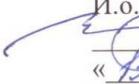


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующего кафедрой

 И.Ю.Погоняйченко
«13» июня 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

**Анализ методов борьбы с наледью на сегментных затворах
гидротехнических сооружений**

Научный руководитель

ведущий инженер
ПТС ПАО «РусГидро»
- «Саяно-Шушенская

ГЭС»
должность

В.С. Архипенко

ициалы, фамилия

М.И. Радченко

ициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата
15.06.18

главный инженер АО
«Гидроремонт-ВКК»
должность

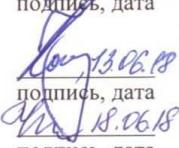
Е.В. Кондратцев

ициалы, фамилия

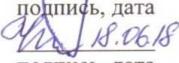
А.А. Чабанова

ициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата
13.06.18

Нормоконтролер


подпись, дата
18.06.18

Саяногорск; Черемушки 2018

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

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующего кафедрой

 И.Ю.Погоняйченко
«13» июня 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

**Анализ методов борьбы с наледью на сегментных затворах
гидротехнических сооружений**

Научный руководитель

ведущий инженер
ПТС ПАО «РусГидро»
- «Саяно-Шушенская


подпись, дата
13.06.18

должность
ГЭС

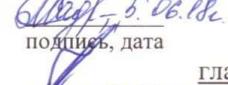
В.С. Архипенко

инициалы, фамилия

М.И. Радченко

инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата
13.06.18

главный инженер АО
«Гидроремонт-ВКК»

должность

Е.В. Кондратцев

инициалы, фамилия

А.А. Чабанова

инициалы, фамилия

Рецензент

Нормоконтролер

Саяногорск; Черемушки 2018

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

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.И.Татарников
«06» января 2018 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студентке Радченко Маргарите Игоревне.

Группа ГЭ16-01М.

Направление 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника.

Тема выпускной квалификационной работы: Анализ методов борьбы с наледью на сегментных затворах гидротехнических сооружений.

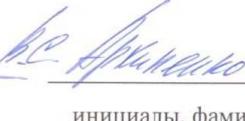
Утверждена приказом по университету №37/18-С от 06.03.2018 г.

Руководитель ВКР В. С. Архипенко, ведущий инженер ПТС ПАО «РусГидро» - «Саяно-Шушенская ГЭС имени П. С. Непорожнего».

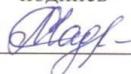
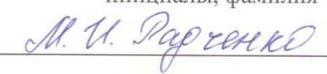
Исходные данные для ВКР отсутствуют.

Перечень разделов ВКР 1 Классификация средств защиты от обледенения. Обзор существующих методов борьбы с наледью; 2 Описание методов обогрева сегментных затворов, применяемых на различных ГЭС; 3 Альтернативный вариант системы защиты сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС; 4 Технико-экономический расчет.

Руководитель ВКР

 
подпись инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

 
подпись, инициалы, фамилия студента

« 06 » марта 2018г.

АННОТАЦИЯ

Тема магистерской диссертации: Анализ методов борьбы с наледью на сегментных затворах гидротехнических сооружений.

Объем диссертации составляет 70 страниц, содержит 17 рисунков, 7 таблиц и 13 формул. Список используемой литературы состоит из 17 наименований.

Объектом исследования при написании работы послужили сегментные затворы водосливных плотин гидротехнических сооружений.

Предметом исследования стал вариант системы защиты сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС от наледи.

В магистерскую диссертацию входят: введение, четыре главы 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 мероприятий, принимаемых различными гидроэлектростанциями для борьбы с обледенением затворов водосливных плотин.

В третьей главе предложен альтернативный вариант системы защиты сегментного затвора Майнской ГЭС от обледенения.

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

В заключении подведены итоги проделанной работы.

Ключевые слова: затвор, сегментный, борьба, обледенение, обогрев, система управления затвором, гидропривод, гидроцилиндр, шток, уплотнения, защита.

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 сегментного затвора на примере Майнской ГЭС.

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

- 1) Проанализированы существующие средства защиты от обледенения металлоконструкций.
- 2) Рассмотрена конструкция сегментного затвора.
- 3) Проведен обзор средств защиты от обледенения, примененных на эксплуатируемых ГЭС.
- 4) Предложен альтернативный вариант системы защиты сегментного затвора Майнской ГЭС.
- 5) Проведен технико-экономический расчет предложенной системы защиты сегментного затвора от обледенения.

Объектом исследования при написании работы послужили сегментные затворы водосливных плотин гидротехнических сооружений.

Предметом исследования стал вариант системы защиты сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС от наледи.

Научная новизна: предложена альтернативная система защиты сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС и система защиты гидроцилиндра.

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. Изложены применяемые на практике методы защиты сегментных затворов эксплуатируемых в настоящее время ГЭС с описанием принципа работы. Глава содержит в себе иллюстрации рассматриваемого оборудования.

Третья глава носит прикладной характер. Показана актуальность разработки альтернативной системы защиты гидромеханического оборудования водосливной плотины гидротехнического сооружения Майнской ГЭС. Приведено подробное описание и принцип работы предлагаемой схемы. Выполнен тепловой расчет для определения необходимой мощности обогрева. В соответствии с расчетом подобрано электрооборудование, разработана схема размещения электронагревателей на утеплительной обшивке сегментного затвора. Перечислены меры предосторожности при эксплуатации выбранного электрооборудования. Рассмотрены устройство и принцип действия гидроцилиндра сегментного затвора. Указаны проблемные места при эксплуатации в период отрицательных температур наружного воздуха, описаны применяемые методы борьбы с обледенением гидроцилиндра и предложен вариант защиты гидроцилиндра от обледенения.

В четвертой главе произведен технико-экономический расчет, который показывает экономическое преимущество альтернативной системы защиты сегментного по сравнению с системой защиты, разработанной СПКТБ «Ленгидросталь».

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 actual issue is the struggle against the icing of mechanical equipment during the operation of water-penetrating hydraulic structures in the autumn-winter period.

The danger of icing carries the possibility of failure to maneuver the shutter.

The purpose of this paper is to propose a version of the system of protection against icing of the segmental closure using the example of the Maina HPP.

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

- 1) Existing means of protection against icing of metal structures are analyzed.
- 2) The design of the segment gate is considered.
- 3) A review of the de-icing protection equipment used on the HPPs in operation was conducted.
- 4) An alternative version of the segmental shut-off protection system at Mainskaya HPP is proposed.
- 5) The technical and economic calculation of the proposed system for protecting the segment seal from icing has been carried out.

The object of the study when writing the work was the segmented gates of spillway dams of hydraulic structures.

The subject of the study was a version of the segmental shutter protection system of the spillway dam of Maina HPP from ice.

Scientific novelty: an alternative system for protecting the segmental closure of the spillway of the Main hydro power plant and the hydraulic cylinder protection system is proposed.

The first chapter of the master's thesis has an overview character. Possible methods of controlling icing are considered, such as:

1. Mechanical.
2. Physicochemical.
3. Thermal.

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

The second chapter has an overview and practical nature. The practical methods of protecting segmental gates of currently operated hydroelectric power stations are described with a description of the principle of operation. The chapter contains illustrations of the described equipment.

The third chapter is of an applied nature. The relevance of the development of an alternative system for the protection of hydromechanical equipment of the spillway dam of the hydraulic power plant at Maina HPP is shown. A detailed description and principle of operation of the proposed scheme is given. A heat calculation was performed to determine the required heating capacity. In accordance with the calculation, the electrical equipment was selected, a scheme for placing the electric heaters on the thermal insulation of the segment seal was developed. The precautions for the operation of the selected electrical equipment are listed. The device and the principle of the action of the hydraulic cylinder of the segment lock are considered. The problem areas are indicated during operation in the period of negative outside air temperatures, the methods used to combat icing of the hydraulic cylinder are described and a variant of protecting the hydraulic cylinder from icing is suggested.

In the fourth chapter, the technical and economic calculation is carried out, which shows the economic advantage of an alternative segmental protection system in comparison with the protection system developed by SPDTB "Lenhidrostal".

The conclusion is of a general nature. The results of the work done in this master's thesis are summarized.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 Классификация средств защиты от обледенения. Обзор существующих методов борьбы с наледью.....	11
1.1 Средства защиты от обледенения затвора.....	12
1.1.1 Механические СЗО.....	12
1.1.2 Физико-химические СЗО.....	13
1.1.3 Тепловые СЗО.....	13
1.1.3.1 Обогрев калориферами.....	15
1.1.3.2 Обогрев инфракрасным излучением.....	15
1.1.3.3 Обогрев резистивными кабелями или лентами.....	16
1.1.3.4 Обогрев ТЭНами.....	17
1.1.3.5 Обогрев нагревателями на основе композитного материала «ЭКОМ» (КРМ).....	17
1.2 Средства защиты от обледенения закладных частей.....	18
1.2.1 Обогрев теплоносителем.....	18
1.2.2 Индукционный обогрев.....	19
1.2.3 Обогрев резистивными кабелями или лентами.....	21
1.2.4 Обогрев нагревателями на основе композитного материала «ЭКОМ» (КРМ).....	22
2 Описание методов обогрева сегментных затворов, применяемых на различных ГЭС.....	23
2.1 Устройство сегментного затвора.....	23
2.2 Колымская ГЭС.....	24
2.3 Угличская ГЭС.....	26
2.4 Нижне-Бурейская ГЭС.....	28
2.5 Майнская ГЭС.....	30

3 Альтернативный вариант системы защиты сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС.....	34
3.1 Обоснование актуальности альтернативной системы защиты.....	34
3.2 Описание предлагаемой схемы.....	35
3.3 Тепловой расчет обогрева обшивки затвора водосливной плотины.....	37
3.4 Выбор оборудования.....	41
3.5 Меры безопасности при ремонте и эксплуатации электронагревателей.....	46
3.6 Защита гидроцилиндра.....	47
4 Технико-экономический расчет.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Расположение ТЭНов на утеплительной обшивке сегментного затвора.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Электрическая схема обогрева сегментного затвора.....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Обогрев закладных частей сегментного затвора.....	69
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	70

ВВЕДЕНИЕ

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

На низконапорных станциях в качестве основных затворов эксплуатационного водосброса чаще используют сегментные затворы в силу того, что их подъемные усилия меньше, чем у плоских.

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, что противоречит требованиям СТО 17330282.27.140.017-2008 [1, с 13], 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).

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:

- обмерзания пазов, опорно-ходовых частей и уплотнений затворов вследствие протечек воды через неплотности боковых уплотнительных устройств и обледенения боковых поверхностей бычков и устоев;
- примерзания затвора к порогу;
- обледенения конструкций затвора со стороны верхнего и нижнего бьефов.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы предложить вариант системы защиты от обледенения сегментного затвора на примере Майнской ГЭС.

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

- 6) Проанализированы существующие средства защиты от обледенения металлоконструкций.
- 7) Рассмотрена конструкция сегментного затвора.
- 8) Проведен обзор средств защиты от обледенения, примененных на эксплуатируемых ГЭС.
- 9) Предложен альтернативный вариант системы защиты сегментного затвора Майнской ГЭС.
- 10) Проведен технико-экономический расчет предложенной системы защиты сегментного затвора от обледенения.

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

Все средства защиты от обледенения (СЗО) можно разделить на две группы: активные и пассивные [2].

К пассивным средствам защиты относят:

- заблаговременное прогнозирование;
- оповещение об обледенении;
- проведение организационных мероприятий;
- введение ограничений по эксплуатации объектов в районах, подверженных обледенению.

Активные средства защиты предупреждают обледенение или периодически удаляют образовавшийся лед.

Активные средства защиты от обледенения (рисунок 1) подразделяются на:

- механические;
- физико-химические;
- тепловые.

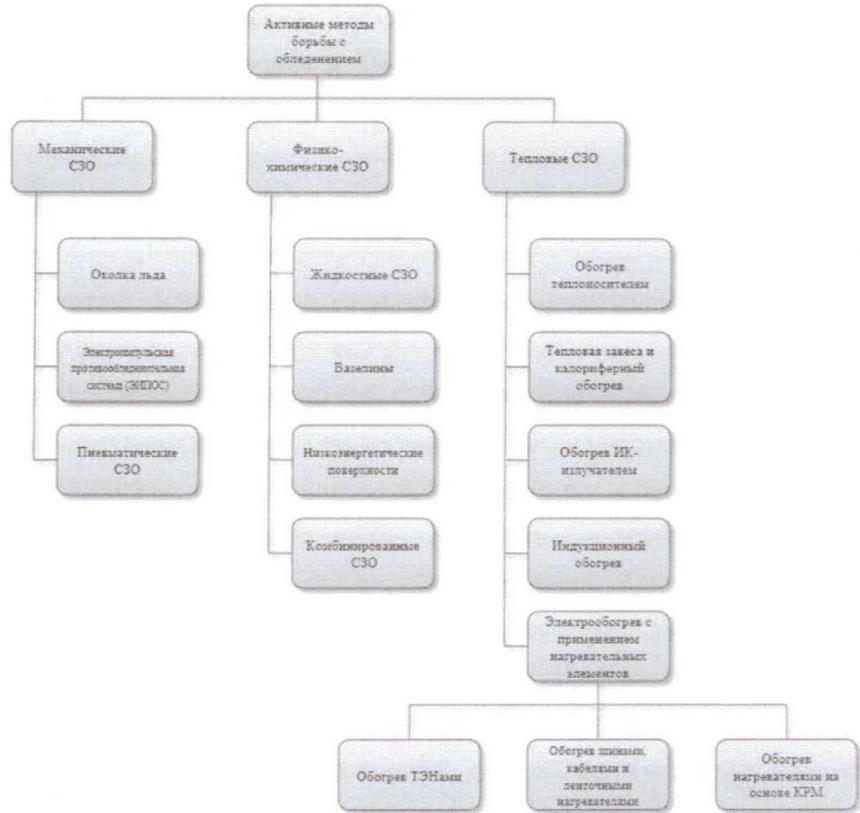


Рисунок 1 – Классификация методов защиты от обледенения гидромеханического оборудования гидротехнических сооружений

1.1 Средства защиты от обледенения затвора

1.1.1 Механические СЗО

Механический способ представляет собой ручную очистку поверхностей.

Это самый дешевый способ, однако, трудоемкий и длительный.

Околка льда представляет собой механическое воздействие на уже образовавшуюся ледовую массу на поверхности затвора.

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 [3].

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.

1.1.2 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) [4].

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

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 вырабатывании 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.

1.1.3.1 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 IP.

1.1.3.2 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;
- наложенное производство нагревателей, доступность приобретения;
- ремонтопригодность.

Недостатки обогрева ИК излучением:

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

1.1.3.3 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;
- наложенное производство кабелей, доступность приобретения;
- удобство применения на конструкциях сложной конфигурации;
- высокая степень защиты от пыли и влаги IP;
- 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.

1.1.3.4 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 повторно-кратковременно режиме;
- неравномерное распределение мощности внутри полости затвора;
- низкий уровень изоляции контактных соединений ТЭНов с питающими кабелями (IP00);
- низкий уровень механической защиты ТЭНов;
- пожароопасность, из-за высокой температуры поверхности ТЭНов.

1.1.3.5 Обогрев нагревателями на основе композитного материала «ЭКОМ» (КРМ)

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 повторно-кратковременно режиме. При одних и тех же условиях и подаваемой мощности элементы на фосфатном и цементном вяжущем нагреваются до 100°C 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;

1.2 Средства защиты от обледенения закладных частей

С целью обеспечения возможности свободного маневрирования затвором в период отрицательных температур наружного воздуха выполняется обогрев закладных частей сегментного затвора.

1.2.1 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, фтороорганические 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;
- ремонтопригодность.

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.

1.2.2 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 применение 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 ремонтопригодности можно классифицировать на:

- ремонтопригодные;
- неремонтопригодные.

Способы обеспечения ремонтопригодности 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);
- неремонтопригодность (если производится заливка полостей закладных частей);
- низкий коэффициент мощности ($\cos\phi$).

1.2.3 Обогрев резистивными кабелями или лентами

Сущность данного метода заключается в том, что в полостях закладных частей осуществляется прокладка греющего резистивного кабеля. При протекании тока через греющий кабель происходит его нагрев. Тепловая энергия, выделяющаяся кабелем, передаётся к закладным частям.

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 IP;
- равномерное распределение мощности.

Недостатки обогрева резистивными кабелями:

- сложность монтажа кабеля на металлоконструкциях затвора, обеспечивающего его плотное прилегание к металлу затвора;
- низкая удельная мощность греющего кабеля.

1.2.4 Обогрев нагревателями на основе композитного материала «ЭКОМ» (КРМ)

Суть данного вида обогрева заключается в том, что закладные части изготавливаются со специальными полостями для установки нагревателей. Внутрь закладных частей устанавливаются нагреватели на основе КРМ. Принцип работы нагревателей на основе КРМ описан в разделе 1.1.3.5.

Достоинства обогрева на основе КРМ:

- высокая удельная мощность нагревателя;
- ремонтопригодность для вертикальных закладных частей;
- высокая степень механической защиты нагревателя;
- высокая степень защиты от пыли и влаги IP67 или IP68, 10бар (включая кабельный ввод);
- высокая тепловая инерционность нагревателей при работе в повторно-кратковременном режиме. При одних и тех же условиях и подаваемой мощности элементы на фосфатном и цементном вяжущем нагреваются до 100°C 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:

- крайне сложная конструкция закладных частей;
- низкая эффективность обогрева, из-за отсутствия плотного прилегания нагревателей к закладным частям;
- сравнительно высокая стоимость нагревателей;
- система обогрева на основе КРМ смонтированная в пороге -неремонтопригодна;
- сложность в приобретении. Изготавливаются и поставляются под заказ.

Данный способ обогрева имеет ограниченное применение из-за своих недостатков. Применялся только для вертикальных закладных частей.

2 Описание методов обогрева сегментных затворов, применяемых на различных ГЭС

2.1 Устройство сегментного затвора

Сегментный затвор (рисунок 2) имеет сегментнообразное ригельное пролетное строение, опирающееся через фермы («ноги») на шарниры, передающие давление воды на быки [5].

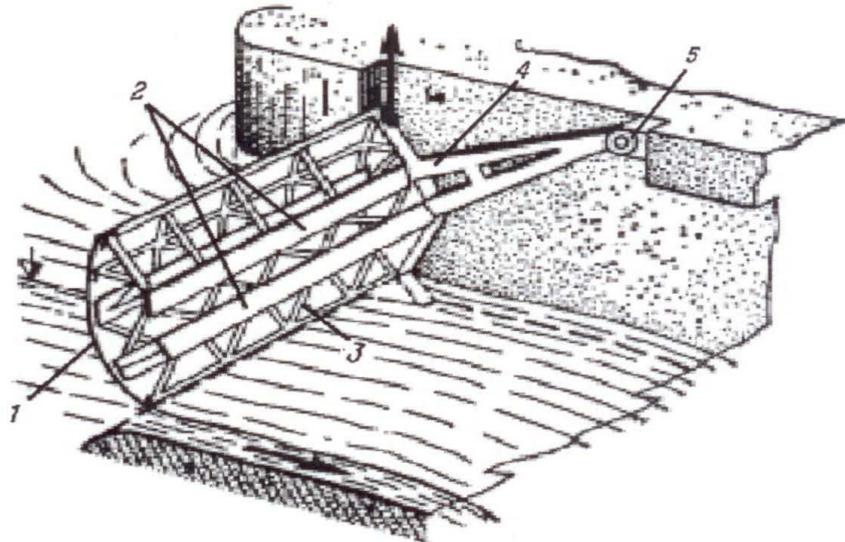


Рисунок 2 – Сегментный затвор
1 – обшивка, 2 – ригели, 3 – диафрагма, 4 – нога, 5 - шарнир

Затвор имеет закладные части — неподвижные конструкции, заделанные в тело сооружения и обеспечивающие перемещение затвора, водонепроницаемость по контакту между ним и сооружением.

Маневрирование гидротехническими затворами механического действия осуществляется при помощи подъемных устройств (механизмов),

стационарных или передвижных кранов. В затворах гидравлического действия механизмы заменяются аппаратом управления.

2.2 Колымская ГЭС

Колымская ГЭС ($H_p = 108$ м) находится на реке Колыма у посёлка Синегорье Ягоднинского округа Магаданской области. Строительство Колымской ГЭС осуществлено в суровых климатических условиях, в зоне распространения вечной мерзлоты. Входит в состав ПАО «Колымэнерго» — дочернего общества ПАО «РусГидро».

Климат резко континентальный, с очень холодной зимой и умеренно тёплым летом. Годовая амплитуда колебаний температуры воздуха достигает 98°C , минимальная зимняя температура — минус 62°C , максимальная летняя — плюс 36°C . Продолжительность отопительного периода — 270 дней.

Водосброс Колымской ГЭС поверхностный, берегового типа. Водосброс бетонный, состоит из трёхпролётного водослива и быстротоков, заканчивающихся трамплинами. Каждый из трёх пролётов водослива шириной по 13 м перекрывается сегментным затвором высотой 21 м (рисунок 3). Оперирование затворами производится с помощью лебёдок грузоподъёмностью 200 т каждая (по две на каждый затвор) [8].



Рисунок 3 – Сегментный затвор Колымской ГЭС

Затвор водосливной плотины Колымской ГЭС по проекту обогревается с помощью установленных внутри него трубчатых электронагревателей.

Электрообогрев закладных частей сегментного затвора Колымской ГЭС по проекту осуществляется индукционным методом при помощи индукционных нагревателей.

Однако фактически системы обогрева на Колымской ГЭС нет. Затворы используются не круглый год, а весной, летом и осенью. Колымская ГЭС работает в изолированной энергосистеме и сброс воды не ограничен, зимой затворы замерзшие. При подготовке к пропуску паводка (апрель) затворы отливают горячей водой.

2.3 Угличская ГЭС

Угличская ГЭС ($H_p = 13,0$ м) находится на реке Волга в Ярославской области, в городе Угличе. Собственником Угличской ГЭС (за исключением судоходного шлюза) является ПАО «РусГидро».

Климат Ярославской области умеренно-континентальный, с относительно теплым, но коротким летом и продолжительной, но умеренно холодной зимой.

Зима в Ярославской области начинается во второй половине ноября и длится примерно 4-5 месяцев. С первых чисел декабря образуется устойчивый снежный покров. Самый холодный месяц - январь, со средней температурой -12 градусов, в отдельные дни температура воздуха может опускаться до -30 градусов.

Гравитационная бетонная водосбросная плотина Угличской ГЭС имеет 7 пролётов шириной по 19,8 м; каждый пролёт имеет два яруса. Верхний ярус пропускает около 27 % расчётного расхода (также через него происходит сброс льда), перекрывается сегментным затвором высотой 5,4 м (рисунок 4). Нижний ярус имеет высоту 4 м, пропускает около 73 % расхода и перекрывается плоским затвором. Маневрирование основными затворами производится с помощью специальных грузоподъёмных механизмов, монтированных на бычках плотины [9].



Рисунок 4 – Сегментный затвор Угличской ГЭС

Электрообогрев сегментного затвора водосливной плотины Угличской ГЭС в период отрицательных температур наружного воздуха осуществляется при помощи нагревательных элементов в постоянном режиме.

При помощи датчиков температуры и измерителей регуляторов поддерживается заданная температура обшивки затвора и температура нагревательных элементов. Нагревательные элементы изготовлены из нержавеющей стали на основе композитного материала.

Нагревательные элементы установлены во внутrizатворные клетки затвора и распределены по затвору равномерно. Для уменьшения потерь тепла внутrizатворные клетки затвора обшиты металлическими листами с утеплением с безнапорной стороны.

Электрообогрев закладных частей сегментного затвора Угличской ГЭС осуществляется индукционным методом при помощи индукционных

нагревателей, представляющих собой обмотку, выполненную специальным термостойким проводом.

Такой метод обогрева признан удовлетворительным, пока речь идет о сооружениях, работающих в умеренном климате. Но большое число гидротехнических сооружений расположено в районах с резко континентальным или муссонным климатами, и даже в районе вечной мерзлоты, где длительность зимней эксплуатации больше, потребные для обогрева мощности выше и требования надежности зимней эксплуатации более жесткие [10].

2.4 Нижне-Бурейская ГЭС

Нижне-Бурейская ГЭС ($H_p = 26,1$ м) —гидроэлектростанция на реке Бурея у посёлка Новобурейский Бурейского района Амурской области. Строительство станции ведётся ПАО «РусГидро» с 2010 года.

Климат муссонный. Зима в области суровая. Средняя температура января составляет $-21,5$ °C. Абсолютный минимум $-45,4$ °C.

Водосливная плотина бетонная оборудована пятью поверхностными водосбросами, перекрываемыми сегментными затворами (рисунок 5), оперирование которыми производится с помощью гидроприводов [11].

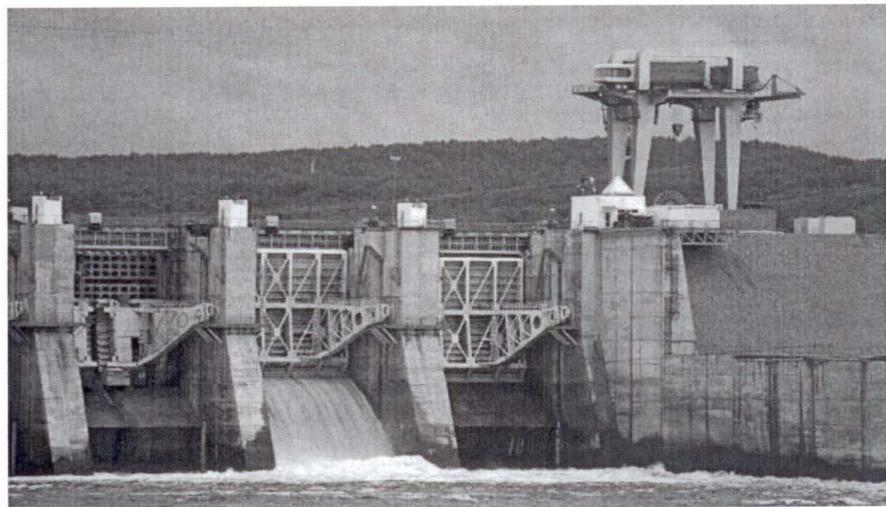


Рисунок 5 – Сегментный затвор Нижне-Бурейской ГЭС

Электрообогрев затвора водосливной плотины Нижне-Бурейской ГЭС в период отрицательных температур наружного воздуха осуществляется при помощи нагревательных элементов в постоянном режиме.

При помощи датчиков температуры и измерителей-регуляторов поддерживается заданная температура обшивки затвора и температура нагревательных элементов. Нагревательные элементы изготовлены из нержавеющей стали на основе композитного материала.

Нагревательные элементы установлены во внутrizатворные клетки затвора и распределены по затвору равномерно. Для уменьшения потерь тепла внутrizатворные клетки затвора обшиты металлическими листами с утеплением с беззапорной стороны.

Электрообогрев металлоконструкций ног затвора осуществляется при помощи электрокалориферных установок ЭКОЦ-40, которые установлены внутри металлоконструкций ног затвора. Металлоконструкции ног затвора закрыты утеплительной обшивкой.

Электрообогрев закладных частей сегментного затвора пролета №3 осуществляется индукционным методом при помощи индукционных

нагревателей, представляющих собой обмотку, выполненную специальным термостойким проводом. По обмоткам индукционных нагревателей пропускается переменный ток промышленной частоты. Наличие этих токов вызывает нагрев металлических конструкций закладных частей.

Фактически на момент защиты диссертации проектная отметка нормального подпорного уровня водохранилища еще не набрана, затвор в зимнее время не поднимали, поэтому электрообогрев прошел только проверку на работоспособность и не может быть признан эффективным.

2.5 Майнская ГЭС

Майнская ГЭС ($H_p = 12$ м) находится на реке Енисей в Хакасии, у посёлка Майна. Собственником является ПАО «РусГидро».

Климат резко континентальный с жарким летом и холодной зимой. Максимальная амплитуда колебаний температуры в отдельные годы превышает 80 градусов по Цельсию (от -40 до +40). Зима (ноябрь-март) холодная сухая, с устойчивыми морозами (абс. мин. - 52). Устойчивый снежный покров образуется в начале ноября. Весна (апрель-май) короткая и дружная, дневная температура 4 - 15°C, по ночам заморозки до - 3°C.

Водосливная плотина бетонная оборудована пятью поверхностными водосбросами, перекрываемыми сегментными затворами (рисунок 6), оперирование которыми производится с помощью гидроприводов [12].

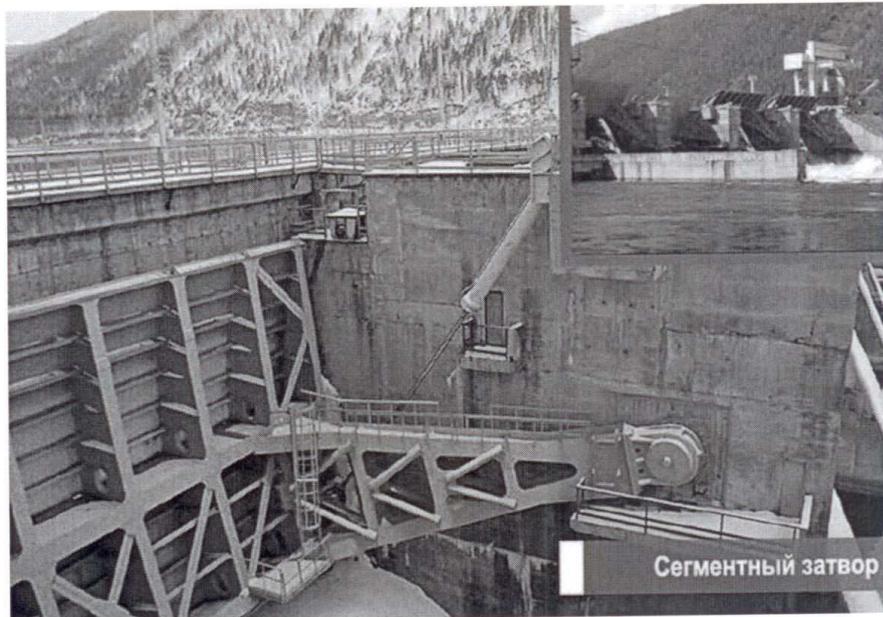


Рисунок 6 – Сегментный затвор Майнской ГЭС

На Майнском гидроузле мероприятий против обмерзания затворов проектом не предусмотрено, что является существенным упущением [13].

Однако Майнская ГЭС является контролируемой и безотказная работа затворов необходима не только на аварийный случай, а в постоянном режиме.

Для пропуска проектного расхода в период отрицательных температур наружного воздуха был выполнен обогрев затворов №2 и №3 и их закладных частей.

Затворы водосливной плотины Майнской ГЭС обогреваются с помощью установленных внутри него трубчатых электронагревателей, установленных с напорной стороны затвора. ТЭНЫ работают всю зиму в постоянном режиме, без автоматики.

Электрообогрев закладных частей сегментного затвора Майнской ГЭС осуществляется индукционным методом при помощи индукционных нагревателей. Полости закладных частей заполнены мастикой, что является существенным недостатком – такая система обогрева неремонтопригодна.

Опорно-ходовые части защищены от обледенения шатром из ПВХ ткани.

Однако при работе в зимний период затворы с безнапорной грани и гидроцилиндр покрываются льдом, который счищается механическим способом (с привлечением промышленных альпинистов) для того чтобы вес льда вместе с весом затвора не превысил допустимые нагрузки на гидропривод.

Из вышеописанного следует, что существующая система обогрева затвора сегментных затворов водосливной плотины Майнской ГЭС не эффективна.

В рамках программы технического перевооружения и реконструкции СПКТБ «Ленгидросталь» по специальному заказу разработало и выполнило вариантную проработку реконструкции системы обогрева затворов МГУ и предложило вариант системы обогрева, который был утвержден.

В соответствии с проектом, электрообогрев сегментных затворов Майнской ГЭС осуществляется при помощи нагревательных элементов в повторно-кратковременном режиме.

На затворе равномерно в несколько рядов размещаются электронагреватели на основе КРМ. Для контроля температуры поверхности затвора на каждые два ряда устанавливаются датчики температуры. Внутри одного из нагревателей в каждом ряду установлен датчик внутренней температуры (термопреобразователь сопротивления). Он предназначен для ограничения внутренней температуры нагревателей.

Подключение термопреобразователя сопротивления осуществляется к измерителю-регулятору, который устанавливается на двери шкафа управления и обеспечивает работу системы обогрева в повторно-кратковременном режиме.

Обогрев закладных частей осуществляется индукционным методом. В полостях обогреваемых закладных частей установлены жгуты из термостойких проводов, которые являются обмоткой индукционного нагревателя. Соединение концов обмоток индукционных нагревателей с жилами кабелей, идущих от шкафа с аппаратурой, выполняется на панелях, установленных в верхних частях вертикальных закладных. К панелям обеспечен доступ для обслуживания и ремонта.

Для контроля температуры нагрева металлоконструкций закладных частей в схеме применяется измеритель-регулятор с термопреобразователями сопротивления. Измеритель-регулятор устанавливается на двери шкафа управления. Термопреобразователи сопротивлений устанавливаются в закладных частях.

Электрообогрев металлоконструкций ног затвора осуществляется за счет зашивки металлическими листами с установкой внутри калорифера.

Полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сводная таблица методов обогрева, применяемых на различных ГЭС

		Колымская ГЭС	Угличская ГЭС	Нижне-Бурейская ГЭС	Майнская ГЭС	
Размеры, м (высота / длина)		23,7 / 13	5,4 / 19,8	17,4 / 20	13,2 / 22	
Количество общее		3	7	5	5	
Количество обогреваемых		3	5	1	2	1
Тело затвора	Обшивка	ТЭНЫ $P=42 \text{ кВт}$ 42 шт. по 1 кВт	ЭКОМ (КРМ) $P=48 \text{ кВт}$ 80 шт. по 0,6 кВт	ЭКОМ (КРМ) на синтетическом вяжущем $P=124,8 \text{ кВт}$ 208 шт. по 0,6 кВт	ТЭНЫ $P=120 \text{ кВт}$ 30 шт. по 4 кВт	ЭКОМ (КРМ) на фосфатном вяжущем $P=126 \text{ кВт}$ 210 шт. по 0,6 кВт
	Опорно- ходовые части	-	-	Зашивка утеплит. + ЭКОЦ 2 шт. $P=94,2 \text{ кВт}$	Шатры из ПВХ ткани	Зашивка утеплит. + ЭКОЦ
Закладные части		Индукционны й Вертик. 4 шт. Порог 2 шт.	Индукционный Вертик. 4 шт. Порог 2 шт.	Индукционный $P=64$ (вертик)+51,2 (порог)=115,2 кВт Вертик. 8 шт. Порог 4 шт.	Индукционный $P=24$ (вертик)+21 (порог)=45 кВт 3 шт.	Индукционный $P=24$ (вертик)+21 (порог)=45 кВт 3 шт.
Толщина обшивки, мм		6	14	16	18	

3 Альтернативный вариант системы защиты сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС

3.1 Обоснование актуальности альтернативной системы защиты

Как уже было отмечено, существующая система обогрева Майнской ГЭС не эффективна по ряду причин.

- 1) ТЭНЫ установлены неправильно: они крепятся к напорной обшивке затвора.
- 2) Недостаточная мощность ТЭНов.
- 3) Система обогрева закладных частей затвора неремонтопригодна из-за заполненных мастикой полостей.

На данный момент на работы по физическому/механическому скальванию льда выделяется порядка 3,5-4 млн. руб. в год. Неделю затвор работает, 2-3 дня находится на обработке.

Обрабатывать затвор химическими веществами нельзя, так как это опасно для экологии, а в первую очередь для населения поселков Майна и Сизая, ведь ниже по течению находятся водозаборы. К тому же, при обработке затвора химическими веществами происходит нарушение антикоррозионного покрытия и коррозия металла.

Абсолютно обоснована в этом случае реконструкция системы обогрева.

Проект реконструкции системы обогрева предполагает обогрев затвора нагревателями на основе КРМ и индуктивным обогревом закладных частей без заполнения полостей.

Система обогрева закладных частей с устройством дренажных труб в случае сегментного затвора является самым оптимальным вариантом, учитывая его достоинства и неоднократно доказанную эффективность.

Нагревательные элементы на основе КРМ изучаются еще с 50-60 гг. прошлого столетия и считаются наиболее перспективными. Однако, широкого распространения не нашли. В настоящее время успешно эксплуатируется:

- 1) обогрев сегментного затвора водосливной плотины Угличской, находящейся в умеренном климате;
- 2) обогрев закладных частей плоского затвора водосброса №2 Богучанской ГЭС.

Первый случай не доказывает того, что нагреватели на основе КРМ столь же эффективны в более суровых условиях, второй не обеспечивает требование полной ремонтопригодности закладных частей.

По проекту реконструкции системы обогрева на затвор помещается 210 нагревательных элементов, вес которых вместе с кабелями превышает 3 тонны (3331 кг). А ведь дополнительный вес на затворе – это одна из главных причин борьбы с наледью. К тому же, так как нагреватели изготавливаются индивидуально, они имеют высокую стоимость и при учете требуемого количества нагревателей, данная система обогрева будет стоить очень дорого.

Альтернативой нагревателям на основе КРМ могут стать ТЭНЫ.

ТЭНЫ имеют невысокую стоимость, широкий диапазон параметров и налаженное производство.

Такой способ обогрева, несмотря на недостатки, показал свою эффективность. Например, затворы Богучанской ГЭС, работающей в зоне резко-континентального климата с амплитудой температур более 90 °C (абсолютный максимум +37,7°C, абсолютный минимум -53,5°C), обогреваются именно ТЭНами.

3.2 Описание предлагаемой схемы

В предлагаемой системе защиты сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС ТЭНЫ распределяются по безнапорной обшивке затвора в соответствии со схемой (Приложение А).

Электрическая схема представлена в Приложении Б.

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 схеме 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°C 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°C происходит автоматическое отключение обогрева.

При понижении температуры нагрева воздуха рядом с ТЭНом до +10°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 терmostатом.

Шкаф управления обогревом располагается в отапливаемом помещении плотины.

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

Обогрев закладных частей и металлоконструкций опорно-ходовых частей осуществляется так же, как в проекте реконструкции системы обогрева затворов Майнской ГЭС. Схема обогрева закладных частей представлена в приложении В.

3.3 Тепловой расчет обогрева обшивки затвора водосливной плотины

Задача определения необходимой мощности для обогрева обшивки затвора сводится к расчету теплопроводности через плоскую стенку при граничных условиях первого рода [14].

Рассмотрим однородную плоскую стенку толщиной δ (рисунок 7). На наружных поверхностях стенки поддерживаются постоянные температуры t_{c1} и t_{c2} . Считаем, что коэффициент теплопроводности стенки постоянен и равен λ .

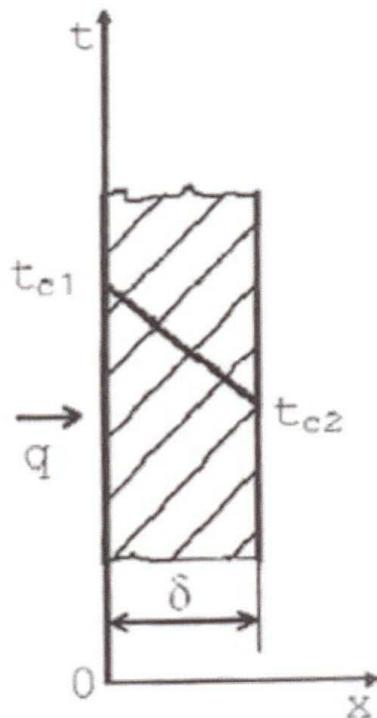


Рисунок 7 - Однородная плоская стенка

При стационарном режиме и отсутствии внутренних источников теплоты дифференциальное уравнение теплопроводности примет вид:

$$\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} = 0 \quad (1)$$

При заданных условиях температура будет изменяться только в направлении, перпендикулярном плоскости стенки (ось X). И дифференциальное уравнение теплопроводности перепишется в виде:

$$\frac{d^2t}{dx^2} = 0 \quad (2)$$

Границные условия первого рода запишутся следующим образом: при $x = 0, t = t_{c1}$; $x = \delta, t = t_{c2}$. Интегрируя уравнение (2), находим:

$$\frac{dt}{dx} = C_1 \quad (3)$$

После второго интегрирования получаем:

$$t = C_1 \cdot x + C_2 \quad (4)$$

Постоянные C_1 и C_2 определим из граничных условий: при $x = 0, t = t_{c1}$, $C_2 = t_{c1}$ при $x = \delta, t = t_{c2} = C_1 \cdot \delta + t_{c1}$ отсюда:

$$C_1 = -\frac{t_{c1} - t_{c2}}{\delta} \quad (5)$$

Подставляя значения C_1 и C_2 в уравнение (4), получим уравнение распределения температуры по толщине стенки:

$$t = t_{c1} - \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\delta} \cdot x \quad (6)$$

Для определения плотности теплового потока, проходящего через стенку в направлении оси X, воспользуемся законом Фурье, согласно которому:

$$q = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \quad (7)$$

Учитывая, что:

$$\frac{dt}{dx} = C_1 = -\frac{t_{c1} - t_{c2}}{\delta} \quad (8)$$

Выражение (7) примет вид:

$$q = -\frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{c1} - t_{c2}) \quad (9)$$

Следовательно, количество теплоты, проходящее через единицу поверхности стенки в единицу времени, прямо пропорционально коэффициенту теплопроводности λ , разности температур на наружных поверхностях стенки $t_{c1} - t_{c2}$ и обратно пропорционально толщине стенки δ .

Зная плотность теплового потока, легко вычислить общее количество теплоты Q_τ , которое передается через поверхность стенки величиной F за промежуток времени τ :

$$Q_\tau = q \cdot F \cdot \tau = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{c1} - t_{c2}) \cdot F \cdot \tau = \frac{(t_{c1} - t_{c2})}{\delta/\lambda} \cdot F \cdot \tau \quad (10)$$

Для определения количества теплоты, необходимое для обогрева обшивки сегментного затвора ВСП, подставим известные значения, в выражение (10).

Температуру воздуха примем равной -35°C (238°K), наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,92 для данной местности.

Конечную, температуру разогрева обшивки затвора примем 7°C (280°K).

Принимая, коэффициент теплопроводности стали (Ст3) $52 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ находим:

$$Q_{\tau} = \frac{(280 - 238)}{0,018/52} \cdot 290,4 = 92461,5 \text{ Вт}$$

Пренебрегая теплопотерями, мощность, необходимую для обогрева обшивки затвора - Q_0 , можно рассчитать по выражению:

$$Q_0 = k_n \cdot Q_{\tau}, \quad (11)$$

где k_n - коэффициента надежности, учитывающий возможное отклонение нагрузок и характеристик материалов в неблагоприятную сторону от нормативных значений, принимаем равным 1,3.

Использую полученные значения, по формуле (11) найдем мощность обогрева обшивки затвора:

$$Q_0 = 1,3 \cdot 92461,5 = 120200 \text{ Вт} = 120,2 \text{ кВт.}$$

3.4 Выбор оборудования

ТЭНЫ, в соответствии с ГОСТ 13268-88 [15], изготавливаются стандартной мощности: 0,10; 0,12; 0,16; 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,50; 1,60; 2,00; 2,50; 3,00; 3,15; 3,50; 4,00; 5,00; 6,30; 8,00; 10,00; 12,00; 12,50; 16,00; 20,00 и 25,00 кВт.

Для расчета необходимого количества ТЭНов нужно разделить мощность обогрева обшивки затвора разделить на номинальную мощность ТЭНа и округлить получившееся число до ближайшего большего целого.

В таблице 2 представлено необходимое количество ТЭНов для соответствующих мощностей.

Таблица 2 - Необходимое количество ТЭНов для соответствующих мощностей

Мощность ТЭНов, кВт	Количество ТЭНов, шт.
0,10	1202
0,12	1002
0,16	752
0,20	601
0,25	481
0,32	376
0,40	301
0,50	241
0,63	191
0,80	151
1,00	121
1,25	97
1,50	81
1,60	76
2,00	61
2,50	49
3,00	41
3,15	39
3,50	35
4,00	31
5,00	25
6,30	20
8,00	16
10,00	13
12,00	11
12,50	10
16,00	8

Окончание таблицы 2

Мощность ТЭНов, кВт	Количество ТЭНов, шт.
20,00	7
25,00	5

Так как затвор разделен на 21 полость, не имеет смысла ставить меньше одного ТЭНа на полость. Также нецелесообразно очень большое количество ТЭНов. Самым оптимальным вариантом будет установка 49 ТЭНов по 2,5 кВт, так как такие ТЭНЫ имеют большее распространение.

Выбраны ТЭНЫ компании ООО «Спецтехноресурс» (г. Москва).

Электронагреватель трубчатый $\frac{TЭH\ 200\ A\ 10\ / 2,5\ T\ 220}{B\ 80\ HH-1}$ УХЛ4.

С номинальными данными, приведенными в таблице 3.

Таблица 3 – Номинальные данные ТЭН

Типоисполнение	Номинальная мощность, кВт	Номинальный ток	Размеры, мм							Масса нагревателя, кг	Контактное соединение		
			габаритные		установочные		развернутая длина	активная длина	радиус изгиба				
			A	B	Г	d							
$TЭH\ 200\ A\ 10\ / 2,5\ T\ 220$ $B\ 80\ HH-1$	2,5	11,36	1017	105	80	10	2000	1020	35	0,802	M3		

Габаритные и установочные размеры и конфигурация ТЭНов приведены на рисунке 8.

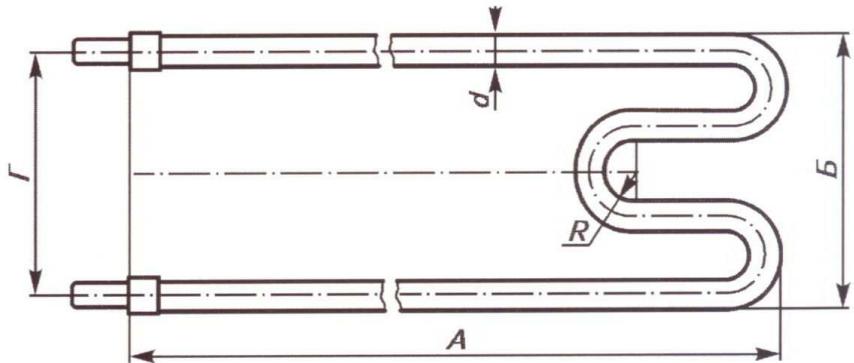


Рисунок 8 - Габаритные и установочные размеры и конфигурация ТЭНов

К ТЭНам подбирается стоечное крепление (кронштейн) горячеоцинкованное от ЗАО «Диэлектрические Кабельные системы (ДКС)» код изделия LP500HDZ ТУ 3449-002-73438690-2008.

Для подачи питания необходим выключатель на номинальный ток $I_{nom} = \frac{49 \cdot 2,5}{380} = 322,4 A.$

Выбран четырехполюсный выключатель-разъединитель QS1 серии Interpact INV100, 4P с «видимым разрывом» цепи, каталожный номер 31161 фирмы «Schneider Electric» на номинальный ток $I_{nom} = 400 A.$

Для защиты силовых цепей обогрева затвора от токов КЗ и от токов перегрузки нужны два типа выключателей: для секций из трех ТЭН и секций из одного ТЭН.

Для секций из трех ТЭН на номинальный ток $I_{nom} = \frac{3 \cdot 2,5}{380} = 19,7 A.$

Выбран автоматический выключатель QF1-QF42 трехполюсный типа Easypact EZC100B - TMD - 20 A на номинальный ток 20 A от фирмы «Schneider Electric».

Для секций из одного ТЭН на номинальный ток $I_{nom} = \frac{2,5}{220} = 11,4 A.$

Выбран автоматический выключатель QF43-DF49 трехполюсный типа EasyPact EZC100B - TMD - 15 А на номинальный ток 15 А от фирмы «Schneider Electric».

Для управления ТЭНами из трех секций выбран четырехполюсный контактор TeSys фирмы «Schneider Electric», номер по каталогу LC1E1801Q5.

Для управления ТЭНами из одной секции выбран четырехполюсный контактор TeSys фирмы «Schneider Electric», номер по каталогу LC1E0901M5.

Для включения и защиты цепей управления в качестве измерителя-регулятора выбран двухканальный типа 2TPM1A – Щ2.ТС. Р 0,25, ТУ 4211 – 002 – 46526536 – 00, ПО «Овен» г. Москва.

В качестве датчиков температуры выбраны ДТС125Л.И-Pt100.0,25.80.15, ТУ4211-0,23-46526536-2009, ПО «Овен» г. Москва.

Для подвода питания от шкафа с аппаратурой до клеммной коробки КК1 выбран кабель марки ВВГнг(А) на 0,66 кВ ТУ 16.К71 310 2001, сечением 4х95 мм², кабельная продукция ОАО “Электрокабель “Кольчугинский завод”, г. Кольчугино.

Соединения ТЭН между собой выполнены кабелем марки КРШС – В на 0,66 кВ ТУ16 – 705.244 – 82, сечением 2х2,5 мм², кабельная продукция ОАО «ЭЛЕКТРОКАБЕЛЬ» КОЛЬЧУГИНСКИЙ ЗАВОД».

Для передачи электрического сигнала о температуре нагрева от датчиков температуры к измерителю-регулятору выбран гибкий экранированный кабель марки МКЭШ сечением 3х0,75 мм² ГОСТ 10348-80, кабельная продукция ЗАО «Народное предприятие» Подольсккабель»

Для выполнения заземления в качестве защитного проводника (РЕ) выбран силовой одножильный кабель марки ВВГнг-ХЛ1 на 0,66 кВ ТУ 16.К01 – 37 – 2003 с медной жилой сечением 1х6 мм², кабельная продукция ОАО «ЭЛЕКТРОКАБЕЛЬ» КОЛЬЧУГИНСКИЙ ЗАВОД».

3.5 Меры безопасности при ремонте и эксплуатации электронагревателей

Во время проведения ремонтных работ необходимо отключить установку от источников электрического тока, приняв меры, исключающие ошибочную подачу напряжения к месту проведения работ.

Установка должна быть заземлена в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок».

Проводить периодический контроль изоляции в сроки установленные правилами (ПУЭ) [16].

Эксплуатировать электронагреватель ТЭН можно только в той среде, для которой он предназначен.

Перед эксплуатацией ТЭН проверяют:

- 1) сопротивление изоляции (при его падении ниже 0,5 МОм или увеличении тока утечки более 0,75 mA/kВт ТЭН следует просушить при температуре 120 - 150 °C в течение 4 - 6 часов);
- 2) отсутствие механических повреждений токоведущих частей;
- 3) исправность трубопроводов и креплений;
- 4) надежность заземления;
- 5) защиту токоведущих частей от случайного к ним прикосновения и попадания брызг (все монтажные и ремонтные работы следует проводить при снятом напряжении).

При эксплуатации ТЭН:

- 1) необходимо следить за состоянием контактных стержней и токоподводящих проводов, не допуская ослабления соединения;
- 2) периодически удалять загрязнения с изоляционных втулок и контактных стержней;
- 3) при подтягивании контактных гаек не допускается проворачивания контактных стержней в корпусе ТЭН;

4) активная часть ТЭН должна быть полностью расположена в рабочей среде;

5) при нагревании твердых тел (деталей штампов, пресс-форм, литейных форм) должен быть обеспечен надежный тепловой контакт оболочки с нагреваемой средой.[16]

3.6 Защита гидроцилиндра

Гидроцилиндр – немаловажная часть гидромеханического оборудования.

Относится к системе управления затвором.

Цилиндр гидравлический (сокр. гидроцилиндр) – это гидравлический двигатель объемного типа, работа которого основана на возвратно-поступательном движении выходного звена. Структурно гидроцилиндры представляют собой емкость, внутри которой находится поршень со штоком (рисунок 9). Движение поршня происходит при увеличении давления рабочей жидкости, за счет увеличения ее количества.

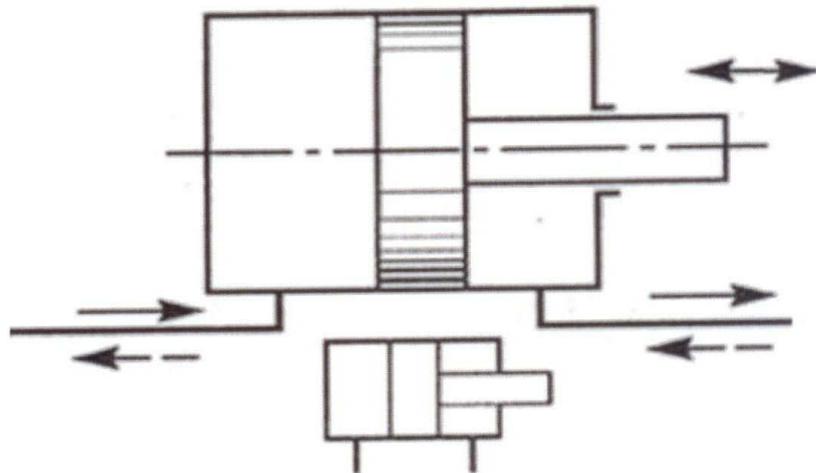


Рисунок 9 – Принципиальная схема гидроцилиндра

Конструктивно гидроцилиндр состоит из следующих основных деталей (рисунок 10): гильза, поршень, шток, втулка направляющая, крышка, проушина и опорно-направляющие элементы (манжеты, кольца и др.) [17].



Рисунок 10 – Конструктивная схема гидроцилиндра

Проблемной в плане обмерзания оборудования является шток гидроцилиндра. Опасность обледенения заключается в том, что при намерзании льда на штоке (рисунок 11) и последующем обратном ходе можно повредить уплотнения штока. Следствием повреждения может стать не только нарушение нормальной работы затвора, но и разгерметизация гидроцилиндра с утечкой масла из полости штока и нанесением экологического ущерба.



Рисунок 11 – Обледенение штока гидроцилиндра

В настоящее время с обледенением штока гидроцилиндра борются механическим способом, что приводит к нарушению хромированного покрытия (рисунок 12).



Рисунок 12 – Нарушение хромированного покрытия штока гидроцилиндра

Чтобы исправить последствия ручной очистки поверхности штока гидроцилиндра, его периодически ремонтируют. Для этого проводится процедура дефектоскопии и выясняются наиболее поврежденные места (рисунок 13).

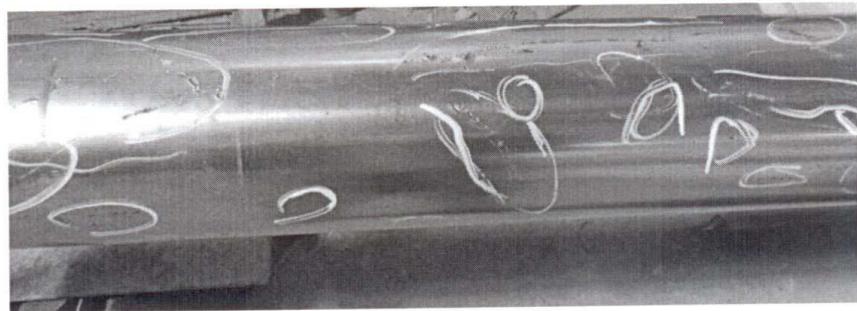


Рисунок 13 – Выявление наиболее поврежденных мест штока гидроцилиндра

Затем на выявленные поврежденные участки производится наплавка меди. Затем наплавленную медь шлифуют. И в самом конце шток полируют (рисунок 14).

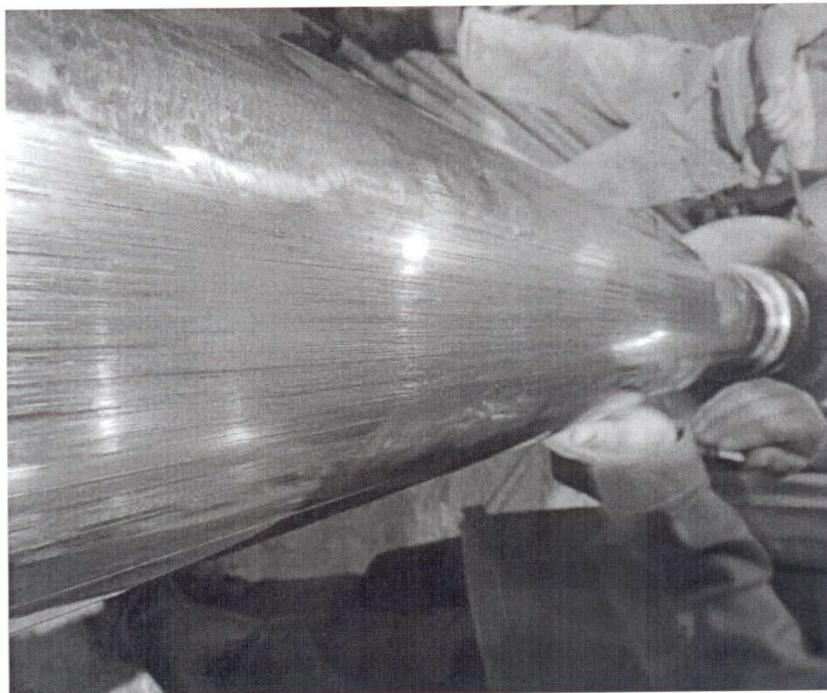


Рисунок 14 – Полировка штока гидроцилиндра

Данная процедура длится около 2-3 недель. Однако, несмотря на восстановленный внешний вид, хромированное покрытие штока восстановить невозможно.

Поэтому для того, чтобы предотвратить образование наледи на штоке гидроцилиндра предлагается система защиты.

Суть предлагаемой системы защиты состоит в следующем: на гильзу прикрепляются направляющие. На направляющие надевается гофрированная труба из полиуретана (рисунок 15). Такая труба имеет широкий диапазон сжатия-растяжения.



Рисунок 15 - Гофрированная труба из полиуретана

Другой конец трубы крепится на конце нерабочей части штока.

Местоположение защитной гофры показано на рисунке 16.

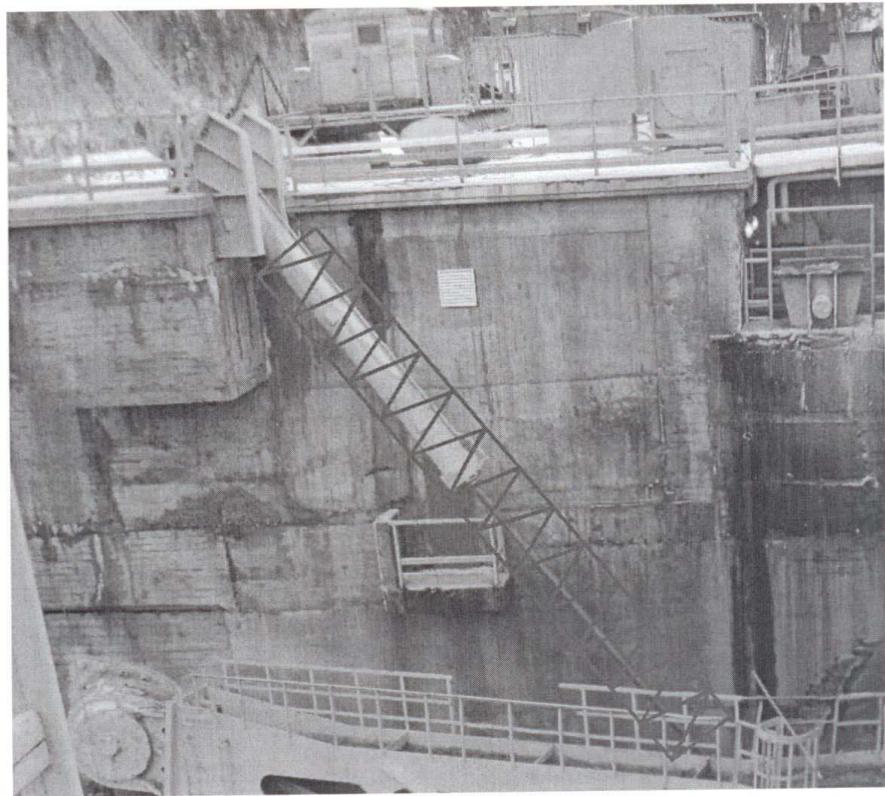


Рисунок 16 – Местоположение защитной гофры

В случае закрытого гидроцилиндра (шток внутри) гофра находится на гильзе в сжатом положении. В случае открытого гидроцилиндра (шток снаружи) гофра растягивается по всей длине штока, тем самым закрывая его и не позволяя образоваться наледи.

Схема предлагаемой системы защиты представлена на рисунке 17.

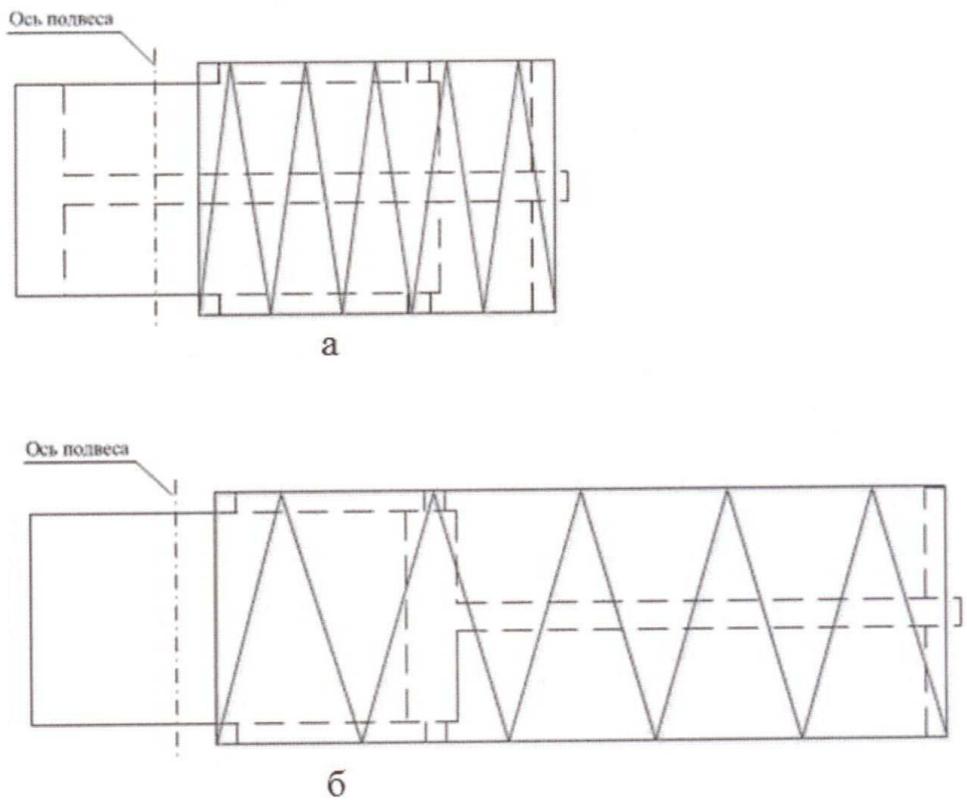


Рисунок 17 – Система защиты гидроцилиндра

а – шток внутри, б – шток снаружи

Для того, чтобы на гофре от брызг не образовывалась наледь, предусмотрен подвод теплого воздуха от калорифера и отвод конденсата.

В таблице 4 приведены параметры гидроцилиндра, по которым подбирается защитная гофра.

Таблица 4 - Параметры гидроцилиндра

Полный ход поршня	9000 мм
Рабочий ход поршня	7715 мм
Диаметр штока	160 мм

Окончание таблицы 4

Диаметр поршня	400 мм
----------------	--------

Выбран гофрированный рукав из полиуретана производства «ЭлМедиа групп» г. Москва со следующими параметрами: $L = 12000 \text{ мм}$, $D = 450 \text{ мм}$, $d = 180 \text{ мм}$.

4 Технико-экономический расчет

Произведем экономический расчет предлагаемой альтернативной системы обогрева сегментного затвора Майнской ГЭС и сравним его со стоимостью системы обогрева, предложенной СПКТБ «Ленгидросталь».

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

Для наглядности расчет сведен в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчет стоимости предлагаемой системы защиты сегментного затвора

Оборудование	Кол-во ед., шт./м	Стоимость за ед., руб.	Всего цена, руб.
<u>TЭН 200 A 10 / 2,5 T 220</u> <u>B 80 II H – 1</u> УХЛ4	49	762	37338,0
Кронштейн	98	151,7	14866,6
Выключатель-разъединитель QS1	1	12395	12395,2
Автоматический выключатель QF1-QF42	42	2655,3	111521,3
Автоматический выключатель QF43-DF49	7	2798,4	19588,6
Контактор KM1-KM14	14	631,76	8844,6
Контактор KM14-KM21	7	523,4	3663,8
Измеритель-регулятор	1	3953	3953,0
Терморегуляторы сопротивления	70	2596	181720,0
Кабель марки ВВГнг(А)-ХЛ сечением 4x95 мм ²	20	1810,5	36209,2

Окончание таблицы 5

Оборудование	Кол-во ед., шт./м	Стоимость за ед., руб.	Всего цена, руб.
Кабель марки КРШС – В сечением 2х2,5 мм ²	80	34,57	2765,6
Кабель марки МКЭШ сечением 3х0,75 мм ²	6	31,5	189,0
Кабель марки ВВГнг-ХЛ1 сечением 1х6 мм ²	20	39	780,0

Общая стоимость предложенной системы обогрева 440874,2 руб.

Общая стоимость системы обогрева, предложенной СПКТБ «Ленгидросталь» представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет стоимости системы обогрева, предложенной СПКТБ «Ленгидросталь»

Оборудование	Кол-во ед., шт./м	Стоимость за ед., руб.	Всего цена, руб.
Нагревательный элемент 0,6 кВт, габ. 18 x500 x550 (нерж.сталь) БОЛИД	210	3967,00	833070,00
Выключатель- разъединитель Interpact INV 160, 4P; №31165	1	17410,00	17410,00
Автоматический выключатель C120N, 2 P, 230-400 В, Iном=100 А; №18362	6	10618,00	63708,00
Автоматический выключатель iC60N, 2 P, 220-240 В, Iном=20 А; №A9F79220	1	2051,15	2051,15

Окончание таблицы 6

Оборудование	Кол-во ед., шт./м	Стоимость за ед., руб.	Всего цена, руб.
Автоматический выключатель iC60N, 2 P, 220-240 В, Iном=6 А; №A9F79206	4	1811,10	7244,40
Автоматический выключатель iC60N, 2 P, 220-240 В, Iном=16 А; №A9F79216	1	924,00	924,00
Автоматический выключатель iC60N, 3 P, 380-415 В, Iном=1 А; №A9F74301	1	3762,13	3762,13
Контактор iCT, 2 P, 220- 240 В, Iном=100 А; №A9C20882	6	14474,00	86844,00
Универсальный измеритель-регулятор восьмиканальный TPM 138- Р.Щ4, IP54	2	12803,00	25606,00
Термопреобразователь ДТС034- Pt100. С3.26/0.2	6	885,00	5310,00
Провод марки ПВ3-ХЛ2, 1x1,5 мм 2	25	11,51	287,75
Провод марки ПВ3-ХЛ2, 1x2,5 мм 2	25	14,33	358,25
Провод марки ПВ3-ХЛ2, 1x16 мм2	50	83,00	4150,00
Кабель НРШМ 3 x1,5мм2	2350	56,14	131929,00
Кабель КНРЭк 3 x1,5 мм 2	370	97,67	36137,90
Кабель КГВВГнг 2 x2,5мм2	165	55,80	9207,00
Кабель КГВВГнг 3 x25мм2	330	435,75	143797,50

Общая стоимость системы обогрева, предложенной СПКТБ «Ленгидросталь» составляет 1 371 797 руб.

Общая стоимость предложенной системы обогрева более, чем в 3 раза ниже, чем стоимость системы обогрева, предложенной СПКТБ «Ленгидросталь», что является существенной экономией средств.

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

Затраты на ремонт считаются по формуле (12):

$$Z_p = 10 \cdot n \cdot \varUpsilon \quad (12)$$

где n - количество обогревателей;

$\varUpsilon = 887$ руб. – базовая цена на ремонт нагревателя.

$$Z_{p\text{ТЭН}} = 10 \cdot 49 \cdot 887 = 434\,630 \text{ руб.}$$

$$Z_{p\text{КРМ}} = 10 \cdot 210 \cdot 887 = 1\,862\,700 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию, потребляемую нагревателями считаются по формуле (13):

$$Z_{ee} = 10 \cdot t \cdot \tau \cdot P \cdot T \cdot k \quad (13)$$

где t - количество дней отопительного сезона;

$\tau = 24$ 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.

$$Z_{\text{общ}}^{\text{TЭН}} = 10 \cdot 140 \cdot 24 \cdot 122,5 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 2016840 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{общ}}^{\text{КРМ}} = 10 \cdot 140 \cdot 24 \cdot 126 \cdot 0,7 \cdot 0,3 = 889056 \text{ руб.}$$

В таблице 7 приведены основные технико-экономические показатели двух систем обогрева.

Таблица 7 – Технико-экономические показатели двух систем обогрева

	ТЭН	КРМ
Капитальные затраты на оборудование, руб.	440 874	1 371 797
Затраты на ремонт, руб.	434 630	1 862 700
Затраты на электроэнергию, руб.	2 008 608	889 056
Итого, руб.	2 892 344	4 123 553

Проанализировав таблицу 7, можно сделать вывод, что кроме затрат на электроэнергию, в течение 10 лет система обогрева на основе ТЭН является экономически более выгодной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обледенение – одна из актуальнейших проблем гидромеханического оборудования водосливных плотин гидротехнических сооружений России.

Настоящая работа является узкоспециализированной и посвящена методам борьбы с обледенением сегментных затворов.

Цель работы состояла в том, чтобы предложить вариант системы защиты от обледенения сегментного затвора на примере Майнской ГЭС.

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

Рассмотрена конструкция сегментного затвора и проанализированы методы, применяемые на эксплуатируемых станциях для защиты затворов от обледенения с указанием эффективности этих методов в конкретных условиях.

На основании перечисленных проблем показана актуальность и обоснованность альтернативного варианта системы защиты затвора от обледенения.

Разработана система защиты от обледенения сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС, описан принцип работы.

Был проведен тепловой расчет, на основании которого выбрано оборудование необходимой мощности. Разработана схема размещения обогревателей. Перечислены меры безопасности при ремонте и эксплуатации электронагревателей.

Рассмотрены конструкция и принцип работы гидроцилиндра. Показаны проблемы эксплуатации в период отрицательных температур наружного воздуха. Предложен вариант системы защиты от обледенения гидроцилиндра сегментного затвора.

Выполнен технико-экономический расчет предложенной системы защиты от обледенения сегментного затвора и приведено сравнение с одобренной системой обогрева, разработанной СПКТБ «Ленгидросталь».

Расчет показал, что капитальные затраты на оборудование альтернативной системы обогрева более, чем в 3 раза ниже, чем затраты на систему обогрева, предложенную СПКТБ «Ленгидросталь», что является существенной экономией средств.

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

Сравнительный анализ затрат (в том числе капитальных затрат на оборудование) показал, что альтернативная система защиты сегментного затвора водосливной плотины Майнской ГЭС является экономически более выгодной, чем система защиты, разработанная СПКТБ «Ленгидросталь».

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ВСП – водосливная плотина
ГЭС – гидравлическая электрическая станция
КРМ - композитный резистивный материал
ПКМ – программы комплексной модернизации
СЗО – средства защиты от обледенения
СПКТБ – специальное проектное и конструкторско-технологическое
бюро
СТО – стандарт организации
ТЭН – трубчатый нагревательный элемент
ЭИПОС – электроимпульсная противообледенительная система
ЭКОМ – электропроводный композитный материал

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) Система «ЭИПОС Снегосброс» [Электронный ресурс] / RoofStyle [http://roofstyle.blogspot.com] – Москва, 2018. – Режим доступа: http://roofstyle.blogspot.com/2011/11/blog-post_21.html.
- 4) Арсланов В. В. Толковый англо-русский словарь по нанотехнологии / В. В. Арсланов. – Москва, 2009. – 261 с.
- 5) Полонский, Г. А. Механическое оборудование гидротехнических сооружений: учебник / Г. А. Полонский. – Москва : Энергия, 1974. – 340 с.
- 6) Волков И. М. Гидротехнические сооружения / И. М. Волков, П. Ф. Кононенко, И. К. Федичкин. – Москва : Колос, 1968. – 464 с.
- 7) Щавелев Д.С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций: справочное пособие : в 2 т. / Под ред. Ю.С. Васильева, Д. С. Щавелева – Т. 2. Вспомогательное оборудование гидроэлектростанций / М. И. Гальперин, И. Н. Лукин [и др.] – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 336 с.
- 8) Колымская ГЭС [Электронный ресурс] / Википедия [https://ru.wikipedia.org/wiki/Заглавная_страница] – Москва, 2018. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Колымская_ГЭС.
- 9) Угличская ГЭС [Электронный ресурс] / Википедия [https://ru.wikipedia.org/wiki/Заглавная_страница] – Москва, 2018. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Угличская_ГЭС.

- 10) Пехович, Л. И. – Обогрев затворов гидротехнических сооружений / Л. И. Пехович, С. М. Алейников // Труды координационных совещаний по гидротехнике: сб. науч. тр. / ГПКЭиЭ СССР. – Москва, 1965. – С. 194-204.
- 11) Нижне-Бурейская ГЭС [Электронный ресурс] / Википедия [https://ru.wikipedia.org/wiki/Заглавная_страница] – Москва, 2018. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Нижне-Бурейская_ГЭС.
- 12) Майнская ГЭС [Электронный ресурс] / Википедия [https://ru.wikipedia.org/wiki/Заглавная_страница] – Москва, 2018. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Майнская_ГЭС.
- 13) Брызгалов, В. И. Гидроэлектростанции : Учеб. пособие / В. И. Брызгалов, Л. А. Гордон. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2002. – 541 с.
- 14) Баранов, А. С. Системы обогрева затворов гидротехнических сооружений : магистерская диссертация : 13.04.02 / Баранов Алексей Сергеевич. — Саяногорск, 2017. – 94 с.
- 15) ГОСТ 13268-88 Электронагреватели трубчатые. – Введ. 01.01.1990. – Москва : Издательство стандартов, 1990. – 15 с.
- 16) Правила устройства электроустановок : изд. 7. – Москва : ДЕАН, 2015. – 706 с.
- 17) Устройство гидроцилиндра - работа и принцип действия [Электронный ресурс] : техн. информация / ООО «Гидротех Профи» [<http://gidrotehprofi.ru>] – Пермь, 2018. – Режим доступа: <http://gidrotehprofi.ru/info.html>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расположение ТЭНов на утеплительной обшивке сегментного затвора

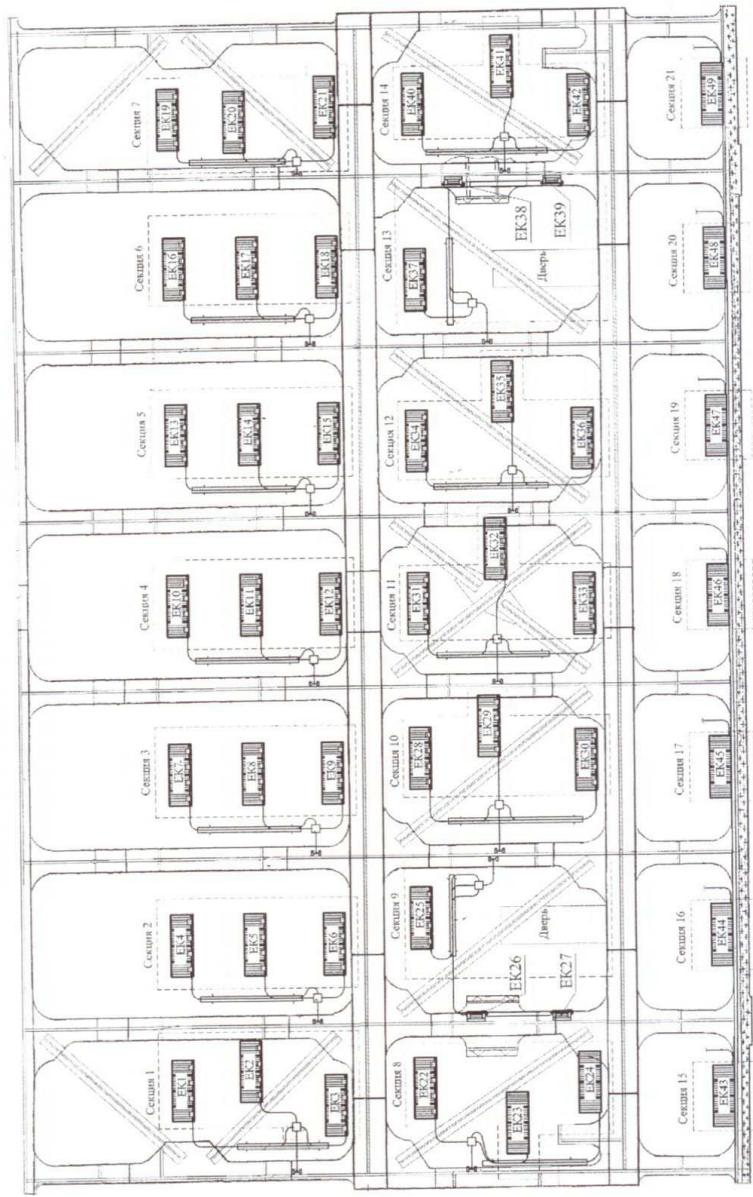


Рисунок А.1 - Расположение ТЭНов на утеплительной обшивке сегментного затвора

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Электрическая схема обогрева сегментного затвора

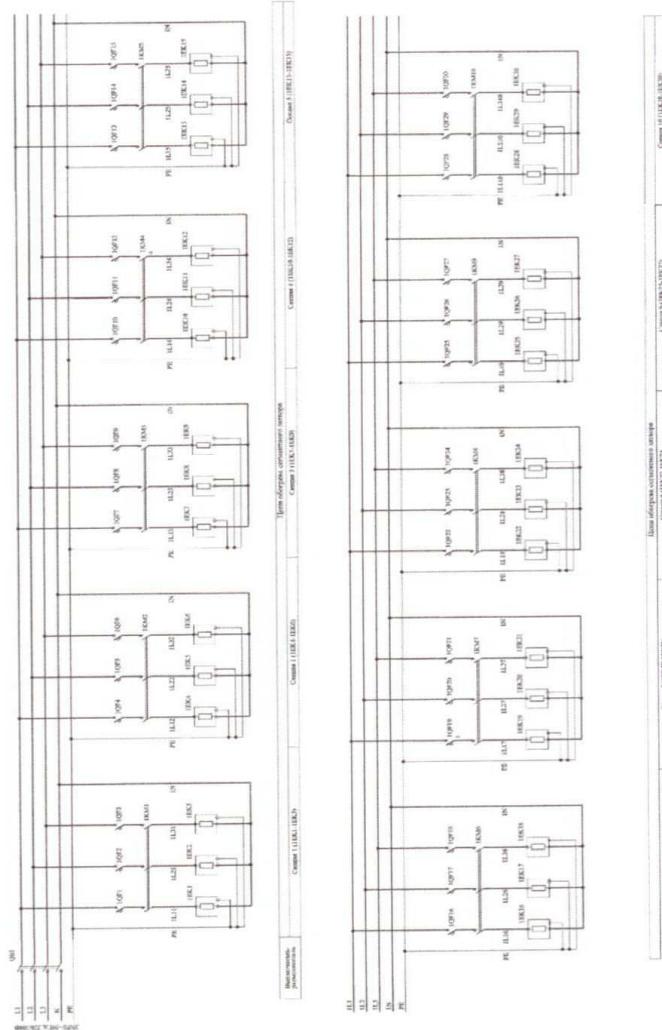
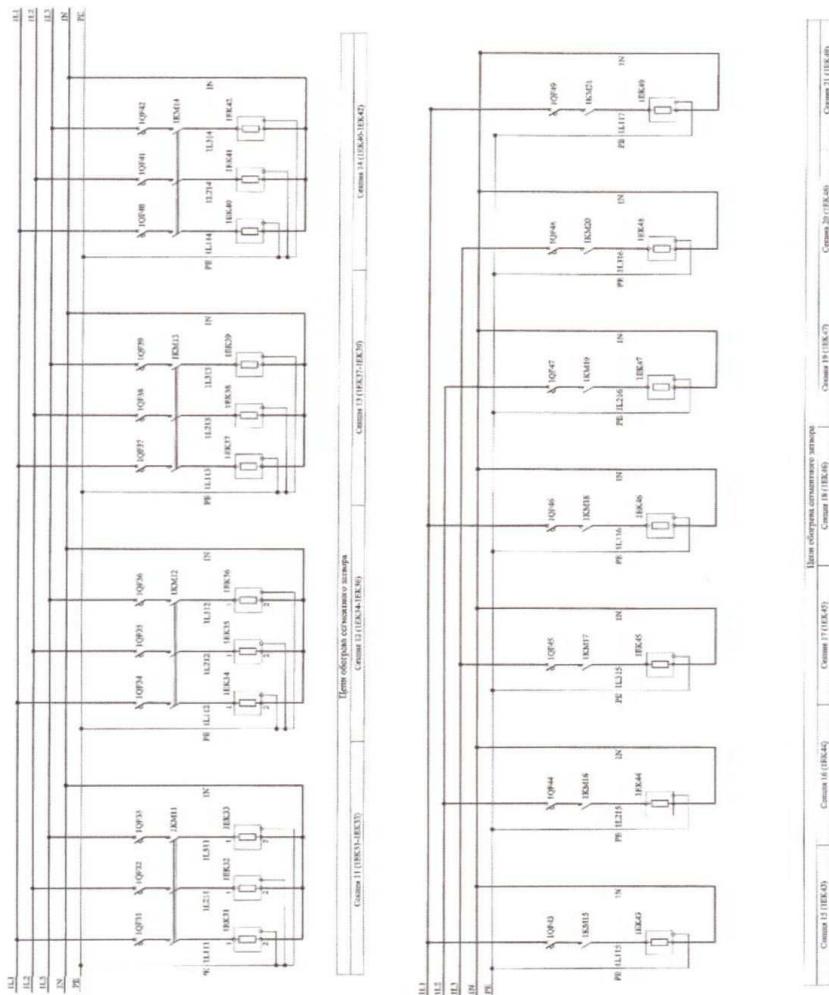


Рисунок Б.1 - Электрическая схема обогрева сегментного затвора



Продолжение рисунка Б.1

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Обогрев закладных частей сегментного затвора

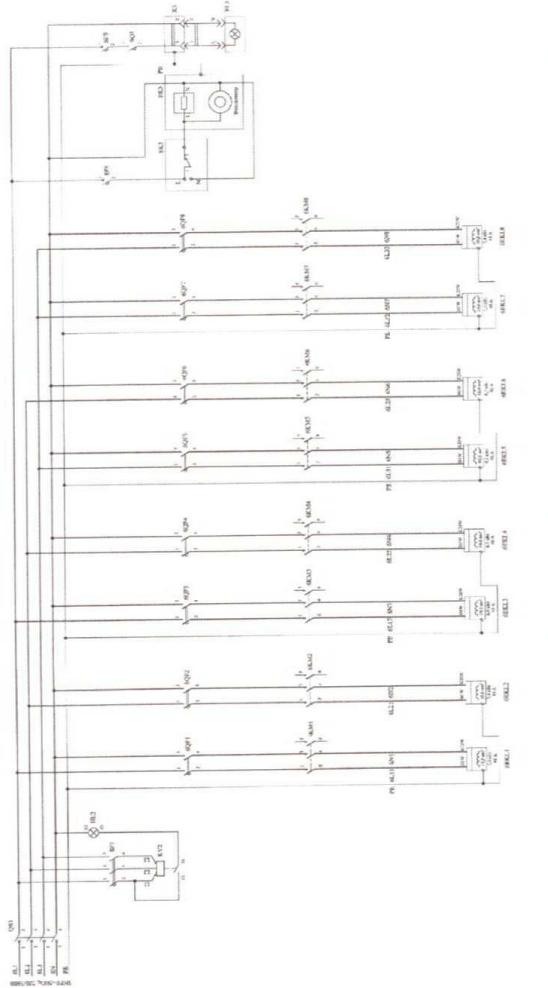


Рисунок В.1 - Обогрев закладных частей сегментного затвора

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Радченко М.И., Масленникова А.В. Перспективы использования гидроэнергетических установок с ортогональными турбинами на малых водотоках / М.И. Радченко, А.В. Масленникова // Гидроэлектростанции в XXI веке: сборник материалов IV Всероссийской науч.-практич. конф. / под. ред. В.В. Татарникова. – Саяногорск; Черемушки: Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал, 2017. – С. 274-278.
2. Радченко М.И. Защита гидроцилиндра сегментного затвора Майнской ГЭС / М.И. Радченко // Гидроэлектростанции в XXI веке : сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции – Саяногорск; Черемушки: Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал, 2018. – С. 77-82.
3. Радченко М.И. Защита гидроцилиндра сегментного затвора Майнской ГЭС / М.И. Радченко // Молодая мысль – развитию энергетики: сборник материалов III (XVIII) Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов – Братск: Братский государственный университет, 2018. – С. 149-154.

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

ОТЗЫВ

научного руководителя, ведущего инженера группы турбинного и гидромеханического оборудования производственно-технической службы Филиала ПАО «РусГидро» - «Саяно-Шушенская ГЭС» Архипенко Валерия Сергеевича

о магистерской диссертации «Анализ методов борьбы с наледью на сегментных затворах гидротехнических сооружений».

Магистерская диссертация М.И. Радченко выполнена в полном объеме в соответствии с выданным заданием.

В диссертационном исследовании определены актуальность, объект, предмет, цель исследования, задачи, порядок исследования, составлены выводы.

Практический интерес к диссертации прослеживается в следующих моментах:

- в работе предложена система защиты сегментного затвора и гидроцилиндра от обледенения.
- результаты исследования могут быть использованы с практической пользой для Майнской ГЭС.

Работа выполнена студентом самостоятельно. Все сделанные научным руководителем замечания учтены, и своевременно внесены необходимые исправления.

Следует отметить аккуратность и последовательность изложения пояснительной записки.

За два года обучения в магистратуре Радченко М.И. было опубликовано 3 научные статьи, две из которых соответствуют теме работы.

Магистерская диссертация «Анализ методов борьбы с наледью на сегментных затворах гидротехнических сооружений» заслуживает отличной оценки, а М.И. Радченко присвоения степени «магистр».

Дата 8.06.18г.

 / В.С. Архипенко

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

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию Радченко Маргариты Игоревны на тему:
«Анализ методов борьбы с наледью на сегментных затворах
гидротехнических сооружений».

Рецензент Е.В. Кондратцев, главный инженер Саяно-Шушенского
филиала АО «Гидроремонт-ВКК».

Магистерская диссертация представлена на 70 страницах пояснительной
записки.

Диссертационное исследование Радченко Маргариты Игоревны
выполнено на актуальную тему, поскольку связано с повышением надежности
работы гидроэлектростанции.

Каждая глава представляет собой самостоятельную, логически
завершенную часть магистерской диссертации.

Автор применил для достижения поставленных целей методологию
научного исследования, а также методологию поиска и анализа решений.

В теоретической части рассмотрены существующие методы борьбы с
обледенением, что указывает на то, что магистрантом был проведен сбор и
обработка материала по данной теме.

Для экономического обоснования выбранного оборудования был
проведен технико-экономический расчет.

Научная работа Радченко М.И. выполнена аккуратно, написана
технически грамотным, научным языком, изложение диссертации
исчерпывающее, четкое и последовательное.

Материал диссертации логически структурирован, четко выделены все
формально необходимые составные части. Результаты и выводы исследования
соответствуют поставленным целям и задачам.

Магистерская диссертация может иметь практическое применение в
случае заинтересованности руководством ПАО «РусГидро».

Структура диссертации полностью отвечает требованиям,
предъявляемым к выпускной квалификационной работе магистра, и
заслуживает оценки «отлично».

Дата 13.06.18г.

 / E.V. Кондратцев

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

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующего кафедрой

 И.Ю. Погоновиченко
16.06.2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

**Анализ методов борьбы с наледью на сегментных затворах
гидroteхнических сооружений**

Научный руководитель

главный инженер
ПАО «РусГидро»
- «Саяно-Шушенская

ГЭС»
должность

В.С. Архипенко
иинициалы, фамилия

М.И. Радченко
иинициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата
16.06.2018
подпись, дата

главный инженер АО
«Гидроремонт-ВКК»
должность

Е.Н. Кондратцев
иинициалы, фамилия

А.А. Чабанова
иинициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата
16.06.2018
подпись, дата

Нормоконтролер

Саяногорск; Черемушки 2018