

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка схем плавки гололеда на ВЛ-110кВ отходящих от Жигулёвской ГЭС

Студент

Р.И. Дубинин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.А. Романов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Аннотация

Выпускная квалификационная работа (ВКР) бакалавра выполнена на тему «Разработка схем плавки гололеда на ВЛ-110 кВ отходящих от Жигулёвской ГЭС».

Целью работы является определение эффективного решения плавки гололёда на ВЛ-110 кВ отходящих от Жигулёвской ГЭС. В работе проведены:

- анализ фактических данных по наблюдению за гололёдно-изморозевыми отложениями (ГИО);
- выбор вариантов схем плавки гололёда на проводах ВЛ 110 кВ;
- проведения расчётов для определения параметров плавки при использовании выбранной схемы;
- предварительный выбор оборудования для реализации схемы на объекте.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 78 страниц, 53 таблицы, 10 рисунков, 25 использованных источников, включая 8 иностранных источников и 6 листов графической части формата А1.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ данных по наблюдению за гололёдно-изморозевыми отложениями	5
2 Выбор вариантов схем плавки гололёда на проводах ВЛ 110 кВ.....	16
2.1 Описание существующих схем и оборудования плавки гололёда .....	16
2.2 Исходные данные объектов .....	19
2.3 Варианты размещения оборудования для плавки гололёда постоянным током.....	21
2.4 Схема плавки гололёда.....	23
3 Расчёты параметров плавки гололёда постоянным током .....	26
3.1 Результаты расчёта плавки гололёда на участке Переволоки тяговая – Печерский Берег тяговая.....	26
3.2 Результаты расчёта плавки гололёда участке Печерский берег тяговая, Услава тяговая – Печерский Берег тяговая.....	30
3.3 Результаты расчёта плавки гололёда на участке ПС 110 кВ Жигулевская, ЖГЭС, Александровка-2, ПС 110 кВ Александровка .....	34
3.4 Результаты расчёта плавки гололёда на участке ПС 110 кВ Жигулевская, Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая, ПС 110 кВ Переволоки тяговая.....	41
3.5 Результаты расчёта плавки гололёда на участке ПС 110 кВ Жигулевская, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая, ПС 110 кВ Услава тяговая .....	46
3.6 Результаты расчёта плавки гололёда на участке ПС 110 кВ Жигулевская, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Зольное, ПС 110 кВ Зольное .....	59
4 Предварительный выбор оборудования, общие выводы.....	64
Заключение .....	73
Список используемой литературы и источников .....	75

## Введение

Опасным явлением для воздушных линий является образование гололёда на поверхностях проводников. Гололёдообразование связано с частым перепадом температур в совокупности с высокой влажностью воздуха. Образование гололёда приводит к разрушению гирлянд изоляторов и опор, обрыву проводников.

На сегодняшний день существует несколько способов борьбы с гололёдом [14].

Механический способ – подразумевает за собой применение персоналом, обслуживающим воздушные линии, использование специальных приспособлений, которыми сбивают образовавшийся лёд. Данный метод является весьма затратным по времени и требует большого количества персонала. Самым популярным методом борьбы является плавка гололёда с помощью переменного или постоянного тока большой величины. Метод позволяет устранять образование гололёда путём искусственного повышения тока в сети. Современные схемы и системы позволяют отслеживать состояние линии и производить подогрев линии до нужной температуры, без вмешательства персонала [2],[6],[8],[10]-[12],[15]-[25].

Темой моей выпускной квалификационной работы является разработка схемы плавки гололёда на ВЛ 110 кВ отходящих от Жигулевской ГЭС. В рамках работы будут проводиться расчёты и выбор схем для плавки гололёда определённых линий 110 кВ [4].

Объектом являются воздушные линии 110 кВ, отходящие от Жигулёвской ГЭС. Данные фактических наблюдений за гололёдно-изморозевыми отложениями (ГИО) получены от ПАО «МРСК Волги».

## 1 Анализ данных по наблюдению за гололёдно-изморозевыми отложениями

В полученных данных от ПАО «МРСК Волги» имеется описание наблюдений следующих ВЛ 110 кВ, отходящих от Жигулевской ГЭС:

Жигулевская –1; Жигулевская – 2; Печерская–1; Жигулевск–Зольное; Цементная–1; Цементная–2; Александровка–2.

По наблюдению за гололедно-изморозевыми отложениями (ГИО) в период 2005-2015 г.г. на данных ВЛ ежегодно наблюдается изморозевые отложения на проводах и грозотросах от 0,5 мм до 3 мм не требующие плавки, но представляющие постоянный риск увеличения толщины стенки и переход в гололедное образование. Ранее на ВЛ 110 кВ схема плавки гололёда не существовала.

Рассмотрим данные каждой ВЛ по отдельности (таблицы 1-15).

Таблица 1 - Исходные данные по ВЛ 110 кВ Жигулевская -1 уч. ЖГЭС-ПС Переволоки

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Вид ЛЭП	ВЛ
Провод	АС-150/24-№№1-17, 24-226,1в-9в; АС-185/29-№№17-24, 1а-14а.
Пропускная способность	АС-185/29 – 510А; АС-150/24 – 450 А.
Количество цепей	1 (участок оп. №№24-202,220-226) 2 (участок оп. №№1-24,202-220, 1-а-14а, 1в-9в)
Номинальное напряжение	110 кВ
Длина трассы	35,09 км
Наличие переходов через естественные и искусственные преграды	ВЛ 220 кВ –1 шт.; ВЛ 110 кВ – 2 шт; ВЛ 10 кВ – 9 шт; Автодорога – 11 шт; ж/д – 7 шт; Река – 0 шт.
Район по гололеду	V
Региональный коэффициент по гололеду	V
Район по ветру	III

Продолжение таблицы 1

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Региональный коэффициент по ветру	III (скорость ветра 32 м/с)
Район по количеству грозových часов в году	40 – 60 часов
Район по степени загрязненности атмосферы	II-III

Таблица 2 - Исходные данные по ВЛ 110 кВ Жигулевская -1 уч. ПС Печерский Берег - ПС Переволоки

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Вид ЛЭП	ВЛ
Провод	АС-150/24-№№227-290,1в-9в;
Пропускная способность	450 А
Количество цепей	1 (участок оп. №№227-288) 2 (участок оп. №№288-290,1в-9в)
Номинальное напряжение	110 кВ
Длина трассы	15 км
Наличие переходов через естественные и искусственные преграды	ВЛ 220 кВ – 0 шт.; ВЛ 110 кВ – 0 шт.; ВЛ 10 кВ – 1 шт; Автомобильная дорога – 1 шт; ж/д – 1 шт; Река – 0 шт.
Район по гололеду	V
Региональный коэффициент по гололеду	V
Район по ветру	III
Региональный коэффициент по ветру	III (скорость ветра 32 м/с)
Район по количеству грозových часов в году	40 – 60 часов
Район по степени загрязненности атмосферы	II-III

Таблица 3 - Данные наблюдений Жигулевская -1

Год	Количество плавок ГИО, дата	Механический способ очистки ВЛ 110 кВ от ГИО	Диаметр и состав ГИО	Дата отключения ВЛ	Причина отключения ВЛ или оборудования ПС
2005	-	-	-	09.12.2005 АПВ успешно	Схлест проводов при падении гололеда

Продолжение таблицы 3

Год	Количество плавок ГИО, дата	Механический способ очистки ВЛ 110 кВ от ГИО	Диаметр и состав ГИО	Дата отключения ВЛ	Причина отключения ВЛ или оборудования ПС
-	-	-	-	09.12.2005 АПВ успешно	Схлест проводов при пляске из-за гололеда
-	-	-	-	09.12.2005	В пролетах 5а-8а оборвался грозотрос, лежит на нижней фазе С из-за гололеда (5 см)
2010	10.12.2010	-	Лёд 4 см	-	-
-	13.01.2010	-	Одностороннее отложение плотного инея 5 см	-	-
2013	28.12.2013	-	30 мм иней	-	-
-	29.12.2013	-	30 мм иней	-	29.12.2013 отключалась ВЛ-110 кВ Жигулевская 1,2 от ДЗ 1 зоны с Жиг. ГЭС АПВ успешно
-	31.12.2013	-	Круговой иней 70 мм	-	-
2014	15.12.2014	-	12 мм лед	-	-
-	18.12.2014	-	Иней 7 см	-	-

Результаты анализа: необходимы мероприятия по плавке гололёда на проводах ВЛ.

Таблица 4 - Исходные данные по ВЛ 110 кВ Жигулевская -2 уч. ЖГЭС-ПС Услада

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Вид ЛЭП	ВЛ
Провод	АС-150/24-№№1-17, 24-157,16; АС-185/29-№№17-24, 1а-15а.

Продолжение таблицы 4

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Пропускная способность	АС-185/29 – 510А; АС-150/24 – 450 А.
Количество цепей	1 (участок оп. №№24-157) 2 (участок оп. №№1-24, 1-а-14а, 1б)
Номинальное напряжение	110 кВ
Длина трассы	27,79 км
Наличие переходов через естественные и искусственные преграды	ВЛ 220 кВ – 1 шт.; ВЛ 110 кВ – 2 шт; ВЛ 10 кВ – 9 шт; Автомобильная дорога – 11 шт; ж/д – 7 шт; Река – 0 шт.
Район по гололеду	V
Региональный коэффициент по гололеду	V
Район по ветру	III
Региональный коэффициент по ветру	III (скорость ветра 32 м/с)
Район по количеству грозных часов в году	40 – 60 часов
Район по степени загрязненности атмосферы	II-III

Таблица 5 - Исходные данные по ВЛ 110 кВ Жигулевская -1 уч. ПС Печерский Берег - ПС Услава

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Вид ЛЭП	ВЛ
Провод	АС-150/24-№№157-262,16;
Пропускная способность	450 А
Количество цепей	1 (участок оп. №№157-192,203-260) 2 (участок оп. №№192-203,260-262,16)
Номинальное напряжение	110 кВ
Длина трассы	18,8 км
Наличие переходов через естественные и искусственные преграды	ВЛ 220 кВ – 2 шт.; ВЛ 110 кВ – 0 шт; ВЛ 10 кВ – 6 шт; Автомобильная дорога – 1 шт; ж/д – 2 шт; Река – 0 шт.
Район по гололеду	III
Региональный коэффициент по гололеду	III
Район по ветру	III
Региональный коэффициент по ветру	III (скорость ветра 32 м/с)
Район по количеству грозных часов в году	40 – 60 часов
Район по степени загрязненности атмосферы	II-III



Таблица 6 - Данные наблюдений Жигулевская -2

Год	Количество плавков ГИО, Дата	Механический способ очистки ВЛ 110 кВ от ГИО	Диаметр и состав ГИО	Дата отключения ВЛ	Причина отключения ВЛ или оборудования ПС
2005	-	-	-	09.12.2005	Схлест проводов при падении гололеда
-	-	-	-	10.12.2005	Обрыв провода фазы С и грозотроса в пролете опор №190-191 из-за гололёда (5 см)
-	-	-	-	16.12.2005 АПВ успешно	Схлест проводов при сбросе гололёда (5см).
-	-	-	-	16.12.2005	Сближение проводов в пролете опор 112-113 на расстояние менее допустимого из-за гололеда (5 см)
-	-	-	-	19.12.2005 АПВ успешно	Схлест проводов при сбросе гололеда (5 см)
-	-	-	-	19.12.2005	Сближение проводов в пролете опор 90-91 на расстояние менее допустимого из-за гололеда (5 см)
2010	10.12.2010	-	Лёд 4 см	-	-
	13.01.2010	-	Одностороннее отложение плотного инея 5 см	-	-

Продолжение таблицы 6

Год	Количество плавков ГИО, Дата	Механический способ очистки ВЛ 110 кВ от ГИО	Диаметр и состав ГИО	Дата отключения ВЛ	Причина отключения ВЛ или оборудования ПС
2013	28.12.2013	-	30 мм иней	-	28.12.2013 отключалась ВЛ-110кВ Жигулевская-2, с ПС Печерский берег не отключалась. ДЗ 1 зона АПВ успешно.
-	29.12.2013	-	30 мм иней	-	29.12.2013 отключалась ВЛ-110 кВ Жигулевская - 1,2 от ДЗ 1 зоны с Жиг. ГЭС АПВ успешно
-	31.12.2013	-	Круговый иней 70 мм	-	ДЗ 1 зона АПВ успешно
2014	15.12.2014	-	12 мм лед	-	-
-	18.12.2014	-	Иней 7 см	-	-
2017	15.01.2017	-	-	-	В пролете опор №59-60 перекрытие провода верхней фазы «В» и грозотроса из-за схлеста при сбросе инея. АПВ успешно

Результаты анализа: необходимы мероприятия по плавке гололёда на проводах ВЛ.

Таблица 7 - Исходные данные по ВЛ 110 кВ Печерский берег тяговая – Правая Волга тяговая

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Вид ЛЭП	ВЛ

Продолжение таблицы 7

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Провод	АС-150/24
Пропускная способность	АС-150/24 – 450 А.
Количество цепей	1 (участок оп. №№4-114) 2 (участок оп. №№1-4, 114-122)
Номинальное напряжение	110 кВ
Длина трассы	19,7 км
Наличие переходов через естественные и искусственные преграды	ВЛ 220 кВ – 1 шт.; ВЛ 110 кВ – 0 шт; ВЛ 10 кВ – 7 шт; Автодорога – 2 шт; ж/д – 3 шт; Река – 3 шт.
Район по гололеду	IV
Региональный коэффициент по гололеду	IV (толщина стенки гололеда 25 мм)
Район по ветру	III
Региональный коэффициент по ветру	III (скорость ветра 32 м/с)
Район по количеству грозových часов в году	40 – 60 часов
Район по степени загрязненности атмосферы	II-III

Таблица 8 - Данные наблюдений Печерская -1

Год	Количество плавков ГИО, Дата	Механический способ очистки ВЛ 110 кВ от ГИО	Диаметр и состав ГИО	Дата отключения ВЛ	Причина отключения ВЛ или оборудования ПС
2005	-	-	-	09.12.2005	Схлест проводов при пляски из-за гололеда (5 см)
-	-	-	-	09.12.2005	Сломана Ж/Б опора №51 из-за пляски провода из-за гололеда (5 см)
2010	10.12.2010	-	Лёд 4 см	-	-
2013	28.12.2013	-	30 мм иней	-	-
-	29.12.2013	-	30 мм иней	-	-
-	31.12.2013	-	Круговой иней 70 мм	-	-
2014	18.12.2014	-	Иней 7 см	-	-
2016	4.01.2016	-	Односторонний иней 20-25 мм	-	-

Результаты анализа: необходимы мероприятия по плавке гололеда на проводах ВЛ.

Таблица 9 - Исходные данные по ВЛ 110 кВ Жигулевск-Зольное

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Вид ЛЭП	ВЛ
Провод	АС-150/24 - №№1-58; АС-120/19 - №№58-243, 1а-3а.
Пропускная способность	АС-150/24 – 450 А; АС 120/19 – 375 А.
Количество цепей	1 (участок оп. №№43-58,99-187,1а-3а), 2 (участок оп. №№1-43,58-99,187-243)
Номинальное напряжение	110 кВ
Длина трассы	38,73 км
Наличие переходов через естественные и искусственные преграды	ВЛ 220 кВ – 0 шт.; ВЛ 110 кВ – 1 шт; ВЛ 10 кВ – 9 шт; Автомобильная дорога – 4 шт; ж/д – 0 шт; Река – 0 шт.
Район по гололеду	VII
Региональный коэффициент по гололеду	VII (толщина стенки гололеда 35 мм)
Район по ветру	V
Региональный коэффициент по ветру	V (скорость ветра 40 м/с)
Район по количеству грозных часов в году	40 – 60 часов
Район по степени загрязненности атмосферы	II-III

Таблица 10 - Данные наблюдений Жигулевск – Зольное

Год	Количество плавки ГИО, Дата	Механический способ очистки ВЛ 110 кВ от ГИО	Диаметр и состав ГИО	Дата отключения ВЛ	Причина отключения ВЛ или оборудования ПС
2010	13.01.2010	-	Иней с гололедом 4 см	-	-
-	10.12.2010	-	Лёд 5 см	-	-
2011	7.02.2011	-	Иней 2 см	-	-
2014	19.12.2014	-	3 см лед	-	-
2016	3.02.2016	-	Лед 5 см	-	-

Результаты анализа: необходимы мероприятия по плавке гололеда на проводах ВЛ.

Таблица 11 - Исходные данные по ВЛ 110 кВ Цементная -1

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Вид ЛЭП	ВЛ
Провод	АС-185/29 - №№1-32; АС-120/19 - №№1а-3а.
Пропускная способность	АС-185/29 – 510 А; АС 120/19 – 375 А.
Количество цепей	2 (участок оп. №№1-32,1а-3а)
Номинальное напряжение	110 кВ
Длина трассы	4,86 км
Наличие переходов через естественные и искусственные преграды	ВЛ 220 кВ – 2 шт.; ВЛ 110 кВ – 0 шт; ВЛ 10 кВ – 4 шт; Автомобильная дорога – 8 шт; ж/д – 2 шт; Река – 0 шт.
Район по гололеду	VI
Региональный коэффициент по гололеду	VI (толщина стенки гололеда 30 мм)
Район по ветру	IV
Региональный коэффициент по ветру	IV (скорость ветра 36 м/с)
Район по количеству грозových часов в году	40 – 60 часов
Район по степени загрязненности атмосферы	II-III

Таблица 12 - Данные наблюдений Цементная -1

Год	Количество плавков ГИО, Дата	Механический способ очистки ВЛ 110 кВ от ГИО	Диаметр и состав ГИО	Дата отключения ВЛ	Причина отключения ВЛ или оборудования ПС
2005	-	-	-	22.12.2005	Сближение проводов в пролете опор 24-32 на расстояние менее допустимого из-за гололеда (5 см)

Продолжение таблицы 12

Год	Количество плавков ГИО, Дата	Механический способ очистки ВЛ 110 кВ от ГИО	Диаметр и состав ГИО	Дата отключения ВЛ	Причина отключения ВЛ или оборудования ПС
-	23.12.2005	-	Лед 4 см	-	При плавке гололеда оборвался грозотрос и коснулся провода в пролете опор 26-27.

Результаты анализа: необходимы мероприятия по плавке гололеда на проводах ВЛ.

Таблица 13 - Исходные данные по ВЛ 110 кВ Цементная -2

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Вид ЛЭП	ВЛ
Провод	АС-185/29 - №№1-32; АС-120/19 - №№1а-3а.
Пропускная способность	АС-185/29 – 510 А; АС 120/19 – 375 А.
Количество цепей	2 (участок оп. №№1-32,1а-3а)
Номинальное напряжение	110 кВ
Длина трассы	4,86 км
Наличие переходов через естественные и искусственные преграды	ВЛ 220 кВ – 2 шт.; ВЛ 110 кВ – 0 шт; ВЛ 10 кВ – 4 шт; Автомобильная дорога – 8 шт; ж/д – 2 шт; Река – 0 шт.
Район по гололеду	VI
Региональный коэффициент по гололеду	VI (толщина стенки гололеда 30 мм)
Район по ветру	IV
Региональный коэффициент по ветру	IV (скорость ветра 36 м/с)
Район по количеству грозových часов в году	40 – 60 часов
Район по степени загрязненности атмосферы	II-III

Данные наблюдений отсутствуют. Из-за отсутствия данных наблюдений анализ не проводится.

Таблица 14 - Исходные данные по ВЛ 110 кВ Александровка -2

Показатель	Значение/Существующие характеристики
Вид ЛЭП	ВЛ
Провод	АС-150/24
Пропускная способность	450 А.
Количество цепей	1 (участок оп. №№1-33,62-64) 2 (участок оп. №№33-62,64-88)
Номинальное напряжение	110 кВ
Длина трассы	11,52 км
Наличие переходов через естественные и искусственные преграды	ВЛ 220 кВ – 0 шт.; ВЛ 110 кВ – 2 шт.; ВЛ 10 кВ – 9 шт.; Автомобильная дорога – 10 шт; ж/д – 4 шт; Река – 0 шт.
Район по гололеду	IV
Региональный коэффициент по гололеду	IV (толщина стенки гололеда 25 мм)
Район по ветру	III
Региональный коэффициент по ветру	III (скорость ветра 32 м/с)
Район по количеству грозových часов в году	40 – 60 часов
Район по степени загрязненности атмосферы	II- III

Таблица 15 - Данные наблюдений Александровка -2

Год	Количество плавок ГИО, Дата	Механический способ очистки ВЛ 110 кВ от ГИО	Диаметр и состав ГИО	Дата отключения ВЛ	Причина отключения ВЛ или оборудования ПС
2005	3.12.2005	Механическая очистка ВЛ пр. опор 87-88	Лед 5 см	-	-
2014	21.12.2014	-	Лед 1 см	-	-

Результаты анализа: необходимы мероприятия по плавке гололёда на проводах ВЛ.

Вывод по разделу: определены участки воздушных линий и их параметры для проведения расчётов плавки гололёда.

## **2 Выбор вариантов схем плавки гололёда на проводах ВЛ 110 кВ**

В рамках данного раздела проанализированы существующие схемы плавки гололёда, определены их преимущества и недостатки. Также проведены расчёты при использовании схем плавки гололёда путём постоянного тока с использованием автоматизированных систем плавки.

### **2.1 Описание существующих схем и оборудования плавки гололёда**

Существующие схемы плавки гололёда на ВЛ 110 кВ Цементная-1, ВЛ 110 Цементная-2 подразумевают увеличение токов нагрузки с использованием генерирующего оборудования Жигулевской ГЭС по двум программам:

1. П-34 от 1Г и 2Г 1ТГ;
2. П-34а от ГГ-9,10,11 4ТГ.

Специальное оборудование, предназначенное исключительно для проведения плавки гололёда отсутствует.

Расчетное время сборки схем-1 ч.

Максимальное расчётное время плавки гололёда:

- ВЛ 110 кВ Цементная-1 – 59 мин.
- ВЛ 110 кВ Цементная-2 – 39 мин.

Плавка на ВЛ 110 кВ Александровка-2 за время наблюдения не производилась.

Существующая плавка гололёда на ВЛ 110 кВ Жигулевск-Зольное производится током трехфазного к.з. с использованием генерирующего оборудования Жигулевская ГЭС, от одного ГГ-9 (10,11) 4 ТГ по программе № П-58. Специальное оборудование, предназначенное исключительно для проведения плавки гололеда отсутствует.

Расчётное время сборки схем – 1 ч.



Максимальное расчётное время плавки гололёда ВЛ 110 кВ Жигулевск – Зольное 39 мин.

Существующие схемы плавки гололёда на ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС- Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ЖГЭС – ПС Переволоки), ВЛ 110 кВ Переволоки тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ПС Печерский Берег – ПС Переволоки), ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ЖГЭС-ПС Услава), ВЛ 110 кВ Услава тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ПС Печерский Берег – ПС Услава), ВЛ 110 кВ Печерский Берег тяговая – Правая Волга тяговая (ВЛ 110 кВ Печерская-1), ВЛ 110 кВ Печерский Берег тяговая – Разъезд-2 тяговая (ВЛ 110 кВ Печерская -2уч. ПС Печерский Берег – ПС Разъезд-2), ВЛ 110 кВ Сызрань – Разъезд-2 тяговая с отпайкой на ПС Дружба (ВЛ 110 кВ Печерская-2уч. ПС Сызрань – ПС Разъезд-2), ВЛ 110 кВ Сызрань – Правая Волга тяговая с отпайкой на ПС Дружба (ВЛ 110 кВ Правая Волга) подразумевают увеличение токов нагрузки с использованием генерирующего оборудования Жигулевской ГЭС по двум программам:

1. П-35 от 1Г и 2Г 1ТГ;
2. П-35а от ГГ-9,10(11)11 4ТГ.

Специальное оборудование, предназначенное исключительно для проведения плавки гололёда отсутствует.

Расчетное время сборки схем – 1 ч.

Максимальное расчётное время плавки гололёда:

- ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ЖГЭС-ПС Переволоки) и ВЛ 110 кВ Переволоки тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ПС Печерский Берег-ПС Переволоки) - 46 мин;

- ВЛ 110 кВ ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Усилада тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ЖГЭС-ПС Усилада) и ВЛ 110 кВ Усилада тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ПС Печерский Берег – ПС Усилада) – 39 мин;
- ВЛ 110 кВ Печерский Берег тяговая – Правая Волга тяговая (ВЛ 110 кВ Печерская-1) – 58 мин;
- ВЛ 110 кВ Печерский Берег тяговая – Разъезд-2 тяговая (ВЛ 110 кВ Печерская-2уч. ПС Печерский Берег – ПС Разъезд-2), ВЛ 110 кВ Сызрань – Разъезд-2 тяговая с отпайкой на ПС Дружба (ВЛ 110 кВ Печерская-2уч. ПС Сызрань – ПС Разъезд-2) – 42,5 мин;
- ВЛ 110 кВ Сызрань – Правая Волга тяговая с отпайкой на ПС Дружба (ВЛ 110 кВ Правая Волга) – 60 мин.

Существующая плавка гололёда на ВЛ 110 кВ Печерский Берег – Шигоны, ВЛ 110 кВ Сызрань – Шигоны производится увеличением токов нагрузки через шины ПС 110 кВ Шигоны с использованием генерирующего оборудования Жигулевской ГЭС 4ТГ по программе № П-62. Специальное оборудование, предназначенное исключительно для проведения плавки гололёда отсутствует.

Расчетное время сборки схем – 1 ч.

Максимальное расчётное время плавки гололёда:

- ВЛ 110 кВ Печерский Берег – Шигоны – 22,5 мин;
- ВЛ 110 кВ Сызрань – Шигоны -31 мин.

Решения по организации схем плавки гололёда на проводах ВЛ 110 кВ отходящих от Жигулёвской ГЭС, альтернативных по отношению к существующим схемам плавки гололёда, током нагрузки с использованием генерирующего оборудования ГЭС не повлияют на организацию плавки гололёда на проводах и тросах ВЛ 110 кВ отходящих от ПС 220 кВ Сызрань.

Преимуществами существующих схем плавки токами нагрузки перед схемами плавки токами КЗ являются:

- отсутствует необходимость отключения ВЛ 110 кВ – сохраняется категория надежности электроснабжения потребителей на период плавки гололёда;
- отсутствует необходимость использования специального оборудования, предназначенного исключительно для проведения плавки гололёда (ячеек плавки гололёда, выпрямительных установок, трансформаторов плавки гололёда и т.д.) – в цепи плавки задействуется оборудование, используемое для обеспечения питания потребителей;
- во время плавки токами нагрузки сохраняется симметричный режим питания потребителей;
- отсутствует необходимость увеличения трансформаторной мощности подстанций, используемых для проведения плавки гололёда. В случае проведения плавки гололёда током КЗ потребуется существенное увеличение трансформаторной мощности ПС для обеспечения питания в период плавки гололёда;
- более высокая точность учёта потребляемой электроэнергии в режимах минимальных нагрузок в связи с отсутствием необходимости увеличения номинала ТТ для соответствия току плавки.

К недостаткам существующих схем плавки гололёда относится большой объем переключений, а также проведение оперативных переключений на Жигулевской ГЭС и на ПС, находящихся на балансе ОАО «РЖД» и АО «Транснефть-Дружба».

## **2.2 Исходные данные объектов**

ВЛ 110 кВ Александровка-2:

- протяженность – 11,52 км;
- марка провода – АС-150/24;

- район по ветру – III;
- район по гололёду – IV (толщина стенки гололёда 25 мм).

ВЛ 110 кВ Цементная-1,2:

- протяженность – 4,66 км;
- марка провода – АС-185/29;
- район по ветру – IV;
- район по гололёду – V (толщина стенки гололёда 30 мм).

ВЛ 110 кВ Жигулёвск-Зольное:

- протяженность – 9,24 км;
- марка провода – АС-150/24;
- протяженность – 29,06 км;
- марка провода – АС-120/19;
- район по ветру – V;
- район по гололёду – VII (толщина стенки гололёда 40 мм).

ВЛ 110 кВ Жигулёвская ГЭС- Переволоки тяговая с отпайкой на ПС

Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулёвская-1 уч. ЖГЭС-ПС Переволоки):

- протяженность – 33,96 км;
- марка провода – АС-150/24;
- протяженность – 0,93 км;
- марка провода – АС-185/29;
- район по ветру – III;
- район по гололёду – V (толщина стенки гололёда 30 мм).

ВЛ 110 кВ Жигулёвская ГЭС- Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага  
тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулёвская-2 уч. ЖГЭС-ПС Услава):

- протяженность – 24,09 км;
- марка провода – АС-150/24;
- протяженность – 0,93 км;
- марка провода – АС-185/29;
- район по ветру – III;
- район по гололёду – V (толщина стенки гололёда 30 мм).

ВЛ 110 кВ Печерский Берег тяговая – Разъезд-2 тяговая (ВЛ 110 кВ Печерская- 2 уч. ПС Печерский Берег ПС Разъезд-2):

- протяженность – 18,0 км;
- марка провода – АС-150/24;
- район по ветру – Ш;
- район по гололёду – IV (толщина стенки гололёда 25 мм).

ВЛ 110 кВ Переволоки тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ПС Печерский Берег- ПС Переволоки):

- протяженность – 11,8 км;
- марка провода – АС-150/24;
- район по ветру – Ш;
- район по гололёду – V (толщина стенки гололёда 30 мм).

ВЛ 110 кВ Услава тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ПС Печерский Берег – ПС Услава):

- протяженность – 18,89 км;
- марка провода – АС-150/24;
- район по ветру – Ш;
- район по гололёду – Ш (толщина стенки гололёда 20 мм).

### **2.3 Варианты размещения оборудования для плавки гололёда постоянным током**

Источником плавки гололёда для ВЛ 110 кВ Александровка-2, ВЛ 110 кВ Цементная-1, ВЛ 110 кВ Цементная-2, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ЖГЭС-ПС Переволоки), ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 Уч. ЖГЭС-ПС Услава), ВЛ 110 кВ Жигулевск-Зольное принимается ПС 110 кВ Жигулевская.

Для организации плавки постоянным током с ПС 110 кВ Жигулевская потребуется установка дополнительных ячеек КРУН 6 кВ и двух выпрямительных устройств плавки гололёда контейнерного типа.

В непосредственной близости к Жигулевской ГЭС предусматривается установка переключательного пункта, состоящего из шести блоков с трехполосными разъединителями 110 кВ. Каждый блок располагается около существующих опор ВЛ 110 кВ, на проводах которых осуществляется плавка гололёда. Недостатком данного решения по сравнению с существующими схемами плавки токами нагрузки является необходимость отключения ВЛ 110 кВ на время плавки, влекущее снижение надежности электроснабжения потребителей.

Для подключения выпрямительного устройства к переключательному пункту около Жигулевской ГЭС необходима прокладка КЛ ориентировочно длиной 1 км.

Подключение выпрямительного устройства к переключательному пункту через провода ВЛ 110 кВ Цементная-1 или ВЛ 110 кВ Цементная-2 приведет к необходимости отключения данной ВЛ дополнительно на период плавки остальных ВЛ 110 кВ, а также к усиленному нагреву проводов данной ВЛ в связи с проведением плавки последовательно нескольких линий и увеличению рисков отгорания провода. На основании вышеизложенного использование данного подключения источника плавки не рекомендуется.

На ПС 110 кВ Переволоки тяговая, ПС 110 кВ Услава тяговая, ПС 110 кВ Александровка, ПС 110 кВ Зольное и ПС 110 кВ Цементная потребуется установка закорачивающих однополюсных разъединителей 110 кВ.

Источником плавки гололёда для ВЛ 110 кВ переволоки тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ПС Печерский Берег-ПС Переволоки), ВЛ 110 кВ Услава тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ПС Печерский Берег – ПС Услава). Недостатком данного решения является возможный риск отключения всех ВЛ 110 кВ, подходящих к ПС 110 кВ Печерский берег тяговая в связи с интенсивным

обледенением (09.12.2005 г. Был случай одновременного аварийного отключения ВЛ 110 кВ Переволоки тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ПС Печерский Берег-ПС Переволоки), ВЛ 110 кВ Услава тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ПС Печерский Берег – ПС Услава).

Также предусматривается установка переключательного пункта, состоящего из пяти блоков с трехполюсными разъединителями 110 кВ. Каждый блок располагается около существующих опор ВЛ 110 кВ, на проводах которых осуществляется плавка гололёда.

В качестве варианта плавки гололёда для данных ВЛ 110 кВ рассматривается возможность использования оборудования, устанавливаемого на КВЛ 220 кВ Жигулевская ГЭС – Сызрань I цепь, КВЛ 220 кВ Жигулевская ГЭС – Сызрань II цепь.

Конкретные параметры устанавливаемого оборудования определены на основании результатов расчётов и выбора оптимальных схем и предоставлены в разделе четыре.

## 2.4 Схема плавки гололёда

Схемы плавки изображены на рисунках 1-3:



Рисунок 1 – Схема плавки гололёда для первого цикла с ПС Жигулевская-110 кВ

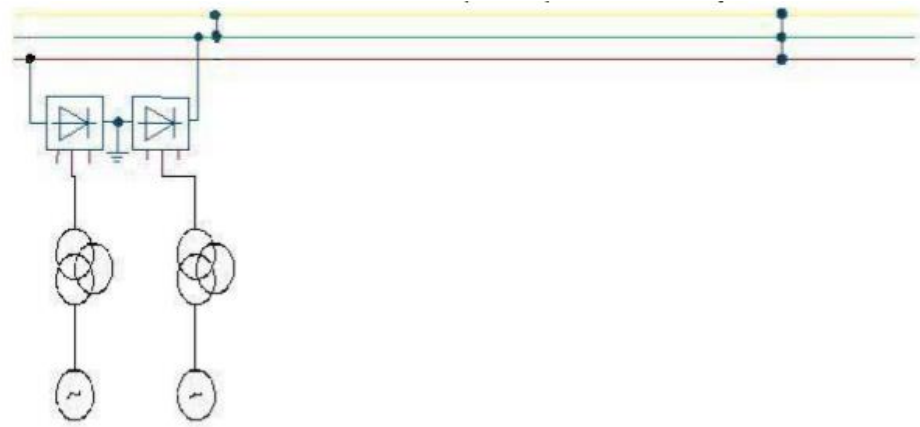


Рисунок 2 – Схема плавки гололёда для второго цикла с ПС Жигулевская-110 кВ



Рисунок 3 – Схема плавки гололёда «змеяка»

Далее будут приведены результаты расчётов плавки при условии установки выпрямителя управляемого плавки гололёда (ВУПГ) на территории ПС 110 кВ Жигулевская, питающего пункта 110 кВ около территории ПС 110 кВ Печерский берег тяговая и ПС 220 кВ Сызрань, переключающих пунктов около опор ВЛ, на которых требуется плавка гололёда, а также установка заворачивающих разъединителей на противоположных концах ВЛ.

Преимущества плавки гололёда постоянным током от управляемого выпрямителя:

- снижение требуемой мощности для плавки;



- возможность регулирования тока плавки;
- плавный пуск и отключение выпрямителя, что позволяет избежать перенапряжений и облегчает работу коммутационной аппаратуры;
- поддержание постоянства тока плавки;
- минимальный монтаж на объекте (установка плавки гололёда поставляется в собранном виде в стандартном транспортном контейнере).

В качестве расчетной схемы плавки принимается схема «фаза-фаза» для первого цикла и схема «две фазы-фаза» для второго цикла. Для коротких участков ВЛ 110 кВ рассмотрена схема «змейка». Применение иных схем потребует проведения плавки за 3 цикла либо установки дополнительного оборудования, что приведет к увеличению времени плавки свыше 60 минут либо к дополнительным затратам.

Вывод по разделу: проведён анализ существующих способов плавки, определены их недостатки и выбран альтернативный способ плавки.

### 3 Расчёты параметров плавки гололёда постоянным током

Расчёт параметров плавки гололёда на проводах ВЛ производилась в программном комплексе «Гололёд версии 3.2» [7].

#### 3.1 Результаты расчёта плавки гололёда на участке Переволоки тяговая – Печерский Берег тяговая

Схема соединения: ВЛ 110 кВ Переволоки тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ПС Печерский Берег- ПС Переволоки), ПС 110 кВ Переволоки тяговая (Рисунок 4).

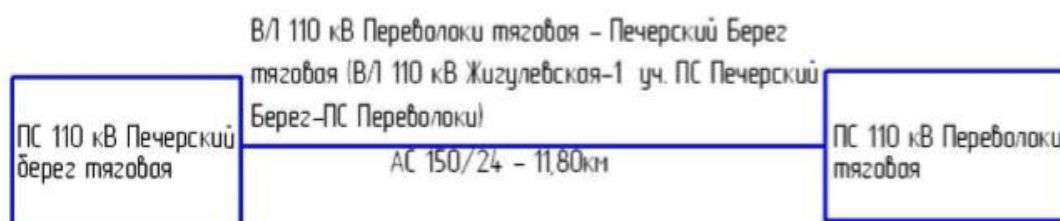


Рисунок 4 – Схема соединения ПС 110 кВ Печерский берег, ВЛ 110 кВ

$X_{\text{сис}}=1,4$  Ом,  $U$  до ВУПГ =10,5 кВ (Указано напряжение, подаваемое на вход регулируемой ВУПГ. В результатах расчёта ниже указано расчётное напряжение, которое необходимо подать на вход нерегулируемой ВУПГ в программе «Гололёд 3.2» для получения аналогичных выходных параметров тока и напряжения).

Климатические условия:  $t=-5$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 90 градусов).

Длина линии, км: 11,9.

Длина гололёдного участка, км: 5,9.

Схема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 3,4.  
 Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 2,45.  
 Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 3,62.  
 Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 2,42.  
 Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 2,88.  
 Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 1,72.  
 Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 2,74.  
 Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 1,68.  
 Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 3,41.  
 Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 2,41.  
 Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 2,02.  
 Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 1,72.

Параметры при 1 цикле плавки:

Полный установ. выпрямленный ток, А.  $I_A=756,7$ ,  $I_B=756,7$ ,  $I_C=0,0$ .

Выпрямленный ток в одном проводе, А.  $I_A=756,7$ ,  $I_B=756,7$ ,  $I_C=0,0$ .

Установившийся фазный ток  $\sim I$ , А 579,6

Параметры при 2 цикле плавки:

Полный установ. выпрямленный ток, А.  $I_A=345,6$ ,  $I_B=345,6$ ,  $I_C=691,5$ .

Выпрямленный ток в одном проводе, А.  $I_A=345,6$ ,  $I_B=345,6$ ,  $I_C=691,5$ .

Установившийся фазный ток  $\sim I$ , А 568,6.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 16.

Таблица 16 - Результаты расчётов участка ВЛ 110 кВ Переволоки тяговая – Печерский Берег тяговая

Параметр	Значение
№ участка:	1
Имя участка:	Печерский берег- Переволоки
Тип провода:	1хАС-150/24
Температура воздуха:	-5
Скорость ветра:	5
Угол атаки ветра:	90

Продолжение таблицы 16

Параметр	Значение
Диаметр гололёдной муфты, см:	4,29
Толщина стенки гололёда, см:	1,2
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	1,05
Удельный вес гололёда, г/см <sup>3</sup> :	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	1149,73
Ток 60-минутной плавки, А:	551,83
Ток преп.образ.гололёда,А:	336,02
Температура провода без гололёда при 1 цикле плавки:	
В фазе А:	26,02
В фазе В:	26,02
В фазе С:	-4,71
Время плавки, мин:	27,7
Температура провода без гололёда при 2 цикле плавки:	
В фазе А:	1,66
В фазе В:	1,66
В фазе С:	22,98
Время плавки, мин:	30,6

Климатические условия:  $t=0$  С,  $V=2$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 0 градусов)

Длина линии, км: 11,8.

Длина гололёдного участка, км: 11,8.

Схема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 3,0.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 2,4.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл):3,12.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл):2,35.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 2,22.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 1,64.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 2,20.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 1,63.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 2,92.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 2,07.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл):1,92.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл):1,27.

Параметры 1 цикла плавки:

Полный установ. выпрямленный ток, А.  $I_A=703,2$ ,  $I_B=703,2$ ,  $I_C=0,0$ .

Выпрямленный ток в одном проводе, А.  $I_A=703,2$ ,  $I_B=703,2$ ,  $I_C=0,0$ .

Установившийся фазный ток  $\sim I$ , А 563,3.

Параметры 2 цикла плавки:

Полный установ. выпрямленный ток, А.  $I_A=345,7$ ,  $I_B=345,7$ ,  $I_C=691,4$

Выпрямленный ток в одном проводе, А.  $I_A=345,7$ ,  $I_B=345,7$ ,  $I_C=691,4$

Установившийся фазный ток  $\sim I$ , А 499,6

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 17.

Таблица 17 - Результаты расчётов ВЛ 110 кВ Жигулевская-1, уч. ПС Печерский Берег- ПС Переволоки

Параметр	Значение
№ участка:	1
Имя участка:	Печерский берег- Переволоки
Тип провода:	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0
Скорость ветра:	2
Угол атаки ветра:	0
Диаметр гололёдной муфты, см:	4,29
Толщина стенки гололёда, см:	1,2
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	1,05
Удельный вес гололёда, г/см <sup>3</sup> :	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	703,99
Ток 60-минутной плавки, А:	457,3
Ток преп.образ.гололёда,А:	0
1 цикл плавки	
В фазе А:	88,44
В фазе В:	88,44
В фазе С:	0,75
Время плавки, мин:	23,7
2 цикл плавки	
В фазе А:	84,87
В фазе В:	18,3
В фазе С:	18,3
Время плавки, мин:	24,6

В результате выполненных расчётов для указанного режима плавки гололёда постоянным током по схеме фаза-фаза одна выпрямительная установка со стороны одной ПС и фаза-две фазы одна выпрямительная установка со стороны одной ПС в различных метеоусловиях с принятой толщиной стенки гололёда 12 мм и времени плавки не более 60 минут, сделан вывод о возможности плавки гололёда на ВЛ постоянным током.

### 3.2 Результаты расчёта плавки гололёда участке Печерский берег тяговая, Услава тяговая – Печерский Берег тяговая

Схема соединения: ВЛ 110 кВ Услава тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2) (Рисунок 5).

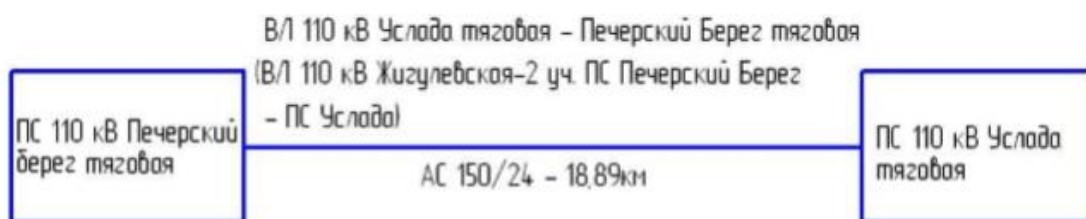


Рисунок 5 – Схема соединения: ПС 110 кВ Печерский берег тяговая, ВЛ 110 кВ Услава тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ПС Печерский Берег – ПС Услава), ПС 110 кВ Услава тяговая

$X_{\text{сис}}=1,4$  Ом,  $U$  до ВУПГ =10,5 кВ (Указано напряжение, подаваемое на вход регулируемой ВУПГ. В результатах расчёта ниже указано расчётное напряжение, которое необходимо подать на вход нерегулируемой ВУПГ в программе «Гололёд 3.2» для получения аналогичных выходных параметров тока и напряжения).

Климатические условия:  $t=-5$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 90 градусов).

Длина линии, км: 18,89.

Длина гололёдного участка, км: 9,44.

Схема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 4,7.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 4,5.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 5,19.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 4,97.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 3,77.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 4,54.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 3,58.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 4,3.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 5,61.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 5,38.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 4,31.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 3,23.

Параметры 1 цикла плавки:

Полный установ. выпрямленный ток, А.  $I_A=689,6, I_B=689,6, I_C=0,0$ .

Выпрямленный ток в одном проводе, А.  $I_A=689,6, I_B=689,6, I_C=0,0$ .

Установившийся фазный ток  $\sim I$ , А 551,7.

Параметры 2 цикла плавки:

Полный установ. выпрямленный ток, А.  $I_A=432,1, I_B=432,1, I_C=864,1$ .

Выпрямленный ток в одном проводе, А  $I_A=432,1, I_B=432,1, I_C=864,1$ .

Установившийся фазный ток  $\sim I$ , А 691,1.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 18.

Таблица 18 - Результаты расчёта плавки гололёда на участке Печерский берег тяговая, ВЛ 110 кВ Услава тяговая – Печерский Берег тяговая

Параметр	Значение
Имя участка:	Печерский берег-Услава
Тип провода:	1хАС-150/24
Температура воздуха:	-5
Скорость ветра:	5
Угол атаки ветра:	90
Диаметр гололёдной муфты, см:	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0,8
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0,82
Удельный вес гололёда, г/см <sup>3</sup> :	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	1149,73
Ток 60-минутной плавки, А:	524,04
Ток преп.образ.гололёда,А:	336,016
1 цикл плавки	
В фазе А:	22,81
В фазе В:	22,81
В фазе С:	-4,71
Время плавки, мин:	26,4
2 цикл плавки	
В фазе А:	5,37
В фазе В:	5,37
В фазе С:	41,29
Время плавки, мин:	12,1

Климатические условия:  $t=0$  С,  $V=2$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 0 градусов).

Длина линии, км: 18,89.

Длина гололёдного участка, км: 18,89.

Схема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 4,89.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 3,4.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл):4,92.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл):3,72.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 3,39.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 2,56.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 3,37.



Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 2,55.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 4,63.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 3,99.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 3,17.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 3,06.

Параметры 1 цикла плавки:

Полный установ. выпрямленный ток, А.  $I_A=684,1$ ,  $I_B=684,1$ ,  $I_C=0,0$ .

Выпрямленный ток в одном проводе, А.  $I_A=684,1$ ,  $I_B=684,1$ ,  $I_C=0,0$ .

Установившийся фазный ток  $\sim I$ , А 547,3.

Параметры 2 цикла плавки:

Полный установ. выпрямленный ток, А.  $I_A=342,6$ ,  $I_B=342,6$ ,  $I_C=685,3$ .

Выпрямленный ток в одном проводе, А.  $I_A=342,6$ ,  $I_B=342,6$ ,  $I_C=685,3$ .

Установившийся фазный ток  $\sim I$ , А 679,1.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 19.

Таблица 19 - Результаты расчётов участка Печерский берег- Услада

Параметр	Значение
Имя участка:	Печерский берег- Услада
Тип провода:	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0
Скорость ветра:	2
Угол атаки ветра:	0
Диаметр гололёдной муфты, см:	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0,8
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0,82
Удельный вес гололёда, г/см <sup>3</sup> :	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	703,99
Ток 60-минутной плавки, А:	422,21
Ток преп.образ.гололёда,А:	0
1 цикл плавки	
В фазе А:	81,2
В фазе В:	81,2
В фазе С:	0,75
Время плавки, мин:	21
2 цикл плавки	
В фазе А:	17,25

Продолжение таблицы 19

Параметр	Значение
В фазе В:	17,25
В фазе С:	78,35
Время плавки, мин:	10,8

В результате выполненных расчётов для указанного режима плавки гололёда постоянным током по схеме фаза-фаза одна выпрямительная установка со стороны одной ПС и фаза-две фазы одна выпрямительная установка со стороны одной ПС в различных метеоусловиях с принятой толщиной стенки гололёда 8 мм и времени плавки не более 60 минут, сделан вывод о возможности плавки гололёда на ВЛ.

### 3.3 Результаты расчёта плавки гололёда на участке ПС 110 кВ Жигулевская, ЖГЭС, Александровка-2, ПС 110 кВ Александровка

Схема соединения: ВЛ постоянным током участка ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Александровка-2, ПС 110 кВ Александровка (См. рисунок 6).

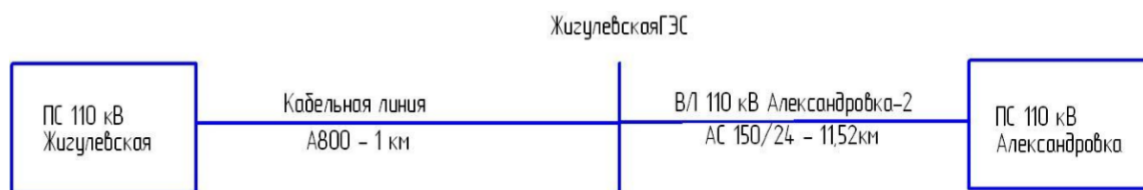


Рисунок 6 – Схема соединения: ВЛ постоянным током участка ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Александровка-2, ПС 110 кВ Александровка

$X_{сис}=0,273$  Ом,  $U$  до ВУПГ=6,3 кВ. (Указано напряжение, подаваемое на вход регулируемой УПГ. В результатах расчёта ниже указано расчётное напряжение, которое необходимо подать на вход нерегулируемой ВУПГ в

программе Гололёд 3.2 для получения аналогичных выходных параметров тока и напряжения).

Климатические условия:  $t=-5$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 90 градусов).

Длина линии, км: 12,52.

Длина гололедного участка, км: 5,76.

Съема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 1,25.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 1,35.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 3,19.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 3,23.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 2,36.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 3,08.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 2,21.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 2,87.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 2,39.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 2,93.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 0,9.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 0,58.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 20-21.

Таблица 20 - Параметры циклов плавки участка ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Александровка-2, ПС 110 кВ Александровка

Параметр	Значение					
	$I_A=$	690,7	$I_B=$	690,7	$I_C=$	0,0
Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл, А	$I_A=$	690,7	$I_B=$	690,7	$I_C=$	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл, А	$I_A=$	690,7	$I_B=$	690,7	$I_C=$	0,0

Продолжение таблицы 20

Параметр	Значение					
Установившийся фазный ток ~I 1 цикл, А	552,6					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл, А	I <sub>A</sub> =	443,0	I <sub>B</sub> =	443,0	I <sub>C</sub> =	887,0
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл, А	I <sub>A</sub> =	443,0	I <sub>B</sub> =	443,0	I <sub>C</sub> =	887,0
Установившийся фазный ток ~I 2 цикл, А	627,0					

Таблица 21 - Результаты расчётов участка ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Александровка-2, ПС 110 кВ Александровка

Параметр	Значение	
№ участка	1	2
Имя участка:	Кабель	Александровка-2
Тип провода:	1хА-800	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0	-5
Скорость ветра:	0	5
Угол атаки ветра:	0	90
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0	1
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,82
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	1149,73
Ток 60-минутной плавки, А:	0	524,05
Ток преп. образ. гололеда, А:	0	336,01
1 цикл плавки		
Температура провода без гололеда	-	-
в фазе А:	0	22,9
в фазе В:	0	22,9
в фазе С:	0	-4,71
время плавки, мин:	Плавки нет	26,2
2 цикл плавки		
Температура провода без гололеда	-	-
в фазе А:	0	5,97
в фазе В:	0	5,97
в фазе С:	0	44,53
время плавки, мин:	Плавки нет	12,4

Климатические условия:  $t=0$  С,  $V=2$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 0 градусов).

Длина линии, км: 12,52.

Длина гололедного участка, км: 11,52.

Съема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 1,5.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 1,0.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 3,06.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 2,34.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 2,14.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 1,66.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 2,12.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 1,65.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 2,87.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 1,69.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 1,93.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 0,36.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 22-23.

Таблица 22 - Параметры циклов плавки участка ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Александровка-2, ПС 110 кВ Александровка

Параметр	Значение					
	I <sub>A</sub> =		I <sub>B</sub> =		I <sub>C</sub> =	
Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	691,1	I <sub>B</sub> =	691,1	I <sub>C</sub> =	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	691,1	I <sub>B</sub> =	691,1	I <sub>C</sub> =	0,0
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки ~I, А	552,9					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	351,4	I <sub>B</sub> =	351,4	I <sub>C</sub> =	887,0
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	351,4	I <sub>B</sub> =	351,4	I <sub>C</sub> =	887,0
Установившийся фазный ток 2 цикл плавки ~I, А	490,5					

Таблица 23 - Результаты расчётов участка ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Александровка-2, ПС 110 кВ Александровка

Параметр	Значение	
	1	2
№ участка	1	2
Имя участка:	Кабель	Александровка-2
Тип провода:	1хА-800	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0	0
Скорость ветра:	0	2
Угол атаки ветра:	0	0
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0	1
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,81
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	703,99
Ток 60-минутной плавки, А:	0	422,21
Ток преп. образ. Гололеда, А:	0	0
Температура провода без гололеда при 1 цикле плавки:		
в фазе А:	0	86,81
в фазе В:	0	86,81
в фазе С:	0	0,76
время плавки, мин:	Плавки нет	20,5
Температура провода без гололеда при 2 цикле плавки:		
в фазе А:	0	18,0
в фазе В:	0	18,0
в фазе С:	0	90,0
время плавки, мин:	Плавки нет	19,8

Климатические условия:  $t=-5$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 90 градусов). В расчётах принимаем одну ВУ исходя из требуемой мощности плавки.

Длина линии, км: 11,52.

Длина гололедного участка, км: 17,28.

Схема плавки: Фаза-земля 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ: 4.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ: 5,2.

Максимальная мощность плавки, МВт: 3,7.

Установившаяся мощность плавки, МВт: 3,49.

Расчётная полная мощность, МВА: 3,91.

Расчётная реактивная мощность, МВар: 1,76.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 24-25.

Таблица 24 - Параметры циклов плавки на проводах ВЛ по схеме «змейка»

Параметр	Значение					
	I <sub>A</sub> =	707,3	I <sub>B</sub> =	0,0	I <sub>C</sub> =	0,0
Полный нач. выпрямленный ток, А	I <sub>A</sub> =	707,3	I <sub>B</sub> =	0,0	I <sub>C</sub> =	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе, А	I <sub>A</sub> =	707,3	I <sub>B</sub> =	0,0	I <sub>C</sub> =	0,0
Ток в земле, А	I <sub>з</sub> =	707,3	-	-	-	-
Установившийся фазный ток ~I, А	565,9					
Полный установ. выпрямленный ток, А	I <sub>A</sub> =	666,6	I <sub>B</sub> =	0,0	I <sub>C</sub> =	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе, А	I <sub>A</sub> =	666,6	I <sub>B</sub> =	0,0	I <sub>C</sub> =	0,0
Ток в земле, А	I <sub>з</sub> =	666,6	-	-	-	-
Установившийся фазный ток ~I, А	533,3					

Таблица 25 - Результаты расчётов на проводах ВЛ по схеме «змейка»

Параметр	Значение	
	1	2
№ участка	1	2
Имя участка:	Кабель	Александровка-2
Тип провода:	1хА-800	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0	-5
Скорость ветра:	0	5
Угол атаки ветра:	0	90
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0	1
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,82
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	1149,73
Ток 60-минутной плавки, А:	0	524,05
Ток преп. образ. гололеда, А:	0	336,02
Температура провода без гололеда в фазе А:	0	20,81
Температура провода без гололеда в фазе В:	0	-4,71
Температура провода без гололеда в фазе С:	0	-4,71
время плавки, мин:	Плавки нет	29

Климатические условия: t=0 С, V=2 м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 0 градусов).

Длина линии, км: 11,52.

Длина гололедного участка, км: 34,56.

Схема плавки: Фаза-земля 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ: 4.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ: 5,22.

Максимальная мощность плавки, МВт: 3,63.

Установившаяся мощность плавки, МВт: 3,60.

Расчётная полная мощность, МВА: 3,84.

Расчётная реактивная мощность, МВар: 1,33.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 26-27.

Таблица 26 - Параметры циклов плавки на проводах ВЛ по схеме «змейка»

Параметр	Значение					
	$I_A=$		$I_B=$		$I_C=$	
Полный нач. выпрямленный ток, А	694,4		0,0		0,0	
Выпрямленный ток в одном проводе, А	694,4		0,0		0,0	
Ток в земле, А	694,4	-	-	-	-	-
Установившийся фазный ток $\sim I$ , А	555,5					
Полный установ. выпрямленный ток, А	689,4		0,0		0,0	
Выпрямленный ток в одном проводе, А	689,4		0,0		0,0	
Ток в земле, А	689,4	-	-	-	-	-
Установившийся фазный ток $\sim I$ , А	551,5					

Таблица 27 - Результаты расчётов на проводах ВЛ по схеме «змейка»

Параметр	Значение	
	1	2
№ участка	1	2
Имя участка:	Кабель	Александровка-2
Тип провода:	1хА-800	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0	0
Скорость ветра:	0	2
Угол атаки ветра:	0	0
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0	1
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,82
Удельный вес гололёда, г/см <sup>3</sup>	0,9	0,9



Продолжение таблицы 27

Параметр	Значение	
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	703,99
Ток 60-минутной плавки, А:	0	422,21
Ток преп. образ. Гололеда, А:	0	0
1 цикл плавки		
Температура провода без гололеда:		
в фазе А:	0	86,28
в фазе В:	0	0,76
в фазе С:	0	0,76
время плавки, мин:	Плавки нет	20,6

В результате выполненных расчётов для указанного режима плавки гололёда постоянным током по схеме фаза-фаза две выпрямительные установки со стороны одной ПС и фаза-две фазы две выпрямительные установки со стороны одной ПС и по схеме «змейка» с одной выпрямительной установкой со стороны одной ПС в различных метеоусловиях с принятой толщиной стенки гололёда 10 мм и времени плавки не более 60 минут, сделан вывод о возможности плавки гололёда на ВЛ. Рекомендуется к принятию плавка гололёда по схеме «змейка», т.к. плавка гололёда по данной схеме осуществляется в один цикл.

### **3.4 Результаты расчёта плавки гололёда на участке ПС 110 кВ Жигулевская, Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая, ПС 110 кВ Переволоки тяговая**

Схема соединения: ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС- Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ЖГЭС-ПС Переволоки), ПС 110 кВ Переволоки тяговая (см. рисунок 7).

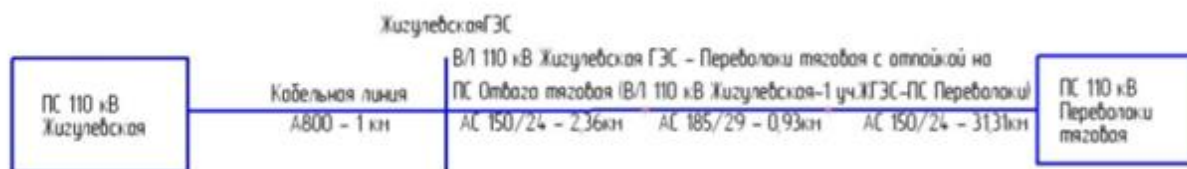


Рисунок 7 – Схема соединения: ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ЖГЭС-ПС Переволоки), ПС 110 кВ Переволоки тяговая.

$X_{\text{сис}}=0,273$  Ом,  $U$  до ВУПГ=6,3 кВ. (Указано напряжение, подаваемое на вход регулируемой ВУПГ. В результатах расчёта ниже указано напряжение, которое необходимо подать на вход нерегулируемой ВУПГ в программе Гололёд 3.2 для получения аналогичных выходных параметров тока и напряжения).

Климатические условия:  $t=-5$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 90 градусов).

Длина линии, км: 35,6.

Длина гололедного участка, км: 17,8.

Съема плавки: Фаза-фаза 2ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 4,1.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 3.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 10,74.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 7,72.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 8,93.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 6,21.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 8,21.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 5,84.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 8,68.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 8,19.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 2,81.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 5,74.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 28-29.

Таблица 28 - Параметры циклов плавки на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага, ПС 110 кВ Переволоки тяговая

Параметр	Значение					
	$I_A=$		$I_B=$		$I_C=$	
Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А		764,3		764,3		0,0
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	$I_A=$	764,3	$I_B=$	764,3	$I_C=$	0,0
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки $\sim I$ , А	611,4					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл плавки, А	$I_A=$	377,8	$I_B=$	377,8	$I_C=$	755,6
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл плавки, А	$I_A=$	377,8	$I_B=$	377,8	$I_C=$	755,6
Установившийся фазный ток 2 цикл плавки $\sim I$ , А	788,9					

Таблица 29 - Результаты расчётов на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая, ПС 110 кВ Переволоки тяговая

Параметр	Значение			
	1	2	3	4
№ участка	1	2	3	4
Имя участка:	Кабель	Жигулевская (150)	Жигулевская-1(185)	Жигулевская-1 (150)
Тип провода:	1х А-800	1хАС-150/24	1х АС-185/29	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0	-5	-5	-5
Скорость ветра:	0	5	5	5
Угол атаки ветра:	0	90	90	90
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,89	3,88	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0	1,2	1,2	1,2
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,82	0,81	0,82
Удельный вес гололёда, г/см <sup>3</sup>	0	0,9	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	4672,05	1149,73	1300,46	1149,73
Ток 60-минутной плавки, А:	-	524,05	592,32	524,05

Продолжение таблицы 29

Параметр	Значение			
Ток преп. образ. гололеда, А:	0	336,02	380,08	336,02
Температура провода без гололеда при 1 цикле плавки				
в фазе А:	0	30,43	21,91	30,43
в фазе В:	0	30,43	21,91	30,43
в фазе С:	0	-4,71	-4,71	-4,71
время плавки, мин:	Плавки нет	23,7	32,8	23,7
Температура провода без гололеда при 2 цикле плавки				
в фазе А:	0	29,09	20,93	29,09
в фазе В:	0	2,93	1,22	2,93
в фазе С:	0	2,93	1,22	2,93
время плавки, мин:	Плавки нет	24,8	34,5	24,8

Климатические условия:  $t=0$  С,  $V=2$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 0 градусов).

Длина линии, км: 35,6.

Длина гололедного участка, км: 35,10.

Съема плавки: Фаза-фаза 2ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 3,5.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 2,65.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 9,05.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 3,91.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 6,38.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 2,75.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 6,32.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 2,72.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 6,77.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 4,52.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 2,42.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 3,6.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 30-31.

Таблица 30 - Параметры циклов плавки на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ЖГЭС-ПС Переволоки), ПС 110 кВ Переволоки тяговая

Параметр	Значение					
	Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	$I_A=$	698,0	$I_B=$	698,0	$I_C=$
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	$I_A=$	698,0	$I_B=$	698,0	$I_C=$	0,0
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки $\sim I$ , А	558,4					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл плавки, А	$I_A=$	347,0	$I_B=$	347,0	$I_C=$	694,5
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл плавки, А	$I_A=$	347,0	$I_B=$	347,0	$I_C=$	694,5
Установившийся фазный ток 2 цикл плавки $\sim I$ , А	492,4					

Таблица 31 - Результаты расчётов на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ЖГЭС-ПС Переволоки), ПС 110 кВ Переволоки тяговая

Параметр	Значение			
	1	2	3	4
№ участка	1	2	3	4
Имя участка:	Кабель	Жигулевская (150)	Жигулевская-1 (185)	Жигулевская-1 (150)
Тип провода:	1хА-800	1хАС-150/24	1хАС-189/29	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0	0	0	0
Скорость ветра:	0	2	2	2
Угол атаки ветра:	0	0	0	0
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,89	3,88	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0	1,2	1,2	1,2
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,82	0,81	0,82
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0	0,9	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	4672,05	703,99	796,16	703,99
Ток 60-минутной плавки, А:	0	422,21	477,14	422,21

Продолжение таблицы 31

Параметр	Значение			
Ток преп. образ. гололеда, А:	0	0	0	0
Температура провода без гололеда при 1 цикле плавки:				
в фазе А:	0	87,92	65,22	87,92
в фазе В:	0	87,92	65,22	87,92
в фазе С:	0	0,76	0,76	0,76
время плавки, мин:	Плавки нет	24,4	31,6	24,4
Температура провода без гололеда при 2 цикле плавки:				
в фазе А:	0	18,71	14,6	18,7
в фазе В:	0	18,71	15,6	18,7
в фазе С:	0	87,74	65,1	87,74
время плавки, мин:	0	9,71	14,6	9,71

В результате выполненных расчётов для указанного режима плавки гололёда постоянным током по схеме фаза-фаза две выпрямительные установки со стороны одной ПС и фаза-две фазы две выпрямительные установки со стороны одной ПС в различных метеоусловиях с принятой толщиной стенки гололёда 12 мм и времени плавки не более 60 минут, сделан вывод о возможности плавки гололёда на ВЛ.

**3.5 Результаты расчёта плавки гололёда на участке ПС 110 кВ Жигулевская, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая, ПС 110 кВ Услава тяговая**

Схема соединения: ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ЖГЭС-ПС Услава), ПС 110 кВ Услава тяговая (см. рисунок 8).

$X_{сис}=0,273$  Ом,  $U$  до ВУПГ=6,3 кВ. (Указано напряжение, подаваемое на вход регулируемой ВУПГ. В результатах расчёта ниже указано напряжение, которое необходимо подать на вход нерегулируемой ВУПГ в

программе Гололёд 3.2 для получения аналогичных выходных параметров тока и напряжения).

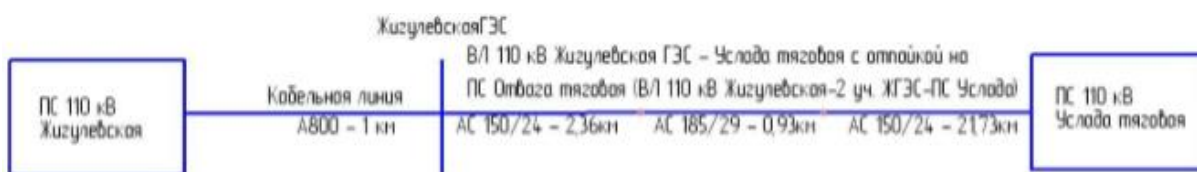


Рисунок 8 – Схема соединения: ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ЖГЭС-ПС Услава), ПС 110 кВ Услава тяговая

Климатические условия:  $t=-5$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 90 градусов).

Длина линии, км: 25,66.

Длина гололедного участка, км: 12,32.

Съема плавки: Фаза-фаза 2ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 2ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 3,0.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 2,0.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 6,89.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 5,07.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 6,39.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 3,66.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 5,47.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 3,32.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 6,6.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 4,29.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 3,69.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 2,71.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 32-33.

Таблица 32 - Параметры циклов плавки на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ЖГЭС-ПС Услава), ПС 110 кВ Услава тяговая

Параметр	Значение					
	Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	793,8	I <sub>B</sub> =	793,8	I <sub>C</sub> =
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	793,8	I <sub>B</sub> =	793,8	I <sub>C</sub> =	0,0
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки ~I, А	635,1					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	327,4	I <sub>B</sub> =	327,4	I <sub>C</sub> =	654,8
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	327,4	I <sub>B</sub> =	327,4	I <sub>C</sub> =	654,8
Установившийся фазный ток 2 цикл плавки ~I, А	619,9					

Таблица 33 - Результаты расчётов на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ЖГЭС-ПС Услава), ПС 110 кВ Услава тяговая

Параметр	Значение			
	1	2	3	4
№ участка	1	2	3	4
Имя участка:	Кабель	Жигулевская - 2(150)	Жигулевская-2(185)	Жигулевская-2(150)
Тип провода:	1х А-800	1хАС-150/24	1х АС-185/29	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0	-5	-5	-5
Скорость ветра:	0	5	5	5
Угол атаки ветра:	0	90	90	90
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,89	3,88	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0	0,8	0,8	0,8
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,82	0,81	0,82
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0	0,9	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	1149,73	1300,46	1149,73



Продолжение таблицы 33

Параметр	Значение			
Ток 60-минутной плавки, А:	0	524,05	592,32	524,05
Ток преп. образ. гололеда, А:	0	336,02	380,08	336,02
Температура провода без гололеда при 1 цикле плавки:				
в фазе А:	0	24,3	17,39	91,6
в фазе В:	0	24,3	17,39	91,6
в фазе С:	0	-4,71	-4,72	0,76
время плавки, мин:	Плавки нет	18,2	26,4	14,2
Температура провода без гололеда при 2 цикле плавки:				
в фазе А:	0	19,82	14,04	76,05
в фазе В:	0	0,98	-0,28	16,62
в фазе С:	0	0,98	-0,28	16,62
время плавки, мин:	Плавки нет	23,4	34,3	17,4

Климатические условия:  $t=0$  С,  $V=2$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 0 градусов).

Длина линии, км: 25,66.

Длина гололедного участка, км: 24,66.

Съема плавки: Фаза-фаза 2ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 2ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 2,9.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 2,15.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 7,48.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 5,49.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 5,96.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 4,23.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 5,17.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 3,8.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 5,54.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 4,08.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 3,96.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 1,48.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 34-35.

Таблица 34 - Параметры циклов плавки на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ЖГЭС-ПС Услава), ПС 110 кВ Услава тяговая

Параметр	Значение					
	$I_A=$		$I_B=$		$I_C=$	
Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	690,3		690,3		0,0	
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	690,3		690,3		0,0	
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки $\sim I$ , А	552,2					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл плавки, А	345,9		345,9		691,5	
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл плавки, А	345,9		345,9		691,5	
Установившийся фазный ток 2 цикл плавки $\sim I$ , А	548,5					

Таблица 35 - Результаты расчётов на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Услава тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ЖГЭС-ПС Услава), ПС 110 кВ Услава тяговая

Параметр	Значение			
	1	2	3	4
№ участка	1	2	3	4
Имя участка:	Кабель	Жигулевская (150)	Жигулевская-1 (185)	Жигулевская-1 (150)
Тип провода:	1хА-800	1хАС-150/24	1хАС-189/29	1хАС-150/24
Температура воздуха:	0	0	0	0
Скорость ветра:	0	2	2	2
Угол атаки ветра:	0	0	0	0
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,89	3,88	3,89
Толщина стенки гололёда, см:	0	0,8	0,8	0,8
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,82	0,81	0,82
Удельный вес гололёда, г/см <sup>3</sup>	0	0,9	0,9	0,9

Продолжение таблицы 35

Параметр	Значение			
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	703,99	796,16	703,99
Ток 60-минутной плавки, А:	0	422,21	477,14	422,21
Ток преп. образ. Гололеда, А:	0	0	0	0
Температура провода без гололеда при 1 цикле плавки				
в фазе А:	0	86,76	64,4	86,76
в фазе В:	0	86,76	64,4	86,76
в фазе С:	0	0,76	0,76	0,76
время плавки, мин:	Плавки нет	15	19,9	15
Температура провода без гололеда при 2 цикле плавки				
в фазе А:	0	88,25	65,46	88,25
в фазе В:	0	18,8	14,67	18,8
в фазе С:	0	18,8	14,67	18,8
время плавки, мин:	Плавки нет	15,1	19,9	15,1

В результате выполненных расчётов для указанного режима плавки гололёда постоянным током по схеме фаза-фаза две выпрямительные установки со стороны одной ПС и фаза-две фазы две выпрямительные установки со стороны одной ПС в различных метеоусловиях с принятой толщиной стенки гололёда 8 мм и времени плавки не более 60 минут, сделан вывод о возможности плавки гололёда на ВЛ.

Рассмотрим ещё одну схему соединений: ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Цементная-1 (ВЛ 110 кВ Цементная-2), ПС 110 кВ Цементная (см. рисунок 9)

$X_{\text{сис}}=0,273$  Ом,  $U$  до ВУПГ=6,3 кВ. (Указано напряжение, подаваемое на вход регулируемой ВУПГ. В результатах расчёта ниже указано напряжение, которое необходимо подать на вход нерегулируемой ВУПГ в программе Гололёд 3.2 для получения аналогичных выходных параметров тока и напряжения).

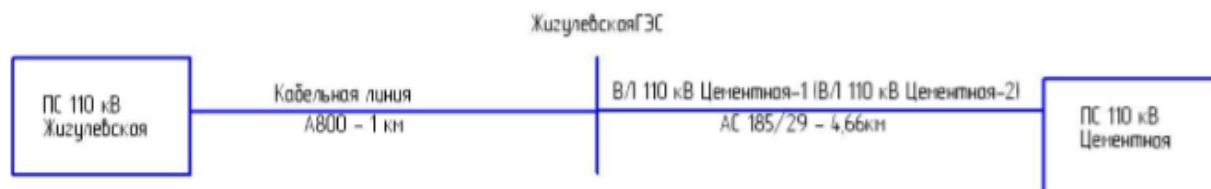


Рисунок 9 – Схема соединения: ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Цементная-1 (ВЛ 110 кВ Цементная-2), ПС 110 кВ Цементная

Климатические условия:  $t=-5$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 90 градусов). В расчётах принимаем одну ВУ исходя из требуемой мощности плавки.

Длина линии, км: 4,66.

Длина гололедного участка, км: 2,33.

Съема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 0,9.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 0,9.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 1,05.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 0,99.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 0,78.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 0,94.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 0,75.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 0,9.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 0,98.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 0,97.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 0,63.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 0,36.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 36-37.

Таблица 36 - Параметры циклов плавки на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Цементная-1 (ВЛ 110 кВ Цементная-2), ПС 110 кВ Цементная

Параметр	Значение					
	$I_A=$		$I_B=$		$I_C=$	
Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	$I_A=$	712,4	$I_B=$	712,4	$I_C=$	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	$I_A=$	712,4	$I_B=$	712,4	$I_C=$	0,0
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки $\sim I$ , А	634,8					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл плавки, А	$I_A=$	453,1	$I_B=$	453,1	$I_C=$	906,3
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл плавки, А	$I_A=$	453,1	$I_B=$	453,1	$I_C=$	906,3
Установившийся фазный ток 2 цикл плавки $\sim I$ , А	624,5					

Таблица 37 - Результаты расчётов на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Цементная-1 (ВЛ 110 кВ Цементная-2), ПС 110 кВ Цементная

Параметр	Значение	
	1	2
№ участка	1	2
Имя участка:	Кабель	Цементная
Тип провода:	1х А-800	1хАС-185/29
Температура воздуха:	0	-5
Скорость ветра:	0	5
Угол атаки ветра:	0	90
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,88
Толщина стенки гололёда, см:	0	1,2
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,81
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	1300,46
Ток 60-минутной плавки, А:	0	592,32
Ток преп. образ. Гололеда, А:	0	380,08
Температура провода без гололеда:		
в фазе А:	0	18,44
в фазе В:	0	18,44
в фазе С:	0	-4,71
время плавки, мин:	Плавки нет	39,2
Температура провода без гололеда при 1 цикле плавки:		
в фазе А:	0	18,44
в фазе В:	0	18,44
в фазе С:	0	-4,71
время плавки, мин:	Плавки нет	39,2
Температура провода без гололеда при 2 цикле плавки:		
в фазе А:	0	3,91

Продолжение таблицы 37

Параметр	Значение	
в фазе В:	0	3,91
в фазе С:	0	33,96
время плавки, мин:	Плавки нет	21,4

Климатические условия:  $t=0$  С,  $V=2$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 0 градусов).

Длина линии, км: 4,66.

Длина гололедного участка, км: 4,66.

Схема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 1,0.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 0,75.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 1,02.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 0,81.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 0,77.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 0,64.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 0,76.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 0,64.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 1,02.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 0,69.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 0,68.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 0,25.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 38-39.

Таблица 38 - Параметры циклов плавки на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Цементная-1 (ВЛ 110 кВ Цементная-2), ПС 110 кВ Цементная

Параметр	Значение					
	Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	742,6	I <sub>B</sub> =	742,6	I <sub>C</sub> =
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	742,6	I <sub>B</sub> =	742,6	I <sub>C</sub> =	0,0
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки ~I, А	594,1					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	392,0	I <sub>B</sub> =	392,0	I <sub>C</sub> =	784,0
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	392,0	I <sub>B</sub> =	392,0	I <sub>C</sub> =	784,0
Установившийся фазный ток 2 цикл плавки ~I, А	537,1					

Таблица 39 - Результаты расчётов на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Цементная-1 (ВЛ 110 кВ Цементная-2), ПС 110 кВ Цементная

Параметр	Значение	
	1	2
№ участка	1	2
Имя участка:	Кабель	Цементная
Тип провода:	1хА-800	1хАС-185/29
Температура воздуха:	0	0
Скорость ветра:	0	2
Угол атаки ветра:	0	0
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	3,88
Толщина стенки гололёда, см:	0	1,2
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	0,81
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	796,16
Ток 60-минутной плавки, А:	0	477,14
Ток преп. образ. гололеда, А:	0	0
Температура провода без гололеда при 1 цикле:		
в фазе А:	0	76,58
в фазе В:	0	76,58
в фазе С:	0	0,76
время плавки, мин:	Плавки нет	22,9
Температура провода без гололеда при 2 цикле:		
в фазе А:	0	18,65
в фазе В:	0	18,65
в фазе С:	0	87,41
время плавки, мин:	Плавки нет	24,5

Рассмотрим схему плавки «змейка» на рассматриваемом участке.

Климатические условия:  $t=-5$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 90 градусов). В расчётах принимаем одну ВУ исходя из требуемой мощности плавки.

Длина линии, км: 4,66.

Длина гололедного участка, км: 6,99.

Съема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ: 2.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ: 2,5.

Максимальная мощность плавки, МВт: 2,07.

Установившаяся мощность плавки, МВт: 1,98.

Расчётная полная мощность, МВА: 2,18.

Расчётная реактивная мощность, МВар: 0,91.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 40-41.

Таблица 40 - Параметры циклов плавки на проводах ВЛ по схеме «змейка»

Параметр	Значение					
Полный нач. выпрямленный ток, А	$I_A=$	828,3	$I_B=$	0,0	$I_C=$	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе, А	$I_A=$	828,3	$I_B=$	0,0	$I_C=$	0,0
Ток в земле, А	$I_3=$	828,3				
Начальный фазный ток $\sim I$ , А	662,7					
Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	$I_A=$	789,7	$I_B=$	0,0	$I_C=$	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	$I_A=$	789,7	$I_B=$	0,0	$I_C=$	0,0
Ток в земле 1 цикл плавки, А	$I_3=$	828,3				
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки $\sim I$ , А	631,8					

Таблица 41 - Результаты расчётов на проводах ВЛ по схеме «змейка»

Параметр	Значение	
№ участка	1	2
Имя участка:	Кабель	Цементная
Тип провода:	1х А-800	1хАС-185/29
Температура воздуха:	0	-5



Продолжение таблицы 41

Параметр	Значение	
Скорость ветра:	0	5
Угол атаки ветра:	0	90
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	4,28
Толщина стенки гололёда, см:	0	1,2
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	1,05
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	1300,46
Ток 60-минутной плавки, А:	0	623,71
Ток преп. образ. гололеда, А:	0	380,08
Температура провода без гололеда при 1 цикле плавки		
в фазе А:	0	23,57
в фазе В:	0	-4,71
в фазе С:	0	-4,71
Время плавки, мин:	Плавки нет	30,6

Климатические условия:  $t=0$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 0 градусов).

Длина линии, км: 4,66.

Длина гололедного участка, км: 13,98.

Съема плавки: Фаза-фаза 1ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ: 2.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ: 2,5.

Максимальная мощность плавки, МВт: 2,04.

Установившаяся мощность плавки, МВт: 2,03.

Расчётная полная мощность, МВА: 2,25.

Расчётная реактивная мощность, МВар: 0,97.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 42-43.

Таблица 42 - Параметры циклов плавки на проводах ВЛ по схеме «змейка»

Параметр	Значение					
Полный нач. выпрямленный ток, А	$I_A=$	817,1	$I_B=$	0,0	$I_C=$	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе, А	$I_A=$	817,1	$I_B=$	0,0	$I_C=$	0,0

Продолжение таблицы 42

Параметр	Значение					
	Ток в земле, А	$I_{з=}$	817,1			
Начальный фазный ток $\sim I$ , А	653,7					
Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	$I_{А=}$	812,7	$I_{В=}$	0,0	$I_{С=}$	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	$I_{А=}$	812,7	$I_{В=}$	0,0	$I_{С=}$	0,0
Ток в земле 1 цикл плавки, А	$I_{з=}$	812,7				
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки $\sim I$ , А	650,2					

Таблица 43 - Результаты расчётов на проводах ВЛ по схеме «змейка»

Параметр	Значение	
№ участка	1	2
Имя участка:	Кабель	Цементная
Тип провода:	1х А-800	1хАС-185/29
Температура воздуха:	0	0
Скорость ветра:	0	2
Угол атаки ветра:	0	0
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	4,28
Толщина стенки гололёда, см:	0	1,2
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	1,05
Удельный вес гололёда, г/см <sup>3</sup>	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	796,16
Ток 60-минутной плавки, А:	0	516,82
Ток преп. образ. гололёда, А:	0	0
Температура провода без гололёда при 1 цикле плавки:		
в фазе А:	0	95,69
в фазе В:	0	0,76
в фазе С:	0	0,76
Время плавки, мин:	Плавки нет	22,6

В результате выполненных расчётов для указанного режима плавки гололёда постоянным током по схеме фаза-фаза одна выпрямительная установка со стороны одной ПС, фаза-две фазы одна выпрямительной установкой со стороны одной ПС в различных метеоусловиях с принятой толщиной стенки гололёда 12 мм и времени плавки не более 60 минут, сделан вывод о возможности плавки гололёда на ВЛ.

### 3.6 Результаты расчёта плавки гололёда на участке ПС 110 кВ Жигулевская, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Зольное, ПС 110 кВ Зольное

Схема соединения: ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Зольное, ПС 110 кВ Зольное (Рисунок 10).

$X_{\text{сис}}=0,273$  Ом,  $U$  до ВУПГ=6,3 кВ. (Указано напряжение, подаваемое на вход регулируемой ВУПГ. В результатах расчёта ниже указано напряжение, которое необходимо подать на вход нерегулируемой ВУПГ в программе Гололёд 3.2 для получения аналогичных выходных параметров тока и напряжения).

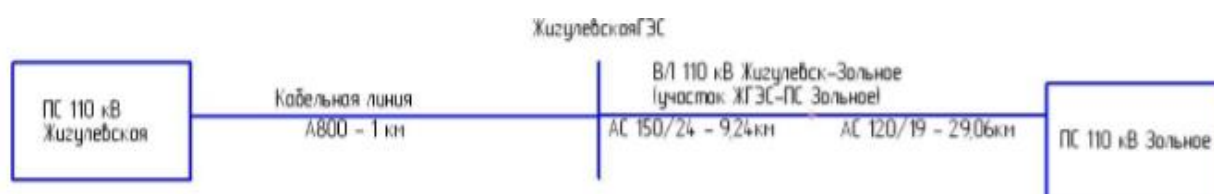


Рисунок 10 – ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Зольное, ПС 110 кВ Зольное.

Климатические условия:  $t=-5$  С,  $V=5$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 90 градусов).

Длина линии, км: 39,3.

Длина гололедного участка, км: 19,15.

Съема плавки: Фаза-фаза 2ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 2ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 5.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 5,35.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 13,14.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 13,95.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 10,41.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 15,58.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 9,46.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 13,6.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 9,97.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 3,14.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 14,4.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 4,73.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 44-45.

Таблица 44 - Параметры циклов плавки на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Зольное, ПС 110 кВ Зольное

Параметр	Значение					
	$I_A=$		$I_B=$		$I_C=$	
Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	$I_A=$	719,7	$I_B=$	719,7	$I_C=$	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	$I_A=$	719,7	$I_B=$	719,7	$I_C=$	0,0
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки $\sim I$ , А	575,79					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл плавки, А	$I_A=$	487,2	$I_B=$	487,2	$I_C=$	974,4
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл плавки, А	$I_A=$	487,2	$I_B=$	487,2	$I_C=$	974,4
Установившийся фазный ток 2 цикл плавки $\sim I$ , А	779,5					

Таблица 45 - Результаты расчётов на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Зольное, ПС 110 кВ Зольное

Параметр	Значение		
	1	2	3
№ участка	1	2	3
Имя участка:	Кабель	Зольное (150)	Зольное(120)
Тип провода:	1х А-800	1хАС-150/24	1хАС-120/19
Температура воздуха:	0	-5	-5
Скорость ветра:	0	5	5
Угол атаки ветра:	0	90	90
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	4,69	4,32
Толщина стенки гололёда, см:	0	1,6	1,6
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	1,3	1,16
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0,9	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	1149,73	981,89
Ток 60-минутной плавки, А:	0	578,41	478,64
Ток преп. образ. гололеда, А:	0	336,02	287,33

Продолжение таблицы 45

Параметр	Значение		
Температура провода без гололеда при 1 цикле плавки:			
в фазе А:	0	25,57	38,7
в фазе В:	0	25,57	38,7
в фазе С:	0	-4,71	-4,74
время плавки, мин:	Плавки нет	37,1	22,6
Температура провода без гололеда при 2 цикле плавки:			
в фазе А:	0	8,28	13,39
в фазе В:	0	8,28	13,39
в фазе С:	0	57,11	88,38
время плавки, мин:	Плавки нет	17,6	11

Климатические условия:  $t=0$  С,  $V=2$  м/с поперёк трассы ЛЭП (условный угол атаки ветра 0 градусов).

Длина линии, км: 39,3.

Длина гололедного участка, км: 38,3.

Схема плавки: Фаза-фаза 2ВУ со стороны 1ПС, Фаза-2фазы 2ВУ со стороны 1ПС.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (1 цикл): 3,8.

Расчётное напряжение плавки, кВ, до ВУПГ (2 цикл): 2,9.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (1 цикл): 9,96.

Расчётное напряжение плавки, кВ, после ВУПГ (2 цикл): 7,53.

Максимальная мощность плавки, МВт (1 цикл): 5,89.

Максимальная мощность плавки, МВт (2 цикл): 4,49.

Установившаяся мощность плавки, МВт (1 цикл): 5,84.

Установившаяся мощность плавки, МВт (2 цикл): 4,45.

Расчётная полная мощность, МВА (1 цикл): 6,17.

Расчётная полная мощность, МВА (2 цикл): 4,74.

Расчётная реактивная мощность, МВар (1 цикл): 1,99.

Расчётная реактивная мощность, МВар (2 цикл): 0,42.

Результаты и параметры расчётов на рассматриваемом участке указаны в таблице 46-47.

Таблица 46 - Параметры циклов плавки на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Зольное, ПС 110 кВ Зольное

Параметр	Значение					
	I <sub>A</sub> =		I <sub>B</sub> =		I <sub>C</sub> =	
Полный установ. выпрямленный ток 1 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	586,0	I <sub>B</sub> =	586,0	I <sub>C</sub> =	0,0
Выпрямленный ток в одном проводе 1 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	586,0	I <sub>B</sub> =	586,0	I <sub>C</sub> =	0,0
Установившийся фазный ток 1 цикл плавки ~I, А	468,8					
Полный установ. выпрямленный ток 2 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	295,2	I <sub>B</sub> =	295,2	I <sub>C</sub> =	590,5
Выпрямленный ток в одном проводе 2 цикл плавки, А	I <sub>A</sub> =	295,2	I <sub>B</sub> =	295,2	I <sub>C</sub> =	590,5
Установившийся фазный ток 2 цикл плавки ~I, А	472,4					

Таблица 47 - Результаты расчётов на участках ПС 110 кВ Жигулевская, Кабельная Линия, ЖГЭС, ВЛ 110 кВ Зольное, ПС 110 кВ Зольное

Параметр	Значение		
	1	2	3
№ участка	1	2	3
Имя участка:	Кабель	Зольное (150)	Зольное (120)
Тип провода:	1хА-800	1хАС-150/24	1хАС-120/19
Температура воздуха:	0	0	0
Скорость ветра:	0	2	2
Угол атаки ветра:	0	0	0
Диаметр гололёдной муфты, см:	0	4,69	4,32
Толщина стенки гололёда, см:	0	1,6	1,6
Вес 1м гололёдной муфты, кг:	0	1,3	1,16
Удельный вес гололеда, г/см <sup>3</sup>	0	0,9	0,9
Макс. допустимый ток провода, А:	5540,53	703,99	597,7
Ток 60-минутной плавки, А:	0	489,96	399,93
Ток преп. образ. гололеда, А:	0	0	0
Температура провода без гололеда при 1 цикле плавки:			
в фазе А:	0	58,40	86,45
в фазе В:	0	58,40	86,45
в фазе С:	0	0,76	0,69
время плавки, мин:	Плавки нет	46,6	30,1
Температура провода без гололеда при 2 цикле плавки:			
в фазе А:	0	13,52	18,61
в фазе В:	0	13,52	18,61
в фазе С:	0	59,43	88,09
Время плавки, мин:	Плавки нет	45,8	29,6

В результате выполненных расчётов для указанного режима плавки гололёда постоянным током по схеме фаза-фаза две выпрямительные установки со стороны одной ПС и фаза-две фазы две выпрямительные установки со стороны одной ПС в различных метеоусловиях с принятой толщиной стенки гололёда 16 мм и времени плавки не более 60 минут, сделан вывод о возможности плавки гололёда на ВЛ.

Вывод по итогам раздела: проведены расчёты плавки гололёда постоянным током и получены параметры плавки гололёда на рассматриваемых воздушных линиях. В качестве схем плавки были приняты схемы «фаза-фаза» для первого цикла плавки и схема «две фазы-фаза» для второго цикла. Для коротких участков схему «змейка». Другие схемы плавки постоянным током были рассмотрены, но ввиду того, что они требуют три цикла плавки и осуществляют процесс плавки более длительно от них было решено отказаться.

#### 4 Предварительный выбор оборудования, общие выводы

Предварительный выбор оборудования производился путём анализа существующего оборудования на объектах и определены возможные доработки для внедрения системы плавки гололёда постоянным током.

В качестве управляемого выпрямителя для плавки гололёда постоянным током на проводах ВЛ на всех рассматриваемых участках намечаем к установке ВУПГ-10/1200. Выбор выпрямительной установки производился из анализа существующих решений по плавке постоянным током [1], [5], [9], [13].

Параметры ВУПГ-10/1200 указаны в таблице 48.

Таблица 48 - Основные технические данные ВУПГ-10/1200

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Номинальное линейное напряжение на входе (действующее значение)	$U_{ном}$	кВ	10
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение на входе	$U_{доп}$	кВ	12
Номинальный выпрямленный ток (среднее значение)	$I_{дном}$	А	1200
Пределы регулирования выпрямленного тока	$I_{dmin} - I_{дном}$	А	$100 - I_{дном}$
Номинальное выпрямленное напряжение	$U_{дном}$	кВ	14
Минимальное выпрямленное напряжение	$U_{dmin}$	кВ	1
Номинальная активная мощность на выходе	$P_{дном}$	МВт	16,8
Коэффициент полезного действия в номинальном режиме, не менее	-	%	99,5
Количество тиристорных вентилях в МВ	N	Шт.	6
Количество последовательно соединенных тиристоров в вентиле	-	Шт.	8
Тип тиристора	T273-1250-44		
Охлаждение	Воздушное принудительное		
Мощность, потребляемая собственными нуждами, не более	-	кВт	8,0



Продолжение таблицы 48

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Рабочий диапазон температур - моста выпрямительного; - САУ ВУПГ; - ПУ ВУПГ	-	°С	-25 - +20 -25 - +40 -10 - +40

ПС 110 кВ Жигулевская:

Для организации плавки постоянным током, на ПС 110 кВ Жигулевская потребуется установка двух соединенных последовательно управляемых тиристорных выпрямителей контейнерного типа, преобразующих трехфазный переменный ток в выпрямленный (постоянный) ток, регулируемый по величине. Оперативное управление (включение, регулирование тока нагрузки, отключение) выпрямителями осуществляется системой управления, регулирования, защиты и автоматики (СУРЗА). СУРЗА производит автоматический контроль состояния выпрямительной установки, не допускает возможности ошибочного изменения последовательности операций при пуске, поддерживает заданный ток плавки гололеда и производит отключение устройства плавки гололеда при возникновении аварийных ситуаций. СУРЗА управляет коммутационными аппаратами выпрямителей, что позволяющую изменять схему плавки гололеда в зависимости от цикла плавки. Питание выпрямителей будет осуществляться от обмоток 6 кВ существующих силовых трансформаторов через комплектное распределительное устройство. В непосредственной близости к Жигулевской ГЭС предусматривается установка шести переключательных пунктов, располагающихся около существующих опор ВЛ 110 кВ. Провод, спускающийся с опоры к каждому пункту, через приемный портал подключается к разъединителю 110 кВ. Разъединитель препятствует попаданию напряжения 110 кВ на оборудование плавки при нормальном режиме работы ВЛ 110 кВ. Подходящие к каждому пункту кабельные линии 20 кВ оканчиваются блоком концевых кабельных муфт,

подключаемых к разъединителям. Для подключения выпрямительных устройств к переключательным пунктам у Жигулевской ГЭС необходима прокладка КЛ 3(1x800) ориентировочно длиной 1 км. Для организации плавки постоянным током с ПС 110 кВ Жигулевская потребуется установка дополнительно двух ячеек КРУН 6 кВ, двух выпрямительных устройств плавки гололёда контейнерного типа с выходным напряжением 8,9 кВ мощностью 14 МВт с возможностью регулирования тока плавки и системой управляемых коммутационных аппаратов переключения режимов плавки. Питание выпрямительных устройств осуществляется от двух существующих силовых трансформаторов ТДТН-25000/110/35/6 кВ. Выпрямительные устройства плавки гололёда соединяются последовательно для увеличения напряжения плавки.

В непосредственной близости к Жигулевской ГЭС предусматривается установка переключательного пункта, состоящего из шести блоков с трехполюсными разъединителями 110 кВ для подачи постоянного тока на провода ВЛ 110 кВ. Для подключения выпрямительных устройств к переключательным пунктам у Жигулевской ГЭС необходима прокладка КЛ 3(1x800) ориентировочно длиной 1 км.

На ПС 110 кВ Переволоки тяговая, ПС 110 кВ Услава тяговая, ПС 110 кВ Зольное, ПС 110 кВ Цементная, ПС 110 кВ Александровка потребуется установка заворачивающих однополюсных разъединителей 110 кВ.

Ток КЗ на шинах 6 кВ ПС 110 кВ Жигулевская составляет 14,137 кА.

В соответствии с расчетами плавки гололеда постоянным током максимальное напряжение плавки 13,95 кВ, максимальный ток 788,9 А, принимаем к установке два управляемых выпрямителя для плавки гололеда, соединенные последовательно со следующими характеристиками

- номинальное линейное напряжение на входе 6,3 кВ;
- максимальный выходной ток 1600 А;
- пределы регулирования выпрямленного тока 100-1600 А;

- номинальное выпрямленное напряжение при холостом ходе 8,9 кВ;
- максимальное выпрямленное напряжение при работе на линию 8,4 кВ;
- минимальное выпрямленное напряжение при работе на линию 0,6 кВ;
- номинальная мощность 14 МВА;
- изоляция соответствует классу напряжения 6 кВ.

Выбор основного оборудования на ПС 110 кВ Жигулевская указан в таблице 49,50.

Таблица 49 - Выбор основного оборудования на ПС 110 кВ Жигулевская для плавки гололёда

Наименование цепи	Расчётные данные				Тип аппаратуры	Гарантийные данные			
	I <sub>н</sub> , А	I <sub>к.з.</sub> , А	I <sub>уд</sub> , КА	I <sub>терм</sub> , КА		I <sub>н</sub> , А	I <sub>к.з.</sub> , А	I <sub>уд</sub> , КА	I <sub>терм</sub> , КА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Выключатели									
Отх. Линии 6 кВ к ВУПГ	128 3	14,1 4	36,1	13,4	6 кВ	16 00	20	51	20
Трансформаторы тока									
Отх. Линии 6 кВ к ВУПГ	128 3	14,1 4	36,1	13,4	6 кВ	15 00	20	51	20

Таблица 50 - Выбор основного оборудования на переключательном пункте плавки гололёда на линиях 110 кВ, за границами Жигулевской ГЭС

Наименование цепи	Расчётные данные				Тип аппаратуры	Гарантийные данные			
	I <sub>н</sub> , А	I <sub>к.з.</sub> , А	I <sub>уд</sub> , КА	I <sub>терм</sub> , КА		I <sub>н</sub> , А	I <sub>к.з.</sub> , А	I <sub>уд</sub> , КА	I <sub>терм</sub> , КА
Разъединители									
Плавка гололёда 110 кВ	78 8,9	1,6	4,08	1,5	110 кВ	1000	-	80	31,5

ПС 110 кВ Печерский берег:

Питающий и переключательные пункты рядом с ПС 110 кВ Печерский берег тяговая. Источником постоянного тока в питающем пункте является управляемый тиристорный выпрямитель контейнерного типа, преобразующий трехфазный переменный ток в выпрямленный (постоянный) ток, регулируемый по величине. Оперативное управление (включение, регулирование тока нагрузки, отключение) выпрямителями осуществляется системой управления, регулирования, защиты и автоматики (СУРЗА). СУРЗА производит автоматический контроль состояния выпрямительной установки, не допускает возможности ошибочного изменения последовательности операций при пуске, поддерживает заданный ток плавки гололеда и производит отключение устройства плавки гололеда при возникновении аварийных ситуаций. СУРЗА управляет коммутационными аппаратами выпрямителей, что позволяющую изменять схему плавки гололеда в зависимости от цикла плавки. Питание выпрямителя осуществляется от силового трансформатора через комплектное распределительное устройство. Ввод ВН силового трансформатора защищен нелинейным ограничителем перенапряжений, а к нулевому вводу также подключен заземляющий разъединитель. Для защиты от возможного механического повреждения подключение к вводам трансформатора токоведущих частей осуществляется через кронштейны с опорными изоляторами, принимающими на себя нагрузку от натяжения провода. Отключение силового трансформатора от сети по высокой стороне осуществляется с помощью высоковольтного выключателя, комплектуемого измерительными трансформаторами тока. Разъединитель между выключателем и силовым трансформатором позволяет безопасно выводить выключатель на обслуживание. Подходящие к пункту кабельные линии 110 кВ оканчиваются блоками концевых кабельных муфт. Разъединители, подключенные к блокам, служат для коммутации высоковольтной линии, от которой предполагается осуществлять питание при плавке. Ток от

замкнутого разъединителя поступает на систему шин 110 кВ, после чего передается через выключатель на силовой трансформатор. На территории питающего пункта устанавливается дополнительный контейнер для размещения оборудования РЗА ПС и ДГУ собственных нужд. В непосредственной близости от территории пункта располагается маслосборник силового трансформатора. Переключательные пункты для плавки ВЛ 110 кВ Услава тяговая – Печерский Берег тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-2 уч. ПС Печерский Берег – ПС Услава) и ВЛ 110 кВ Печерский Берег тяговая – Разъезд-2 тяговая (ВЛ 110 кВ Печерская-2 уч. ПС Печерский Берег-ПС Разъезд-2) располагаются около существующих опор ВЛ 110 кВ. Провод, спускающийся с опоры к каждому пункту, через приемный портал подключается к разъединителю 110 кВ. Разъединитель препятствует попаданию напряжения 110 кВ на оборудование плавки при нормальном режиме работы ВЛ 110 кВ. В непосредственной близости к ПС 110 кВ Печерский берег тяговая располагается питающий пункт 110/10 кВ со схемой РУ 110 кВ в виде 1 блока с выключателем 110 кВ и двумя разъединителями 110 кВ, подключаемыми к ВЛ 110 кВ Жигулевская ГЭС – Переволоки тяговая с отпайкой на ПС Отвага тяговая (ВЛ 110 кВ Жигулевская-1 уч. ЖГЭС-ПС Переволоки) и ВЛ 110 кВ Печерский Берег тяговая – Правая Волга тяговая (ВЛ 110 кВ Печерская-1), ОПН-110 кВ, силовым двухобмоточным трансформатором 110/10 кВ мощностью 16 МВА, ячейками КРУН 10 кВ, одним выпрямительным устройством плавки гололёда контейнерного типа с выходным напряжением 15 кВ мощностью 22,4 МВт с возможностью регулирования тока плавки, дополнительными контейнерами для размещения системы управляемых коммутационных аппаратов переключения режимов плавки, оборудования РЗА ПС и ДГУ собственных нужд.

Также предусматривается установка переключательного пункта, состоящего из пяти блоков с трехполусными разъединителями 110 кВ для подачи постоянного тока на провода ВЛ 110 кВ.

На ПС 110 кВ Переволоки тяговая, ПС 110 кВ Услава тяговая, ПС 110 кВ Правая Волга тяговая, ПС 110 кВ Разъезд-2 тяговая, ПС 110 кВ Шигоны предусматривается установка закорачивающих однополюсных разъединителей 110 кВ.

Питающий пункт плавки гололеда на линиях 110 кВ, за границами ПС 110 кВ Печерский берег тяговая в соответствии с расчетами плавки гололеда постоянным током максимальное напряжение плавки 11,52 кВ, максимальный фазный ток 691,1 А.

Принимаем к установке управляемый выпрямитель для плавки гололеда со следующими характеристиками:

- номинальное линейное напряжение на входе –10,5 кВ;
- наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение на входе - 11 кВ;
- максимальный выходной ток 1600 А;
- пределы регулирования выпрямленного тока 100-1600 А;
- номинальное выпрямленное напряжение при холостом ходе 14,8 кВ;
- номинальное выпрямленное напряжение при работе на линию 14 кВ;
- минимальное выпрямленное напряжение при работе на линию 1 кВ;
- номинальная активная мощность на выходе 22,4 МВт;
- изоляция соответствует классу напряжения 10 кВ.

Мощность трансформатора определяем по формуле 1 из источника [3]:

$$S = 0,817 \cdot \sqrt{3} \cdot I_d \cdot U_{л}, \quad (1)$$

где  $U_{л}$  – линейное напряжение обмотки НН;

$I_d$  – максимальный ток плавки гололёда.

$$S = 0,817 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,691 \cdot 10,5 = 10,3 \text{ МВА}$$

Принимаем к установке трехфазный, двухобмоточный, силовой трансформатор:

- мощностью 16000 кВА;
- напряжение 110/10 кВ.

Ток КЗ на шинах 110 кВ ПС 110 кВ Печерский берег тяговая составляет 10,471 кА (Таблица 51).

Таблица 51 - Ток КЗ на шинах 110 и 10 кВ ПП плавки гололёда на линиях 110 кВ за границами ПС 110 кВ Печерский берег тяговая

Место КЗ	$I^{(3)}$ , кА (приведенный к своему напряжению)
Шины 110 кВ	10,471
Шины 10 кВ	7,812

Выбор основного оборудования (таблица 52,53):

Таблица 52 – Основное оборудование для ПС 110 кВ Печерский берег

Наименование цепи	Расчётные данные				Тип аппаратуры	Гарантийные данные			
	$I_n$ , А	$I_{к.з.}$ , кА	$I_{уд.}$ , кА	$I_{терм.}$ , кА		$I_n$ , А	$I_{откл.}$ , кА	$I_{дин.}$ , кА	$I_{терм.}$ , кА
<b>Выключатели</b>									
Ввод 110 кВ	80	10,47	26,7	10	110 кВ	2500	40	102	40
Отх. линии 10 кВ ВУПГ	1232	7,81	18,34	6,8	10 кВ	1600	20	51	20
<b>Трансформаторы тока</b>									
Ввод 110 кВ	84	10,47	26,7	10	110 кВ	200	-	51	20
Отх. линии 10 кВ ВУПГ	1232	7,81	18,34	6,8	10 кВ	1500	-	51	20
<b>Разъединители</b>									
Ввод 110 кВ	84	10,47	26,7	10	110 кВ	1000	-	51	20
Трансформатор Т-1 сторона 110 кВ	84	10,47	26,7	10	110 кВ	1000	-	51	20

Таблица 53 - Выбор основного оборудования на переключательном пункте плавки гололёда на линиях 110 кВ, за границами ПС Печерский берег тяговая

Наименование цепи	Расчётные данные				Тип аппаратуры	Гарантийные данные			
	$I_n, A$	$I_{к.з.}, A$	$I_{уд}, кА$	$I_{терм}, кА$		$I_n, A$	$I_{отк.}, A$	$I_{уд}, кА$	$I_{терм}, кА$
<b>Разъединители</b>									
Плавка гололёда 110 кВ	691,1	1,6	4,08	1,5	110 кВ	1000	-	80	31,5
Отх. линии 110 кВ к питающему пункту	84	10,471	26,7	10	110 кВ	1000	-	51	20

Вывод по разделу: По полученным данным и рассматриваемым участкам воздушных линий были определены мероприятия по внедрению нового оборудования и требуемые модернизации на ПС 110 кВ Жигулевская и ПС 110 кВ Печерский берег.



## Заключение

Для достижения поставленной цели в начале выпускной квалификационной работы был проведен анализ воздушных линий 110 кВ отходящих от Жигулевской ГЭС. По результатам анализа были определены наиболее подверженные гололёдно-изморозевым отложениям линии: Жигулевская-1, Жигулевская-2, Печерская-1, Жигулевск-Зольное, Цементная-1, Цементная-2, Александровка-2.

Далее был проведен анализ существующих схем и программ плавки гололёда на выбранных линиях. Определены преимущества и недостатки текущих программ плавки, с целью устранения недостатков при разработке нового решения и по возможности сохранения преимуществ.

В результате определения нового решения для плавки, была выбрана схема плавки путём постоянного тока. Выбор был основан на следующих преимуществах данного способа плавки:

- снижения требуемой мощности для плавки;
- возможность регулирования тока плавки;
- плавный пуск и отключения выпрямителя, что позволяет избежать перенапряжения и облегчает работу коммутационной аппаратуры;
- минимальный монтаж новой системы ввиду того, что установка для плавки поставляется в собранном виде в стандартном транспортном контейнере.

В качестве схем плавки были приняты схемы «фаза-фаза» для первого цикла плавки и схема «две фазы-фаза» для второго цикла. Для коротких участков выбрана схема «змейка». Иные схемы плавки постоянным током были рассмотрены, но ввиду того, что они требуют три цикла плавки и осуществляют процесс плавки более длительно от них было решено отказаться.

Для определения параметров плавки были проведены расчёты по линиям в специализированном программном обеспечении «Гололёд версии 3.2». Результаты расчётов и параметры плавки указаны в разделе 3.

По полученным данным и рассматриваемым участкам воздушных линий были определены мероприятия по внедрению нового оборудования и требуемые модернизации на ПС 110 кВ Жигулевская и ПС 110 кВ Печерский берег. Предварительный выбор оборудования производился путём анализа существующего оборудования на объектах. В качестве управляемого выпрямителя для плавки гололёда постоянным током на проводах ВЛ на всех рассматриваемых участках намечен к установке ВУПГ-10/1200.

## Список используемой литературы и источников

1. Анализ и устранение причин отказов установки плавки гололёда ВУПГ 1200-1400 в энергосистеме Сахалинской области [Электронный ресурс]: URL: <https://moluch.ru/archive/242/55928/> (дата обращения: 11.04.2021).

2. Борьба с гололёдообразованием на ВЛ [Электронный ресурс]: URL: [https://studopedia.ru/19\\_298546\\_borba-s-gololedoobrazovaniem-na-vl.html/](https://studopedia.ru/19_298546_borba-s-gololedoobrazovaniem-na-vl.html/) (дата обращения: 11.04.2021).

3. Вахнина В. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина, А. Н. Черненко ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - Тольятти : ТГУ, 2015. - 46 с. : ил. - Библиогр.: с. 35. - Прил.: с. 36-46. - ISBN 978-5-8259-0915-8. (дата обращения: 11.04.2021).

4. Вахнина В. В. Положение о выпускной квалификационной работе бакалавров [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие для студентов направления 140200 "Электроэнергетика" / В. В. Вахнина, О. В. Самолина ; ТГУ ; Электротехн. фак. ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2009. - 15 с. - Прил.: с. 10-14. (дата обращения: 11.04.2021)

5. Выпрямитель для плавки гололеда, плавка гололеда ООО Энергия-Т [Электронный ресурс]: URL: [https://www.energy-t.ru/catalog/preobrazovatel'naya-texnika/vyipryamitel-upravlyaemyij-dlya-plavki-gololeda-\(vupg\).html?tab=tab-description](https://www.energy-t.ru/catalog/preobrazovatel'naya-texnika/vyipryamitel-upravlyaemyij-dlya-plavki-gololeda-(vupg).html?tab=tab-description) (дата обращения: 11.04.2021)

6. Защита ВЛ от гололёда [Электронный ресурс]: URL: <https://elektromontagnik.ru/?address=lectures/part2/&page=page14> (дата обращения: 11.04.2021).

7. Иванов В. Н. Применение компьютерных технологий при проектировании электрических схем [Электронный ресурс]: учебник / В. Н. Иванов. - Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2017. - 226 с. - ISBN 978-5-91359-229-3. (дата обращения: 11.04.2021).

8. Методы борьбы с обледенением ЛЭП [Электронный ресурс]: URL: <https://pandia.ru/text/80/410/818.php> (дата обращения: 11.04.2021).

9. Мобильная система управляемой плавки гололеда [Электронный ресурс]: URL: [https://piterenergomash.ru/images/pdf/MSUPG\\_PEM.pdf](https://piterenergomash.ru/images/pdf/MSUPG_PEM.pdf) (дата обращения: 11.04.2021).

10. Плавка гололеда на проводах линий электропередачи напряжением 6 — 10 кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://srtmx.ru/novoe/plavka-gololeda.html> (дата обращения: 11.04.2021).

11. Плавка гололёда на проводах линий электропередачи [Электронный ресурс]: URL: [https://ozlib.com/855149/tehnika/plavka\\_gololeda\\_provodah\\_linii\\_elektroperedaci](https://ozlib.com/855149/tehnika/plavka_gololeda_provodah_linii_elektroperedaci) (дата обращения: 11.04.2021).

12. Постоянный ток плавка гололёда [Электронный ресурс]: URL: <https://vdn-plus.ru/postoyannyi-tok-plavka-gololeda/> (дата обращения: 11.04.2021).

13. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС. (дата обращения: 11.04.2021).

14. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий – влияние параметров ВЛ на процесс гололедообразования [Электронный ресурс]: URL: <https://leg.co.ua/arhiv/vl-arhiv/predotvraschenie-i-likvidaciya-gololednyh-avariy-4.html> (дата обращения: 11.04.2021).

15. Соловьев А. Л. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Л. Соловьев, М. А. Шабад ; под ред. А. В. Беляева. - Санкт-Петербург : Политехника, 2016. - 175 с. : ил. - ISBN 978-5-7325-1100-0. (дата обращения: 11.04.2021).

16. Современные методы борьбы с гололедными отложениями на проводах воздушных линий электропередачи средствами силовой электроники [Электронный ресурс]: URL: <https://www.energy-t.ru/about/articles/sovremennyye-metodyi-borbyi-s-gololyodnyimi-otlozheniyami->

[na-provodax-vozdushnyix-linij-elektroperedachi-sredstvami-silovoj-elektroniki.html](http://na-provodax-vozdushnyix-linij-elektroperedachi-sredstvami-silovoj-elektroniki.html) (дата обращения: 11.04.2021).

17. Способ плавки гололеда на воздушных линиях электропередачи 6(10)кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://findpatent.ru/patent/247/2478244.html> (дата обращения: 11.04.2021).

18. Best Practice Manual For Transformers. [Электронный ресурс]: URL: <https://electrical-engineering-portal.com/res/Best-Practice%20Manual-Transformers.pdf> (дата обращения: 16.09.2021).

19. Guide to Forms of Separation – Low Voltage Switchgear and Controlgear Assemblies to BS EN 61439-2 [Электронный ресурс]: URL: <https://electrical-engineering-portal.com/res/Guide-to-forms-of-separation-final.pdf> (дата обращения: 16.09.2021).

20. InTech-Icing and anti icing of railway contact wires [Электронный ресурс]: URL: [https://cdn.intechopen.com/pdfs/34439/InTech-Icing\\_and\\_anti\\_icing\\_of\\_railway\\_contact\\_wires.pdf](https://cdn.intechopen.com/pdfs/34439/InTech-Icing_and_anti_icing_of_railway_contact_wires.pdf) (дата обращения: 16.09.2021).

21. InTech-Icing and anti icing of railway contact wires [Электронный ресурс]: URL: [https://cdn.intechopen.com/pdfs/34439/InTech-Icing\\_and\\_anti\\_icing\\_of\\_railway\\_contact\\_wires.pdf](https://cdn.intechopen.com/pdfs/34439/InTech-Icing_and_anti_icing_of_railway_contact_wires.pdf) (дата обращения: 16.09.2021).

22. Medium Voltage Switching Devices Selection for application and purpose [Электронный ресурс]: URL: <https://electrical-engineering-portal.com/res/MV-Switching-devices-selection-for-application.pdf> (дата обращения: 16.09.2021).

23. Modeling of Ice Accretion on Wires in: Journal of Applied Meteorology and Climatology. [Электронный ресурс]: URL: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/23/6/1520-0450\\_1984\\_023\\_0929\\_moiaow\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/23/6/1520-0450_1984_023_0929_moiaow_2_0_co_2.xml) (дата обращения: 16.09.2021).

24. Protection of Electrical Networks. [Электронный ресурс]: URL: <https://electrical-engineering-portal.com/res/Protection-of-Electrical-Networks.pdf> (дата обращения: 16.09.2021).

25. Selecting Energy Efficient Distribution Transformers. [Электронный ресурс]: URL: <https://electrical-engineering-portal.com/res/Selecting-Energy-Efficient-Distribution-Transformers.pdf> (дата обращения: 18.08.2021).