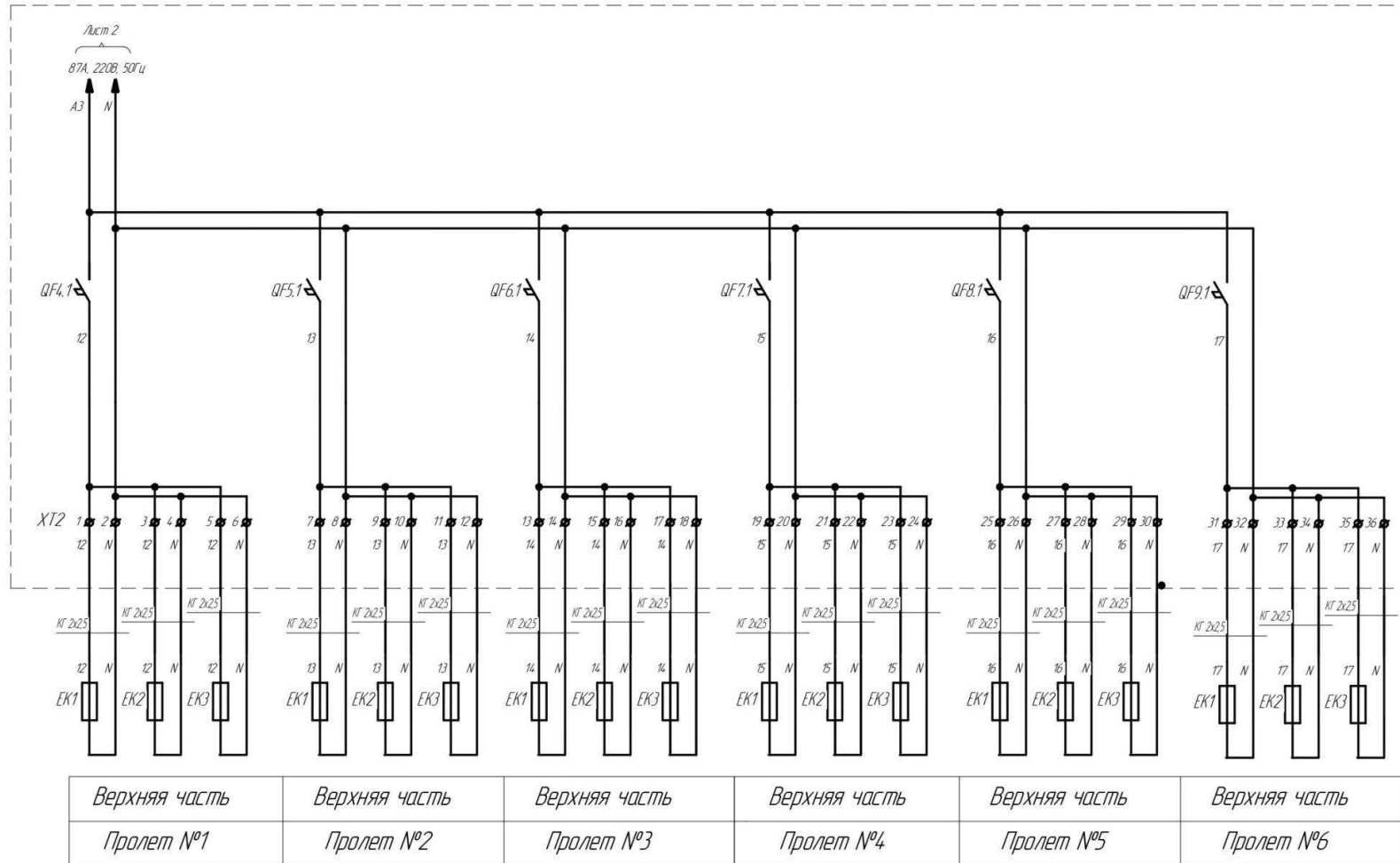
Шкаф управления SH1



Продолжение рисунка И.1

Нагревательные элементы

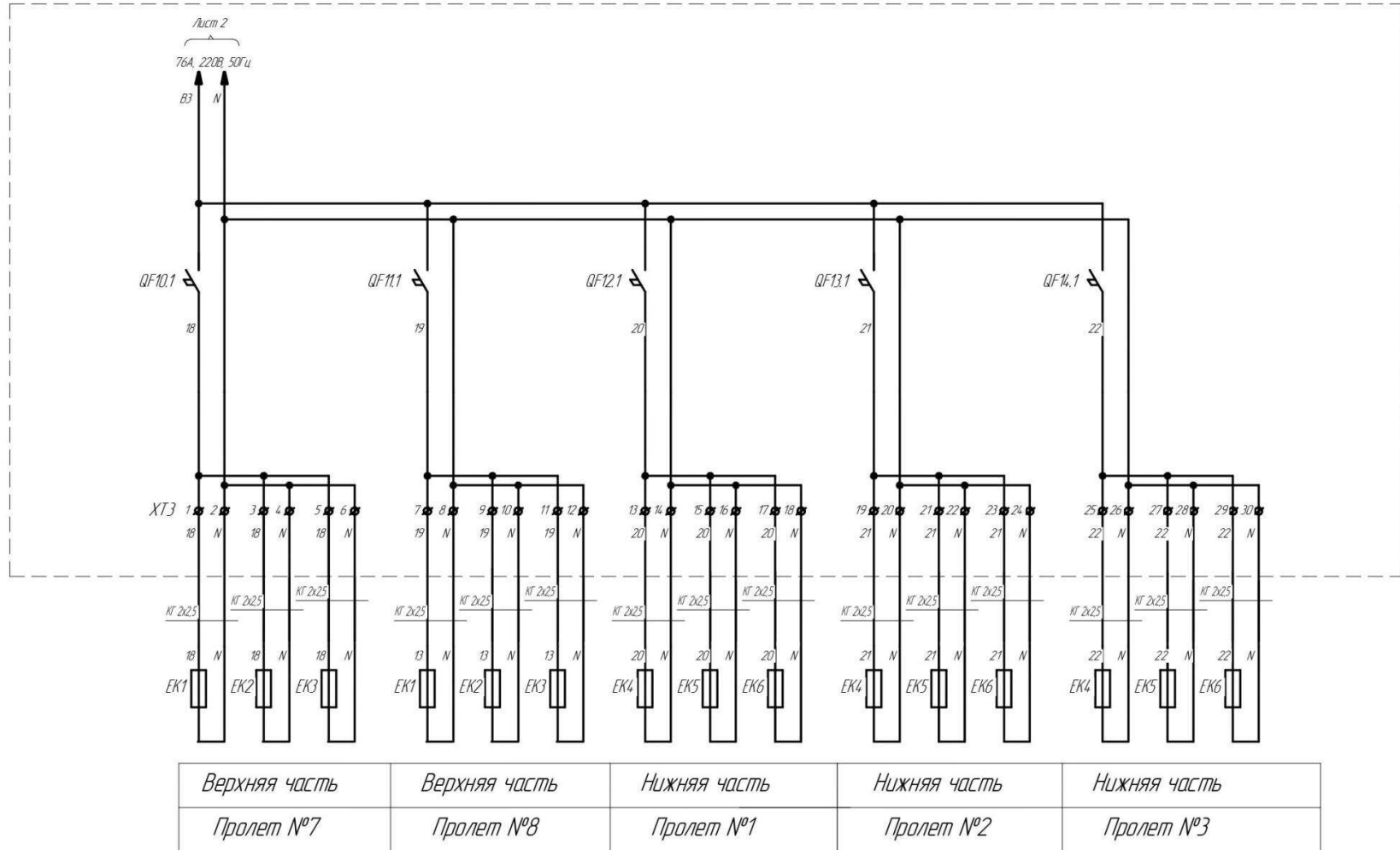
Шкаф управления SH1



Продолжение рисунка И.1

Нагревательные элементы

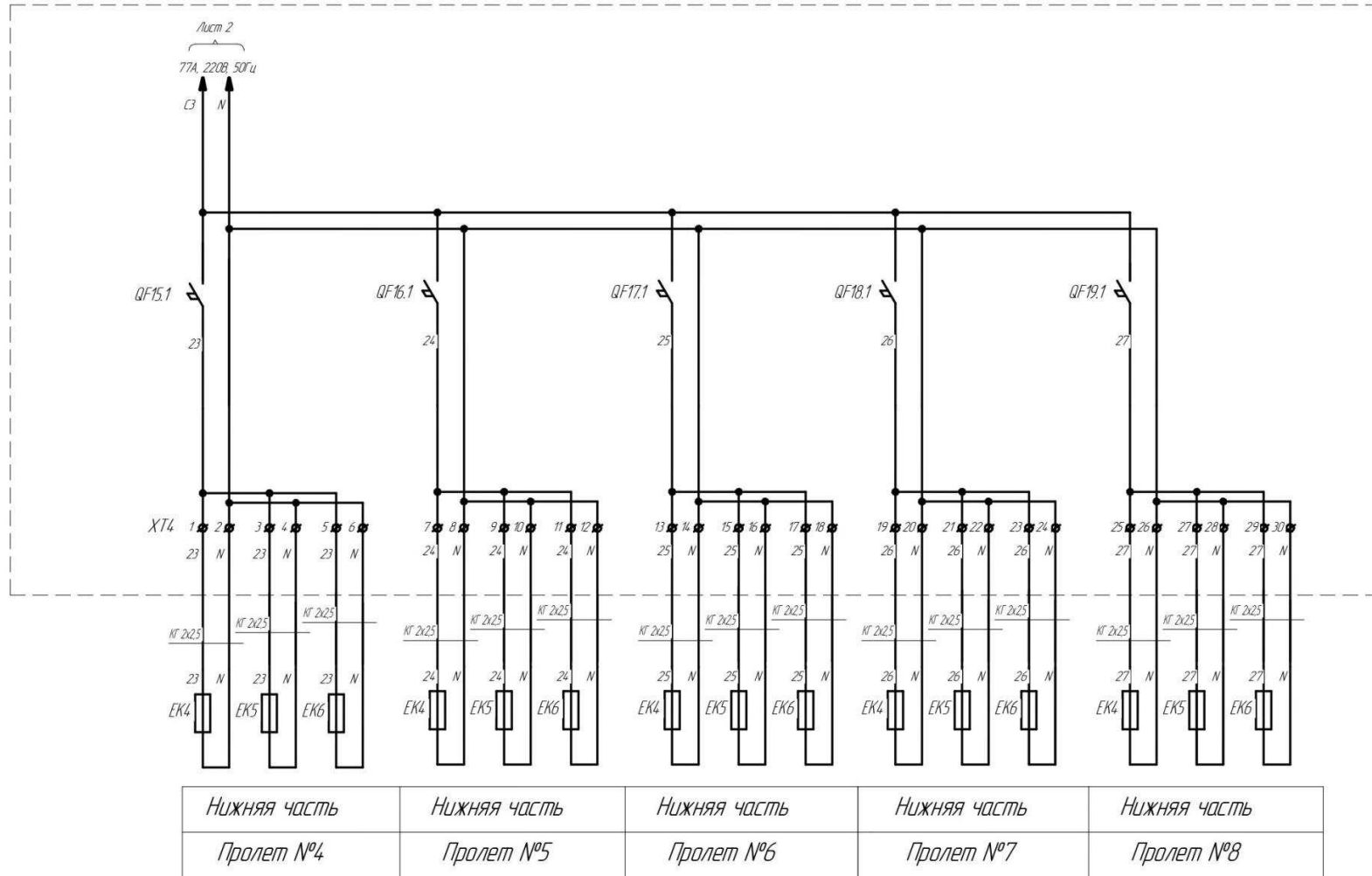
Шкаф управления SH1



Продолжение рисунка И.1

Нагревательные элементы

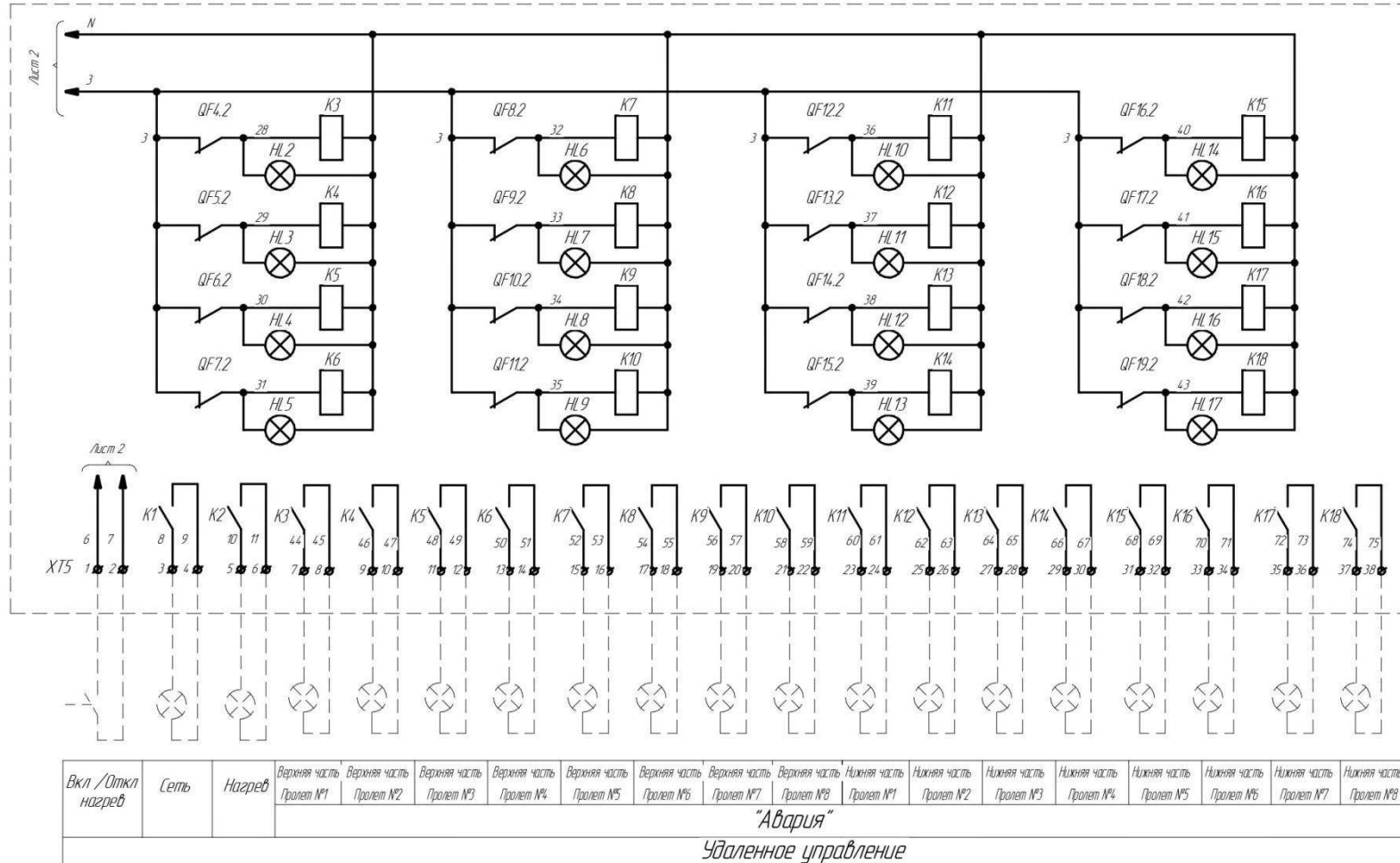
Шкаф управления SH1



Продолжение рисунка И.1

Удаленное управление, аварийная сигнализация

Шкаф управления SH1



Продолжение рисунка И.1

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Шкаф управления с АВР вблизи лестничной клетки на отметке 265,00

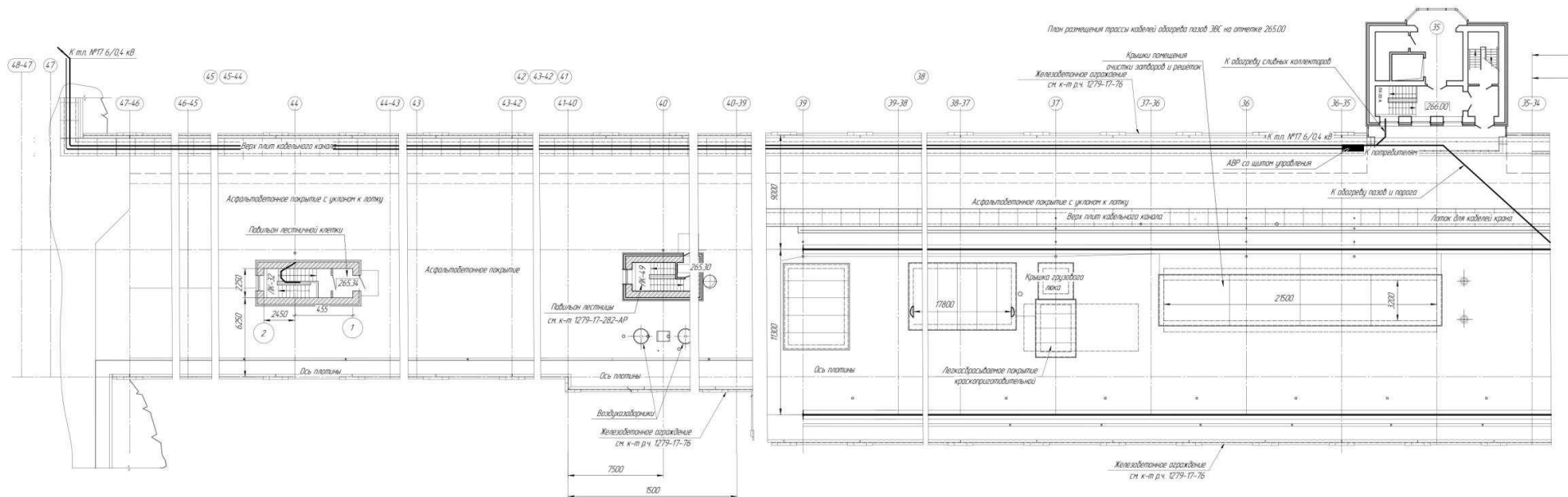


Рисунок К.1 - Шкаф управления с АВР вблизи лестничной клетки на отметке 265,00

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 
подпись, дата инициалы, фамилия

« 02 » 07 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ЗАТВОРОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ. СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ПАЗОВ И ПЕРЕХВАТА
ПРОТЕЧЕК БУРЕЙСКОЙ ГЭС**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции


Научный
руководитель


подпись, дата

Доцент кафедры ГТЭЭС
СШФ СФУ
должность

В.И. Татарников
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

Е.М. Борисова
инициалы, фамилия


Рецензент


подпись, дата

Руководитель группы
ТиГМО ПТС Филиала
ПАО «РусГидро»-
«Бурейская ГЭС»
должность

Н.К. Комлев
инициалы, фамилия

Нормоконтролёр


подпись, дата

А.А. Чабанова
инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2020