

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)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность

(направленность (профиль))

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка технических предложений по реконструкции системы постоянного оперативного тока ПС 500 кВ и оценка экономической эффективности предложенных решений

Обучающийся

П.Г. Горбунов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Содержание

Введение.....	4
Перечень сокращений и обозначений.....	7
1 Анализ текущего состояния СОПТ на подстанции «Курдюм».....	8
2 Реконструкция система оперативного постоянного тока ПС «Курдюм» ....	22
2.1 Аккумуляторная батарея .....	23
2.2 Расчёт нагрузок постоянного тока .....	24
2.3 Выбор аккумуляторной батареи.....	24
2.4 Выбор зарядных устройств .....	32
2.5 Расчёт токов короткого замыкания, выбор защитной аппаратуры и кабелей .....	36
2.6 Кабельное хозяйство .....	44
2.7 Электротехнические решения.....	45
2.7.1 Установка аккумуляторной батареи .....	46
2.7.2 Установка зарядно-выпрямительных устройств.....	46
2.8 Обеспечение ЭМС.....	47
2.9 Организация эксплуатации .....	50
2.9.1 Организация эксплуатации стационарных свинцово- кислотных аккумуляторных батарей OPzS, GroE, OGi, OCSM .....	50
2.9.2 Организация эксплуатации устройства зарядно подзарядного тиристорного УЗП .....	58
3 Оценка эффективности инвестиций.....	63
3.1 Обоснование потребности в строительных кадрах .....	64
3.2 Общие положения оценки эффективности и финансовой реализуемости инвестиционного проекта.....	66
3.3 Чистый дисконтированный доход (NPV) .....	68
3.4 Внутренняя норма доходности (IRR).....	70
3.5 Срок окупаемости простой .....	70
3.6 Срок окупаемости дисконтированный .....	71

Заключение .....	73
Список используемой литературы .....	77

## Введение

ПС 500 кВ Курдюм расположена на территории Татищевского района Саратовской области северо-западнее п. Сторожовка на расстоянии около 3 км. Климатический район I подрайон IV.

В настоящей работе предусматривается разработка мероприятий по:

- замене существующих аккумуляторных батарей;
- замене подзарядных устройств;
- выполнению работ, сопутствующих установке нового оборудования.

На рисунке 1 представлено ее местоположение на географической карте.



Рисунок 1 - ПС 500 кВ «Курдюм»

Перечень установленного оборудования на ПС 500 кВ «Курдюм» приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Сводный перечень установленного оборудования

Наименование элементов ПС	Тип оборудования, характеристика ПС
Тип распределительного устройства (конструктивное исполнение распределительных устройств (ОРУ, ЗРУ, КРУЭ))	ОРУ 500 кВ, ОРУ 220 кВ, ОРУ 110 кВ, ОРУ 35 кВ, КРУН-10 АТ-2, КРУН-10 АТ-3, ЗРУ-10 кВ Т-4.
Трансформаторы силовые	АОДЦТН-167000-500/220/10 – 7шт. АТДЦТН-200000-220/110/35 – 1шт. ТРДНС-40000-35/10. - 1шт. ТРДЦТН-100000/220/10-10 У1 – 1шт.
Суммарная установленная мощность	1509 МВА.
Линейные вводы количество по напряжениям	ВЛ-500 кВ – 2 линии ВЛ-220 кВ – 3 линии ВЛ-110 кВ – 13 линий
Высоковольтные выключатели	НРЛ-500-2 шт., GL-317 – 3 шт., ВГТ-220-40/2500 У1 – 2шт, ВГТ-110 -1 шт, ВГТ-110 П40/3150 У1 – 1шт, ВВД-220Б – 1шт., ВВБ-220Б – 6шт., ВВБМ-110М – 15шт., ВВН-35 – 1 шт., ВВУ-35 – 1 шт., ВКЭ-10 – 6 шт., ВБЭ-10 – 6 шт., ВВУ-СЭЦ-10-31,5/3150 – 4шт.
Разъединители	РНД(3)-2-500/3200 – 10шт. РНД(3)-2-220/1000-2000 – 31шт. РНД(3)-2-110/1000-2000 – 78шт РГ-2-500/3200-9 шт. РГ-2-110-2000-8 шт. РГ-2-220-2000-8 шт.
Компенсирующие устройства (ШР, БСК, СК, СТК...)	Р-2-500: РОМБСМ-60000/500-УХЛ1 – 3 фазы
Токоограничивающие и специальные реакторы	РБНГ-10-2500 – 6 шт. РБГ-10-1600 – 6 шт. CLR75/3200/1,59 – 6шт.
Трансформаторы напряжения	НКФ-500 – 3 фазы, НКФ-220 – 6 фаз, НКФ-110 – 7 фаз, НАМИ-500-3 фазы, НАМИ-220-1 фаза, ТЕМР-550- 3 фазы, ТЕМР-500I-ТО91487 RU- 3 фазы, НТМИ-10-66 У3- 2 шт.

Продолжение таблицы 1

Наименование элементов ПС	Тип оборудования, характеристика ПС
Трансформаторы тока	IOSK-550 – 9 шт. СА-525- 6 шт. СА-245-3 шт. IOSK-245-21 шт. ТФЗМ-220Б – 3 шт. ТФЗМ-110Б – 6 шт. ТФМ-110 – 6 шт. IOSK-123 –27 шт. ТОГМ-110-IV – 9 шт. ТФЗМ-35Б – 6 шт. ТФНД-35 – 6 шт. ТОЛ-35Ш-V-4-3000/5 - 6 шт. ТШЛ-10 - 6 шт.
Аккумуляторная батарея	АКБ =220В OpzS-350 -2шт.
Компрессорное хозяйство	Компрессоры ВШВ-3/100 -5шт.
Дизель-генераторы (мощность, параметры, схема подключения)	АД30, стационарный

Основное вторичное оборудование подстанции, элементы управления, мониторинга, связи, учета, СОПТ, щит собственных нужд 0,4 кВ установлены в здании ОПУ ПС 500 кВ «Курдюм». Здание двухэтажное из железобетонных панелей с кирпичными перегородками, отапливаемое, имеющее сети канализации, водопровода и освещения.

Подстанция обслуживаемая. Организовано постоянное круглосуточное дежурство и работа оперативного персонала.

Цель работы заключается в повышении надежности функционирования систем подстанции «Курдюм» путем разработки мероприятий по замене элементов системы постоянного оперативного тока на новые.

Поставленная цель достигается решением следующих задач, которые поставлены в данной работе:

- Анализ текущего состояния СОПТ на подстанции «Курдюм»;
- Разработка мероприятий по реконструкции системы оперативного постоянного тока ПС «Курдюм»;
- Оценка эффективности инвестиций.

## Перечень сокращений и обозначений

- АБ – аккумуляторная батарея;
- «АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом»;
- АУВ – автоматика управления выключателем;
- ЗВУ – зарядно-выпрямительное устройство;
- ЗРУ – закрытое распределительное устройство;
- КЗ – короткое замыкание;
- КРУ – комплектное распределительное устройство;
- МП – микропроцессорное устройство;
- ПА – противоаварийная автоматика;
- ПС – подстанция;
- РЗА – релейная защита и автоматика;
- РУ – распределительное устройство;
- СОПТ – система оперативного постоянного тока» [3];
- ЦС – центральная сигнализация;
- ЩПТ – щит постоянного тока;
- ЭМВ - электромагнит включения выключателя;
- ЭМО - электромагнит отключения выключателя;
- ЭМС – электромагнитная совместимость.

## 1 Анализ текущего состояния СОПТ на подстанции «Курдюм»

В рамках проведения предпроектного обследования подстанции в части СОПТ был произведен осмотр объекта и входящего в его состав оборудования. Выполнен сбор исходных данных (имеющихся на объекте) по типам установленного оборудования, сроках его эксплуатации, техническом состоянии и технических параметрах. Выполнен замер помещений с определением возможности установки нового оборудования.

В таблицах 2-4 приведены данные, описывающие систему оперативного постоянного тока ПС 500 кВ «Курдюм».

Таблица 2 - Характеристики ЩПТ

Паспортные данные	Диспетчерское наименование	
	ЩПТ-1 ПС 500кВ Курдюм	ЩПТ-2 ПС 500кВ Курдюм
Тип	Щитовой	Щитовой
Завод-изготовитель	н/д	н/д
Заводской номер	н/д	н/д
Год ввода в эксплуатацию	н/д	н/д
Номинальная мощность, кВт	н/д	н/д
Количество секций, шт	2	2
Номинальное напряжение, DC	=220В	=220В
Номинальный ток	н/д	н/д
Номинальное напряжение, AC	~380В	~380В
Количество фидеров распределения, шт.	22	4
Наличие контроля изоляции	Да (без пофидерного контроля)	Да (без пофидерного контроля)
Количество вводов питания от АБ, шт.	1	1
Количество вводов питания от ЗУ, шт.	2	2

Таблица 3 - Характеристики АБ

Паспортные данные	Диспетчерское наименование	
	АБ-1 ПС 500кВ Курдюм	АБ-2 ПС 500кВ Курдюм
Тип	5OPzS-350	5OPzS-350
Завод-изготовитель	НОРРЕСЕ, Германия	НОРРЕСЕ, Германия
Год выпуска	1996	1996
Год ввода в эксплуатацию	1997	1997
Ёмкость, Ач	350	350
Номинальное напряжение, В	220	220
Напряжение на половине элементов АБ (в средней точке), В	н/д	н/д
Внутреннее сопротивление, Ом	н/д	н/д
Ток короткого замыкания, А	н/д	н/д
Количество элементов АБ, шт.	110	110
Количество «хвостовых» элементов АБ, шт.	6	6
Параметры элементов АБ:	-	-
Напряжение 1 элемента, В	2,23	2,23
Плотность электролита 1 элемента	1,24 кг/л (номинальная)	1,24 кг/л (номинальная)
Наличие шлама в 1 элементе	Наблюдается шлам	Наблюдается шлам
Элементы, характеристики которых выходят за допустимые пределы, № элемента/параметр отклонения	н/д	н/д

Таблица 4 - Характеристики ЗУ

Паспортные данные	Диспетчерское наименование			
	1ВУ	2ВУ	3ВУ	4ВУ
Тип	ВАЗП 380/260-40/80	ВАЗП 380/260-40/80	ВАЗП 380/260-40/80	ВАЗП 380/260-40/80
Завод-изготовитель	«Электроцит» г. Москва	«Электроцит» г. Москва	«Электроцит» г. Москва	«Электроцит» г. Москва
Заводской номер	н/д	н/д	н/д	н/д

Продолжение таблицы 4

Паспортные данные	Диспетчерское наименование			
	1ВУ	2ВУ	3ВУ	4ВУ
Год выпуска	1977	1977	1983	1983
Год ввода в эксплуатацию	1977	1977	1983	1983
Номинальная мощность, кВт	н/д	н/д	н/д	н/д
Пределы регулирования $U=$ , В	н/д	н/д	н/д	н/д
Пределы регулирования $I=$ , А	н/д	н/д	н/д	н/д

На ПС 500 кВ «Курдюм» установлены две свинцово-кислотные аккумуляторные батареи типа 5OPzS-350 емкостью 350Ач каждая. Аккумуляторная батарея АБ-1 состоит из 110 элементов. Аккумуляторная батарея АБ-2 состоит из 110 элементов. Электролит в элементах аккумуляторных батарей находится на одном уровне по всем элементам АБ. Положительные электроды элементов АБ имеют все признаки начинающейся глубокой ненормальной сульфатации и коррозии, что обусловлено сроком их службы. Цвет положительных электродов – черный. На данный момент срок эксплуатации, установленных АБ составляет 22 года. Аккумуляторные батареи установлены в отдельных помещениях здания ОПУ. Ошиновка АБ выполнена медными круглыми шинами по изоляторам до проходной доски. Кабель от проходной доски помещения аккумуляторной батареи до щита постоянного тока проложен в закладных трубах и кабельных лотках. Перед входом в помещение АБ имеется тамбур. Напольное покрытие помещений АБ находится в удовлетворительном состоянии. Стены в удовлетворительном состоянии. Явно выраженных следов осыпания и разрушения штукатурных слоев не наблюдается. Учитывая длительный срок службы вновь устанавливаемых аккумуляторных батарей, рекомендуется произвести ремонт помещений аккумуляторных батарей АБ-1 и АБ-2, а также произвести замену

входных дверей на противопожарные. На рисунке 2 приведен внешний вид аккумуляторной батареи АБ-1, на рисунке 3 - АБ-2.



Рисунок 2 - Аккумуляторная батарея АБ-1



Рисунок 3 - Аккумуляторная батарея АБ-2

Помещение аккумуляторных батарей оборудовано системой рабочего и аварийного освещения. Система освещения находится в рабочем состоянии. Помещение аккумуляторных батарей оборудовано системой вентиляции и отопления. Данные системы находятся в исправном состоянии.

Щит постоянного тока ЩПТ-1 состоит из 3 панелей. В качестве защитных аппаратов для защиты отходящих линий применены автоматические выключатели и предохранители. Щит оснащен стрелочными приборами индикации измеряемых величин. Имеется стационарное устройство измерения сопротивления изоляции полюсов относительно земли с ручным переключением. Пофидерный контроль изоляции отсутствует.

Цепи ШУ (ШП) питаются от 104 элементов АБ. Отпайка от хвостовых элементов (110 элемент АБ) подключена на ЩПТ-1 через предохранитель, данный предохранитель отсутствует (отключен) в схеме ЩПТ-1. Зарядно-выпрямительные устройства имеют возможность подключения как к основной группе элементов (104), так и ко всем элементам (110) аккумуляторных батарей.

Щит постоянного тока ЩПТ-2 состоит из 4 панелей. В качестве защитных аппаратов для защиты отходящих линий применены автоматические выключатели и предохранители. Щит оснащен стрелочными приборами индикации измеряемых величин. Имеется стационарное устройство измерения сопротивления изоляции полюсов относительно земли с ручным переключением. Пофидерный контроль изоляции отсутствует.

Цепи ШУ (ШП) питаются от 104 элементов АБ. Отпайка от хвостовых элементов (110 элемент АБ) подключена на ЩПТ-2 через автоматический выключатель. Зарядно-выпрямительные устройства имеют возможность подключения как к основной группе элементов (104), так и ко всем элементам (110) аккумуляторных батарей. На рисунке 4 приведен внешний вид щита постоянного тока ЩПТ-1 и зарядно-выпрямительного устройства. На рисунке 5 приведен внешний вид измерительных приборов зарядно-выпрямительного устройства.



Рисунок 4 - Щит постоянного тока ЩПТ-1 и зарядно-выпрямительные устройства



Рисунок 5 - Зарядно-выпрямительное устройство

На рисунке 6 приведен внешний вид щита постоянного тока ЩПТ-2 и зарядно-выпрямительного устройства.



Рисунок 6 - Щит постоянного тока ЩПТ-2 и зарядно-выпрямительные устройства

Постоянная нагрузка ЩПТ-1 составляет 35А. Нагрузка аварийного освещения составляет 50А. Постоянная нагрузка ЩПТ-2 составляет 5А.

На рисунке 7 приведена оперативная схема электрических соединений щита постоянного тока.

Токи включения/отключения электромагнитов выключателей приведены в таблице 5.



Таблица 5 - Характеристики ЭМВ/ЭМО выключателей ПС 500 кВ Курдюм

Наименование присоединения	Тип выключателя	Тип привода	Ток потребляемый ЭМВ, А	Ток потребляемый ЭМО, А	Диапазон рабочего напряжения ЭМ, %	Производитель
500 кВ						
В-1-500 СарГЭС-Курдюм	HPL-550B2	Пружинный BLG 1002A	1 (200Вт)	1 (200Вт)	70-110	ABB
В-2-500 СарГЭС-Курдюм	HPL-550B2	Пружинный BLG 1002A	1 (200Вт)	1 (200Вт)	70-110	ABB
В-500 Р-2-500	GL-317	FK 3-4	4,8 (137 Ом на фазу)	4,8 (137 Ом на фазу)	85-105	Areva
В-1-500 БАЭС	GL-317	FK 3-4	4,8 (137 Ом на фазу)	4,8 (137 Ом на фазу)	85-105	Areva
В-2-500 БАЭС	GL-317	FK 3-4	4,8 (137 Ом на фазу)	4,8 (137 Ом на фазу)	85-105	Areva
220 кВ						
В-220 АТ-1	ВВБ-220Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	ОАО ВО «Электроаппарат»
В-220 ОВ-220	ВВБ-220Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	ОАО ВО «Электроаппарат»
В-220 Аткарск-1ц.	ВВБ-220Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	ОАО ВО «Электроаппарат»
В-220 АТ-3	ВВБ-220Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	ОАО ВО «Электроаппарат»
В-220 Аткарск-2ц.	ВВБ-220Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	ОАО ВО «Электроаппарат»
ШСВ-220	ВВБ-220Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	ОАО ВО «Электроаппарат»
В-220 АТ-2	ВВД-220Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	ОАО ВО «Электроаппарат»
В-220 Сарвтовская-Курдюм.	ВГТ-220-40/2500 У1	ППРК-2400С	2,5	2	80-110	УЭТМ
В-220 Т-4	ВГТ-220-40/2500 У1	ППРК-2400С	2,5	2	80-110	УЭТМ

Продолжение таблицы 5

Наименование присоединения	Тип выключателя	Тип привода	Ток потребляемый ЭМВ, А	Ток потребляемый ЭМО, А	Диапазон рабочего напряжения ЭМ, %	Производитель
110 кВ						
В-110 ПГ	ВГТ-110-40/2500 У1	ППрК-2400С	2,5	2	80-110	УЭТМ
В-110 АТ-1	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 Распределительная -2ц.	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 Распределительная -1ц.	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 П.Умёт-1ц.	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 П.Умёт-2ц.	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 ТЭЦ5-1ц.	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 ТЭЦ5-2ц.	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
ОВ-110.	ВГТ-110 П*40/3150 У1	ППрК-2400С	2,5	2	65-110	УЭТМ
ШСВ-110.	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 Тяговая.	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 Аткарск.ф. А	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 Аткарск.ф. В, С	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 Озёрки	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 Питомник	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ

Продолжение таблицы 5

Наименование присоединения	Тип выключателя	Тип привода	Ток потребляемый ЭМВ, А	Ток потребляемый ЭМО, А	Диапазон рабочего напряжения ЭМ, %	Производитель
В-110 Сторожовка -1ц	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 Сторожовка -2ц	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-110 Тарханы	ВВБМ-110 Б	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-35 ПГ	ВВУ-35А-40	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	65-110	УЭТМ
В-35 ТСН-1	ВВН-35	Электропневматический	66 (10 Ом на фазу)	66 (10 Ом на фазу)	85-110	УЭТМ
В-10 УПГ-1	ВВУ-СЭЩ-10- 31,5/3150	Пружинномоторный	1,5	1,5	70-110	Электроцит г. Самара
В-10 УПГ-2	ВВУ-СЭЩ-10- 31,5/3150	Пружинномоторный	1,5	1,5	70-110	Электроцит г. Самара
В-1-10 Т-4	ВВУ-СЭЩ-10- 31,5/3150	Пружинномоторный	1,5	1,5	70-110	Электроцит г. Самара
В-2-10 Т-4	ВВУ-СЭЩ-10- 31,5/3150	Пружинномоторный	1,5	1,5	70-110	Электроцит г. Самара
В-10 ТСН-2	ВКЭ-10	Электромагнитный	120	1,3	85-110	г. Ровно РЗВА.
В-10 ТСН-4	ВКЭ-10	Электромагнитный	120	1,3	85-110	г. Ровно РЗВА.
В-10 АТ-2	ВКЭ-10	Электромагнитный	120	1,3	85-110	г. Ровно РЗВА.
1СВ-10 кВ	ВКЭ-10	Электромагнитный	120	1,3	85-110	г. Ровно РЗВА.
1В-10 АТ-3	ВБЭ-10	Электромагнитный	45	2	85-110	г. Саратов «Контакт»
2В-10 АТ-3	ВБЭ-10	Электромагнитный	45	2	85-110	г. Саратов «Контакт»
1В-10 ПГ	ВБЭ-10	Электромагнитный	45	2	85-110	г. Саратов «Контакт»
2В-10 ПГ	ВБЭ-10	Электромагнитный	45	2	85-110	г. Саратов «Контакт»

Продолжение таблицы 5

Наименование присоединения	Тип выключателя	Тип привода	Ток потребляемый ЭМВ, А	Ток потребляемый ЭМО, А	Диапазон рабочего напряжения ЭМ, %	Производитель
В-10 ТСН-3	ВБЭ-10	Электромагнитный	45	2	85-110	г. Саратов «Контакт»
В-10 ТСН-5	ВБЭ-10	Электромагнитный	45	2	85-110	г. Саратов «Контакт»
В-10 ПГ Саратовская	ВВУ-СЭЩ-ЭЗ- 10	Пружинный-моторный	1,5	1,5	70-110	Электросит г. Самара

Установку нового оборудования (АБ и ЗВУ) предполагается выполнить на существующие места взамен старого оборудования. Прокладка кабелей от АБ до ЩПТ и от ЗВУ до ЩПТ предполагается выполнить по существующим кабельным конструкциям.

Заземление новых ЗВУ предполагается выполнить к существующему контуру заземления. Состояние контура заземления удовлетворительное и усиление его в рамках реконструкции по данному титулу не требуется.

Реконструируемая СОПТ не является источником электромагнитных помех на объекте и системой, ухудшающей электромагнитную обстановку на подстанции. В рамках выполнения проектных работ по данному титулу не предполагается устанавливать микропроцессорные устройства РЗА, АСУ ТП или связи, чувствительные к электромагнитным помехам и требующие соблюдения мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости. В этой связи оценка состояния электромагнитной обстановки на объекте проектирования и других технологически связанных объектах не требуется. При необходимости изменения и переустройства в рамках проекта кабельной распределительной сети СОПТ должны применяться экранированные медные кабели, заземляемые с двух сторон, уменьшающие негативное воздействие электромагнитных помех на перспективно подключаемые микропроцессорные устройства РЗА в рамках других проектов. Оценка электромагнитной обстановки должна быть проведена при реконструкции или

переустройстве вторичных систем на подстанции, связанном с установкой чувствительных к помехам микропроцессорным устройствам РЗА, связи и АСУ ТП.

Выводы по разделу.

По результатам проведенного анализа существующей СОПТ на ПС 500 кВ «Курдюм» необходимо:

- Выполнить замену аккумуляторных батарей АБ-1 и АБ-2, в связи с истекшим сроком службы аккумуляторных батарей АБ-1 и АБ-2, установленных в 1997 году. Батарею собрать из элементов номинальным напряжением 2В каждый, срок службы которых составляет не менее 20 лет. Окончательный тип, емкость и количество элементов АБ определить на основании проведенных расчетов. Аккумуляторную батарею установить на новые стеллажи в существующем помещении. Межэлементные и межрядные перемычки применить гибкие медные. Для подключения АБ к первому защитному аппарату (в ЩПТ), согласно нормам, проложить новые гибкие одножильные медные кабели без использования проходной доски. Существующую аккумуляторную батарею, стеллажи и элементы жесткой ошиновки демонтировать и утилизировать.
- Выполнить замену существующих подзарядных агрегатов типа ВАЗП, ввиду не возможности обеспечения выполнения требований, предъявляемых к устройствам заряда-подзаряда производителями современных аккумуляторных батарей. Существующие подзарядные агрегаты ВАЗП не могут обеспечить требуемый уровень пульсации выходного напряжения, что в процессе эксплуатации приводит к высокой частоте циклов заряд-разряд аккумуляторной батареи. Номинальный ток ЗВУ принять на основании расчетов и типа АБ. Место установки новых ЗВУ принять

существующим взамен старых устройств. Кабели питания ЗВУ по 0,4 кВ, а также выход на ЩПТ =220В проложить новые.

- Учитывая длительный срок службы вновь устанавливаемых аккумуляторных батарей, рекомендуется произвести ремонт помещений аккумуляторных батарей АБ-1 и АБ-2, а также произвести замену входных дверей на противопожарные.
- Систему вентиляции и отопления, ввиду ее работоспособности, сохранить существующей без изменений.
- Систему освещения в помещении АБ сохранить существующей.

В соответствии с требованиями действующих норм и стандартов в перспективе необходимо предусмотреть:

- установку 2-х новых щитов постоянного тока по одному на каждую АБ;
- приведение схемы ЩПТ к типовой согласно СТО 56947007-29.120.40.262-2018;
- оснащение ЩПТ системой автоматизированного поиска фидера с замыканием на землю;
- разделение питания основных и резервных защит присоединений от разных секций ЩПТ или разных АБ;
- организацию систем мониторинга и регистрации сигналов СОПТ.

## **2 Реконструкция система оперативного постоянного тока ПС «Курдюм»**

Система оперативного постоянного тока 220 В на ПС 500 кВ «Курдюм» служит для гарантированного питания потребителей оперативного постоянного тока как в нормальном, так и в аварийном (при исчезновении собственных нужд 0,4 кВ подстанции) режиме работы оперативных цепей устройств РЗА и ПА, цепей управления высоковольтных выключателей, электромагнитов включения/отключения высоковольтных выключателей, аварийного освещения.

На ПС 500 кВ «Курдюм» установлены две свинцово-кислотные аккумуляторные батареи типа 5 OPzS 350 емкостью 350Ач каждая. И два щита постоянного тока. В нормальном режиме работы питание потребителей постоянного тока на ПС 500 кВ «Курдюм» осуществляется от аккумуляторной батареи АБ-1 и АБ-2 и зарядно-выпрямительных устройств ВАЗП 380/260-40/80-У4 (4шт.)

Аккумуляторная батарея АБ-1 состоит из 104 рабочих элементов. Аккумуляторная батарея АБ-2 состоит из 104 рабочих элементов. Аккумуляторные батареи установлены в отдельных помещениях здания ОПУ.

Щит постоянного тока ЩПТ-1 состоит из 3 панелей. Щит постоянного тока ЩПТ-2 состоит из 4 панелей. В качестве защитных аппаратов для защиты отходящих линий применены автоматические выключатели и предохранители. Щит оснащен стрелочными приборами индикации измеряемых величин. Имеется стационарное устройство измерения сопротивления изоляции полюсов относительно земли с ручным переключением. Система пофидерного контроля изоляции отсутствует.

Предусматривается замена аккумуляторных батарей (2 шт.), стеллажей, зарядно-выпрямительных устройств (4 шт.) на новые. Щиты постоянного тока сохраняются существующими.

Аккумуляторные батареи устанавливаются в существующих помещениях взамен старых аккумуляторных батарей. Предварительно перед установкой АБ производится ремонт в помещении аккумуляторной батареи в соответствии с Разделом АР проектной документации. Установка аккумуляторов производится на новые стеллажи заводского изготовления. Размещение и подбор стеллажей производится из условий оптимального размещения нового оборудования, сокращения длин подключаемых кабелей и возможности обслуживания аккумуляторной батареи. Схемные решения подключения АБ к ЩПТ сохраняются существующим. Выполняется демонтаж проходной доски и прокладка кабелей от выводов АБ до ЩПТ по существующим кабельным конструкциям.

Зарядно-выпрямительные устройства устанавливаются взамен старых на те же места. Подключение кабелей ЗВУ по цепям питания переменного тока 0,4 кВ, подключение к ЩПТ и цепям сигнализации выполняется новыми кабелями. Для подключения новых ЗВУ к ЩСН 0,4 кВ устанавливаются новые автоматические выключатели взамен старых на те же места в панелях ЩСН. Предусматривается вывод цепей сигнализации от новых ЗВУ до панели центральной сигнализации на резервные световые табло.

## **2.1 Аккумуляторная батарея**

В соответствии с требованиями нормативных документов на ПС 500 кВ «Курдюм» должна быть установлена стационарная малообслуживаемая свинцово-кислотная аккумуляторная батарея (2 шт.) открытого (вентилируемого) типа с жидким электролитом, которая должна обеспечивать максимальные толчковые токи в конце 2-часового (не менее) разряда током нагрузки в течение 20 лет срока эксплуатации.

## 2.2 Расчёт нагрузок постоянного тока

По характеру нагрузки потребителей оперативного постоянного тока можно разделить на следующие категории:

- постоянная нагрузка, остающаяся неизменной в нормальном, переходном и установившемся аварийных режимах «(устройства РЗА; устройства связи, обеспечивающие передачу сигналов и команд РЗА; устройства коммуникации, обеспечивающие передачу сигналов и команд между устройствами РЗА; устройства нижнего и среднего уровня АСУ ТП; постоянно включенная часть аварийного освещения; устройства сбора информации для АСУ ТП и системы сбора и передачи информации; устройства сигнализации)» [1];
- временная нагрузка, характеризующая установившийся аварийный режим и остающаяся в течение всего времени его протекания неизменной (ток сети аварийного освещения);
- кратковременная (толчковая) нагрузка (устройства управления высоковольтными коммутационными аппаратами).

Постоянная нагрузка системы оперативного постоянного тока составляет 40А. Нагрузка сети аварийного освещения составляет 50А. Характеристики электромагнитов включения/отключения выключателей ПС 500 кВ «Курдюм» были приведены в таблице 5.

## 2.3 Выбор аккумуляторной батареи

«Основными требованиями, предъявляемыми к аккумуляторным батареям, питающим потребителей постоянного тока, являются высокая надёжность и способность батареи обеспечивать требуемый ток аварийного разряда в течении всего срока службы, а также длительный (не менее 20 лет) срок службы» [2].

Важным фактором является конструкция элементов батареи, желательно применять мало обслуживаемые батареи как значительно более удобные в эксплуатации. Ёмкость батареи выбирается исходя из требований обеспечения питания потребителей в режиме аварийного разряда с учётом возможности обеспечения толчковой нагрузки в конце аварийного режима.

Расчётными условиями для выбора АБ являются:

Номинальное напряжение на шинах ЩПТ  $U_n = 220\text{В}$ ;

Максимальное допустимое напряжение на клеммах устройств РЗА:

$$U_{\text{макс.доп.}} = U_n \cdot 1,1; \quad (1)$$
$$U_{\text{макс.доп.}} = 220 \cdot 1,1 = 242 \text{ В.}$$

Минимальное допустимое напряжение на клеммах устройств РЗА:

$$U_{\text{мин.доп.}} = U_n \cdot 0,85; \quad (2)$$
$$U_{\text{мин.доп.}} = 220 \cdot 0,85 = 187 \text{ В.}$$

Длительность аварийного режима – 120 минут.

Ток аварийного режима (сумма постоянной и временной нагрузки)  
 $I_p = 90\text{А}$ ; Толчковый ток 120 А (включение выключателя ВКЭ-10);

Суммарный аварийный ток во время толчка  $I_T = 210\text{А}$ .

Выбор ёмкости производится на основании графика нагрузки аварийного разряда  $I_{\text{расч.}} = f(t)$  приведенного на рисунке 8.

Расчет ёмкости аккумуляторной батареи производится согласно Стандарта организации СТО 56947007-29.120.40.216-2016 «Методические указания по выбору оборудования СОПТ».

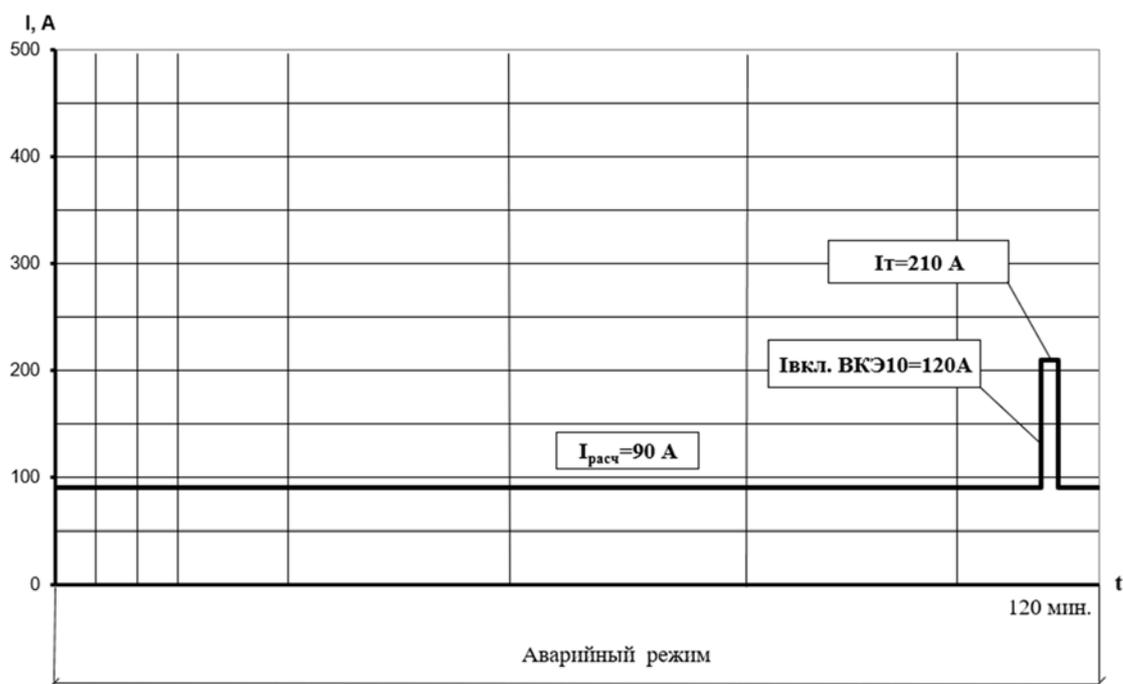


Рисунок 8 - График нагрузки

Количество основных элементов АБ определяется по формуле:

$$U'_{\text{ЩПТ}} = U_{\text{НОМ}} \cdot 1,05, \quad (3)$$

$$U'_{\text{ЩПТ}} = 220 \cdot 1,05 = 231 \text{ В},$$

$$N = \frac{U'_{\text{ЩПТ}}}{U_{\text{п.з.}}}, \quad (4)$$

$$N = \frac{231}{2,23} = 104 \text{ эл.},$$

где  $N$  - количество рабочих элементов АБ;

$U'_{\text{ЩПТ}}$  - напряжение на шинах ЩПТ;

$U_{\text{п.з.}}$  - напряжение на элементе АБ в режиме подзаряда.

«Максимальную потерю напряжения в цепях питания постоянной и временной нагрузки, при отсутствии достоверных данных, допускается принимать равной 0,04 номинального напряжения, в соответствии с ГОСТ 50571.16» [5].

Напряжение элемента в конце разряда на аккумуляторной батарее определяется по формуле:

$$U_{\text{нм.раб.ак}} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot 0,85 + \Delta U}{N}, \quad (5)$$

$$U_{\text{нм.раб.ак}} = \frac{220 \cdot 0,85 + 220 \cdot 0,04}{104} = 1,9 \text{ В / эл},$$

«Расчет емкости аккумуляторной батареи производится с использованием разрядной характеристики аккумуляторов, соответствующей напряжению в конце разряда 1,9В/эл., номинальной емкостью, наиболее близкой значению, рассчитываемому по выражению, А·ч» [4]:

$$C' = k_{\text{ср}} \cdot t \cdot I_{\text{ср}}, \quad (6)$$

где « $I_{\text{ср}}$  – усредненное за время разряда суммарное значение тока постоянной и временной нагрузок, А;

$t$  – расчетная продолжительность разряда аккумуляторной батареи, ч;

$k_{\text{ср}}$  – усредненное значение коэффициента интенсивности разряда аккумуляторной батареи; как правило, принимается равным 1,5» [6].

$$C' = 1,5 \cdot 2 \cdot 90 = 270 \text{ А·ч}.$$

Предварительно выбираем ближайшую по ёмкости АБ типа STARK 5 OGi 325 LA.

Выберем ёмкость аккумуляторной батареи по двухступенчатой диаграмме нагрузки по формуле:

$$C_{\text{пр.}} = k_1 \cdot (I_{\text{пт.нг.}} + I_{\text{вр.нг.}}) + k_2 \cdot I_{\text{кр.}}, \quad (7)$$

где « $k_1, k_2$  – коэффициенты интенсивности разряда при продолжительностях разряда равных расчетной продолжительности разряда аккумуляторной батареи и максимальной продолжительности кратковременной нагрузки соответственно, А·ч/А, которые определяются по разрядной характеристике аккумуляторов рассматриваемого типа для выбранного напряжения на аккумуляторе в конце разряда» [8].

Коэффициенты интенсивности разряда для аккумуляторных батарей типа OGi (1,9В/эл.) приведены в таблице 9.

$$C_{\text{пр.}} = 3,925 \cdot 90 + 1,693 \cdot 120 = 556 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

«Для компенсации снижения емкости под влиянием рабочей температуры и старения аккумуляторов в процессе всего срока эксплуатации, расчетную емкость аккумуляторной батареи  $C_{\text{пр.}}$ , необходимо увеличить согласно выражению» [7]:

$$C = k_3 \cdot C_{\text{пр.}}, \quad (8)$$

где « $k_3$  – коэффициент, учитывающий работу АБ при температуре 10 °С и снижение располагаемой емкости до 80 % номинальной емкости к концу срока службы; как правило, принимается равным 1,5» [10].

Таблица 6 - Коэффициенты интенсивности разряда аккумуляторной батареи типа OGi (1,9 В/эл.)

Тип	Ном. емкость Ач	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 h	2h	3h	5 h	8h	10 h
		0,05	0,083	0,167	0,25	0,333	0,5	0,75	1	2	3	5	8	10
4 260	260	1 688	1,733	1,831	1 926	2,063	2,241	2,600	2,899	3,922	5,000	6,952	9,091	11,111
5 325	325	1,693	1,738	1,836	1,923	2,057	2,241	2600	2,902	3,925	5,000	6,944	9,078	11,092
6 370	370	1,630	1,674	1,770	1,878	1 989	2,176	2,517	2,803	3 882	5,118	7,088	9 343	11,420
7 410	410	1,571	1 608	1,708	1,830	1,916	2,092	2,412	2,680	3,796	5,151	7,118	9,425	11,549
8 440	440	1,497	1,533	1,618	1,753	1,833	2,000	2 292	2,558	3,667	5,057	6,984	9,302	11,370
9 470	470	1,464	1,497	1,572	1,709	1,780	1,942	2,217	2,474	3,534	4,979	6,871	9,180	11,217
10 530	530	1,527	1,568	1,656	1,785	1,853	2,023	2,265	2,573	3,630	4,907	6,919	9,331	11,398
11 580	580	1,568	1,611	1,711	1,830	1,902	2,057	2292	2,624	3,648	4,754	6,840	9280	11,328
12 620	620	1,590	1,636	1,751	1,851	1,925	2,074	2,305	2,627	3,605	4,559	6,667	9,091	11,111
12 730	730	1 686	1,734	1,834	1,916	2,005	2,135	2,370	2,664	3,596	4,740	6822	9,091	11,111
14 800	800	1,674	1,720	1,798	1,869	1,961	2,073	2,326	2,597	3,587	4,678	6,667	9,091	11,111
16 880	880	1,673	1,712	1,796	1,876	1 969	2,080	2,372	2,611	3,636	4,731	6,769	9,263	11,311
19 1000	1000	1,672	1,715	1,792	1,890	1,984	2,092	2,427	2,674	3,717	4,854	6,944	9,434	11,574
16 1260	1260	1,853	1,895	1,960	2,055	2,165	2,308	2,653	2,923	3,950	4,961	6,885	9,767	11,776
18 1340	1340	1,821	1,859	1,936	2,036	2,168	2,318	2,627	2,907	3,907	4,891	6,802	9,640	11,552
20 1520	1520	1,936	1,979	2,065	2,159	2,275	2,464	2,739	3,028	4 064	5,033	7,005	9,870	11,875
22 1600	1600	1,930	1,973	2,065	2,151	2,270	2,462	2,712	3013	4,030	5,000	6,957	9,816	11,765

В нашем случае примем уточненный коэффициент 1,25 на снижение емкости к концу срока службы и коэффициент 1,09 на снижение ёмкости аккумуляторной батареи при температуре 10°C в помещении аккумуляторной батареи, таким образом  $k_3 = 1,25 \cdot 1,09 = 1,3625$ .

$$C = 556 \cdot 1,3625 = 758 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Выбираем ближайшую по ёмкости аккумуляторную батарею типа STARK 14 OGi 800. Таким образом, к установке принимаем аккумуляторную батарею (АБ-1 и АБ-2), состоящую из 104 элементов типа 14 OGi 800, с номинальной емкостью 800 А·ч. Внутреннее сопротивление одного элемента АБ 14 OGi 800 составляет 0,21 мОм.

В таблице 7 приведены технические характеристики требуемой батареи для ее заказа.

Таблица 7 – «Технические характеристики выбранной батареи

Технические характеристики (наименование параметра)	Требуемое значение параметра
Основные технические характеристики	
Номинальная емкость аккумулятора (элемента) при 10- часовом режиме разряда C10, Ач	не менее 800
Номинальное напряжение аккумулятора, В	2,0
Напряжение постоянного подзаряда, В/элемент	2,23
Допустимая величина пульсации по напряжению, %	1%
Допустимая величина пульсации по току, %	5 А/100 Ач
Количество элементов в батарее, шт	104
Внутреннее сопротивление, не более, мОм	0,21
Режим работы аккумуляторов: - кратковременный разряд большими токами, - длительная нагрузка с отбором большой емкости, - постоянный подзаряд	Да Да Да
Технические требования к конструкции, изготовлению и материалам	
Конструктивное исполнение элемента: открытый с фильтр-пробкой (с рекомбинацией газа)	Да» [9]

Продолжение таблицы 7

Технические характеристики (наименование параметра)	Требуемое значение параметра
Конструкция положительного электрода	Намазная
Перемычка между элементами: медные в исполнении под болтовое соединение элементов, изолированные, возможен замер напряжения	Да
Габариты аккумулятора (дл/ш/в)	210/254/511
Масса аккумулятора, не более, кг	52,6
Выдерживаемое повышенное или пониженное давление по сравнению с атмосферным при герметизации в выводах, между крышкой и баком, пробкой при температуре 25·10 °С, не менее, кПа	20
«Электролит - раствор серной кислоты повышенной чистоты по ГОСТ 667 и дистиллированной воды по ГОСТ 6709-72, да/нет» [12]	да
Материал бака	Ударо-прочная пластмасса SAN
Вес электролита, кг	15,9
«Визуальный контроль уровня электролита, (да , нет)	Да
Категория размещения и климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69	УХЛ4
Высота установки над уровнем моря, м	до 1000
Сейсмостойкость, баллов по шкале MSK	-
Диапазон рабочих температур, °С	+20...±5
Требования по надежности	
Гарантийный срок эксплуатации, не менее, лет	3
Дополнительные гарантии в случае отказа, (да, нет)	Да
Полный срок службы в режиме постоянного подзаряда, не менее, лет	20
Допустимый срок хранения аккумулятора без электролита (в заводской упаковке) от выпуска до приведения в рабочее состояние, не более, лет	2
Периодичность и объем технического обслуживания» [11]	Полугодовое (согласно инструкции и ПТЭ)
Комплектность	
Аккумуляторы с фильтр-пробкой, в собранном состоянии, с сухозаряженными электродами, без электролита, (да , нет)	да
Межэлементное соединение (перемычка) в сборе (болт, шайбы, полюсный наконечник, изолирующий колпачок) для болтового соединения, (да , нет)	да
Концевой вывод (пластина), да / нет	да
Кабельные наконечники, (да , нет)	да

## Продолжение таблицы 7

Технические характеристики (наименование параметра)	Требуемое значение параметра
Комплект самоклеящихся номерных знаков, (да, нет)	да
Комплект для монтажа аккумуляторов, (да, нет)	да
Комплект для обслуживания (эксплуатации) аккумуляторов в составе: денсиметр (ареометр) с ценой деления 0,005 г / см <sup>3</sup> , термометр ртутный или цифровой 0-50 °С с ценой деления 0,5°С, термометр метеорологический от -10 до + 40°С, вольтметр 0-3 В, кл. точности 0,2 и другие принадлежности (указать), (да, нет)	да
Электролит, плотностью 1,26 г / см <sup>3</sup> , в пластиковой упаковке в объеме для заливки в батарею, (да, нет)	да
Стеллаж для установки батареи (да, нет)	да
«Эксплуатационная документация на русском языке, экз. -техническое описание -инструкция по монтажу аккумуляторов -инструкция по эксплуатации аккумуляторов -паспорт на аккумулятор -рекомендации по изготовлению стеллажей» [13]	2
Маркировка, упаковка и консервация по ГОСТ 14192, ГОСТ 23216 и ГОСТ 15150-69 (да, нет)	да

### 2.4 Выбор зарядных устройств

Согласно СТО 56947007-29.120.40.216-2016 «Методические указания по выбору оборудования СОПТ»:

- «мощность двух ЗУ, одновременно и параллельно работающих на одну АБ, должна обеспечивать питание всех подключенных электроприемников, относящихся к постоянной и временной нагрузке СОПТ подстанции с учетом проведения одновременно ускоренного заряда АБ до 90 % номинальной емкости в течение не более 8 часов;
- мощность каждого из ЗУ, работающих на одну АБ, должна обеспечивать питание всех подключенных электроприемников, относящихся к постоянной и временной нагрузке СОПТ, в режиме поддерживающего заряда АБ» [14].

«Номинальный выходной ток зарядного устройства выбирается из ряда номинальных токов по условию» [16]:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{нб.раб.}} \quad (9)$$

где « $I_{\text{нб.раб.}}$  – наибольший рабочий выходной ток зарядного устройства» [15].

Наибольший рабочий ток выбирается по большему значению из тока постоянной нагрузки СОПТ и тока, рассчитываемого по выражению:

$$I_3 = \frac{I_{\text{пт.нг.}} + k \cdot C_{10}}{2}, \quad (10)$$

где « $k$  – коэффициент запаса, учитывающий потери энергии при заряде аккумуляторов; принимается равным 0,12 1/ч;

$C_{10}$  – номинальная десятичасовая ёмкость аккумуляторной батареи, А·ч;

$I_{\text{пт.нг.}}$  – ток постоянной нагрузки СОПТ, А» [16].

$$I_3 = \frac{40 + 0,12 \cdot 800}{2} = 68 \text{ А.}$$

В качестве зарядно устройства принимаем зарядно-выпрямительные устройства с номинальным выходным током 100А типа УЗП-100 (4 шт.).

Выбранные ЗВУ должны быть проверены по уровню пульсаций тока поддерживающего заряда. Допускается не проводить такую проверку при выборе высокочастотных транзисторных устройств.

«Среднеквадратичное значение пульсаций тока при работе ЗВУ на АБ определяется по выражению» [18]:

$$I_{нАБ} = \frac{U_{ннг} \cdot X_c \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{X_c}\right)^2 + \left(\frac{I_{НОМ}}{U_{НОМ}}\right)^2}}{\sqrt{(R_{ак} \cdot N)^2 + X_c^2}}, \quad (11)$$

где « $U_{ннг}$  – максимальное среднеквадратичное значение пульсаций выходного напряжения ЗУ при работе на активную нагрузку без аккумуляторной батареи, приведенное в документации производителя, В;

$X_c$  – емкостное сопротивление конденсатора фильтра на частоте 6-й гармоники, Ом;

$R_{ак}$  – сопротивление заряженного аккумулятора батареи, Ом;

$N$  – количество аккумуляторов в батарее; при наличии в батарее дополнительной группы аккумуляторов ЗУ для основной и дополнительной групп проверяются отдельно» [17].

«Емкостное сопротивление конденсатора фильтра ЗУ определяется по выражению» [21]:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 300 \cdot C}, \quad (12)$$

где « $C$  – емкость конденсатора фильтра, Ф» [20].

Согласно данным ООО «Завод Конвертор», г. Москва, «максимальный уровень пульсаций УЗП-100 при работе на резистивную нагрузку без АБ составляет не более 0,5%. Емкость конденсатора фильтра составляет 10000мкФ.

Емкостное сопротивление конденсатора фильтра на частоте 300Гц составит» [19]:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 300 \cdot 0,01} = 0,053 \text{ Ом.}$$

«Среднеквадратичное значение пульсаций тока поддерживающего заряда составит» [21]:

$$I_{nAB} = \frac{220 \cdot 0,005 \cdot 0,053 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{0,053}\right)^2 + \left(\frac{100}{220}\right)^2}}{\sqrt{(0,00016 \cdot 104)^2 + 0,053^2}} = 19,8 \text{ А.}$$

На 100 Ач емкости АБ приходится  $19,8/12,6 = 1,57$  А. Данное значение не превышает допустимое значение 5А.

В таблице 8 приведены технические характеристики требуемого зарядно-подзарядного устройства для его заказа.

Таблица 8 - Технические характеристики требуемого зарядно-подзарядного устройства

Технические характеристики (наименование параметра)	Требуемое значение
Основные параметры	
Частота переменного напряжения питания, Гц	50
«Номинальное входное напряжение, В	380±15%;
Номинальное выходное напряжение, В	=220
Номинальный выходной ток, А» [21]	100
Точность стабилизации выпрямленного напряжения при подзарядке АБ, %	0,5
Величина пульсации выходного напряжения, не более, %	0,1
Температурная компенсация заряда АБ (да, нет)	Да
«Диапазон регулирования выходного напряжения при работе в режиме стабилизации выходного напряжения, в %	1-130
Коэффициент полезного действия, не менее	0,97» [22]
Габариты, мм.	1415×585×535
Масса, не более, кг	300
Категория размещения и климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69	УХЛ4
Температура окружающего воздуха, °С	плюс 5 плюс 40
Высота установки над уровнем моря, м	до 1000

Продолжение таблицы 8

Технические характеристики (наименование параметра)	Требуемое значение
Срок службы, лет не менее	25
«ВЗУ должны удовлетворять всем техническим требованиям, выставляемым производителями АБ, необходимым для максимального срока службы АБ» [7]	Да
Охлаждение устройства в любом режиме работы	Воздушное естественное
Установка разделительного трансформатора	Встроенный
Наличие экспертного заключения ПАО «ФСК ЕЭС»	да

## 2.5 Расчёт токов короткого замыкания, выбор защитной аппаратуры и кабелей

«Расчет токов КЗ в СОПТ выполняется в соответствии с ГОСТ 29176-91 «Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока».

Ток короткого замыкания (КЗ) в сети постоянного тока от аккумуляторной батареи определяется по формуле» [23]:

$$I_{К.М.} = \frac{E_{расч} \cdot n}{R_{сум}}, \quad (13)$$

где  $E_{расч}$  – расчетная ЭДС одного элемента,  $E_{расч} = 1,93$  В/эл;

$I_{К.М.}$  – ток металлического короткого замыкания, А;

$n$  – количество элементов аккумуляторной батареи;

$R_{сум}$  – суммарное значение сопротивления цепи короткого замыкания, Ом;

Суммарное значение сопротивления цепи короткого замыкания вычисляется по формуле:

$$R_{сум} = R_{АБ} + R_{КЗ}, \quad (14)$$

где  $R_{АБ}$  – внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи, Ом;

$R_{КЗ}$  – сопротивление цепи короткого замыкания, Ом.

Внутреннее сопротивление одного элемента аккумуляторной батареи типа 14 OGi 800 составляет  $R_{АБэл.} = 0,21$  мОм. Величина внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи 14 OGi 800, состоящей из 104 элементов составит:

$$R_{АБ} = R_{АБэл.} \cdot n, \quad (15)$$
$$R_{АБ} = 0,21 \cdot 104 = 21,84 \text{ мОм.}$$

Сопротивление цепи короткого замыкания вычисляется по формуле:

$$R_{КЗ} = R_{КАБ} + R_{п.к.апп.} + R_{п.к.соед.}, \quad (16)$$

где  $R_{КАБ}$  – сопротивление кабеля в цепи протекания тока короткого замыкания, Ом;

$R_{п.к.апп.}$  – сопротивление переходных контактов коммутационной аппаратуры в цепи протекания тока короткого замыкания;

$R_{п.к.соед.}$  – переходное сопротивление шин и болтовых соединений в цепи протекания тока короткого замыкания. Принимаем  $R_{п.к.соед.} = 1,0$  мОм.

Сопротивление кабеля вычисляется по формуле:

$$R_{КАБ} = \frac{\rho \cdot 2 \cdot L}{S}, \quad (17)$$

где « $\rho$  – удельное сопротивление (для меди  $\rho=0,0172$  Ом·мм<sup>2</sup>/м, для алюминия  $\rho=0,0283$  Ом·мм<sup>2</sup>/м);

$L$  – длина кабеля, м;

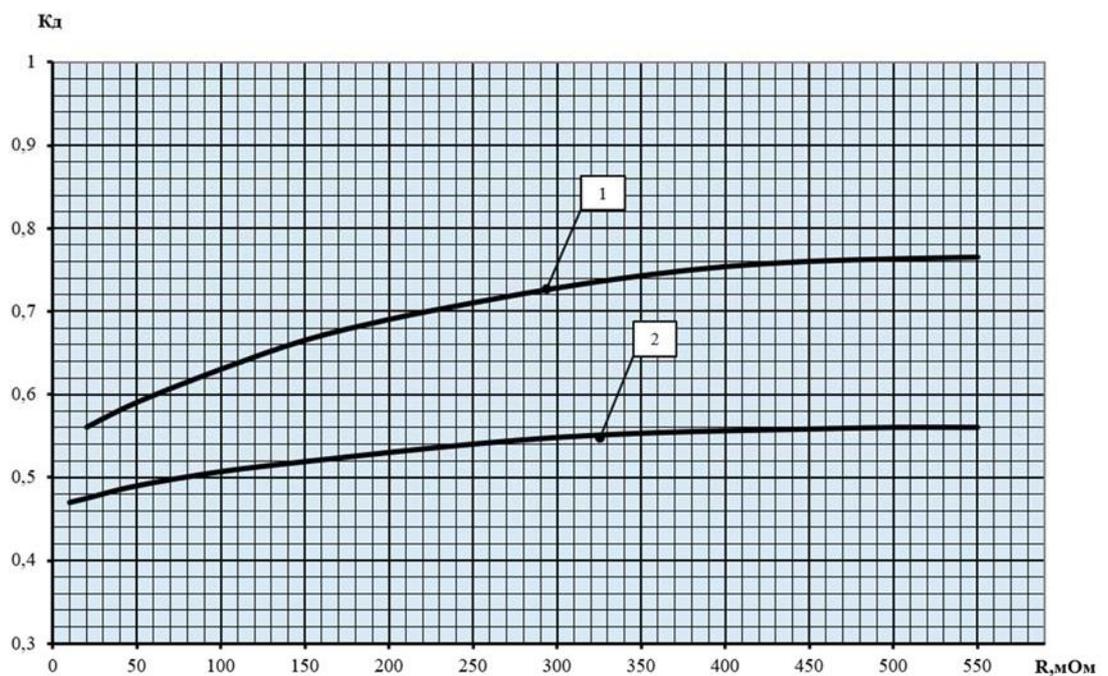
$S$  – сечение кабеля, мм<sup>2</sup>» [24].

«При определении минимального значения тока КЗ необходимо учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги, возникающей в месте КЗ. Оно определяется по формуле:

$$I_{к.д.а.} = I_{к.м.} \cdot K_{д.а.}, \quad (18)$$

$$I_{к.д.ср.} = I_{к.м.} \cdot K_{д.ср.}, \quad (19)$$

где  $K_{д.а.}$ ,  $K_{д.ср.}$  – значения дугового коэффициента, определяемые по графикам рисунок 9» [25].



1 – для амплитудных значений тока КЗ

2 – для среднеквадратичных значений тока КЗ

Рисунок 9 – Зависимость величины  $K_d$  от сопротивления цепи короткого замыкания

Выбор номинального тока  $I_n$  защитного аппарата ввода от аккумуляторной батареи производится по выражению, А:

$$I_n \geq I_{пт.нг.} + I_{вр.нг.} + 0,4 \cdot I_{кр.нг.}, \quad (20)$$

$$I_n \geq 40 + 50 + 0,4 \cdot 120 = 138 \text{ А.}$$

В качестве защитного аппарата ввода от аккумуляторной батареи принимаем предохранитель-выключатель-разъединитель (FH) с плавкой вставкой (PNA) на номинальный ток  $I_H = 250\text{A gG}$ , в качестве защитного аппарата цепи резервирования принимаем предохранитель-выключатель-разъединитель (FH) с плавкой вставкой (PNA) на номинальный ток  $I_H = 160\text{A gG}$ .

«Для защитного аппарата в цепи зарядного устройства выбор номинального тока производится по выражению:

$$I_H \geq k_{\text{пер.}} \cdot I_{\text{ном.ВЗУ}}, \quad (21)$$

где  $I_{\text{ном.ВЗУ}}$  – номинальный выходной ток зарядного устройства, А,

$k_{\text{пер.}}$  – коэффициент, учитывающий возможность перегрузки зарядного устройства, принимается равным 1,15» [26].

$$I_H \geq 1,15 \cdot 100 = 115 \text{ A.}$$

В качестве защитного аппарата в цепи зарядного устройства принимаем предохранитель- выключатель-разъединитель (FH) с плавкой вставкой (PNA) на номинальный ток  $I_H = 125\text{A gG}$ .

Для уменьшения падения напряжения в цепи ввода рабочего питания от аккумуляторной батареи до щита постоянного тока, принимаем кабель от АБ до ЩПТ КГВВнг(А)-LS сечением  $240 \text{ мм}^2$ .

«В цепи зарядного устройства сечение проводника выбирается по длительно допустимому току, удовлетворяющему условию:

$$I_{\text{длит.доп.}} = \frac{k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{номВЗУ}}}{n_{\text{пров}} \cdot k_t}, \quad (22)$$

где  $I_{\text{ном.ВЗУ}}$  – номинальный выходной ток зарядного устройства, А,

$k_{\text{пер.}}$  – коэффициент, учитывающий возможность перегрузки зарядного устройства, принимается равным 1,15;

$n_{\text{пров}}$  – количество параллельных проводников в одном полюсе, по умолчанию принимается равным 1;  
 $k_t$  – поправочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды» [27].

$$I_{\text{длит.доп.}} = \frac{1,15 \cdot 100}{1 \cdot 1} = 115 \text{ A.}$$

Принимаем кабель от ЩПТ до ВЗУ ВВГнг(А)-LS сечением 35 мм<sup>2</sup>.

«Расчетным условием при определении термической стойкости кабеля является металлическое КЗ в конце кабельной линии при нормальном режиме работы СОПТ, отключаемое защитным аппаратом, установленным в начале цепи с учетом полного времени отключения этого аппарата. Температура кабелей при этом не должна превысить 160°C.

Расчетным условием при проверке кабелей на невозгорание является дуговое КЗ в начале кабельной линии, отключаемое защитным аппаратом, установленным в начале цепи (в случае

использования в качестве защитного аппарата предохранителя), либо отключаемое вышестоящим защитным аппаратом при использовании автоматических выключателей. При проверке на невозгорание температура кабелей не должна превысить 350°C» [29].

Температура нагрева жил кабелей определяется по формуле:

$$Q_k = Q_n \cdot e^k + a \cdot (e^k - 1), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (23)$$

где « $K = B \cdot I_k^2 \cdot t / S^2$  – коэффициент, характеризующий взаимосвязь между тепловым импульсом, сечением жилы и теплофизическими характеристиками материала, о.е.;  $Q_n$  – температура жилы кабеля до КЗ, °C» [28];

$I_k$  – значение тока КЗ, кА;

$t$  – длительность тока КЗ, С;

« $a = 228 \text{ } ^\circ\text{C}$  – величина, обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при  $0^\circ\text{C}$ ;

$B$  – постоянная, характеризующая теплофизические свойства материала жилы (для алюминия  $B = 45,65 \text{ мм}^4 / \text{кА}^2 \cdot \text{С}$ , для меди  $B=19,58 \text{ мм}^4 / \text{кА}^2 \cdot \text{С}$ )» [28].

Температура жилы до момента КЗ определяется по формуле:

$$Q_n = Q_o + (Q_{д.д} - Q_{окр.}) \cdot (I_{раб.} / I_{д.д})^2, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (24)$$

где  $Q_o$  – фактическая температура окружающей среды (принимается  $25^\circ\text{C}$ ),  $^\circ\text{C}$ ;

« $Q_{окр.}$  – расчетная температура окружающей среды (воздуха -  $+25^\circ\text{C}$ , земли -  $+15^\circ\text{C}$ )» [30];

$Q_{д.д}$  – длительно допустимая температура токопроводящих жил (для кабелей с бумажной изоляцией  $=80^\circ\text{C}$ , для кабелей с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката  $=70^\circ\text{C}$ );

$I_{раб.}$  – максимальный рабочий ток, протекающий по жиле кабеля, А;

$I_{д.д}$  – длительно допустимое значение тока.

Результаты расчетов токов короткого замыкания, выбора защитной аппаратуры и проверки кабелей по термической стойкости и невозгораемости приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Расчёт токов короткого замыкания, выбор уставок защитной аппаратуры, проверка кабелей на термическую стойкость и невозгораемость ПС 500 кВ «Курдюм»

Наименование присоединения	Ина гр, А	Iт, А	Суммарное значение сопротивления цепи короткого замыкания, Ом	Значение тока КЗ			Номинальные характеристики и уставки срабатывания защитной аппаратуры				Iк.д.ср./Iн.п л.вст., о.е.	«Проверка кабеля на термическую стойкость и невозгораемость» [29]				Примечание
				Iк.м., А	Iк.д.а., А	Iк.д.ср., А	Тип защитного аппарата	Номинальный ток вставки Iном пл.вст. А	Время срабатывания при КЗ, с	Предельная отключающая способность, кА		Марка и сечение кабеля	Длина, м	Qте рм., °С	Qпо ж., °С	
Шит постоянного тока ЩПТ-1																
Ввод АБ-1 (ЕА-1)	90	210	0,031	6478	3678	3116	FN1	250	<0,1	50	12,5	КГВВНГ(А)-LS 2×(1×240)	40	26	26	-
Ввод ЗПУ-1 УЗП-100 (ЕD-1)	100	-	0,072	2789	1685	1388	FN000	125	<0,1	50	11,1	ВВГнг(А)-LS 2×35	40	43	43	-
Ввод ЗПУ-2 УЗП-100 (ЕD-2)	100	-	0,072	2789	1685	1388	FN000	125	<0,1	50	11,1	ВВГнг(А)-LS 2×35	40	43	43	-
Резервирование ЩПТ-1 - ЩПТ-2	90	210	0,053	3791	2229	1859	FN000	160	<0,1	50	11,6	КГВВНГ(А)-LS 2×(1×240)	150	26	26	-

Продолжение таблицы 9

Наименование присоединения	Ина гр, А	Iт, А	Суммарное значение сопротивления цепи короткого замыкания. Ом	Значение тока КЗ			Номинальные характеристики и уставки срабатывания защитной аппаратуры				Iк.д.ср./Iн.п л.вст., о.е.	«Проверка кабеля на термическую стойкость и невозгораемость» [29]				Примечание
				Iк.м.,А	Iк.д.а.,А	Iк.д.ср.,А	Тип защитного аппарата	Номинальный ток вставки Iном пл.вст. А	Время срабатывания при КЗ, с	Предельная отключающая способность, кА		Марка и сечение кабеля	Длина, м	Qте рм., °С	Qпо ж., °С	
Шит постоянного тока ЩПТ-2																
Ввод АБ-2 (ЕА-2)	90	210	0,027	7521	4239	3600	FN1	250	<0,1	50	14,4	КГВВН Г(А)-LS 2×(1×240)	10	26	26	-
Ввод ЗПУ-3 УЗП-100 (ЕD-3)	100	-	0,038	5258	3021	2547	FN000	125	<0,05	50	20,4	ВВГнг(А)-LS 2×35	10	48	44	-
Ввод ЗПУ-4 УЗП-100 (ЕD-4)	100	-	0,038	5258	3021	2547	FN000	125	<0,05	50	20,4	ВВГнг(А)-LS 2×35	10	48	44	-
Резервирование ЩПТ-2 - ЩПТ-1	90	210	0,049	4126	2410	2016	FN000	160	<0,1	50	12,6	КГВВН Г(А)-LS 2×(1×240)	150	26	26	-

Для определения селективности последовательно установленной защитной аппаратуры, выполним построение время-токовых характеристик защитных аппаратов. На рисунке 10, 11 приведена карта селективности защитных аппаратов, из которых видно, что защитная аппаратура селективна во всём диапазоне возможных токов КЗ.

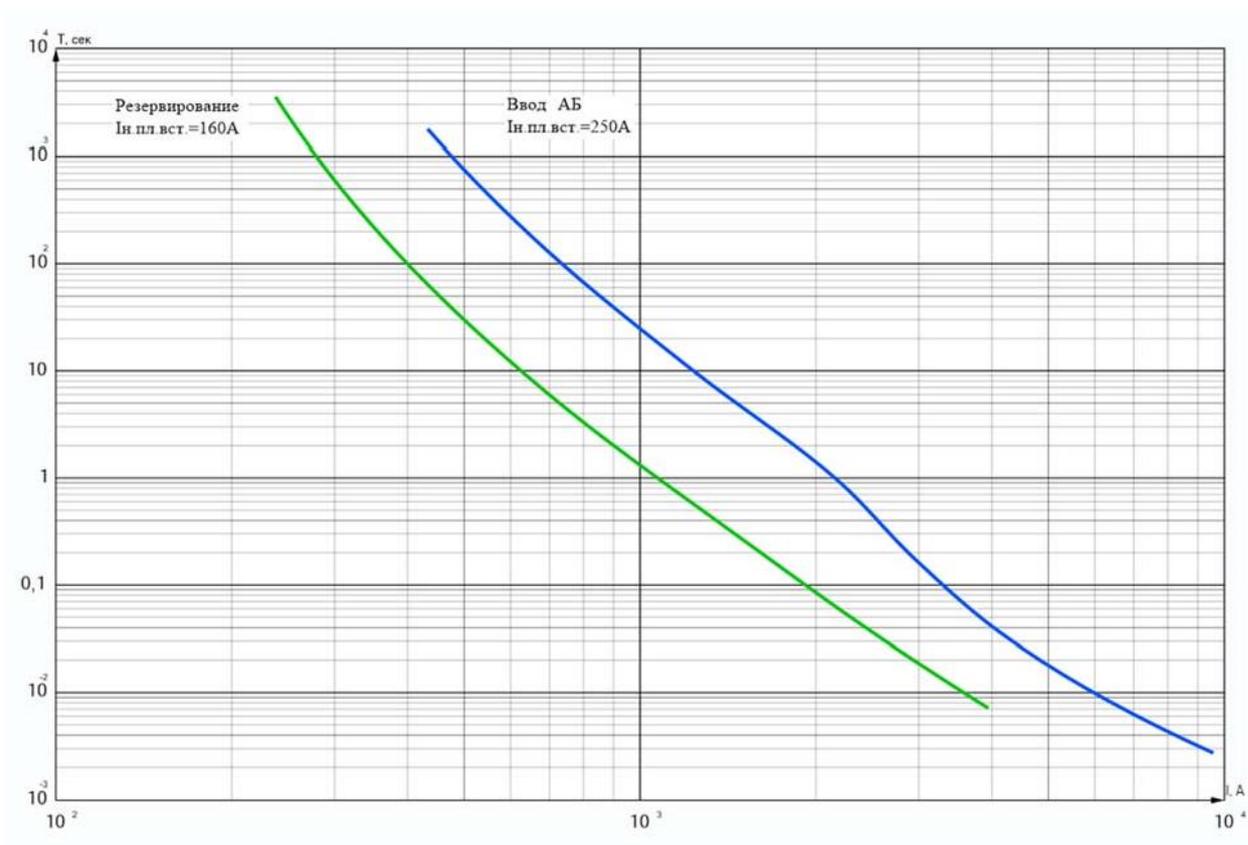


Рисунок 10 - Карта селективности

## 2.6 Кабельное хозяйство

Для прокладки в кабельных сооружениях, в том числе для групповой прокладки применяются кабели с изоляцией жил из поливинилхлоридного пластика пониженной горючести. При замене кабельных линий использовался кабель марок ВВГнг(А)-LS, КГВВнг(А)-LS, КВВГЭнг(А)-LS с медными жилами и изоляцией из поливинилхлоридного пластика не поддерживающий горение с низким газо- и дымовыделением.

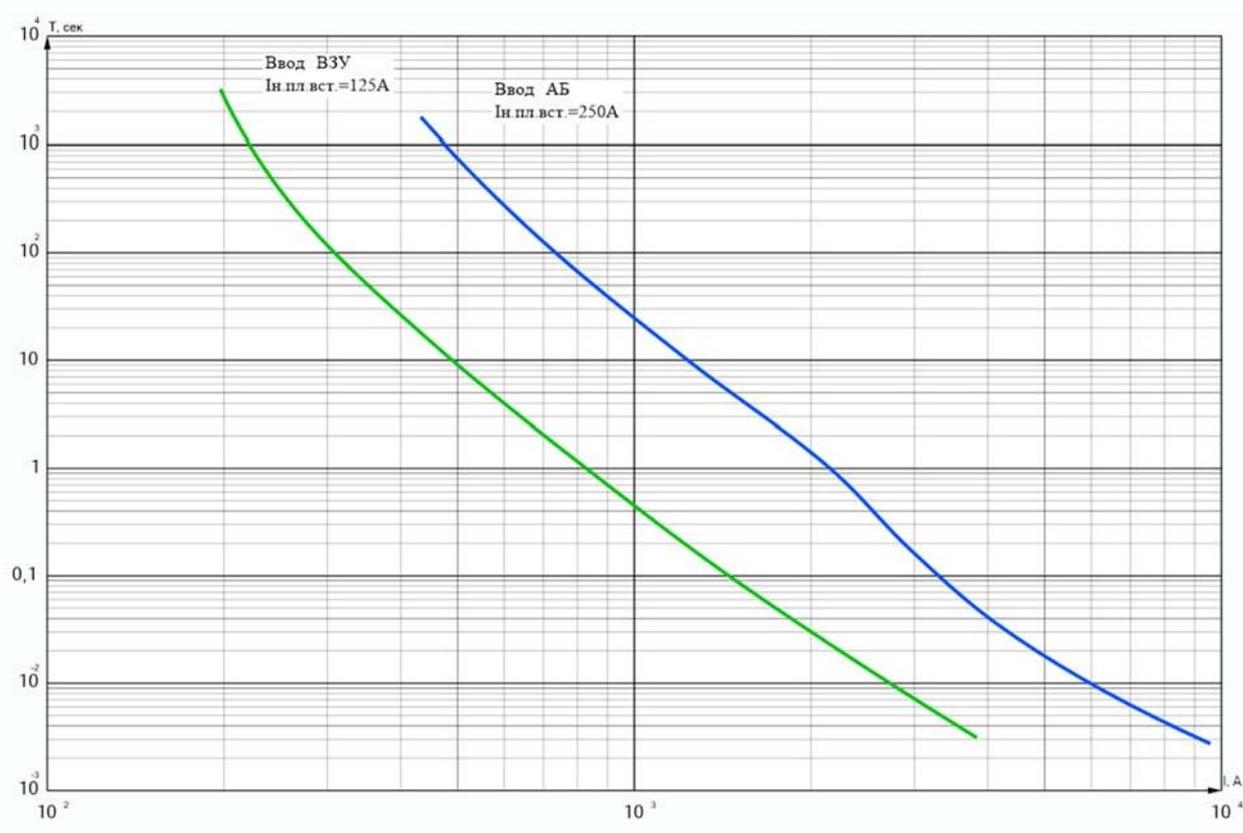


Рисунок 11 - Карта селективности

При определении длин кабелей учитывалось, что раскладка кабелей осуществляется по существующим кабельным трассам и металлоконструкциям.

Раскладку кабелей необходимо выполнить в соответствии с ПУЭ.

## 2.7 Электротехнические решения

Данный подраздел отражает решения по установке, оптимальному размещению и подключению нового оборудования, выбор которого произведен в предыдущих подразделах. При этом временные (этапные) схемы по достижению конечного результата в разделе не представлены. Описание последовательности производства работ и переключений в электроустановках, а также выбор последовательных этапов и их количество

должны выполняться в рамках подготовки проекта производства работ (ППР), выполняемого на основании согласованной рабочей документации.

### **2.7.1 Установка аккумуляторной батареи**

Согласно расчетам, выбраны две новые аккумуляторные батареи типа STARK 14 OGI 800LA в количестве 104 эл. каждая из двух АБ. Вес каждого залитого элемента составляет 52,6 кг. Для размещения элементов АБ предусматриваются металлические общепромышленные однорядные и двухрядные стеллажи заводского изготовления, рассчитанные на соответствующую нагрузку и оптимальное размещение элементов АБ. При этом при двухрядном размещении количество элементов на одном стеллаже не превышает 26 шт. с целью соблюдения п.4.4.19 ПУЭ. Межэлементные перемычки заводские медные изолированные гибкие по 2 шт. на каждый вывод АБ, сечением 120 мм<sup>2</sup>, закрывающиеся в месте крепления к АБ изолированными колпачками. Поставка перемычек, а также керамических фильтр-пробок выполняется комплектно с АБ. Межстеллажные перемычки могут быть как заводского исполнения при длине до 1,5 метров, так и выполненные по месту монтажной организацией при требуемой длине свыше 1,5 метров. Длина стандартных межэлементных соединителей позволяет установить элементы АБ с требуемым зазором для обеспечения требуемого теплоотвода от АБ. Процесс выполнения замены и установки новой батареи должен проводиться без перерыва питания потребителей с работами под напряжением. Подключение выводов новой АБ согласно действующих норм выполняется без использования проходной доски медным гибким кабелем с кислотостойким покрытием напрямую до первых защитных аппаратов в ЩПТ.

### **2.7.2 Установка зарядно-выпрямительных устройств**

В качестве новых зарядно-выпрямительных устройств выбраны тиристорные устройства с номинальным выходным током 100А типа УЗП-100. Установка данного оборудования предусматривается в существующем помещении ОПУ на место старых выпрямителей типа ВАЗП. Процесс замены должен быть поочередным для возможности сохранения питания

потребителей постоянного тока в нормальном режиме и обеспечения подзаряда АБ. Замена ЗВУ должна производиться одновременно с заменой АБ для исключения ее подзаряда от старых ЗВУ. Установка ЗВУ выполняется на существующие закладные элементы. Корпус оборудования должен быть присоединен к существующему контуру заземления подстанции. Кабели от ЗВУ к ЩСН и от ЗВУ к ЩПТ прокладываются новые медные, выбранные по условию протекания максимального тока и проверенные по условиям термической стойкости и невозгораемости. Цепи сигнализации от новых ЗВУ прокладываются новыми до панели центральной сигнализации с подключением к свободному световому табло и шинкам предупредительной сигнализации.

## **2.8 Обеспечение ЭМС**

Согласно СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства» при проектировании СОПТ и кабельной канализации рекомендуется для решения вопросов ЭМС учитывать:

- «Питание устройств РЗА должно осуществляться по отдельным распределительным линиям по радиальной схеме;
- Защитные коммутационные аппараты должны иметь быстродействие достаточное для того, чтобы при возникновении КЗ на любой из распределительных линий не допустить провалы напряжения на шинах ЩПТ более чем указано в приложении Б (таблица Б.1 п.12 СТО);
- СОПТ должна иметь защиту от коммутационных перенапряжений и импульсных помех. В качестве защитных аппаратов рекомендуется устанавливать в ЩПТ между каждым полюсом и «землей» кремниевые диоды с номинальным током не менее 160А или устройства защиты от импульсных перенапряжений;

- Распределительные и групповые линии, используемые для питания устройств РЗА, установленных в распределительных устройствах (КРУЭ, ОРУ, КРУ) должны выполняться экранированными кабелями. Применение неэкранированных кабелей должно быть обосновано расчетом;
- Не рекомендуется подключать к одной панели (сборке) ЩПТ цепи питания электроприемников, чувствительных к перенапряжениям и высокочастотным помехам (микропроцессорные устройства, устройства связи и т.п.) и цепи, выходящие за пределы помещения (цепи приводов включения/отключения высоковольтных выключателей);
- Сборки питания устройств РЗА должны иметь отдельные вводы от АБ, независимые от цепей питания других электроприемников. Использование общих защитных коммутационных аппаратов для цепей питания устройств РЗА и цепей приводов включения/отключения высоковольтных выключателей и других силовых электроприемников недопустимо;
- Размещение АБ и ЩПТ должно обеспечивать применение соединяющих их кабелей минимальной длины. Следует избегать прокладки кабелей разных полюсов на большом расстоянии друг от друга;
- Пульсации напряжения на выходе подзарядного устройства должны быть не более 10% от номинального напряжения;
- Для защиты от наносекундных импульсных помех следует применять поочередно технические решения: выполнить развязку по питанию (разные фидеры) электромеханических устройств и микропроцессорных устройств; использовать соответствующие защитные схемы (RC-цепочки, диоды, варисторы); применять экранированные кабели» [31];
- Выполнять заземление экранов кабелей с двух сторон;

- Выполнять заземление шкафов и панелей в том числе и подвижных элементов;
- Для прокладки кабелей по территории ОРУ применять кабельные лотки, короба, трубы, кабельные эстакады или непосредственно в земле.

«Трассы вторичных кабелей следует прокладывать, по возможности, перпендикулярно шинам первичных цепей на максимальном удалении от шин первичных цепей и молниеотводов» [32].

Мероприятия по обеспечению ЭМС на объекте.

Основные мероприятия по обеспечению ЭМС на подстанции в части системы оперативного постоянного тока, связаны с распределительной сетью СОПТ и схемой щита постоянного тока. Работы по выполнению радиальной схемы питания потребителей СОПТ экранированными кабелями и реконструкция щита постоянного тока с выделением отдельных секций по питанию «чистых» и «грязных» цепей не предусмотрены в данной работе.

В рамках данной работы не прокладываются кабели по территории ОРУ или до потребителей в пределах ОПУ. Замене подлежат только кабели в части питания ЗВУ и выхода питания с него, а также кабель ввода от АБ до ЩПТ, которые прокладываются по установленным кабельным конструкциям по существующей трассе с использованием кабельного полуэтажа. Вторичный кабель цепей сигнализации ЗВУ до панели центральной сигнализации в соответствии с нормами прокладывается экранированным с целью снижения возможных наведенных помех во вторичных цепях сигнализации. Реконструкция щита постоянного тока выполняется только в части замены вводного автоматического выключателя и установки дополнительных коммутационных защитных аппаратов для подключения нового оборудования. Реконструкция ЩПТ в большем объеме или замена его на новый не предусмотрены данным титулом. Зарядно-выпрямительные устройства, заложенные проектом, имеют коэффициент пульсаций выходного напряжения не более 0,5% от  $U_{\text{вых.макс}}$ , что значительно ниже требуемых по

условиям соблюдения ЭМС 10%. При установке новых ЗВУ выполняется их заземление к существующему контуру заземления подстанции. Состояние существующего контура заземления удовлетворительное и усиление его в рамках данного проекта не требуется.

Реконструируемая СОПТ не является источником электромагнитных помех на объекте и системой, ухудшающей электромагнитную обстановку на подстанции. В рамках выполнения проектных работ не предполагается устанавливать микропроцессорные устройства РЗА, АСУ ТП или связи, чувствительные к электромагнитным помехам и требующие соблюдения мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости. Детальная оценка электромагнитной обстановки на объекте и мероприятия по ее улучшению должны быть выполнены при перспективной реконструкции или переустройстве вторичных систем на подстанции, связанном с установкой чувствительных к помехам микропроцессорных устройств РЗА, связи и АСУ ТП.

## **2.9 Организация эксплуатации**

### **2.9.1 Организация эксплуатации стационарных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей OPzS, GroE, OGi, OCSM**

Назначение.

«Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи с жидким электролитом с трубчатыми положительными пластинами типа OPzS, с пластинами большой поверхности типа GroE, с намазными положительными пластинами типа Energy Bloc и OGi, с трубчатыми положительными пластинами и отрицательными пластинами с решеткой из тянутой меди типа OCSM – предназначены для комплектования батарей, используемых в качестве установок резервного питания в системах телекоммуникаций, производства и распределения электроэнергии, в промышленном оборудовании, в системах безопасности, хранения и обработки данных, а

также любых других применениях, требующих автономного, аварийного или бесперебойного электроснабжения. Аккумуляторные батареи эксплуатируются как в параллельно-резервном режиме, обеспечивая в аварийных случаях всю нагрузку постоянного тока, так и в циклическом режиме (разряд-заряд)» [35].

Ввод в эксплуатацию.

При вводе батареи в эксплуатацию следует соблюдать требования безопасности, указанные в эксплуатационной документации на соответствующий тип аккумуляторных батарей. «Перед вводом в эксплуатацию необходимо проверить все элементы/блоки на отсутствие механических повреждений, правильность полярности подключения, а также прочность монтажа соединителей.

Зазор между соседними элементами, необходимый, в том числе, для обеспечения теплоотвода от аккумуляторов, определяется длиной стандартных соединителей. Изгибать стандартные соединители при монтаже крайне нежелательно.

На соединители установить и закрепить защитные крышки. Проверить уровень электролита и, при необходимости, выровнять его до максимальной отметки путем долива в аккумулятор дистиллированной воды. Согласно полярности, подключить батарею при выключенном зарядном устройстве и отключенном потребителе к выпрямительному оборудованию (положительный полюс к положительной клемме)» [33]. Затем включить зарядное устройство (источник питания) и производить заряд согласно эксплуатационной документации.

Эксплуатация.

«При монтаже и эксплуатации стационарных аккумуляторных батарей следует соблюдать требования действующих норм и правил. Разность температур окружающей среды в месте установки батареи не должна быть более 10 градусов. Расстояние между элементами или блоками должно быть около 10 мм, но не менее 5 мм. Напряжение заряда/разряда следует измерять

на концевых выводах батареи.

#### Разряд.

Зависящее от величины разрядного тока и времени разряда конечное напряжение не должно быть ниже рекомендуемой величины. Напряжение окончания разряда, измеренное на выводах аккумуляторной батареи, должно соответствовать количеству элементов в батарее, умноженному на рекомендуемое производителем конечное напряжение разряда отдельного элемента. Если эксплуатация батареи связана с разрядами, режимы которых отличаются от рекомендуемых (например, длительный разряд малым током), то возможность условия их проведения и режим последующего заряда батареи должны быть предварительно согласованы с производителем или представителем производителя. Без согласования с производителем запрещено снимать с батареи больше номинальной емкости. После полного или частичного разряда следует сразу же приступить к заряду батареи» [34].

#### Заряд.

Применимы все методы заряда, описанные в эксплуатационной документации на аккумуляторную батарею:

- «- Метод I (постоянный ток заряда);
- Метод IU (постоянный ток, постоянное напряжение);
- Метод W (постоянная мощность).

В зависимости от области применения и возможностей оборудования, с которым эксплуатируется батарея, заряд может производиться в следующих ниже режимах. Рекомендуемая точность стабилизации зарядного напряжения  $\pm 1\%$  (предельно допустимая  $\pm 2\%$ ):

- Параллельно-резервный режим.

В параллельно-резервном режиме потребители, источник постоянного тока и батарея подключены всегда параллельно друг другу. При этом напряжение выпрямителя является одновременно и напряжением заряда батареи, и напряжением потребляющего оборудования. В параллельно-резервном режиме источник постоянного тока всегда в состоянии обеспечить

максимальный ток потребителя и заряд батареи. Батарея разряжается только тогда, когда не работает источник постоянного тока. Напряжение заряда в параллельно-резервном режиме эксплуатации следует установить в соответствии с эксплуатационной документацией. Выставленное зарядное напряжение измеряется на концевых выводах батареи.

Для сокращения времени заряда может применяться ступень ускоренного заряда при повышенном напряжении (2,33-2,4) В/эл  $\pm 1\%$ . При этом напряжение на батарее определяется как сумма напряжений всех последовательно соединенных элементов. При достижении указанного значения напряжения следует автоматическое переключение в режим непрерывного подзаряда.

- Буферный режим» [36].

«В буферном режиме эксплуатации источник постоянного тока не всегда может обеспечить максимальный ток потребителя. Ток потребителя в отдельные моменты времени может превышать предельный ток источника питания, в указанных случаях избыток тока потребления компенсируется разрядом батареи. Таким образом, батарея время от времени оказывается частично разряжена. Для восполнения дефицита заряда в таких применениях следует устанавливать зарядное напряжение в диапазоне  $2,27-2,3\text{В} \times \text{кол-во } 2\text{-х В элементов}$ , одновременно учитывая допустимое напряжение питания нагрузки. Для сокращения времени заряда батареи может также применяться ступень ускоренного заряда с ограничением тока и напряжения заряда.

- Режим работы с переключением.

В данном применении батарея большую часть времени отключена от потребителя и заряжается отдельно. Напряжение батареи может составлять в конце заряда  $2,6-2,75\text{В} \times \text{кол-во } 2\text{-х В элементов}$ . Следует следить за процессом заряда. После достижения состояния полной заряженности следует прекратить заряд или переключить батарею в режим подзаряда.

- Циклический режим (заряд/разряд).

Циклический режим эксплуатации аккумуляторов подразумевает

последовательно чередующиеся заряды и разряды, при этом питание потребителя осуществляется только от батареи. Зарядное напряжение батареи может составлять в конце заряда 2,6-2,75 х кол-во 2-х В элементов. Следует следить за процессом заряда. При достижении состояния полной заряженности следует прекратить заряд. После чего батарея может быть при необходимости подключена к потребителю» [36].

Режим непрерывного подзаряда.

Зарядное напряжение должно устанавливаться для аккумуляторов GroE, OPzS и OGi, Energy Bloc - 2,23В х кол-во 2-х В элементов, а для OCSM - 2,25В х кол-во 2-х В элементов. Плотность электролита при этом не изменяется в течение длительного времени.

«Выравнивающий заряд.

Выравнивающий заряд необходимо проводить после глубокого разряда и/или после недостаточного заряда батареи. Ввиду того, что выравнивающий заряд всегда проводится при повышенном напряжении, необходимо контролировать напряжение в цепях нагрузки и принимать соответствующие меры, вплоть до отключения потребителя от зарядного устройства, если напряжение заряда батареи оказывается выше максимально допустимого напряжения питания нагрузки. Выравнивающий заряд может проводиться:

- напряжением 2,4В х кол-во 2-х В элементов в течение до 72 часов;
- методом I или W.

Необходимо контролировать температуру электролита. При достижении значения +55°C заряд следует прекратить или перевести батарею в режим подзаряда до снижения температуры. Выравнивающий заряд считается окончанным, если плотность электролита и напряжение на элементах не изменяются в течение 2 часов.

Зарядные токи.

При эксплуатации в параллельно-резервном режиме и в буферном применении зарядные токи можно не ограничивать до напряжения 2,4 В/эл (IU-характеристика). Превышение зарядным напряжением значения 2,4 В/эл

приводит к повышенному разложению воды, поэтому ток заряда должен быть ограничен на каждые 100Ач номинальной емкости, согласно рисунку 12» [37].

Методы заряда	Тип аккумулятора		Напряжение элемента
	GroE	OGi, OPzS, OCSM, Energy Bloc	
Метод IU	5A-35A		до 2,4В
Метод I	6,5А	5,0А	2,6-2,75В
Метод W	9,0А	7,0А	до 2,4В
	4,5А	3,5А	до 2,65В

Рисунок 12 – Ограничение тока заряда

«Температура.

Рекомендуемая температура для эксплуатации свинцово-кислотных аккумуляторов составляет +10°C - +30°C. Технические данные приведены для номинальной температуры +20°C. Предпочтительной является номинальная температура эксплуатации ±5°C. Работа аккумуляторов при повышенной температуре приводит к сокращению их фактического срока службы относительно расчетного в два раза на каждые 10 градусов увеличения температуры эксплуатации. Эксплуатация при пониженной температуре не сокращает срок службы, но снижает доступную разрядную емкость. Превышение температуры +55°C недопустимо. Старайтесь избегать длительной эксплуатации аккумуляторов при температуре более +45°C.

Напряжение заряда в зависимости от температуры.

При изменении температуры в пределах от +10°C до +30°C не требуется регулирование величины напряжения заряда. Если температура надолго отклоняется от указанных значений, то требуется корректировка зарядного напряжения. Температурный коэффициент регулирования напряжения подзаряда составляет 0,004В на элемент на градус. Если температура больше +40°C, то должен применяться коэффициент, равный 0,003В на градус.

Электролит.

Электролит представляет собой оптимизированный по плотности водный раствор серной кислоты. Номинальная плотность электролита приводится для полностью заряженного аккумулятора при 20°C и номинальном уровне электролита. Допустимое отклонение плотности не более  $\pm 0,01$  кг/л при номинальных условиях. Повышенные температуры уменьшают плотность электролита, пониженные увеличивают его плотность. Температурный коэффициент плотности составляет 0,0007 кг/л на градус.

Например, плотность электролита 1,23 кг/л при +35°C и плотность электролита 1,25 кг/л при +5°C соответствуют плотности 1,24 кг/л при +20°C.

Уход за батареями и контроль.

Необходимо регулярно проверять уровень электролита. Если уровень электролита опустился до минимальной отметки, следует долить дистиллированную воду согласно ГОСТ 6709-72 с максимальной проводимостью 30 мкС/см. Содержите аккумуляторы чистыми и сухими для исключения поверхностных токов утечки. Очистка батарей должна осуществляться с соблюдением техники безопасности. Неметаллические части аккумуляторов должны очищаться только с помощью ткани из хлопка, смоченной водой (без добавления каких-бы то ни было чистящих средств и растворителей)» [37].

«Каждые 6 месяцев необходимо измерять и записывать в аккумуляторный журнал:

- напряжение на батарее в целом;
- напряжение подзаряда отдельных элементов/блоков;
- плотность электролита отдельных элементов/блоков;
- температуру электролита отдельных элементов/блоков;
- температуру в аккумуляторном помещении;
- проверять уровень электролита и, в случае необходимости, доливать дистиллированную воду.

Ежегодно следует измерять и записывать в аккумуляторный журнал:

- напряжение на батарее в целом;

- напряжение подзаряда отдельных элементов/блоков;
- плотность электролита отдельных элементов/блоков;
- температуру электролита отдельных элементов/блоков.

Ежегодно следует проводить:

- визуальный осмотр резьбовых соединений;
- проверку момента затяжки резьбовых соединений;
- проверку расположения аккумуляторов;
- проверку вентиляции.

Испытания.

Стандартные испытания следует проводить, согласно методике, изложенной в ГОСТ Р МЭК 60896-11-2015. Нестандартные испытания и их методика должны быть согласованы с производителем (представителем производителя)» [37].

Проверка емкости батареи.

«Для определения ёмкости аккумуляторной батареи проводят её контрольный разряд. Перед проведением контрольного разряда батарея должна быть полностью заряжена. До начала разряда необходимо измерить напряжение на выводах батареи, напряжение на отдельных аккумуляторах (моноблоках), плотность и температуру электролита. Средняя начальная температура электролита рассчитывается как среднее арифметическое отдельных значений. Разрядный ток выбирают в зависимости от режима разряда и поддерживают с точностью  $\pm 2\%$ .

В ходе испытаний на емкость необходимо следить как за напряжением батареи в целом, так и за напряжением отдельных аккумуляторов. Напряжение окончания разряда, измеренное на выводах аккумуляторной батареи, должно соответствовать количеству последовательно соединенных элементов, умноженному на рекомендуемое производителем для данного режима конечное напряжение разряда» [38]. Минимально допустимое конечное напряжение разряда  $U_{\min}$  отдельного элемента определяется как  $U_{\min}=(U_f-0,2), В$ .

Минимально допустимое конечное напряжение разряда  $U_{\min}$  отдельного моноблока определяется как  $U_{\min} = (U_f - 0,2 \cdot \sqrt{n})$ , В ( $U_f$  - конечное напряжение, соответствующее режиму разряда;  $n$  - число элементов в моноблоке).

«Разряд должен быть прекращен тогда, когда напряжение батареи достигнет своего конечного значения, либо при достижении минимально допустимого значения напряжения на любом из элементов/моноблоков. Фактически снятая емкость  $S_{\text{факт}}$  равняется произведению тока разряда на продолжительность разряда до конечного напряжения разряда.

Для обеспечения надежного энергоснабжения вся батарея по истечении срока службы должна быть заменена на новую» [38].

### **2.9.2 Организация эксплуатации устройства зарядно подзарядного тиристорного УЗП**

Назначение.

«Устройство зарядно-подзарядное тиристорное УЗП, в дальнейшем именуемое «устройство УЗП», является статическим тиристорным зарядно-подзарядным устройством на выходной ток 63, 100, 160, 200, 250, 320А и предназначено для работы в следующих режимах:

- двухступенчатого заряда аккумуляторной батареи;
- подзаряда аккумуляторной батареи параллельно с работой на нагрузку;
- работа без аккумуляторной батареи на нагрузку, в том числе чувствительную к форме напряжения постоянного тока.

Устройство УЗП входит в состав системы питания постоянного тока собственных нужд электрических станций и подстанций. Устройство УЗП может использоваться в традиционной системе питания постоянного тока с элементным коммутатором взамен агрегата ВАЗП и мотор-генератора и в системе питания постоянного тока с применением устройства УТСП. Вне зависимости от системы питания, в которой оно используется, устройство УЗП подключается к аккумуляторной батарее» [8].

Подготовка устройства УЗП к работе.

«Каждое устройство УЗП подвергается полной проверке работоспособности на заводе- изготовителе.

После окончания монтажа должны быть проведены внешний осмотр устройства УЗП и проверка правильности фазировки входного напряжения, поскольку для нормального функционирования устройства требуется прямое чередование фаз.

Все переставляемые джамперы на плате UZP-SIFU-X-Little должны быть установлены в правое положение.

Включение устройства УЗП в работу.

Включение устройства УЗП в работу в режиме подзаряда производится в следующей последовательности:

- включением автомата SF1 подать напряжение питания;
- энкодером перевести устройство в режим ПОДЗАРЯД;
- включить тумблер SA1 на двери шкафа и убедиться, что на выходе устройства УЗП появилось напряжение, соответствующее заданной уставке.

Включение устройства УЗП в работу в режиме заряда производится в следующей последовательности:

- включением автомата SF1 подать напряжение питания;
- энкодером перевести устройство в режим ЗАРЯД;
- включить тумблер SA1 на двери шкафа.

Техническое обслуживание.

В период эксплуатации устройства УЗП должны проводиться следующие виды технического обслуживания:

- Технический осмотр;
- Профилактический контроль.

Периодичность проведения:

- технического осмотра - 1 раз в год;
- профилактического контроля - 1 раз в 6 лет» [8].

### Технический осмотр.

В ходе технического осмотра произвести следующие работы (п. а – е производить при отключённых питании и батарее):

- «Выполнить чистку от пыли и посторонних предметов наружных поверхностей шкафа, органов управления и индикации, ребристой поверхности охладителя устройства УЗП, печатных плат и электронных блоков;
- Выполнить проверку отсутствия механических повреждений органов управления и индикации, печатных плат и электронных блоков;
- Выполнить проверку надежности контактных соединений;
- Выполнить проверку надежности крепления печатных плат и электронных;
- Выполнить осмотр монтажа и проверку надежности фиксации разъемных соединений;
- Выполнить проверку заданных уставок;
- Выполнить проверку соответствия диспетчерских наименований.

### Профилактический контроль.

В ходе профилактического контроля произвести следующие работы:

- Провести технический осмотр» [9];
- Выполнить проверку индикации выходного напряжения на дисплее УЗП;
- Выполнить проверку индикации выходного тока на дисплее УЗП;
- Выполнить проверку уровня пульсаций выходного напряжения;
- Выполнить проверку защиты от понижения напряжения на выходе. Вывести устройства УЗП из состава ЩПТ. Выставить токоограничение на уровне 1А. Подсоединить к выходу устройства УЗП нагрузку не менее 10А. Включить устройство УЗП. Должно произойти снижение напряжения на выходе устройства УЗП и срабатывание защиты. Проверить замыкание контактов Х0/1-Х0/2 и

X0/3-X0/4. Вернуть первоначальные настройки, ввести устройства УЗП в состав ЩПТ4

- Выполнить проверку дополнительных функций (при их использовании):
  - «Проверка АБ»;
  - «Вентиляция»;
  - «АВР».

«Вывести устройство УЗП из состава ЩПТ. Настроить его как резервный. Включить устройство УЗП в режиме «ПОДЗАРЯД». Устройство должно остаться в выключенном состоянии, на дисплее появится надпись: «УЗП — РЕЗЕРВНЫЙ». Произвести замыкание перемычкой контактов 9-10 разъёма X0. Устройство УЗП должно включиться с заданными настройками. Вернуть первоначальные настройки и ввести устройство УЗП в состав ЩПТ» [9].

Выводы по разделу.

В работе предусматривается замена аккумуляторных батарей (2 шт.), стеллажей, зарядно-выпрямительных устройств (4 шт.) на новые. Щиты постоянного тока сохраняются существующими.

В соответствии с требованиями нормативных документов на ПС 500 кВ «Курдюм» должна быть установлена стационарная малообслуживаемая свинцово-кислотная аккумуляторная батарея (2 шт.) открытого (вентилируемого) типа с жидким электролитом, которая должна обеспечивать максимальные толчковые токи в конце 2-часового (не менее) разряда током нагрузки в течение 20 лет срока эксплуатации.

Определён состав потребителей системы оперативного постоянного тока, определены значения постоянных нагрузок системы и нагрузок от сети аварийного освещения.

По расчётным условиям выполнен выбор аккумуляторной батареи. Расчет ёмкости аккумуляторной батареи производился согласно Стандарта организации СТО 56947007-29.120.40.216-2016 «Методические указания по

выбору оборудования СОПТ». К установке принята аккумуляторная батарея (АБ-1 и АБ-2), состоящая из 104 элементов типа 14 OGi 800, с номинальной емкостью 800 А·ч. Внутреннее сопротивление одного элемента АБ 14 OGi 800 составляет 0,21 мОм.

Определены требования к зарядным устройствам согласно СТО 56947007-29.120.40.216-2016 «Методические указания по выбору оборудования СОПТ». В качестве зарядно устройства приняты зарядно-выпрямительные устройства с номинальным выходным током 100А типа УЗП-100 (4 шт.). Выбранные ЗВУ были проверены по уровню пульсаций тока поддерживающего заряда.

Произведен расчет токов КЗ в СОПТ в соответствии с ГОСТ 29176-91 «Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока». В качестве защитного аппарата в цепи зарядного устройства принят предохранитель- выключатель-разъединитель (ФН) с плавкой вставкой (PNA) на номинальный ток  $I_n = 125A$  gG. Для уменьшения падения напряжения в цепи ввода рабочего питания от аккумуляторной батареи до щита постоянного тока, принят кабель от АБ до ЩПТ КГВВнг(А)-LS сечением 240 мм<sup>2</sup>.

Принят кабель от ЩПТ до ВЗУ ВВГнг(А)-LS сечением 35 мм<sup>2</sup>. Выбранные кабели проверены по термической стойкости и невозгораемости.

Построены карты селективности защитных аппаратов, из которых видно, что защитная аппаратура селективна во всём диапазоне возможных токов КЗ.

При замене кабельных линий использовался кабель марок ВВГнг(А)-LS, КГВВнг(А)-LS, КВВГЭнг(А)-LS с медными жилами и изоляцией из поливинилхлоридного пластика не поддерживающий горение с низким газо- и дымовыделением.

Рассмотрены вопросы обеспечения ЭМС на объекте и организации эксплуатации стационарных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей OPzS, GroE, OGi, OCSM и тиристорного зарядно-подзарядного устройства.

### **3 Оценка эффективности инвестиций**

При выполнении раздела учитывались требования следующей нормативной документации:

- Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008г. №87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (с изменениями от 18 мая, 21 декабря 2009г., 13 апреля, 7 декабря 2010г., 15 февраля 2011г.);
- ГОСТ Р 21.1101-2013 Система проектной документации для строительства «Основные требования к проектной и рабочей документации»;
- Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Утверждены Министерством экономики Российской Федерации, Министерством финансов Российской Федерации, Государственным комитетом Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.1999 № ВК 477.

Работы выполняются персоналом, который имеет опыт производственной работы и прошел обучение и проверку знаний по охране труда и промышленной безопасности в установленном порядке.

Все строительно-монтажные работы должны производиться специализированной строительно-монтажной организацией. Комплектование кадрами предполагается за счет постоянных кадровых рабочих строительно-монтажной организации.

В соответствии с классификацией объектов энергетического строительства по конструктивным решениям и методам производства работ (ВСН 33-82), настоящий объект строительства отнесен к категории несложных. Сроки строительства составляют 5 месяцев без учета сроков изготовления и доставки оборудования на объект.

Реальные сроки строительства определяются возможностями финансирования работ, сроками поставки оборудования и поступления других материальных ресурсов, возможностями отключения и другими факторами, которые могут вносить коррективы в сроки строительства. На рисунке 13 представлен график производства работ.

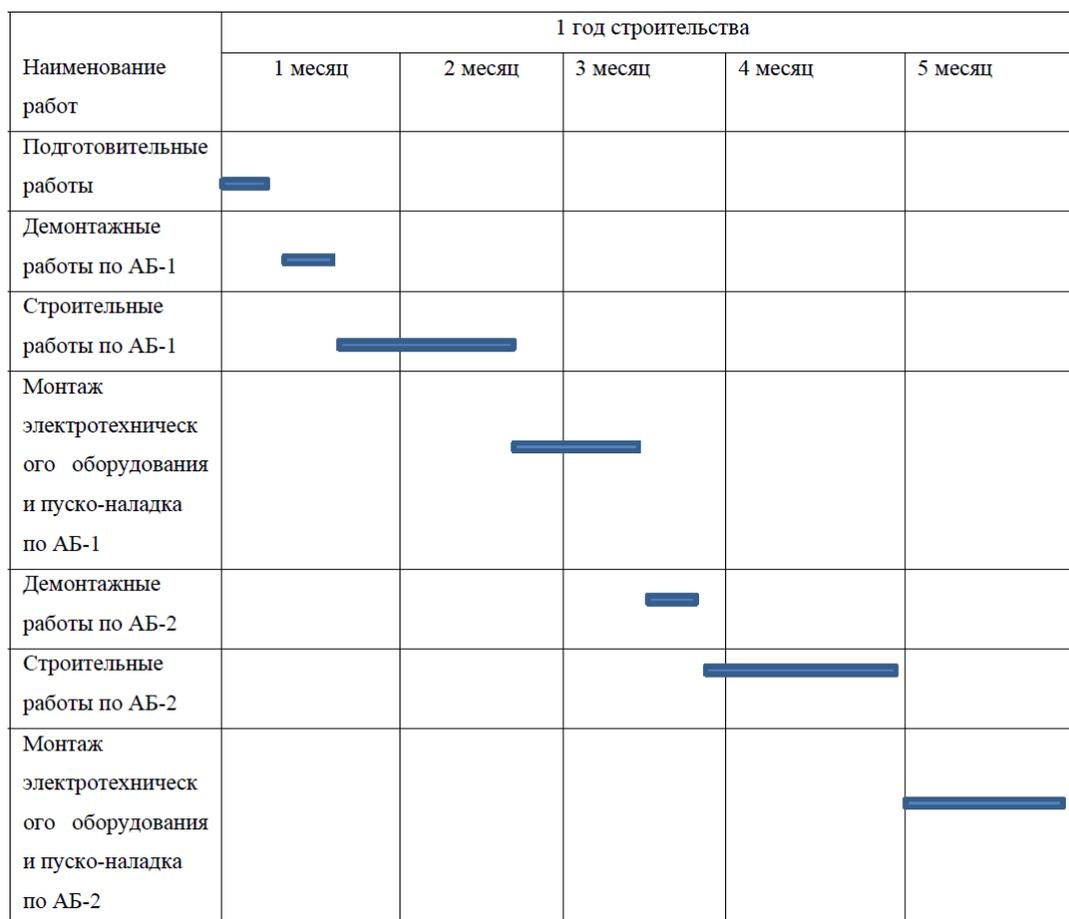


Рисунок 13 – График производства работ

### 3.1 Обоснование потребности в строительных кадрах

Общее количество работающих на период реконструкции предположительно составит 8. Количество работающих в наиболее многочисленную смену принимается равной 50% от общей численности рабочих, а также 50% от общей численности ИТР. Количество работающих в наиболее многочисленную смену указано в таблице 10.

Таблица 10 - Количество работающих в наиболее многочисленную смену

Категория работающих	Количество человек	% от общего количества категории
Рабочих	5	62,5
ИТР	3	37,5
Служащие	0	0
МОП и охрана		
Итого	8	100

Общее количество рабочих на объектах строительства, определено по формуле:

$$Ч_{\text{раб}} = Q_{\text{н}} / (T \cdot 22 \cdot n), \quad (25)$$

где  $Ч_{\text{раб}}$  – численность рабочих, чел.;

$Q_{\text{н}}$  - нормативная трудоемкость, чел.час.;

$T$  - продолжительность строительства, мес. (общая);

22 - среднее количество рабочих дней в месяце, дн.;

$n$  – продолжительность смены, час.

Результаты определения нормативной трудоемкости приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Результаты определения нормативной трудоемкости

Вид работ	$Q_{\text{н}}$ - нормативная трудоемкость, Чел.час	$Ч_{\text{раб}}$ , численность рабочих, чел. (расчетная)
Демонтажные работы	891,48	1,01
Архитектурно-строительные работы АБ-1	900,61	1,02
Архитектурно-строительные работы АБ-2	742,46	0,84
Монтаж металлоконструкций	5,21	0,01
Электромонтажные работы	3 502,55	3,98
Пусконаладочные работы (ПНР)	1 304,24	1,48
Итого	7 346,55	8,34

Состав бригад и звеньев рабочих устанавливается в зависимости от планируемых объемов и сроков выполнения работ.

Комплектование строительно-монтажными кадрами предполагается за счет постоянных кадровых рабочих строительно-монтажной организации (подрядчиком).

### **3.2 Общие положения оценки эффективности и финансовой реализуемости инвестиционного проекта**

Настоящая работа выполняется для оценки эффективности и финансовой реализуемости инвестиционного проекта (ИП). Сама оценка выполняется для проверки соответствия целям и интересам участников данного проекта. В основу оценок эффективности ИП положены следующие основные принципы, применимые к любым типам проектов независимо от их технических, технологических, финансовых, отраслевых или региональных особенностей:

- рассмотрение проекта на протяжении всего его жизненного цикла;
- «моделирование денежных потоков»;
- сопоставление условий сравнения;
- принцип положительности и максимума эффекта;
- учет фактора времени;
- учет только предстоящих затрат и поступлений;
- сравнение «с проектом» и «без проекта»;
- учет всех наиболее существенных последствий проекта;
- учет наличия разных участников проекта;
- многоэтапность оценки» [15];
- учет влияния на эффективность ИП потребности в оборотном капитале;
- учет влияния инфляции;
- учет (в количественной форме) влияния неопределенностей и рисков.

В рамках общей оценки эффективности экспертно определяется общественная значимость проекта и далее в два этапа: определяется эффективность проекта в целом и уточнение состава участников ИП.

В рамках настоящего проекта производится замена выработавшего свой ресурс оборудования на подстанции (аккумуляторная батарея и зарядно-подзарядные устройства), которые обеспечивают питанием все вторичные цепи и устройства объекта в целом. Возможность функционирования подстанции и ее безаварийная работа напрямую зависят от надежности работы системы оперативного постоянного тока. Неисправность или отказ последней ведет к отказу в работе основного оборудования, аварийным ситуациям, прекращению электроснабжения потребителей, разрыву транзита, межсистемных связей и повреждению оборудования. В этой связи, общественная значимость инвестиционного проекта и его эффективность в целом является полностью подтвержденными. В рамках второго этапа оценки – информация предоставлена в виде исходных данных, т.к. работа является частью инвестиционной программы ПАО «ФСК ЕЭС» на 2020-2024 годы.

Требуется определить следующие показатели:

- чистый дисконтированный доход (NPV);
- внутренняя норма доходности (IRR);
- срок окупаемости простоя;
- срок окупаемости дисконтированный.

Данные показатели рассчитываются на основании анализа денежных потоков в течение расчетного периода. Расчетным периодом может рассматриваться отрезок времени от начала выполнения данного проекта до окончания срока службы устанавливаемого оборудования. Расчетным периодом при реконструкции СОПТ объекта может приниматься срок службы аккумуляторной батареи. Согласно нормативным требованиям, данный срок должен составлять не менее 20 лет. Денежные потоки ИП – это зависимость от времени денежных поступлений и платежей при реализации порождающего

его проекта, определяемая для всего расчетного периода, в данном случае для 20 лет. На каждом шаге значение денежного потока характеризуется:

- притоком, равным размеру денежных поступлений (или результатов в стоимостном выражении) на этом шаге;
- оттоком, равным платежам на этом шаге;
- сальдо (активным балансом, эффектом), равным разности между притоком и оттоком.

### **3.3 Чистый дисконтированный доход (NPV)**

«Методы, используемые в анализе инвестиционной деятельности, можно разделить на две группы: основанные на дисконтированных оценках, т.е. с учетом фактора времени, и на учетных оценках. Инвестиционный процесс является объектом количественного финансового анализа, в котором инвестиционный проект рассматривается как денежный поток. Инвестиционный процесс с финансовой точки зрения объединяет два противоположных процесса – создание производственного или иного объекта, на который затрачиваются определенные инвестиционные средства (IC), и последовательное получение чистого дохода (P). Чистый дисконтированный доход (NPV) – показатель, позволяющий оценить инвестиционную привлекательность проекта. Основываясь на величине чистого дисконтированного дохода, инвестор может понять, насколько обоснованными являются его первоначальные капиталовложения с учетом запланированного уровня доходности проекта, не дожидаясь его завершения. Расчет NPV основан на сопоставлении величины исходной инвестиции IC с общей суммой дисконтированных чистых денежных поступлений P за весь расчетный период. NPV – абсолютный показатель, разность дисконтированных на один момент времени показателей дохода и инвестиций» [23].

$$NPV = \sum_{n=0}^t \frac{P_n}{(1+E)^n} - IC, \quad (26)$$

где «Е – норма дохода на капитал (ставка дисконтирования);

$P_n$  – доходы по годам,  $n = 0, 1, \dots t$ ;

$IC_m$  – инвестиционные расходы по годам,  $m = 0, 1, \dots k$ ;

$t$  – продолжительность получения доходов;

$k$  – продолжительность процесса инвестиций» [23].

«Ставка дисконтирования  $E$  – является внешне задаваемым экономическим нормативом, используемым при оценке эффективности ИП. При расчете дисконтированных затрат в новое строительство и реконструкцию объектов для нужд Заказчика норму дисконтирования целесообразно принимать как средневзвешенную стоимость капитала компании. Актуальное значение данной величины должен предоставлять Заказчик. Как правило для простых проектов принимается 15%, для более сложных 20%.

Денежные потоки в рамках инвестиционного проекта должны рассматриваться изолированно от остальной производственной деятельности предприятия, т.е. характеризовать только платежи и поступления, непосредственно связанные с реализацией данного проекта. Принцип дисконтирования, применяемый при расчете чистого приведенного дохода, с экономической точки зрения подразумевает возможность неограниченного привлечения и вложения финансовых средств по ставке дисконта» [23].

При использовании выше обозначенной формулы значение  $P_n$  (сальдо) по годам всегда будет иметь отрицательное значение, поскольку эксплуатация системы СОПТ на объекте не приносит дохода собственнику энергообъекта и инвестору в целом.

При подсчете  $P_n$  всегда будут иметь место затраты на эксплуатационный персонал, на освещение, обогрев помещения, содержание АБ в заряженном

состоянии, составляющие отрицательную составляющую сальдо. В таком случае можно сказать, что показатель NPV будет меньше нуля.

### **3.4 Внутренняя норма доходности (IRR)**

Внутренней нормой доходности IRR называют такую ставку дохода  $E$ , при которой капитализация регулярно получаемого дохода дает сумму, равную инвестициям или это такое положительное число  $E_v$ , что при норме дисконта  $E=E_v$  чистый дисконтированный доход проекта обращается в 0, при всех больших значениях  $E$  – отрицателен, при всех меньших значениях  $E$  – положителен.

Рассматриваемый параметр рассчитывается по формуле:

$$0 = \sum_{n=0}^t \frac{P_n}{(1 + IRR)^n}, \quad (27)$$

Для оценки эффективности ИП значение NPV необходимо сопоставлять со ставкой дисконтирования  $E$ . Инвестиционные проекты, у которых  $IRR > E$  имеют положительный NPV и поэтому эффективны. Проекты, у которых  $IRR < E$ , имеют отрицательный NPV и поэтому неэффективны. В нашем случае сальдо имеет отрицательное значение и подставляя в формулу расчетные значения мы получим IRR значительно меньшим, чем ставка дисконтирования.

### **3.5 Срок окупаемости простой**

Сроком окупаемости простым называется продолжительность периода от начального момента времени до момента окупаемости. Начальный момент указывается в задании на проектирование (обычно это начало нулевого шага или начало операционной деятельности). Моментом окупаемости называется

тот наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после которого текущий чистый доход становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Учитывая нашу ситуацию с отсутствием прибыли при эксплуатации СОПТ, можно заявлять, что срок окупаемости отсутствует или стремится к бесконечности.

### **3.6 Срок окупаемости дисконтированный**

Сроком окупаемости с учетом дисконтирования называется продолжительность периода от начального момента до «момента окупаемости с учетом дисконтирования». Моментом окупаемости с учетом дисконтирования называется тот наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после которого текущий чистый дисконтированный доход NPV становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Учитывая, что наше расчетное значение NPV всегда имеет отрицательное значение можно говорить об отсутствии дисконтированного срока окупаемости или стремлении его к бесконечности.

Выводы по разделу.

Учитывая специфику эксплуатации системы оперативного постоянного тока и ее назначение на объекте крайне сложно расчетным путем оценить доходность от инвестиций по реконструкции данной системы. СОПТ обеспечивает непрерывную и безотказную работоспособность всех связанных устройств на подстанции, позволяет косвенным образом непрерывно производить преобразование электроэнергии и ее передачу потребителям, участвовать в возможностях дистанционного переключения первичного оборудования, позволяет избежать развития аварийных ситуаций с выходом оборудования из строя. Совокупность таких вторичных факторов влияет на надежность функционирования всей системы электроснабжения в целом. Эффективность от реконструкции данной системы и ее содержания в работоспособном состоянии должна рассматриваться как процентное

отношение в рамках глобальной экономической оценки с учетом трансформаторной мощности рассматриваемого объекта и дохода, получаемого от стоимости поставляемых киловатт/часов электроэнергии потребителям.

В этой связи расчетные отрицательные показатели доходности в рамках данного проекта и отсутствие данных о сроке окупаемости не должны влиять на принятие решения о привлекательности или непривлекательности проекта. Затраты на замену и реконструкцию таких систем, как СОПТ, обеспечивающих работу сторонних устройств на объекте, с учетом данных об окончании срока эксплуатации установленного оборудования должны включаться в программы реконструкции объекта даже при отрицательных данных о доходности.

## Заключение

По результатам проведенного анализа существующей СОПТ на ПС 500 кВ «Курдюм» необходимо:

- Выполнить замену аккумуляторных батарей АБ-1 и АБ-2, в связи с истекшим сроком службы аккумуляторных батарей АБ-1 и АБ-2, установленных в 1997 году. Батарею собрать из элементов номинальным напряжением 2В каждый, срок службы которых составляет не менее 20 лет. Окончательный тип, емкость и количество элементов АБ определить на основании проведенных расчетов. Аккумуляторную батарею установить на новые стеллажи в существующем помещении. Межэлементные и межрядные перемычки применить гибкие медные. Для подключения АБ к первому защитному аппарату (в ЩПТ), согласно нормам, проложить новые гибкие одножильные медные кабели без использования проходной доски. Существующую аккумуляторную батарею, стеллажи и элементы жесткой ошиновки демонтировать и утилизировать.
- Выполнить замену существующих подзарядных агрегатов типа ВАЗП, ввиду не возможности обеспечения выполнения требований, предъявляемых к устройствам заряда-подзаряда производителями современных аккумуляторных батарей. Существующие подзарядные агрегаты ВАЗП не могут обеспечить требуемый уровень пульсации выходного напряжения, что в процессе эксплуатации приводит к высокой частоте циклов заряд-разряд аккумуляторной батареи. Номинальный ток ЗВУ принять на основании расчетов и типа АБ. Место установки новых ЗВУ принять существующим взамен старых устройств. Кабели питания ЗВУ по 0,4 кВ, а также выход на ЩПТ =220В проложить новые.

- Учитывая длительный срок службы вновь устанавливаемых аккумуляторных батарей, рекомендуется произвести ремонт помещений аккумуляторных батарей АБ-1 и АБ-2, а также произвести замену входных дверей на противопожарные.
- Систему вентиляции и отопления, ввиду ее работоспособности, сохранить существующей без изменений.
- Систему освещения в помещении АБ сохранить существующей.

В соответствии с требованиями действующих норм и стандартов в перспективе необходимо предусмотреть:

- установку 2-х новых щитов постоянного тока по одному на каждую АБ;
- приведение схемы ЩПТ к типовой согласно СТО 56947007-29.120.40.262-2018;
- оснащение ЩПТ системой автоматизированного поиска фидера с замыканием на землю;
- разделение питания основных и резервных защит присоединений от разных секций ЩПТ или разных АБ;
- организацию систем мониторинга и регистрации сигналов СОПТ.

В работе предусматривается замена аккумуляторных батарей (2 шт.), стеллажей, зарядно-выпрямительных устройств (4 шт.) на новые. Щиты постоянного тока сохраняются существующими.

В соответствии с требованиями нормативных документов на ПС 500 кВ «Курдюм» должна быть установлена стационарная малообслуживаемая свинцово-кислотная аккумуляторная батарея (2 шт.) открытого (вентилируемого) типа с жидким электролитом, которая должна обеспечивать максимальные толчковые токи в конце 2-часового (не менее) разряда током нагрузки в течение 20 лет срока эксплуатации.

Определён состав потребителей системы оперативного постоянного тока, определены значения постоянных нагрузок системы и нагрузок от сети аварийного освещения.

По расчётным условиям выполнен выбор аккумуляторной батареи. Расчет ёмкости аккумуляторной батареи производился согласно Стандарта организации СТО 56947007-29.120.40.216-2016 «Методические указания по выбору оборудования СОПТ». К установке принята аккумуляторная батарея (АБ-1 и АБ-2), состоящая из 104 элементов типа 14 OGi 800, с номинальной емкостью 800 А·ч. Внутреннее сопротивление одного элемента АБ 14 OGi 800 составляет 0,21 мОм.

Определены требования к зарядным устройствам согласно СТО 56947007-29.120.40.216-2016 «Методические указания по выбору оборудования СОПТ». В качестве зарядного устройства приняты зарядно-выпрямительные устройства с номинальным выходным током 100А типа УЗП-100 (4 шт.). Выбранные ЗВУ были проверены по уровню пульсаций тока поддерживающего заряда.

Произведен расчет токов КЗ в СОПТ в соответствии с ГОСТ 29176-91 «Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока». В качестве защитного аппарата в цепи зарядного устройства принят предохранитель- выключатель-разъединитель (ФН) с плавкой вставкой (PNA) на номинальный ток  $I_n = 125A$  gG. Для уменьшения падения напряжения в цепи ввода рабочего питания от аккумуляторной батареи до щита постоянного тока, принят кабель от АБ до ЩПТ КГВВнг(А)-LS сечением 240 мм<sup>2</sup>.

Принят кабель от ЩПТ до ВЗУ ВВГнг(А)-LS сечением 35 мм<sup>2</sup>. Выбранные кабели проверены по термической стойкости и невозгораемости.

Построены карты селективности защитных аппаратов, из которых видно, что защитная аппаратура селективна во всём диапазоне возможных токов КЗ.

При замене кабельных линий использовался кабель марок ВВГнг(А)-LS, КГВВнг(А)-LS, КВВГЭнг(А)-LS с медными жилами и изоляцией из поливинилхлоридного пластика не поддерживающий горение с низким газо- и дымовыделением.

Рассмотрены вопросы обеспечения ЭМС на объекте.

Выполнена оценка эффективности инвестиций.

Учитывая специфику эксплуатации системы оперативного постоянного тока и ее назначение на объекте крайне сложно расчетным путем оценить доходность от инвестиций по реконструкции данной системы. СОПТ обеспечивает непрерывную и безотказную работоспособность всех связанных устройств на подстанции, позволяет косвенным образом непрерывно производить преобразование электроэнергии и ее передачу потребителям, участвовать в возможностях дистанционного переключения первичного оборудования, позволяет избежать развития аварийных ситуаций с выходом оборудования из строя. Совокупность таких вторичных факторов влияет на надежность функционирования всей системы электроснабжения в целом. Эффективность от реконструкции данной системы и ее содержания в работоспособном состоянии должна рассматриваться как процентное отношение в рамках глобальной экономической оценки с учетом трансформаторной мощности рассматриваемого объекта и дохода, получаемого от стоимости поставляемых киловатт/часов электроэнергии потребителям.

В этой связи расчетные отрицательные показатели доходности в рамках данного проекта и отсутствие данных о сроке окупаемости не должны влиять на принятие решения о привлекательности или непривлекательности проекта. Затраты на замену и реконструкцию таких систем, как СОПТ, обеспечивающих работу сторонних устройств на объекте, с учетом данных об окончании срока эксплуатации установленного оборудования должны включаться в программы реконструкции объекта даже при отрицательных данных о доходности.

## Список используемой литературы

1. Белоусенко И.В., Голубев С.В., Дильман М.Д. Исследование и технико-экономическая оценка надежности электроснабжения электростанций собственных нужд. Промышленная энергетика. 2002. №11. С. 62-64.
2. Белоусенко И.В., Горюпов О.А. Моделирование надежности систем электроснабжения с применением автономных источников и эффективность их применения. Промышленная энергетика. 2009. №6. С. 12-26.
3. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. Энергоатомиздат. 2008. 172с.
4. Биллингтон Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем. Энергоатомиздат. 2008. 288с.
5. Борухман В.А., Кулдыкин А.Н. Определение места повреждения изоляции в сети оперативного постоянного тока. Электрические станции. 2002. № 7. С. 58-60.
6. Борухман В.А., Кулдыкин А.Н. Повышение надежности работы сети оперативного постоянного тока. Электрические станции. 2005. № 4. С. 52-53.
7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров. Наука. 2000. 976 с.
8. Буль Б.К. Основы теории электрических аппаратов. М.: Высшая школа. 2000. 600 с.
9. Бурькин В.В., Шилов А.Н., Дурденевский М.С. Контроль сопротивления изоляции цепей постоянного тока. Повышение эффективности работы ТЭС и энергосистем. Труды ИГЭУ. Вып. 1. Иваново. 2007. С. 247-250.
10. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергия. 2000. 608 с.

11. Винников М.Р. Схема контроля цепей оперативного постоянного тока. Промышленная энергетика. 2001. № 12. С.23-24.
12. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. М.: Высшая школа. 2007. 388 с.
13. Голубев М.А. Защита вторичных цепей от коротких замыканий. Библиотека электромонтера. Вып.548. М.: Энергоиздат. 2002. 80 с.
14. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М: Изд-во стандартов. 2000.
15. Гук Ю.Б. Анализ надёжности электроэнергетических установок. Д.: Энергоатомиздат. 2008. 224 с.
16. Гук Ю.Б., Кантан В.В. Проектирование электрической части станций и подстанций: Учеб. Пособие для вузов: Энергоатомиздат. 2005. 312 с.
17. Гумин И.Я. Вторичные схемы электрических станций и подстанций. М.-Л.: Энергия. 2004. 176 с.
18. Гумин М.И. Схемы управления масляными выключателями, автоматами и контакторами. М.- Л.: Госэнергоиздат. 2002. 80 с.
19. Гуревич В.И. Вторичные источники электропитания. Электротехнический рынок. 2009. № 1. С. 45-50.
20. Гуревич Ю.Е. Особенности электроснабжения промышленных предприятий с непрерывными технологическими процессами. Электричество. 2000. №1. С. 55-59.
21. Гусев Ю.П. Положительные тенденции и проблемы развития. Новости электротехники. 2005. №1. С. 44-45.
22. Гусев Ю.П. Короткие замыкания в электроустановках собственных нужд электростанций и подстанций. Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ. 2003. 44 с.
23. Гусев Ю.П., Шиша М.А. Проверка кабелей электроустановок напряжением до 1 кВ на термическую стойкость и невозгораемость. Электро. 2001. №1. С.36-38.

24. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (протокол от 22.02.2017 №252).
25. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).
26. ПТЭ. «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации», утвержденные приказом Минэнерго России от 19.06. 2003 № 229.
27. Распоряжение №270р от 25.05.2015г. «Об утверждении требований ОАО «ФСК ЕЭС» к содержанию отчетов по результатам предпроектного обследования объектов реконструкции».
28. СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».
29. СТО 56947007-29.120.40.041-2010 «Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования» (с изменениями от 14.12.2012, 28.01.2015), ОАО «ФСК ЕЭС».
30. СТО 56947007-29.120.40.262-2018 «Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. Типовые проектные решения (дата введения 18.12.2018).
31. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС).
32. СТО 56947007-29.240.30.010-2008 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения».
33. Baidak Yu., Matukhno V., Chaikovskiy V. Energy efficient transformers with various load graphics for the consumer of electric power // Холодильна техніка та технологія. 2016. № 2. Р. 34-39.
34. Csanyi E. 34 Questions And Answers To Break the Myth About SF6 Gas In Electrical Equipment [Электронный ресурс] : Electrical Engineering Portal. 2014. URL: <http://electrical-engineering-portal.com/34-questions-and-answers-to>

break-the-myth-about-sf6-gas-in-electrical-equipment (дата обращения: 05.12.2021)

35. Csanyi E. 9 Most Common Power Quality Problems [Электронный ресурс] : Electrical Engineering Portal. 2014. URL: <http://electrical-engineering-portal.com/9-most-common-power-quality-problems> (дата обращения: 13.11.2022).

36. Jignesh P. Types of electrical power distribution systems [Электронный ресурс] : Electrical Engineering Portal. 2011. URL: <http://electrical-engineering-portal.com/types-of-electrical-power-distribution-systems> (дата обращения: 05.12.2021).

37. Mirzai M., Gholami A., Aminifar F. Failures Analysis and Reliability Calculation for Power Transformers // Journal of Electrical System. 2006. № 2-1. P. 1-12.

38. Thomas T., Joseph V. Fault Diagnosis on Medium Voltage (MV) Electric Power Distribution Networks: The Case of the Downstream Network of the AES-SONEL Ngousso Sub-Station // Energies. 2009. № 2. P. 243-257.