ООО НПП «Микропроцессорные технологии»

Стандарт организации СТО.МТ.10.041.18 (СОПТ)

Методические указания по выбору и расчету оборудования ЩПТ-МТ

Редакция от 28.05.2018

г. Новосибирск
2018 г.

В настоящем стандарте приведены методики и пример выбора и расчета оборудования систем постоянного оперативного тока (СОПТ), выполненных в шкафах оперативного тока, производства ООО НПП «Микропроцессорные технологии». Методика носит рекомендательный характер.

Разработан ООО НПП «Микропроцессорные технологии»

Исполнители:

Руководитель проектного отдела,

Демидов Д. С.

Ведущий инженер-проектировщик,

Колесников А. А.

Инженер-проектировщик 3 категории,

Пелевин П. С.

Утверждено:

Технический директор,

Пирогов М.Г.

Утвержден и введен в действие Приказом Технического директора № 6 от 22.05.2018 О вводе стандарта по СОПТ.

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ООО НПП «Микропроцессорные технологии».

Содержание

Введение 5
1. Расчет нагрузок постоянного тока 7
1.1 Состав и режим работы потребителей постоянного оперативного тока 7
1.2 Расчет длительной нагрузки 8
1.3 Расчет кратковременной нагрузки. 8
2. Расчет и выбор аккумуляторной батареи 10
2.1 Расчет числа элементов аккумуляторной батареи 10
2.2 Построение диаграммы нагрузки 10
2.3 Предварительный выбор номинальной емкости аккумуляторов. 11
2.4 Проверка выбранной АБ по допустимому уровню напряжения 17
3. Расчет и выбор зарядного устройства 18
3.1 Общие положения 18
3.2 Выбор номинального выходного тока зарядного устройства 18
3.3 Проверка ЗУ по пульсациям тока 19
4. Расчет и выбор проводников 20
4.1 Порядок выбора проводников 20
4.2 Выбор сечений проводников по условиям рабочего режима 20
4.3 Проверка сечения проводников по потере напряжения 21
4.4 Проверка проводников на термическую стойкость и невозгораемость 22
5. Расчет токов КЗ 24
5.1 Общие положения 24
5.2 Расчет 24
6. Расчет и выбор защитных аппаратов (ЗА) 28
6.1 Порядок выбора защитных аппаратов 28
6.2 Выбор номинальных токов защитных аппаратов 28
6.3 Проверка селективности срабатывания защитных аппаратов 29
6.4 Проверка чувствительности защитных аппаратов 30
6.5 Проверка быстродействия защитных аппаратов 30
6.6 Проверка защитных аппаратов на отключающую способность 31
7. Таблицы ориентировочного выбора оборудования СОПТ 32
7.1 Общие пояснения к таблицам 32
7.2 Таблица выбора конфигурации ЩПТ-МТ 32
7.3 Таблица выбора АБ 33
7.4 Таблицы выбора ЗУ 33
7.5 Таблицы выбора оборудования СОПТ при укрупнённых (ориентировочных) расчетах 34
Литература 35

Приложение 1 36
Приложение 2 37

Введение

Методические указания соответствуют требованиям и рекомендациям, изложенным в следующих нормативных документах и типовых проектах:

- Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7 ред;
- СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС), 2017 г.
- СТО 56947007-29.120.40.041-2010. Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования. Стандарт организации, 2012 г.
- СТО 56947007- 29.120.40.093-2011. Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. Типовые проектные решения.
- СТО 56947007-29.120.40.216-2016. Методические указания по выбору оборудования СОПТ [3]. Стандарт организации, 2016 г.;
- СТО РЖД 07.013-2012. Стандарт ОАО "РЖД". Методика выбора емкости источников электроэнергии для систем постоянного оперативного тока тяговых и трансформаторных подстанций, 2013 г. [4];
- «Рекомендации по выбору и применению стационарных АБ 220В различных фирм» (84тм-т1), ОАО Институт «Энергосетьпроект», 1998 г [5];
- «Организация цепей оперативного тока =220В для КТПБ 35/6(10) кВ с использованием шкафов типа ШОТ-01» (10418тм-т1), ЗАО ГК «Электрощит-ТМ-Самара», Филиал «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ-НН-СЭЩ», 2007 г [6].
- «Организация цепей оперативного тока =220В для КТПБ 35/6(10) кВ с использованием системы бесперебойного питания типа АУОТ (10405тм-т1), ЗАО ГК «Электрощит-ТМ-Самара», Филиал «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ-НН-СЭЩ», 2005 г [6].

Настоящий стандарт распространяется на объекты нового строительства, а также подлежащие комплексному техническому перевооружению и реконструкции: подстанции (ПС), переключательные пункты (ПП) и распределительные пункты (РП) напряжением 6-110 кВ.

При разработке настоящего стандарта использована практика, принятая в отечественной электроэнергетике. В настоящем стандарте дан комплексный подход к расчету и выбору оборудования систем постоянного оперативного тока.

В стандарте приведены подробные примеры расчета и выбора оборудования для шкафов оперативного тока, производства ООО НПП «Микропроцессорные технологии».

Использование стандарта позволит проектным организациям и эксплуатирующим предприятиям наиболее полно реализовать функциональные возможности шкафов оперативного тока, выпускаемых ООО НПП «Микропроцессорные технологии».

В настоящем стандарте приняты следующие обозначении и сокращения:

АБ – аккумуляторная батарея;

АВ – автоматический выключатель;

АВР – автоматический ввод резерва;

АСУ ТП - автоматизированная система управления технологическими процессами;

АЧР – автоматическая частотная разгрузка;

ЗА – защитный аппарат;

ЗРУ - закрытое распределительное устройств;

ЗУ – зарядное устройство;

КЗ – короткое замыкание;

КРУН - комплектное распределительное устройство наружного исполнения;

ПА – противоаварийная автоматика;

ПП – переключательный пункт;

ПС – подстанция;

РЗА – релейная защита и автоматика;

РП – распределительный пункт;

РУ – распределительное устройство;

СН – собственные нужды;

СОПТ – система оперативного постоянного тока подстанций;

ЧАПВ – автоматическое повторное включение по частоте;

ШОТ – шкаф оперативного тока;

ШРОТ – шкаф распределения оперативного тока;

ЩПТ – щит постоянного тока;

ЩСН – щит собственных нужд;

ЭДС – электродвижущая сила;

ЭВ – электромагнит включения;

ЭО – электромагнит отключения.

IGBT – Insulated-gate bipolar transistor – биполярный транзистор с изолированным затвором;

MOSFET - metal-oxide-semiconductor field effect transistor – МОП – транзистор (металл-оксид-полупроводник).

1. Расчет нагрузок постоянного тока

1.1 Состав и режим работы потребителей постоянного оперативного тока

Всех потребителей постоянного оперативного тока номинальным напряжением =220В можно разделить на три группы.

Первая группа - постоянно включенная нагрузка, соответствует току, потребляемому в нормальном режиме работы и остающаяся неизменной в течение исчезновения переменного напряжения в системе собственных нужд (СН), содержащая:

– цепи центральной сигнализации;

– оперативные цепи панелей (шкафов) управления и защиты элементов РУ 35-110 кВ;

– оперативные цепи релейных шкафов ячеек КРУН (ЗРУ) 6 (10) кВ;

– цепи управления щита собственных нужд (ЩСН) 0,4 кВ;

– цепи телемеханики и связи;

– охранно-пожарная сигнализация (уточняются при конкретном проектировании);

Вторая группа - временная нагрузка – включается в работу при исчезновении основного питания от сети переменного тока:

– аварийное освещение (в случае применения светильников аварийного освещения со встроенными аккумуляторными батареями, данная нагрузка не учитывается);

– инверторы резервного питания АСУ ТП.

Третья группа – кратковременная (толчковая) нагрузка, создаваемая токами одновременного включения и отключения приводов выключателей 6(10) и 35(110) кВ.

Возможны следующие режимы работы СОПТ:

• нормальный режим — режим обеспечения питанием потребителей СОПТ. Системы собственных нужд переменного тока и ЗУ исправны. Аккумуляторная батарея работает в режиме постоянного подзаряда;

• режим неисправности СОПТ — режим, возникающий при нарушении нормального режима работы всей или части СОПТ, связанный с повреждением оборудования СОПТ, ухудшением качества электроснабжения или перерывом электроснабжения потребителей СОПТ;

• режим аварийного разряда — режим обеспечения питания потребителей СОПТ при аварийном исчезновении переменного напряжения в системе СН переменного тока и питания электроприемников от аккумуляторной батареи.

Первая и вторая группы потребителей составляют длительную нагрузку для режима аварийного разряда, третья – кратковременную.

1.2 Расчет длительной нагрузки

Основным потребителем постоянного тока являются устройства релейной защиты и автоматики, цепи вторичной коммутации РЗА и ПА.

Одними из наиболее ответственных потребителей постоянного тока являются устройства релейной защиты и автоматики. Данная нагрузка характеризуется постоянным потреблением оперативного тока с относительно малыми токами, повышенными требованиями к электромагнитной совместимости и качественным показателям питания. В связи с этим целесообразно разделять цепи, не выходящие за пределы релейного щита («чистая» зона), и цепи, выходящие за его пределы («грязная» зона). Кабельные линии, питающие потребителей «чистой» зоны, как правило, имеют небольшие длины и прокладываются внутри помещений. Кабельные линии, питающие потребителей «грязной» зоны, имеют в общем случае большую протяженность и подверженность внешним воздействиям.

В Приложении 1 указаны данные по потреблению оперативного постоянного тока различными шкафами РЗА, производства ООО НПП «Микропроцессорные технологии», а также некоторых других потребителей.

1.3 Расчет кратковременной нагрузки.

Для определения величины толчковой нагрузки, при конкретном проектировании, рассматриваются различные аварийные режимы работы подстанции. Выбирается режим, имеющий наибольшее значение толчковой нагрузки. Для конкретной подстанции необходимо производить данный анализ отдельно.

В общем случае наиболее частыми к рассмотрению являются следующие режимы:

1. Работа АВР (отключение вводного выключателя и включение секционного).

При этом необходимо, чтобы выдержка времени АВР была согласована с другими устройствами автоматики (например, выдержка времени АВР на стороне 6(10) кВ и выдержка времени АВР на стороне 35-110 кВ должны быть согласованы; согласование с работой делительной защиты и т.д.), т.к. одновременное включение выключателей разных напряжений дает суммарно большую толчковую нагрузку.

2. Срабатывание основных защит трансформатора. При этом происходит:

- отключение выключателя стороны ВН трансформатора;
- отключение выключателя автоматической перемычки ВН (в общем случае);
- отключение выключателя ввода НН (СН);
- включение по АВР секционного выключателя НН (СН).

3. Режим срабатывания устройства АЧР.

При этом происходит:

- одновременное отключение – как правило до трех выключателей 6(10) кВ;

- последующее поочередное включение выключателей 6(10) кВ по ЧАПВ.

При этом допускается одновременное включение на подстанции до трех выключателей, если ток потребления электромагнита включения каждого выключателя не превышает 25А. В большинстве же случаев, по ЧАПВ одновременно включается только один выключатель.

Если электромагнит выключателя имеет большее токовое потребление, необходимо предусмотреть разнесение по времени моментов включения выключателей по ЧАПВ.

Данные по потреблению некоторых электромагнитов включения (ЭВ) и электромагнитов отключения (ЭО) выключателей 6-110 кВ, работающих на постоянном токе, приведены в Приложении 2.

Отдельно следует рассмотреть выключатели, имеющие в своем составе электромагнитные привода с «магнитной защёлкой».

Основным потребителем постоянного тока для выключателей данного типа является модуль управления. Данный модуль потребляет достаточно большой ток при включении его в сеть (рисунок 1). Однако в связи с тем, что расчетным режимом для выбора оборудования СОПТ, а в частности для выбора аккумуляторных батарей является режим аварийного разряда, в расчетах данный бросок не учитывается. Потребление выключателя с электромагнитным приводом с «магнитной защёлкой» принимается равным току, необходимому для заряда емкости включения.

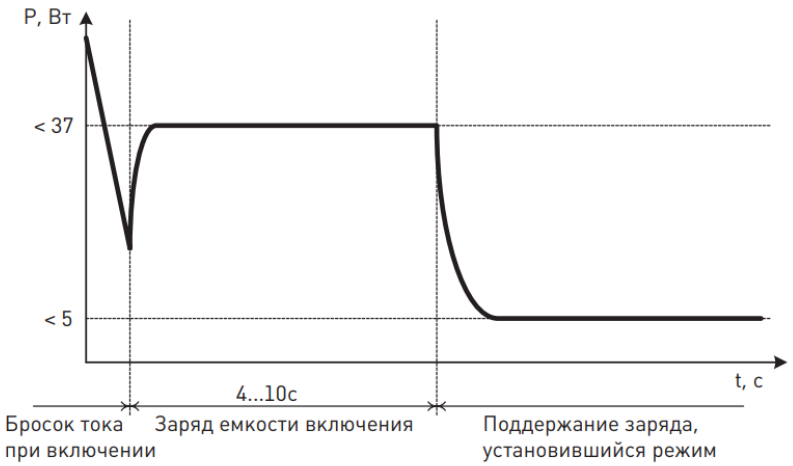

Рисунок 1 – Пример графика потребления модуля управления серии СМ_16 производства «Таврида Электрик» [7].

2. Расчет и выбор аккумуляторной батареи

2.1 Расчет числа элементов аккумуляторной батареи

Количество элементов в АБ выбирается округлением до ближайшего большего целого значения, полученного по выражению:

$$N_{эл} = \frac{U_{нб.норм.доп}}{U_{эл.пз}}, \quad (2.1)$$

где:

$U_{нб.норм.доп}$ – наибольшее нормально допустимое напряжение на клеммах электроприемников, В, принимается равным 1,05 номинального напряжения СОПТ;

$U_{эл.пз}$ – напряжение поддерживающего заряда элементов аккумуляторов, В. Для большинства свинцово-кислотных аккумуляторов, при температуре 20 °С, это значение принимается равным 2,25-2,28 В. Этот параметр должен быть уточнен у производителя АБ.

Например, для аккумуляторных батарей серии FIT производства фирмы FIAMM оно составляет 2,27 В. Тогда, при номинальном напряжении СОПТ 220В, получаем:

$$N_{эл} = \frac{1{,}05 \cdot 220}{2{,}27} = 101{,}76 \approx 102\,шт.$$

Число аккумуляторов, напряжением $2 \cdot n$ В и с n элементами 2В определяется округлением до ближайшего целого значения, полученного по выражению:

$$N_{ак} = \frac{N_{эл}}{n_{эл.ак}}, \quad (2.2)$$

где:

$n_{эл.ак}$ – число элементов 2В в аккумуляторе.

При значениях $U_{нб.норм.доп}$ 231 В и $U_{эл.пз}$ в пределах 2,23-2,28В число элементов АБ, определяемое по (2.1), составляет 101-104 элемента. При аккумуляторах 12В с шестью элементами, число аккумуляторов, полученное по (2.2) составляет 17 шт.

Произведем расчет для ранее представленного примера:

$$N_{ак} = \frac{102}{6} = 17\,шт.$$

Таким образом, необходимо применить 17 аккумуляторных блоков напряжением 12 В.

2.2 Построение диаграммы нагрузки

Диаграмма суммарной нагрузки СОПТ строится на основании информации о токах (см.п.1) и продолжительности работы потребителей постоянного тока в режиме аварийного разряда аккумуляторной батареи.

В связи с тем, что в подавляющем большинстве случаев необходимо обеспечить питание толчковой нагрузки в конце аварийного разряда батареи как наиболее тяжелого режима, требуется к построению двухступенчатая диаграмма нагрузки на интервале времени, соответствующем расчетной продолжительности режима аварийного разряда.

На диаграмме (рисунок 2):

$I_{ав}$ - длительная нагрузка в режиме аварийного разряда, А. Представляет собой сумму значений постоянной и временной нагрузок;

$I_{толчк}$ – толчковая нагрузка, А.

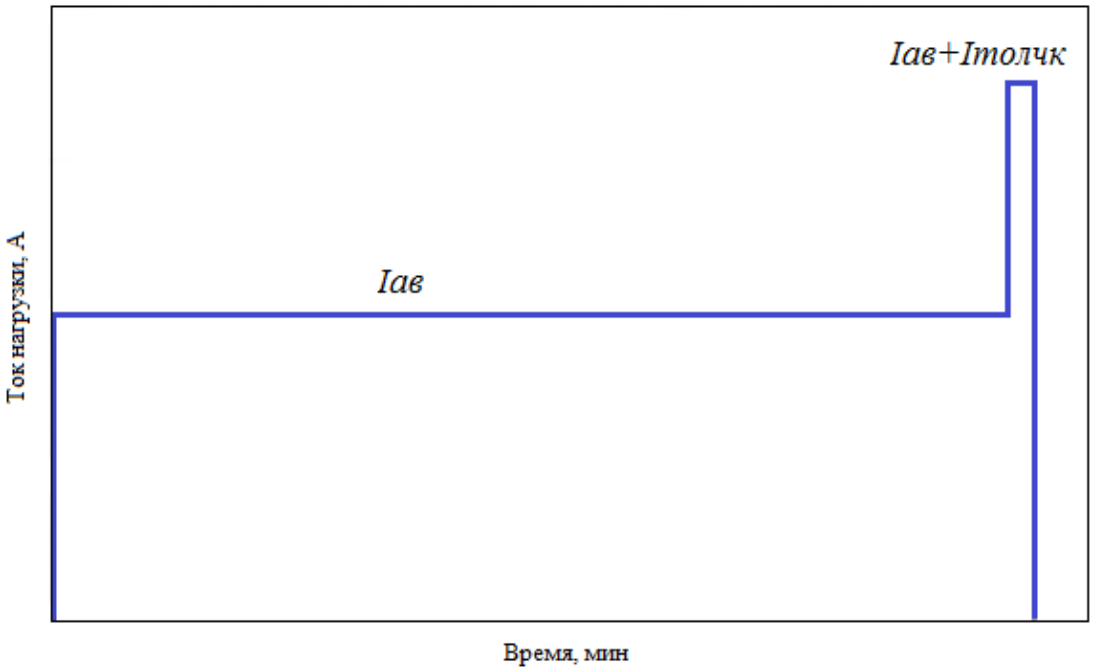

Рисунок 2 – Двухступенчатая диаграмма нагрузки.

Длительность аварийного режима должна указываться эксплуатирующей организацией, либо приниматься согласно соответствующим нормативным документам. Например, согласно [1, 2, 4], она составляет 2 часа.

В отдельных случаях требуется расчет с учетом нагрузки, представляемой в виде многоступенчатой диаграммы. Тогда расчет необходимо производить с применением специальных методик, например, по п.5.3.3, 5.5.5 [3].

2.3 Предварительный выбор номинальной емкости аккумуляторов.

2.3.1 Выбор разрядной характеристики

2.3.1.1 Расчет емкости АБ осуществляется с использованием разрядных характеристик, содержащих значения тока разряда АБ в течении периода времени при котором обеспечивается определенное значение напряжения АБ

в конце разряда. Каждому значению напряжения в конце разряда соответствует своя разрядная характеристика, которые могут быть представлены в виде таблицы (таблица 1) или в виде графиков (рисунок 3).

Таблица 1 – Пример разрядных характеристик в виде таблицы

Разряд постоянным током : А (25 °С)														
$U_к/T_{разряда}$	10мин	15мин	20мин	30мин	45мин	1ч	2ч	3ч	4ч	5ч	6ч	8ч	10ч	20ч
1.85В/Эл	69.6	58.0	49.8	39.0	30.3	24.6	14.7	10.6	8.48	7.02	6.11	4.76	3.97	2.10
1.80В/Эл	78.9	64.6	55.1	42.7	32.6	26.3	15.5	11.2	8.93	7.39	6.42	5.00	4.15	2.20
1.75В/Эл	86.6	69.9	58.8	44.9	33.8	27.2	15.8	11.4	9.15	7.56	6.52	5.06	4.20	2.23
1.70В/Эл	92.6	73.7	61.1	46.2	34.6	27.6	15.9	11.5	9.21	7.60	6.60	5.13	4.24	2.25
1.67В/Эл	95.8	75.5	62.4	46.8	34.7	27.7	16.1	11.6	9.28	7.68	6.68	5.20	4.28	2.26
1.60В/Эл	100.7	78.4	65.2	48.0	35.6	28.4	16.3	11.8	9.48	7.88	6.80	5.32	4.36	2.27

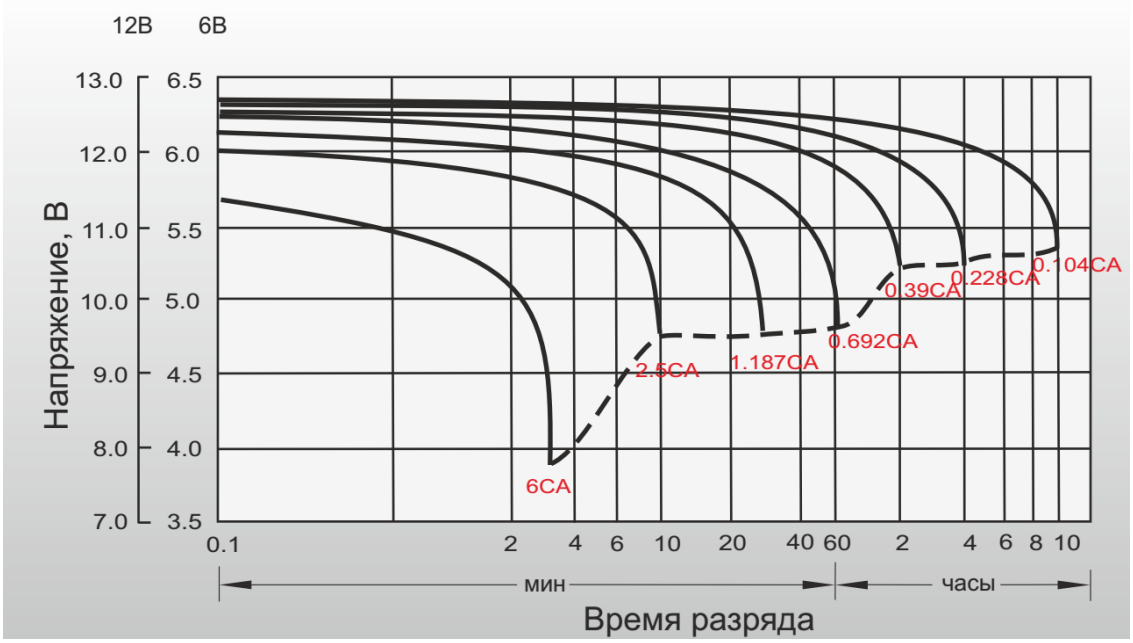

Рисунок 3 – Пример разрядных характеристик в виде графиков

2.3.1.2 Для выбора разрядной характеристики следует определить наименьшее допустимое напряжение на элементе АБ в конце аварийного разряда, по выражению:

$$U_{нм.раб.ак} = \frac{U_{нм.доп} + \Delta U_{АБ-Эп}}{N_{ак}}, \quad (2.3)$$

где:

$U_{нм.доп.}$ – наименьшее допустимое напряжение на клеммах электроприемников, В, принимаемое равным 0,85 номинального напряжения;

$\Delta U_{АБ-Эп}$ – максимальная потеря напряжения в цепи от аккумуляторной батареи до клемм наиболее удаленного или наиболее мощного электроприемника, В

$$\Delta U_{АБ-Эп} = \Delta U_{АБ-ШОТ\%} + \Delta U_{ШОТ-ШРОТ\%} + \Delta U_{каб\%}, \quad (2.4)$$

где: $\Delta U_{АБ-ШОТ}$ – максимальная потеря напряжения в цепи от аккумуляторной батареи до шкафа ШОТ;

$$\Delta U_{АБ-ШОТ} = \frac{2 \cdot L_{пр(АБ-ШОТ)} \cdot \rho_{пр} \cdot (I_{толч} + I_{ав})}{S_{пр}}$$

$L_{пр}$ – длина проводника, м;

$S_{пр}$ – сечение проводника, мм^2;

$\rho_{пр}$ – удельное сопротивление материала жилы кабеля (ошиновки, провода), Ом·мм^2/м;

Для шкафов производства НПП «Микропроцессорные технологии» $\Delta U_{АБ-ШОТ}$ допускается принимать равной 0,08 В.

$\Delta U_{ШОТ-ШРОТ}$ – максимальная потеря напряжения в цепи от шкафа ШОТ до шкафа ШРОТ (при наличии), В

$$\Delta U_{ШОТ-ШРОТ\%} = \frac{2 \cdot L_{пр(ШОТ-ШРОТ)} \cdot \rho_{пр} \cdot I_{толч}}{S_{пр}}$$

$\Delta U_{каб}$ – максимальная потеря напряжения в цепи от шкафа ШРОТ (ШОТ при отсутствии ШРОТ) до клемм наиболее удаленного электроприемника, В.

$$\Delta U_{каб\%} = \frac{2 \cdot L_{каб} \cdot \rho_{каб} \cdot I_{толч} \cdot 100}{U_{ном}}$$

Величина $\Delta U_{АБ-Эп}$, согласно ГОСТ 50571.16 не должна превышать 0,04 от номинального напряжения (при номинальном напряжении 220 В соответственно 8,8 В). При отсутствии достоверных исходных данных, $\Delta U_{АБ-Эп}$ принимается равной 0,04 номинального напряжения. При неудовлетворении данного условия необходимо предпринять меры, позволяющие уменьшить данное значение. Например, увеличить сечения кабелей в цепи питания электроприемников.

2.3.1.3 По результатам расчета наименьшего допустимого напряжения на элементе АБ в конце аварийного разряда $U_{нм.раб.ак}$ выбирается соответствующая разрядная характеристика.

В случае, если $U_{нм.раб.ак}$ выходит за представленные производителем границы, используется дополнительный запас по емкости АБ путем введения дополнительного коэффициента запаса $K_{зап}$ при расчете итогового значения емкости АБ по формуле (2.8) – см. п. 2.3.4

2.3.2 Выбор предварительного значения емкости АБ

Далее необходимо выбрать предварительную емкость АБ $C_{предв.}$, используя один из двух подходов:

- с помощью таблицы 2, полученной на основании произведенных расчетов при длительности аварийного разряда аккумулятора 2 часа;
- по выражению 2.5, при длительности аварийного разряда более 2 часов, либо при отсутствии возможности применения таблицы 2.

Таблица 2 – Выбор предварительной емкости АБ $C_{предв}$ (Ахч).

$I_{толчк}$, А	$I_{ав}$, А							
	3	**5**	**7**	**10**	**15**	**18**	**21**	**24**
1	40	40	60	101	101	130	130	150
3	40	60	60	101	101	130	130	150
25	60	60	101	101	130	150	180	180
35	101	101	101	101	130	150	180	-
50	101	101	101	130	150	180	-	-
75	101	101	130	150	180	-	-	-
100	101	130	150	180	-	-	-	-

$$C_{предв} = 1{,}5 \cdot I_{ав} \cdot t_{ав} \quad (2.5)$$

где:

$I_{ав}$, – длительная нагрузка в режиме аварийного разряда, А;

$t_{ав}$ – расчетная продолжительность аварийного разряда АБ, ч.

Например, при $I_{ав}$ = 7 А и $I_{толчк}$ = 25 А, по таблице 2 получаем $C_{предв}$.=101 *А·ч.*

2.3.3 Расчет уточненного значения емкости АБ

2.3.3.1 На следующем шаге необходимо выполнить уточняющий расчет емкости АБ по двухступенчатой диаграмме нагрузок СОПТ:

$$C_{ут} = k_{t1} \cdot I_{ав} + k_{t2} \cdot I_{толчк}, \quad (2.6)$$

где:

$C_{ут}$ – уточненное значение емкости АБ, А·ч;

k_{t1}, k_{t2} – коэффициенты интенсивности разряда при продолжительностях разряда равных расчетной продолжительности разряда аккумуляторной батареи (расчетная длительность аварийного разряда) и максимальной продолжительности кратковременной (толчковой) нагрузки соответственно, А·ч/А. Данные коэффициенты определяются по разрядной характеристике определенной ранее.

Коэффициент интенсивности разряда представляет собой отношение номинальной емкости аккумулятора, выраженной в ампер часах, при температуре 20 °С и определенном напряжении на аккумуляторе в конце разряда, к силе тока в амперах, которую может обеспечить этот аккумулятор при разряде продолжительностью *t*. Он позволяет учесть влияние тока разряда и его продолжительности на номинальную емкость аккумулятора, необходимую для обеспечения требуемого напряжения на клеммах электроприемников в процессе разряда. Если разрядная характеристика аккумуляторов представлена в виде зависимости максимального тока разряда от продолжительности разряда, то следует выполнить ее пересчет в зависимость коэффициента интенсивности разряда от продолжительности разряда в соответствии с выражением:

$$k_{ti} = \frac{C_{предв}}{I(t_i)}, \qquad (2.7)$$

где:

$C_{предв}$ – номинальная емкость предварительно выбранной АБ, А·ч;

t_i – продолжительность разряда аккумулятора, мин;

$I(t_i)$– максимальный ток разряда аккумулятора, А, при продолжительности разряда t_i, согласно разрядной характеристике предварительно выбранной АБ.

Для толчковой нагрузки продолжительность разряда аккумулятора, как правило, принимает значения от 1 до 20 с, при этом в большинстве случаев минимальное время, указываемое в разрядных характеристиках, составляет 1 - 5 минут. Поэтому при определении k_{ti} следует выбирать значения тока для минимального указываемого времени разряда, если не указано время менее 1 минуты.

Величина может быть получена как по разрядным характеристикам в виде таблиц, так и в виде графиков.

Например, известны следующие величины:

$U_{нм.раб.ак.}$ = 1,85 В, $I_{ав}$ = 5 А и $I_{толчк}$ = 1 А, $t_{ав}$ = 2ч $t_{толчк}$ = 10 с по таблице 2 $C_{предв} = 40$ *А·ч. В качестве АБ приняты батареи FT12-40 фирмы Leoch. Разрядные характеристики представлены как в виде таблицы, так и в виде графиков.*

По разрядной характеристике, представленной в виде таблицы (таблица 3), по формуле (2.7) получаем:

$$k_{t1} = \frac{40}{I(t = 2ч)} = \frac{40}{14{,}7} = 2{,}72 \ \ ч$$

$$k_{t2} = \frac{40}{I(t = 10c)} = \frac{40}{69{,}6} = 0{,}57 \ \ ч$$

Таблица 3 – Расчет по разрядным характеристикам в виде таблицы

Разряд постоянным током : А (25 °С)														
$U_к/T_{разряда}$	10мин	15мин	20мин	30мин	45мин	1ч	2ч	3ч	4ч	5ч	6ч	8ч	10ч	20ч
1.85В/Эл	69.6	58.0	49.8	39.0	30.3	24.6	14.7	10.6	8.48	7.02	6.11	4.76	3.97	2.10
1.80В/Эл	78.9	64.6	55.1	42.7	32.6	26.3	15.5	11.2	8.93	7.39	6.42	5.00	4.15	2.20
1.75В/Эл	86.6	69.9	58.8	44.9	33.8	27.2	15.8	11.4	9.15	7.56	6.52	5.06	4.20	2.23
1.70В/Эл	92.6	73.7	61.1	46.2	34.6	27.6	15.9	11.5	9.21	7.60	6.60	5.13	4.24	2.25
1.67В/Эл	95.8	75.5	62.4	46.8	34.7	27.7	16.1	11.6	9.28	7.68	6.68	5.20	4.28	2.26
1.60В/Эл	100.7	78.4	65.2	48.0	35.6	28.4	16.3	11.8	9.48	7.88	6.80	5.32	4.36	2.27

Тогда уточненное значение емкости

$$C_{ут} = 2{,}72 \cdot 5 + 0{,}57 \cdot 1 = 14{,}2 \ \ А \cdot ч$$

Произведем расчет по разрядным характеристикам, представленным в виде графиков (рисунок 4).

Для аккумуляторов 12В с шестью элементами приведенное значение наименьшего допустимого напряжения на элементе АБ в конце аварийного разряда: $U^*_{нм.раб.ак.} = U_{нм.раб.ак} \cdot 6 = 1{,}85 \cdot 6 = 11{,}1$ *В*

Отметим на графике характерные точки (см. рисунок 4) для времен 2 ч и 10 с при $U^*_{нм.раб.ак.} = 11{,}1$ *В*

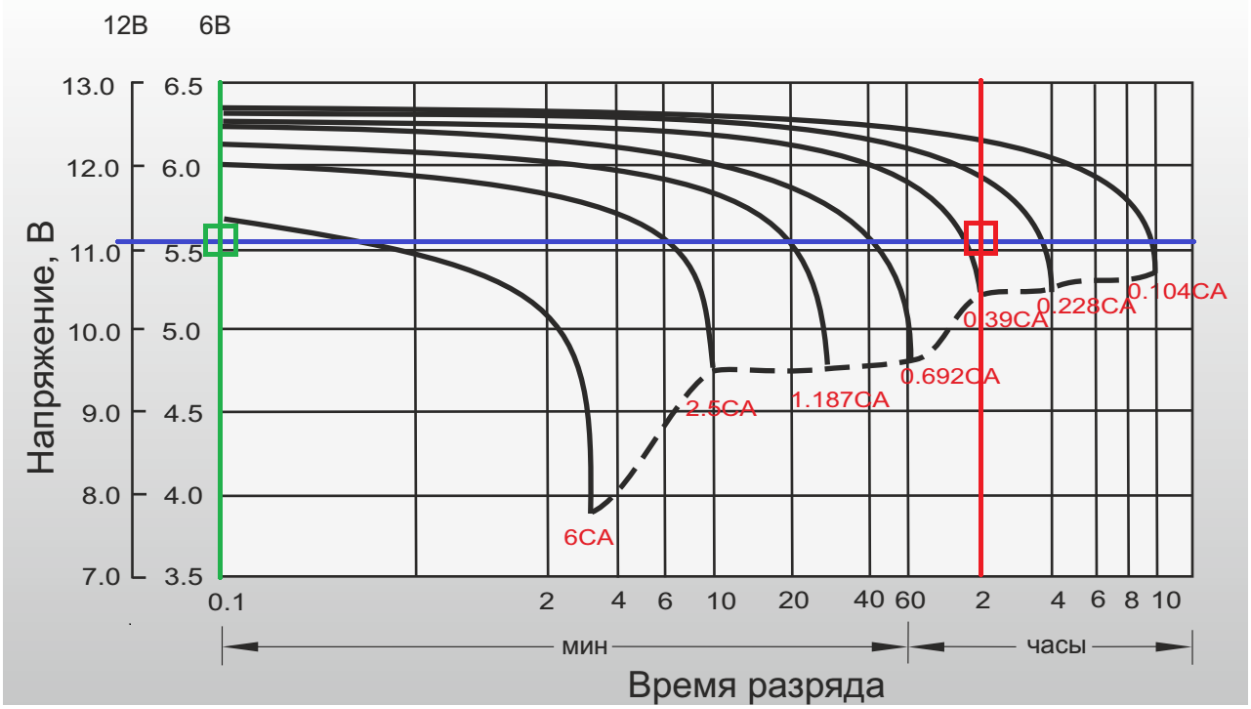

Рисунок 4 – Расчет по разрядным характеристикам в виде графиков

Для расчета следует использовать ближайшую характеристику, лежащую выше точки пересечения $U^*_{нм.раб.ак}$ *и продолжительностей разряда на графике.*

$$k_{t1} = \frac{40}{I(t = 2ч)} = \frac{40}{0{,}228 \cdot 40} = 4{,}39 \ ч$$

$$k_{t2} = \frac{40}{I(t = 10c)} = \frac{40}{6 \cdot 40} = 0{,}16 \ ч$$

Соответственно:

$$C_{ут} = 4{,}39 \cdot 5 + 0{,}16 \cdot 1 = 22{,}1 \ А \cdot ч$$

2.3.4 Расчет итогового значения емкости АБ

После расчета уточненного значения емкости АБ согласно (2.6), данное значение необходимо пересчитать с учетом коэффициентов, учитывающих отклонение параметров АБ от номинальных:

$$C_{итог} = k_{ст} \cdot k_т \cdot k_{зап} \cdot C_{ут}, \qquad (2.8)$$

где:

$C_{итог}$ – итоговое значение емкости АБ, А·ч;

$k_{ст}$ – коэффициент старения, учитывающий снижение располагаемой емкости АБ до 80 % [п. 5.7, 3] номинальной емкости к концу срока службы, согласно [п. 5.7, 3] принимается равным 1,25;

$k_т$ – температурный коэффициент, учитывающий снижение емкости АБ под влиянием рабочей температуры, отличающейся от номинальной (выбирается по данным производителя для минимально допустимой в помещении АБ температуры; если нет данных производителя, принимается равным 1,2);

$k_{зап}$ – коэффициент запаса по выражению (2.9), учитывающий превышение $U_{нм.раб.ак}$ по сравнению с указываемыми производителем.

Поскольку в большинстве случаев, значения разрядного тока, указываемые в разрядных таблицах, отличаются на 3-5%, то значение $К_{зап}$ можно определить следующим образом:

$$K_{зап} = 1 + \frac{(U_{нм.раб.ак} - U_{нб.разр})}{0.05} \cdot (0.03 \div 0.05), \quad (2.9)$$

где:

$U_{нб.разр}$ – наибольшее напряжение в конце разряда АБ, для которого производитель предоставляет разрядные характеристики.

Таким образом, если, например, значение $U_{нм.раб.доп}$ составляет 1,9 В, а $U_{нб.разр}$ = 1,8 В, то $K_{зап}$ принимает значение 1,1.

2.3.5 Выбор емкости АБ

По рассчитанному согласно (2.8) значению емкости $C_{итог}$, выбирается ближайшая большая номинальная емкость аккумулятора. Если выбранная на данном шаге емкость АБ отличается от предварительной $C_{предв}$., тогда расчет выполняется снова, начиная с п. 2.3.3, при этом необходимо использовать разрядную характеристику для выбранной емкости АБ.

2.4 Проверка выбранной АБ по допустимому уровню напряжения

При отсутствии необходимости проведения расчетов по выбору кабелей питания (см. п.4), для определения отклонений напряжения необходимо рассчитать потери напряжения от АБ до расчетного потребителя.

Потери напряжения определяются аналогично (п. 4.3). Величина $\Delta U_{доп\%}$, не должна превышать 15% от номинального напряжения [1, 3]. При неудовлетворении данного условия необходимо предпринять мероприятия, позволяющие уменьшить данное значение (увеличение сечения кабелей и т.д.).

3. Расчет и выбор зарядного устройства

3.1 Общие положения

Исходными данными для выбора зарядного устройства являются:

1) тип и количество аккумуляторов в батарее;

2) номинальная десятичасовая емкость аккумуляторов, А·ч;

3) суммарный ток постоянной нагрузки СОПТ, А;

4) минимально допустимый выходной ток ЗУ по условию его устойчивой работы;

5)* максимальное среднеквадратичное значение пульсаций выходного напряжения ЗУ при работе на активную нагрузку без аккумуляторной батареи;

6)* емкость конденсатора выходного фильтра ЗУ.

Примечание: параметры, помеченные символом «*», являются обязательными для ЗУ тиристорного типа. При использовании импульсных зарядных устройств на базе MOSFET или IGBT - технологий не требуется производить проверку по пульсациям выходного тока.

3.2 Выбор номинального выходного тока зарядного устройства

Номинальный выходной ток ЗУ выбирается по двум условиям:

1) 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;

2) 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.

Согласно первому условию, номинальный ток ЗУ определяется по выражению:

$$I_{ном} \geq I_{длит}, \tag{3.1}$$

где $I_{длит}$ – ток длительной нагрузки, представляющий собой сумму токов постоянной и временной нагрузки СОПТ, А.

Согласно второму условию, номинальный ток ЗУ определяется по выражению:

$$I_{ном} \geq \frac{I_{длит} + I_{зар.уск}}{2}, \tag{3.2}$$

где $I_{зар.уск}$ – ток ускоренного заряда АБ, А. Определяется по руководству по эксплуатации АБ, или по выражению:

$$I_{зар.уск} = k \cdot C_{10}, \tag{3.3}$$

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

k – коэффициент, определяющий ток заряда АБ при ускоренном заряде, принимается равным 0,12, или определяется согласно данным производителей АБ, 1/ч.

Для большинства АБ других производителей указывается величина зарядного тока, равная $0{,}1 \cdot C_{10}$, поэтому коэффициент зарядного тока, принятый равным 0,12, как правило, с небольшим запасом может быть принят для большинства АБ.

3.3 Проверка ЗУ по пульсациям тока

Проверку ЗУ по пульсациям тока поддерживающего заряда аккумуляторной батареи допускается не проводить для высокочастотных (импульсных) зарядных устройств (на базе MOSFET или IGBT – технологий).

При использовании тиристорных ЗУ необходимо осуществить проверку ЗУ по пульсациям тока. Для этого рассчитывается среднеквадратичное значение пульсаций тока при работе ЗУ на АБ по выражению:

$$I_{п.АБ} = \frac{U_{п.нг} \cdot X_c \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{X_c}\right)^2 + \left(\frac{I_{ном}}{U_{ном}}\right)^2}}{\sqrt{(R_{ак} \cdot N_{ак})^2 + (X_c)^2}}, \quad (3.4)$$

где: $U_{п.нг}$ – 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 (определяется по выражению (3.5), Ом;

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

$N_{ак}$ – количество аккумуляторов в батарее.

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 300 \cdot C_ф}, \quad (3.5)$$

где $C_ф$ – емкость конденсатора фильтра ЗУ, Ф.

Если среднеквадратичное значение пульсаций тока поддерживающего заряда в расчете на 100А·ч емкости АБ не превышает 5 А, то пульсации тока поддерживающего заряда не превышают максимально допустимые значения. Поэтому значение пульсаций тока по (3.4) необходимо пересчитать с учетом емкости АБ. Проверочное условие в этом случае примет вид:

$$I_{п.АБ.прив} = I_{п.АБ} \cdot \frac{100 А \cdot ч}{C_{АБ}} \le 5 А, \quad (3.6)$$

где $C_{АБ}$ – номинальная емкость АБ, А·ч.

Также необходимо сравнить ток постоянной нагрузки СОПТ с минимально допустимым выходным током ЗУ по условию его устойчивой работы по выражению:

$$I_{мин.ЗУ} \le I_{длит} \quad (3.7)$$

4. Расчет и выбор проводников

4.1 Порядок выбора проводников

Выбор и проверка сечения проводников в цепях кратковременной нагрузки, должны проводиться следующим образом:

- предварительно выбирается сечение проводника по потере напряжения;
- выбранное сечение проверяется по термической стойкости к токам короткого замыкания и по условию невозгораемости.

Выбор проводников в цепях постоянной и временной нагрузок должен производиться в следующем порядке:

- предварительно выбирается сечение проводника по длительно допустимому току;
- выбранное сечение проверяется по потере напряжения;
- выбранное сечение проверяется по термической стойкости к токам короткого замыкания и по условию невозгораемости.

4.2 Выбор сечений проводников по условиям рабочего режима

Выбор предварительного сечения кабеля осуществляется по данному выражению:

$$I_{длит.доп} \geq \frac{I_{расч}}{n_{пров} \cdot k_t}, \quad (4.1)$$

где:

$I_{расч}$ – расчетный ток длительной нагрузки, представляющий собой сумму токов постоянной и временной нагрузки, протекающий через проводник А;

$n_{пров}$ – количество параллельных проводников в одном полюсе, на первом шаге расчета принимается равным 1;

$I_{длит.доп}$ – длительно допустимый ток проводника. Для кабелей с медными жилами и поливинилхлоридной изоляцией (например, типа ВВГнг-LS) - см. табл. 4, А;

Таблица 4 – Длительно допустимые токи для кабелей с медными жилами и поливинилхлоридной изоляцией (согласно ПУЭ, таблица1.3.6).

Сечение кабеля, мм^2	Длительно допустимый ток для двухжильных кабелей с ПВХ изоляцией (при температуре 25 ºС), А
2,5	27
4	38
6	50
10	70
16	90
25	115
35	140

k_t – поправочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды, выбирается по таблице 5.

Таблица 5 – Поправочные коэффициенты, учитывающие расчетную температуру окружающей среды

Изоляция	Поправочные коэффициенты при расчетной температуре окружающей среды, °С											
	Минус 5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
Поливинилхлоридный пластикат и резина	1,29	1,24	1,2	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,87	0,81	0,74	0,67

При отсутствии данных о температуре окружающей среды k_t принимается равным 0,8.

По условию обеспечения допустимых отклонений напряжения в цепях питания кратковременных нагрузок сечение кабелей в цепи кратковременных нагрузок предварительно выбирается согласно условию:

$$S_{пр} \geq \frac{2 \cdot \rho \cdot I_{кр.нг} \cdot l_{\Sigma}}{(N_{ак} \cdot U_{нм.раб.ак} - N_{ак} \cdot R_{ак} \cdot I_{кр.нг} - U_{нм.доп}) \cdot n_{пров}}, \quad (4.2)$$

где:

ρ – удельное сопротивление материала жилы кабеля, Ом·мм^2/м, для меди – 0,0182 Ом·мм^2/м (согласно ГОСТ 22483-2012, таблица 3);

$I_{кр.нг}$ – ток кратковременной нагрузки, А;

l_{Σ} – суммарная длина проводников в цепи от аккумуляторной батареи до клемм рассматриваемого потребителя, м;

$N_{ак}$ – количество аккумуляторов в батарее, шт.;

$U_{нм.раб.ак}$ – напряжение аккумулятора в конце разряда, В (при отсутствии данных принимается равным 1,85В), В;

$R_{ак}$ – активное сопротивление аккумулятора (определяется по данным производителя при выборе АБ), Ом;

$U_{нм.доп}$ – минимально допустимое напряжение на клеммах рассматриваемого потребителя, В; в случае, если расчетным потребителем является привод выключателя, принимают по технической документации на привод (при отсутствии данных допустимо принимать $0{,}85 \cdot U_{ном}$).

Условие (4.2) распространяется на все проводники, которые составляют цепь питания рассматриваемого потребителя. Если один и тот же проводник входит в цепи питания разных потребителей кратковременной нагрузки, то выбирается большее из значений требуемого сечения, определяемых по (4.2).

В случае, если, необходимо уменьшить сечение кабелей, например, по конструктивным требованиям, или необходимое сечение выходит за ряд номинальных сечений, то необходимо увеличивать число параллельных проводников в одном полюсе.

4.3 Проверка сечения проводников по потере напряжения

Проверка сечения проводников по потере напряжения в цепях питания нагрузки осуществляется согласно выражению:

$$I_{АБ-ШОТ} \cdot R_{АБ-ШОТ} + I_{ШОТ-ШРОТ} \cdot R_{ШОТ-ШРОТ} + \\ + I_{ШРОТ(ШОТ)-Эп} \cdot R_{ШРОТ(ШОТ)-Эп} \leq N_{ак} \cdot U_{нм.раб.ак} - U_{нм.доп}, \quad (4.3)$$

где:

$I_{АБ\text{-}ШОТ}$ – ток постоянной, временной и кратковременной нагрузки СОПТ, А;

$R_{АБ\text{-}ШОТ}$ – активное сопротивление кабельной линии от АБ до ШОТ (ЩПТ), включая ошиновку, Ом, рассчитывается по (4.4);

$I_{ШОТ\text{-}ШРОТ}$ – ток нагрузки ШРОТ, А;

$R_{ШОТ\text{-}ШРОТ}$ – активное сопротивление кабельной линии от ШОТ до ШРОТ, включая ошиновку, Ом, рассчитывается по (4.4);

$I_{ШРОТ(ШОТ)\text{-}Эп}$ – ток расчетного электроприемника, А;

$R_{ШРОТ(ШОТ)\text{-}Эп}$ – активное сопротивление кабельной линии от ШРОТ(ШОТ) до электроприемника, включая ошиновку, рассчитывается по (4.4), Ом;

$U_{нм.доп}$ – наименьшее предельно допустимое напряжение на клеммах расчетного электроприемника (для терминалов РЗА равно 0,9Uном; для приводов выключателей, принимается равным 0,85Uном, при отсутствии иных требований производителя), В.

Активные сопротивления проводников рассчитываются по выражению:

$$R_{пр} = \frac{2 \cdot \rho_{пр} \cdot L_{пр}}{S_{пр}}, \qquad (4.4)$$

где:

$R_{пр}$ – сопротивление рассчитываемого проводника (см. (4.3)), Ом;

$\rho_{пр}$ – удельное сопротивление материала жилы кабеля (ошиновки, провода), Ом·мм^2/м;

$L_{пр}$ – длина проводника, м;

$S_{пр}$ – сечение проводника, м;

4.4 Проверка проводников на термическую стойкость и невозгораемость

Проверка кабелей на термическую стойкость и невозгораемость осуществляется путем расчета температуры проводника к моменту отключения КЗ защитными аппаратами по выражению:

$$\theta_{кон} = (\theta_{нач} + \beta) \cdot \exp\left(\frac{{I_{кз}}^2 \cdot t_{откл}}{{k_1}^2 \cdot {S_{пр}}^2 \cdot \varepsilon^2}\right) - \beta, \qquad (4.5)$$

где:

$\vartheta_{нач}$ – температура проводника в предшествующем режиме работы, °С, принимается равной наибольшей длительно допустимой температуре проводника (70 °С);

β – коэффициент, принимаемый равным 234,5 °К;

$I_{кз}$ – среднеквадратичное значение тока короткого замыкания (при отсутствии данных принимается равным начальному току КЗ), А;

$t_{откл}$ – продолжительность протекания тока короткого замыкания в проводнике, с (принимается равной максимальному времени срабатывания: основной защиты проводника – для проверки термической стойкости, резервной защиты – для проверки невозгораемости);

k_1 - постоянная, зависящая от материала проводника, принимается равной 226 А·с$^{1/2}$/мм^2 для проводника с медными токопроводящими жилами;

$S_{пр}$ – сечение проводника, мм^2;

ε - коэффициент, учитывающий отвод тепла от проводника в изоляцию, принимается равным 1.

Расчет производится для двух расчетных случаев - при дуговом КЗ в начале линии и при металлическом КЗ в конце линии. При этом считается, что зарядные устройства включены, аккумуляторная батарея полностью заряжена

Термическая стойкость проводника считается обеспеченной, если обе расчетные температуры не превышают максимальные предельно допустимые значения (160 ºС – для проводников с поливинилхлоридной изоляцией).

Невозгораемость проводника считается обеспеченной, если обе расчетные температуры не превышают максимальные предельно допустимые значения (350 ºС– для проводников с поливинилхлоридной изоляцией).

5. Расчет токов КЗ

5.1 Общие положения

Расчет токов КЗ необходим для проверки кабелей и ЗА по условиям аварийного режима. Расчет токов осуществляется упрощенно, согласно ГОСТ 29176-91 п. 2.5.3, приложению 5.

5.2 Расчет

Расчет минимальных начальных токов металлического КЗ ведется по выражению:

$$I_k \geq \frac{N_{эл} \cdot E_{эл.АБ.расч}}{N_{ак} \cdot R_{ак} + R_{\max}}, \quad (5.1)$$

где:

$N_{эл}$ – число элементов в АБ, шт;

$E_{эл.АБ.расч}$ – расчетная ЭДС элемента АБ для выбранного условия расчета тока КЗ (при расчете минимальных токов КЗ, как правило равняется ЭДС элемента в конце разряда АБ), В;

$N_{ак}$ – число аккумуляторов в АБ, шт;

$R_{ак}$ – активное сопротивление аккумулятора (определяется по каталожным данным), Ом;

$R_{\max}$ – максимальное расчетное сопротивление цепи от АБ до расчетной точки КЗ, Ом, определяется по (5.2).

$$R_{\max} = R_{ош} + R_{кб.\max} + R_{т.к} + R_{к.с}, \quad (5.2)$$

где:

$R_{ош}$ – активное сопротивление ошиновки, Ом;

$R_{кб.max}$ – активное сопротивление кабелей с учетом увеличения сопротивления вследствие нагрева токами КЗ, определяется по выражению (5.3), Ом;

$R_{т.к}$ – активное сопротивление токовых катушек отключающих аппаратов (сопротивление плавких вставок) (таблица 6), Ом;

$R_{к.с}$ – активное сопротивление контактных соединений (таблица 7), Ом.

Активные сопротивления ошиновки, кабелей и проводов определяется по выражению:

$$R_{кб(ош)(пр)} = \frac{2 \cdot \rho_{кб(ош)} \cdot L_{кб(ош)}}{S_{кб(ош)}}, \quad (5.3)$$

где:

$R_{кб(ош)(пр)}$ – сопротивление рассчитываемого проводника (кабеля, ошиновки), Ом;

$\rho_{кб(ош)(пр)}$ – удельное сопротивление материала проводника (кабеля, ошиновки), Ом·мм^2/м;

$L_{кб(ош)(пр)}$ – длина проводника (кабеля, ошиновки), м;

$S_{кб(ош)(пр)}$ – сечение проводника (кабеля, ошиновки), м;

При определении минимального значения тока КЗ рекомендуется При определении минимального значения тока КЗ рекомендуется учитывать увеличение активного сопротивления кабеля к моменту отключения КЗ вследствие его нагревания токами КЗ. Активное сопротивление кабеля в омах при нагреве его током КЗ рассчитывают по формуле:

$$R_{кб.\max} = C_{э} \cdot R_{кб}, \quad (5.4)$$

где:

$C_{э}$ – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления медного или алюминиевого кабеля. При приближенных расчетах значение коэффициента допускается принимать равным 1,5. При уточненных расчетах коэффициент следует определять в соответствии с ГОСТ 29176-91.

При определении минимального значения тока КЗ необходимо учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги, возникающей в месте КЗ. Поэтому значение тока КЗ при дуговом замыкании определяется по формуле:

$$I_{К.Д} = K_{Д} \cdot I_{К.М}, \quad (5.5)$$

где:

$I_{К.Д}$ – ток дугового КЗ;

$K_{Д}$ – поправочный коэффициент, Значения коэффициента Кд для электроустановок с аккумуляторными батареями являются функцией результирующего сопротивления цепи КЗ ($N_{ак} \cdot R_{ак} + R_{max}$) и определяется по соответствующим кривой рисунок 5;

$I_{К.Д}$ – ток металлического КЗ.

Расчет максимальных начальных токов металлического КЗ при работающих ЗУ ведется по выражению:

$$I_k \geq \frac{N_{эл} \cdot E_{эл.АБ.расч}}{N_{ак} \cdot R_{ак} + R_{\min}}, \quad (5.6)$$

где:

$E_{эл.АБ.расч}$ – расчетная ЭДС элемента АБ для выбранного условия расчета тока КЗ (при расчете максимальных токов КЗ, как правило равняется ЭДС элемента при полном заряде), В;

$R_{\min}$ – минимальное расчетное сопротивление цепи от АБ до расчетной точки КЗ, Ом, определяется по формуле (5.7).

$$R_{\min} = R_{ош} + R_{кб} + R_{пр} + R_{т.к} + R_{к.с}, \quad (5.7)$$

где:

$R_{кб.min}$ – активное сопротивление кабелей при нормальной температуре окружающей среды без учета нагрева при КЗ, определяется по (5.3).

Таблица 6 - Активные сопротивления защитных аппаратов

Номинальный ток выключателя, А	Активное сопротивление выключателей PL7-C…/2-DC, мОм	Номинальный ток плавкой вставки, А	Активное сопротивление плавких вставок серии PV14 gG, мОм
1	0,59	2	237,5
2		4	98,1
3		6	62,2
4		8	18,8
6		10	15,8
10		12	10,3
13		16	7,8
16		20	5,6
20		25	4,3
25		32	3,3
32		40	2,4
40		50	1,6
50		63	1,3

Таблица 7 - Сопротивления переходных сопротивлений контактов коммутационных аппаратов

Номинальный ток аппарата, А	Значения переходных сопротивлений контактов $R_{к.с}$, мОм		
	Автоматических выключателей	рубильников	разъединителей
50	1,3	-	-
70	1	-	-
100	0,75	0,5	-
150	0,65	-	-
200	0,6	0,4	-
400	0,4	0,2	0,2

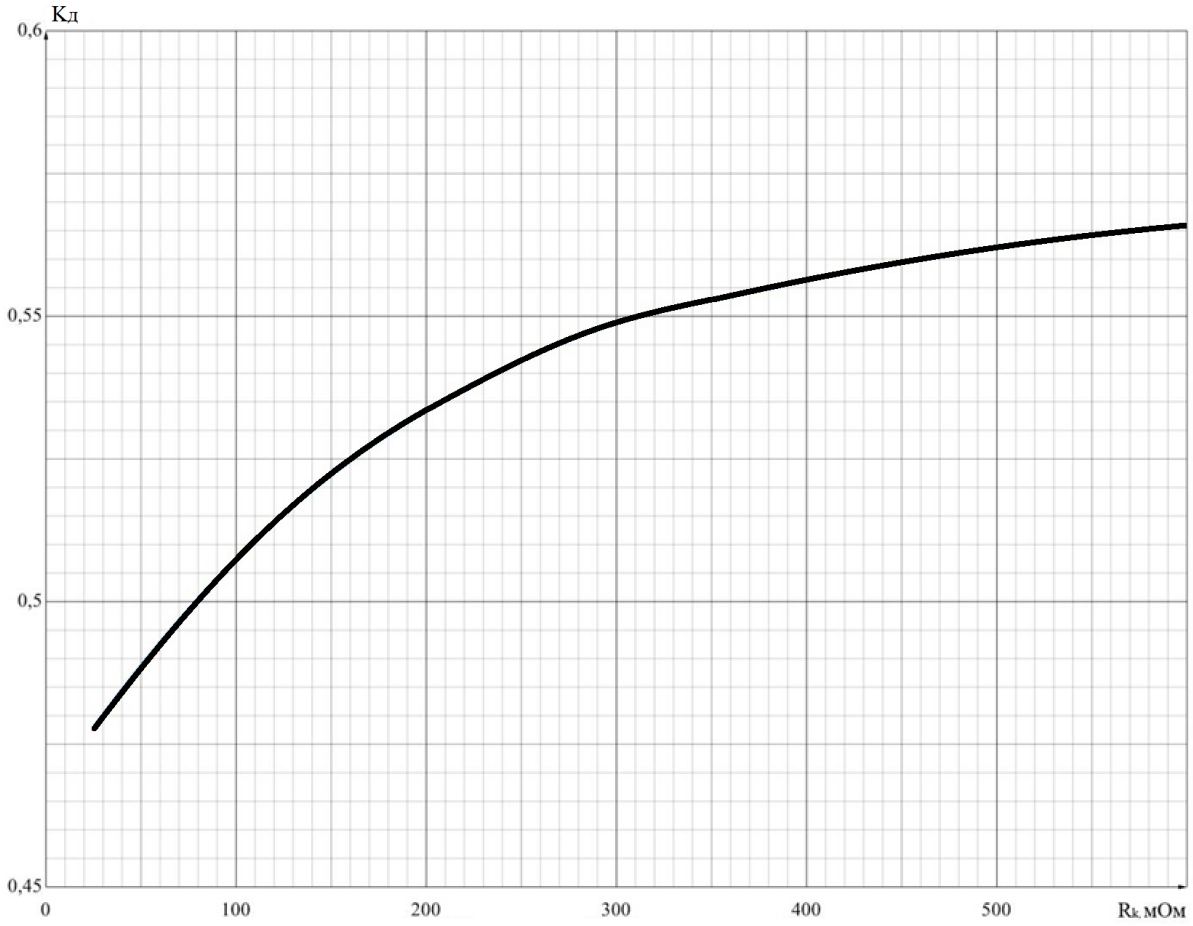

Рисунок 5 – Зависимость коэффициента $K_Д$ от сопротивления цепи КЗ

6. Расчет и выбор защитных аппаратов (ЗА)

6.1 Порядок выбора защитных аппаратов

Выбор защитных аппаратов СОПТ осуществляются в следующем порядке:

- выбор номинальных токов расцепителя автоматического выключателя или номинального тока плавкой вставки по условиям длительных и кратковременных нагрузок;
- выбор защитной характеристики аппарата;
- проверка отстройки от токов кратковременной нагрузки;
- проверка защитных аппаратов на чувствительность;
- проверка защитных аппаратов на селективность;
- проверка защитных аппаратов на быстродействие;
- проверка защитных аппаратов на отключающую способность.

6.2 Выбор номинальных токов защитных аппаратов

Предварительный выбор ЗА осуществляется по двум условиям:

1. Номинальный ток ЗА выбирается таким, чтобы ЗА не сработал (перегорел) при длительном протекании тока нагрузки;

2. Ток отсечки АВ и номинальный ток предохранителя выбираются из условия несрабатывания ЗА при кратковременных пиковых нагрузках.

По первому условию в случае постоянной нагрузки номинальный ток ЗА выбирается по условиям (6.1, 6.2).

- Номинальный ток расцепителя АВ в случае питания постоянной нагрузки выбирается исходя из выражения:

$$I_{ном} \geq k_{н} \cdot I_{пост}, \qquad (6.1)$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток расцепителя с обратнозависимой от тока характеристикой времени срабатывания, А.

$I_{пост}$ – величина постоянного тока нагрузки, А.

$k_{н}$ – коэффициент надёжности, принимается равным 1,1.

- Номинальный ток расцепителя АВ в случае, когда нагрузкой служат электромагниты включения высоковольтных выключателей:

$$I_{ном} \geq 1{,}2 \cdot \left(\frac{I_{YAC}}{K_{отс.мин}} + I_{пост}\right), \qquad (6.2)$$

где

$K_{отс.мин}$ – минимальная кратность тока отсечки (для характеристики С $K_{отс.мин} = 5$).

1,2 – коэффициент надёжности.

I_{YAC} – ток электромагнита включения высоковольтного выключателя (или сумма одновременно включаемых высоковольтных выключателей), А.

Окончательный выбор номинального тока автоматического выключателя производится по время - токовой защитной характеристике с расчётом, чтобы при протекании тока электромагнита включения время

отключения автомата было бы минимальным и находилось в пределах: $0{,}5 \le t \le 10$ сек., т.е. заведомо превышало нормальное время включения высоковольтного выключателя.

- Номинальный ток плавкой вставки случае питания постоянной нагрузки выбирается по условию:

$$I_{н.пл.вст} \ge K_з \cdot I_{расч}, \tag{6.3}$$

где:

$K_з$ – коэффициент запаса, принимается равным 1,1;

$I_{н.пл.вст}$ – номинальный ток плавкой вставки, А.

Для цепей ЗУ расчетный ток определяется по выражению:

$$I_{расч} = k_{пер} \cdot I_{ном.ЗУ}, \tag{6.4}$$

где:

$I_{ном.ЗУ}$ – номинальный выходной ток ЗУ, А; при нескольких ЗУ на секцию, работающих в одной группе, номинальный ток ЗУ берется с учетом этого количества; в случае применения схемы СОПТ, когда две группы ЗУ объединены в параллель и питают обе секции ШОТ через общую шинку необходимо номинальный ток ЗУ рассчитывать с учетом общего количества ЗУ в двух группах;

$k_{пер}$ – коэффициент, учитывающий возможность перегрузки ЗУ, при отсутствии данных производителя принимается равным 1,15.

- Ток плавкой вставки в случае, когда нагрузкой служат электромагниты включения высоковольтных выключателей:

$$I_{н.пл.вст} \ge \frac{I_{YAC}}{2{,}5} \tag{6.5}$$

Окончательный выбор производится по время - токовой защитной характеристике предохранителя.

- Ток АВ По условию отстройки от пикового тока:

$$I_{ном} \ge \frac{k_н \cdot I_{пик}}{K_{отс.мин}}, \tag{6.6}$$

где:

$I_{отс}$ – уставка срабатывания расцепителя с независимой от тока характеристикой времени срабатывания, А;

$k_н$ – коэффициент надёжности, принимается равным 1,1.

$I_{кр.нг}$ – пиковый (пусковой) ток, А.

6.3 Проверка селективности срабатывания защитных аппаратов

Проверка защитных аппаратов на селективность считается выполненной в случае, если их защитные характеристики с учетом разброса не пересекаются в диапазоне токов от минимального до максимального тока короткого замыкания.

Таблица 8 – Расчетные условия короткого замыкания для проверки селективности защитных аппаратов

Расчетные условия	Минимальный ток КЗ	Максимальный ток КЗ
Расчетная схема	Нормальная	
Расчетная точка	Конец общей зоны защиты	Начало общей зоны защиты
Расчетный вид	Дуговое	Металлическое
Расчетный момент времени	Начальный момент	
Предшествующий режим	ЗУ отключены, АБ разряжена	ЗУ включены, АБ заряжена

Разряженное состояние АБ задается увеличением ее внутреннего сопротивления в 1,5 раза по отношению к сопротивлению заряженной АБ. Другим способом является использование в качестве расчетного ЭДС элемента АБ напряжение на элементе АБ в конце разряда (определяется при выборе АБ).

6.4 Проверка чувствительности защитных аппаратов

Чувствительность плавких предохранителей считается обеспеченной, если плавкий предохранитель прошел проверку по быстродействию.

Для проверки чувствительности автоматических выключателей определяется коэффициент чувствительности по выражению:

$$k_ч = \frac{I_{кз.мин}}{I_{отс.макс.}}, \quad (6.7)$$

где:

$I_{кз.мин}$ – минимальный ток короткого замыкания в зоне защиты, А при дуговом КЗ в конце основной/резервной зоны защиты. При этом считается, что зарядные устройства отключены, аккумуляторная батарея разряжена

$I_{отс.макс.}$ – максимальное значение кратности тока отсечки автоматического выключателя, А.

Защитный аппарат обладает удовлетворительной чувствительностью к токам короткого замыкания, если коэффициент чувствительности в основной зоне превышает 2.

6.5 Проверка быстродействия защитных аппаратов

Проверка быстродействия защитных аппаратов включает в себя:

1) проверку обеспечения термической стойкости и невозгораемости проводников в основной и резервной зонах защиты соответственно;

2) проверку по провалам напряжения на клеммах электроприемников неповрежденных присоединений.

Проверка проводника на термическую стойкость и невозгораемость требуется проводить согласно п. 4.4.

Для выполнения проверки по провалам напряжения на клеммах электроприемников при КЗ на присоединении ЩПТ (ШОТ) рассчитывается остаточное напряжение на сборках ЩПТ (ШОТ) по выражению:

$$U_{ост} = E_{эл} \cdot N_{эл} - (R_{ак} \cdot N_{ак} + R_{кз}) \cdot I_{кз}, \quad (6.8)$$

где:

$R_{кз}$ – сопротивление цепи от АБ до ШПТ (ШОТ), Ом;

$I_{кз}$ – расчетный ток КЗ, А для двух расчетных случаев - при дуговом КЗ в начале основной зоны защиты и при металлическом КЗ в конце основной зоны защиты. При этом считается, что зарядные устройства включены, аккумуляторная батарея – полностью заряжена

Продолжительность провала напряжения принимается по среднему значению продолжительности короткого замыкания, определенному по защитной характеристике аппарата.

Проверка по провалам напряжения считается выполненной, если:

• продолжительность провала напряжения не превышает 0,5 с;

• продолжительность провала напряжения не превышает 1 с при остаточном напряжении провала напряжения не менее 0,7 номинального напряжения.

6.6 Проверка защитных аппаратов на отключающую способность

Для проверки ЗА на отключающую способность необходимо рассчитать максимальный ток КЗ (см. табл. 8). Отключающая способность защитного аппарата считается удовлетворительной, если она превышает данный расчетный ток.

7. Таблицы ориентировочного выбора оборудования СОПТ

7.1 Общие пояснения к таблицам

На основе анализа результатов расчетов составлены следующие таблицы:

- таблица выбора необходимой конфигурации щита постоянного тока ЩПТ-МТ для подстанций и распределительных пунктов с микропроцессорными устройствами, производства ООО НПП «Микропроцессорные технологии»;
- таблица рекомендуемых емкостей аккумуляторных батарей (АБ) для соответствующих значений тока нагрузки СОПТ: длительного ($I_{длит}$) и толчкового ($I_{толч}$);
- таблицы расчетного номинального тока зарядного устройства (ЗУ) и количества необходимых выпрямительных модулей ЗУ;
- таблицы выбора оборудования СОПТ при укрупнённых (ориентировочных) расчетах. Используются при минимальной информации о объекте (только однолинейная схема), либо при проведении предварительных (оценочных) расчетов.

Данные таблицы допустимо использовать для предварительной оценки необходимого количества выпрямительных модулей в ЗУ.

7.2 Таблица выбора конфигурации ЩПТ-МТ

Таблица 9 – Конфигурация ЩПТ–МТ для различных типов объектов

<table>
<tr><th>N</th><th>Тип устройств</th><th>Тип ПС/РП</th><th>Кол-во выкл. ВН, СН</th><th>Кол-во ячеек 6(10) кВ</th><th>Тип приводов выключателей</th><th>Тип ЩПТ/ШОТ</th><th>Применяемая структура</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="4">МПРЗА фирмы МТ</td><td>ПС 35/6(10) кВ, РП-6(10) кВ</td><td>2 и менее</td><td>до 20</td><td>Э/м защелка, двигательный</td><td>ШОТ-МТ-1</td><td>ШОТ</td></tr>
<tr><td>2</td><td>ПС 35/6(10) кВ, РП-6(10) кВ</td><td>2 и менее</td><td rowspan="3">до 40</td><td rowspan="3">Э/м защелка, двигательный, Э/магнитный</td><td rowspan="3">ЩПТ-МТ</td><td rowspan="2">ШОТ+ШАБ</td></tr>
<tr><td>3</td><td>ПС 35/6(10) кВ, ПС 110/6(10) кВ</td><td>от 3 до 5</td></tr>
<tr><td>4</td><td>ПС 35/6(10) кВ, ПС 110/6(10) кВ, ПС 110/35/6(10) кВ</td><td>от 6 до 15</td><td>ШОТ+ШАБ+ШРОТ</td></tr>
</table>

7.3 Таблица выбора АБ

Таблица 10 – Минимально необходимые емкости АБ фирмы «FIAMM» при соответствующих нагрузках с учетом времени разряда 2 ч

$I_{толчк}$, А	$I_{ав}$, А							
	3	**5**	**7**	**10**	**15**	**18**	**21**	**24**
1	40	40	60	101	101	130	130	150
3	40	60	60	101	101	130	130	150
25	60	60	101	101	130	150	180	180
35	101	101	101	101	130	150	180	-
50	101	101	101	130	150	180	-	-
75	101	101	130	150	180	-	-	-
100	101	130	150	180	-	-	-	-

Примечание: прочерк «-» – означает, что необходима емкость, большая 180А·ч.

7.4 Таблицы выбора ЗУ

Таблица 11 – Расчетный ток ЗУ при заданном длительном токе нагрузки СОПТ и емкости АБ

Емкость	$I_{ав}$, А							
АБ, А·ч	**3**	**5**	**7**	**10**	**15**	**18**	**21**	**24**
40	3,9	5	7	10	15	18	21	24
60	5,1	6,1	7,1	10	15	18	21	24
101	7,6	8,6	9,6	11,1	15	18	21	24
130	9,3	10,3	11,3	12,8	15,3	18	21	24
150	10,5	11,5	12,5	14,0	16,5	18	21	24
180	12,3	13,3	14,3	15,8	18,3	19,8	21,3	24

Ниже представлена таблица расчетного количества выпрямительных модулей ЗУ (Flatpack2 220/2000 HE) на секцию, при указанных длительном токе нагрузки СОПТ и емкости АБ.

Таблица 12 – Расчетное количество выпрямительных модулей ЗУ на секцию при заданном длительном токе нагрузки СОПТ и емкости АБ

Емкость	$I_{ав}$, А							
АБ, А·ч	**3**	**5**	**7**	**10**	**15**	**18**	**21**	**24**
40	1	1	1	2	2	2	3	3
60	1	1	1	2	2	2	3	3
101	1	1	2	2	2	2	3	3
130	2	2	2	2	2	2	3	3
150	2	2	2	2	2	2	3	3
180	2	2	2	2	3	3	3	3

7.5 Таблицы выбора оборудования СОПТ при укрупнённых (ориентировочных) расчетах

Таблица 13 – Выбор оборудования СОПТ для решения с одним шкафом ШОТ с устройствами НПП «Микропроцессорные технологии»

	Тип ПС/РП	Кол-во ячеек 6(10) кВ	Тип выключателей	FIAMM	Leoch	Кол-во Flatpack2 на секцию
1	РП-6(10) кВ	До 10	ВБУП3(4)-10, ВВУ-СЭЩ-П(3)-10, выкл. фирмы "Таврида", ВВМ-СЭЩ, ВВН-СЭЩ-П, ЗАН5	12FIT40	FT 12-40	1
2			VD4, ВБП-10-20	12FIT40	FT 12-40	1
3			ВБПВ-10	12FIT40	FT 12-40	1
4			ВБЭП-10-31,5	12FIT60	-	1
5			ВБУЭ3-10-20, ВБУЭ4-10-20, ВВУ-СЭЩ-Э(3/4)-10-20/1000**,** ВБЭМ-10-20, ВБМ-10-20, ВБМ-10-20/(630-1600)	-	-	-
6	РП-6(10) кВ	До 16	ВБУП3(4)-10, ВВУ-СЭЩ-П(3)-10, выкл. фирмы "Таврида", ВВМ-СЭЩ, ВВН-СЭЩ-П, ЗАН5	12FIT40	FT 12-40	1
7			VD4, ВБП-10-20	12FIT60	-	1
8			ВБПВ-10	12FIT60	-	1
9			ВБЭП-10-31,5, ВБУЭ3-10-20, ВБУЭ4-10-20, ВВУ-СЭЩ-Э(3/4)-10-20/1000**,** ВБЭМ-10-20, ВБМ-10-20, ВБМ-10-20/(630-1600)	-	-	-
10	РП-6(10) кВ	До 20	ВБУП3(4)-10, ВВУ-СЭЩ-П(3)-10, выкл. фирмы "Таврида", ВВМ-СЭЩ, ВВН-СЭЩ-П, ЗАН5	12FIT60	-	1
11			VD4, ВБП-10-20	12FIT60	-	1
12			ВБПВ-10	12FIT60	-	1
13			ВБЭП-10-31,5, ВБУЭ3-10-20, ВБУЭ4-10-20, ВВУ-СЭЩ-Э(3/4)-10-20/1000**,** ВБЭМ-10-20, ВБМ-10-20, ВБМ-10-20/(630-1600)	-	-	-
14	ПС 35/6(10) кВ с двумя выкл. ВН	До 10	ВБУП3(4)-10, ВВУ-СЭЩ-П(3)-10, выкл. фирмы "Таврида", ВВМ-СЭЩ, ВВН-СЭЩ-П, ЗАН5	12FIT60	-	1
15			VD4, ВБП-10-20	12FIT60	-	1
16			ВБПВ-10	12FIT60	-	1
17			ВБЭП-10-31,5, ВБЭТ-35, ВБУЭ3-10-20, ВБУЭ4-10-20, ВВУ-СЭЩ-Э(3/4)-10-20/1000**,** ВБЭМ-10-20, ВБМ-10-20, ВБМ-10-20/(630-1600), ВВУ-СЭЩ-Э-35-20/1000(1600)	-	-	-
18	ПС 35/6(10) кВ с двумя выключателями ВН	До 16	ВБУП3(4)-10, ВВУ-СЭЩ-П(3)-10, выкл. фирмы "Таврида", ВВМ-СЭЩ, ВВН-СЭЩ-П, ЗАН5	12FIT60	-	1
19			VD4, ВБП-10-20	12FIT60	-	1
20			ВБПВ-10, ВБЭП-10-31,5, ВБЭТ-35, ВБУЭ3-10-20, ВБУЭ4-10-20, ВВУ-СЭЩ-Э(3/4)-10-20/1000**,** ВБЭМ-10-20, ВБМ-10-20, ВБМ-10-20/(630-1600), ВВУ-СЭЩ-Э-35-20/1000(1600)	-	-	-
21	ПС 35/6(10) кВ с двумя выключателями ВН	До 20	ВБУП3(4)-10, ВВУ-СЭЩ-П(3)-10, выкл. фирмы "Таврида", ВВМ-СЭЩ, ВВН-СЭЩ-П, ЗАН5	12FIT60	-	1
22			VD4, ВБП-10-20	12FIT60	-	1
23			ВБПВ-10, ВБЭП-10-31,5, ВБЭТ-35,ВБУЭ3-10-20, ВБУЭ4-10-20, ВВУ-СЭЩ-Э(3/4)-10-20/1000**,** ВБЭМ-10-20, ВБМ-10-20, ВБМ-10-20/(630-1600), ВВУ-СЭЩ-Э-35-20/1000(1600)	-	-	-

Литература

1. СТО 56947007-29.120.40.041-2010 Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования.
2. СТО 56947007-29.120.40.093-2011 Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. Типовые проектные решения.
3. Методические указания по выбору оборудования СОПТ. «СТО 56947007-29.120.40.216-2016», ПАО «ФСК ЕЭС», 2016.
4. Методика выбора емкости источников электроэнергии для систем постоянного оперативного тока тяговых и трансформаторных подстанций. «СТО 07.013-2012», ОАО «РЖД», 2012.
5. Рекомендации по выбору и применению стационарных аккумуляторных батарей 220В различных фирм. «84тм-т1», ОАО Институт «Энергосетьпроект», 1998.
6. Организация цепей оперативного тока =220В для КТПБ 35/6(10)кВ с использованием шкафов типа ШОТ-01. «10418тм-т1», ЗАО «ГК «Электрощит» - ТМ – Самара» Филиал «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ – НН – СЭЩ», 2007.
7. Модули управления серии TER_CM_16 для вакуумных выключателей BB/TEL-10. Руководство по эксплуатации. Версия 2.2. АО Таврида Электрик"

Приложение 1

Таблица П1 – Потребление шкафов РЗА производства ООО НПП «Микропроцессорные технологии», шкафов 6(10) кВ

N	Название шкафа	Назначение шкафа	Потребление шкафа, А		
			Нормальный режим	Режим срабатывания	Пусковой режим
1	ШТ-МТ-21, 22, 31, 32	Шкаф защиты трансформатора	0,15	0,27	10,1 в теч. 0,1 с
2	ШАВР-МТ-15	Шкаф защиты и автоматики секционного выключателя и шинных ТН 6-35кВ	0,07	0,13	5,17 в теч. 0,06 с
3	ШЦС-МТ-01	Шкаф центральной сигнализации (1 блок)	0,45	0,45	20,4 в теч. 0,01 с
4	ШЗЛ-МТ-12	Шкаф защиты и автоматики двух линий 6-35кВ	0,06	0,11	3,45 в теч. 0,06 с
5	ШЗЛ-МТ-22	Шкаф дистанционных защит и автоматики двух линий 6-35кВ	0,15	0,27	10,1 в теч. 0,1 с
6	ШЗЛ-МТ-30	Шкаф ступенчатых защит и автоматики одной линий 110(220)кВ	0,14	0,6	-
7	ШЗШ-МТ-12	Шкаф дифференциальной защиты сборных шин 35-220 кВ (до 12 присоединений)	0,62	1,57	-
8	ШУ-МТ-04	Шкаф управления для схемы 4Н	0,5	0,5	-
9	ШТН-МТ-10	Шкаф шинных ТН 110 (220)кВ	0,1	0,1	-
10	Шинки управления шкафов 6(10) кВ. Потребление на один шкаф	МПРЗА, устройства БЗП	0,15	0,2	1,73 в теч. 0,06 с
11	Аварийное освещение, мощностью до 1 кВт	-	4,5	4,5	определяется при конкретном проектировании
12	Аварийное освещение, мощностью до 0,4 кВт	-	1,8	1,8	определяется при конкретном проектировании

При необходимости получения информации по потреблению других шкафов необходимо обратиться в службу поддержки (тел.: 8-800-555-25-11, e-mail: 01@i-mt.net, web: www.i-mt.net).

Приложение 2

Таблица П2 – Данные по потреблению электромагнитов включения и электромагнитов отключения выключателей 6-35 кВ.

N	Выключатель	Ток ЭВ, А	ЭО, А
Выключатели 6(10) кВ			
1	ВВУ-СЭЩ-П-10	1	1
2	ВВУ-СЭЩ-Э(/3/4)-10-20/1000	25	1
3	ВВУ-СЭЩ-Э(/3/4)-10-20/1600	45	1
4	ВВУ-СЭЩ-Э(/3/4)-10-31,5/1600	45	1
5	ВВУ-СЭЩ-Э(/3/4)-10-31,5/(2000-3150)	65	1
6	ВВУ-СЭЩ-Э-10-40/ (1600-3150)	70	1
7	ВБЭ-10-20/(630-1600)	40	1,5
8	ВБЭ-10-31,5/(630-1600)	45	1,5
9	ВБЭ-10-31,5/(2000-3150)	50	1,5
10	ВБЭ-10-40/(630-3150)	70	2
11	ВБЭП-10-31,5/(630-3150)	0,7	0,7
12	ВБЭМ-10-20(12,5)/(630-1000)	40	1,5
13	ВБМ-10-20/(630-1600)	35	1,5
14	ВБМ-10-31,5/(630-1600)	80	1,5
15	ВБП-10/(630-1600)	1,5	1,5
Выключатели 20 кВ			
16	ВБМ-20-25/(630-1600)	42	0,7
17	ВБП-20-25/(630-1600)	0,7	0,7
Выключатели 35 кВ			
18	ВБУ-35	50	1,5
19	ВГБЭ-35	38	2,5
20	ВМУЭ-35Б	120	2,5
21	ВВСВ-35	70	3
22	ВВУ-35	100	2,5
23	ВБЭТ-35 с ПЭМУ	100	2,5
24	ВБЭТ-35 с ППУ-600	2,5	1,5
25	ВБЭК-35	100	2,5
26	ВБН-35	100	2,5
27	ВБЦ-35	50	2,5
28	ВВУ-СЭЩ-П-27,5(35)-25/ (630/1000/1600/2000)	1,5	1,5
29	ВВУ-СЭЩ-Э-35-20/1000(1600)	30	1,5
30	ВВУ-СЭЩ-Э-35-20(25)/(1000/1600/2500)	45	1,5
31	ВВУ-СЭЩ-П-35-20(25)/ (1000/1600/2500)	1,5	1,5
32	ВВУ-СЭЩ-П-35-25/ (1000/1600)	1	1
33	ВВН-СЭЩ-Э-35(27)-25/1000(1600)	50	1
34	ВВН-СЭЩ-Э-35(27)-31,5/1600	60	1
35	ВВН-СЭЩ-П-35(27)-25(31,5)/1000(1600)	1	1