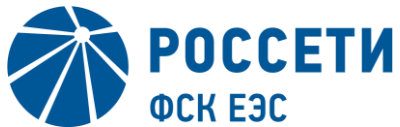


---

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

---



СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПАО «ФСК ЕЭС»

СТО 56947007-  
29.120.40.216-2016

---

## **Методические указания по выбору оборудования СОПТ**

Стандарт организации

Дата введения: 18.03.2016  
Дата введения изменений: 01.08.2019  
Дата введения изменений: 14.04.2021

ПАО «ФСК ЕЭС»  
2016

## **Предисловие**

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации»; общие положения при разработке и применении стандартов организации – в ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения»; правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие Требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации – ГОСТ Р 1.5-2012.

## **Сведения о стандарте организации**

1. РАЗРАБОТАН: ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
2. ВНЕСЁН: Департаментом релейной защиты, метрологии и автоматизированных систем управления технологическими процессами, Дирекцией производственного контроля.
3. УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ: Приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 18.03.2016 № 83.
4. ИЗМЕНЕНИЯ ВВЕДЕНЫ: Приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 01.08.2019 № 246. в Приложение А (пункты А.2, А.3); раздел «Библиография».
5. ИЗМЕНЕНИЯ ВВЕДЕНЫ: Приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 14.04.2021 №114/166.
6. ВВЕДЁН: с изменениями (Приказ ПАО «ФСК ЕЭС» от 01.08.2019 № 246, Приказ ПАО «ФСК ЕЭС»/ПАО «Россети» от 14.04.2021 № 114/166)

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Дирекцию производственного контроля ПАО «Россети» по адресу 121353, Москва, ул. Беловежская, д.4, корп.А, электронной почтой по адресу: [nto@rosseti.ru](mailto:nto@rosseti.ru)

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ПАО «ФСК ЕЭС».

## СОДЕРЖАНИЕ

|    |                                                                                                      |    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Область применения .....                                                                             | 4  |
| 2  | Нормативные ссылки .....                                                                             | 4  |
| 3  | Термины и определения, обозначения и сокращения .....                                                | 4  |
| 4  | Список принятых сокращений .....                                                                     | 7  |
| 5  | Общие положения .....                                                                                | 7  |
| 6  | Методические указания по выбору аккумуляторных батарей .....                                         | 8  |
| 7  | Методические указания по выбору зарядных устройств .....                                             | 15 |
| 8  | Методические указания по выбору проводников .....                                                    | 19 |
| 9  | Методические указания по выбору защитных аппаратов .....                                             | 24 |
| 10 | Выбор проводников и защитных аппаратов для подстанций II и III архитектуры .....                     | 29 |
| 11 | Выбор параметров DC/DC конверторов .....                                                             | 33 |
| 12 | Выбор параметров блока конденсаторов .....                                                           | 34 |
|    | Приложение А .....                                                                                   | 36 |
|    | Примеры выбора аккумуляторных батарей .....                                                          | 36 |
|    | Приложение Б .....                                                                                   | 43 |
|    | Пример выбора зарядного устройства .....                                                             | 43 |
|    | Приложение В (справочное) .....                                                                      | 45 |
|    | Длительно допустимые токи кабелей с поливинилхлоридной, резиновой и бумажно-масляной изоляцией ..... | 45 |
|    | Приложение Г (справочное) .....                                                                      | 46 |
|    | Активные сопротивления кабелей с медными жилами .....                                                | 46 |
|    | (напряжением до 1 кВ) .....                                                                          | 46 |
|    | Приложение Д (справочное) .....                                                                      | 47 |
|    | Времятоковые защитные характеристики .....                                                           | 47 |
|    | отключающих защитных аппаратов .....                                                                 | 47 |
|    | Приложение Е (справочное) .....                                                                      | 51 |
|    | Активные сопротивления защитных аппаратов напряжением до 1 кВ .....                                  | 51 |
|    | Библиография .....                                                                                   | 52 |

## **1 Область применения**

Настоящий стандарт организации распространяется на системы оперативного постоянного тока (СОПТ) подстанций ЕНЭС с использованием стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов открытых (вентилируемых) типов. В стандарте представлены методические указания по выбору и проверке основного оборудования СОПТ.

Документ является обязательным при проектировании, комплексном техническом перевооружении и реконструкции СОПТ подстанций ПАО «ФСК ЕЭС».

Применение настоящего стандарта сторонними организациями оговаривается в договорах (соглашениях) с ПАО «ФСК ЕЭС».

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты и/или классификаторы:

ГОСТ Р 50571.16-2019/МЭК 60364-6:2016 Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания.

ГОСТ Р 52736-07 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания.

ГОСТ Р МЭК 60949-2009 Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учетом не адиабатического нагрева.

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями № 1 – 5).

ГОСТ 17516.1–90 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам (с Изменениями № 1, 2).

ГОСТ 25953-83 Преобразователи электроэнергии полупроводниковые мощностью 5кВА и выше. Параметры.

ГОСТ 29176-91 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках постоянного тока.

ГОСТ ИЕС 60335-1-2015 Бытовые и аналогичные электрические приборы. Безопасность. Часть 1. Общие требования (с Поправкой)

## **3 Термины и определения, обозначения и сокращения**

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 аварийный разряд:** Режим питания электроприемников постоянного тока от аккумуляторной батареи при пропадании напряжения на выходе зарядных устройств (выпрямленного напряжения).

**3.2 архитектура построения ПС I типа:** Принципиальная организация построения вторичных систем и их взаимосвязей, в которых:

- обмен информацией между ИЭУ осуществляется преимущественно дискретными и аналоговыми электрическими сигналами, передаваемыми по контрольному кабелю;
- информационный обмен с верхним уровнем ПС осуществляется цифровыми сигналами с использованием стандартного протокола MMS.

**3.3 архитектура построения ПС II типа:** Принципиальная организация построения вторичных систем и их взаимосвязей, в которых:

- обмен дискретными сигналами между ИЭУ осуществляется при помощи объектно-ориентированных сообщений с использованием стандартного протокола GOOSE;
- передача аналоговых сигналов от измерительных устройств выполняется по контрольному кабелю;
- информационный обмен с верхним уровнем ПС осуществляется цифровыми сигналами с использованием стандартного протокола MMS.

**3.4 архитектура построения ПС III типа:** Принципиальная организация построения вторичных систем и их взаимосвязей, в которых:

- обмен дискретными сигналами между ИЭУ осуществляется при помощи объектно-ориентированных сообщений с использованием стандартного протокола GOOSE;
- передача аналоговых сигналов от измерительных устройств выполняется в цифровом виде с использованием стандартного протокола SV;
- информационный обмен с верхним уровнем ПС осуществляется цифровыми сигналами с использованием стандартного протокола MMS.

**3.5 зарядное устройство:** Полупроводниковый преобразователь переменного тока в постоянный, обеспечивающий заряд аккумуляторной батареи и питание электроприемников СОПТ.

**3.6 защитная характеристика:** Зависимость полного времени отключения защитного аппарата от ожидаемого значения сверхтока.

**3.7 напряжение на аккумуляторе в конце разряда,  $U_{\text{нм.раб.ак.}}$ :** Наименьшее рабочее напряжение аккумулятора, выбранное по условию минимального предельно допустимого отклонения напряжения на электроприемниках.

**3.8 напряжение поддерживающего заряда аккумулятора,  $U_{\text{ак.пз.}}$ :** Напряжение на аккумуляторе в режиме поддерживающего заряда;

**3.9 напряжение ускоренного заряда аккумулятора,  $U_{ак.уз.}$ :** Напряжение на аккумуляторе на второй стадии ускоренного заряда.

**3.10 нормально допустимое отклонение напряжения:** Отклонение напряжения на клеммах электроприемников, допустимое в нормальном режиме работы СОПТ.

**3.11 основная зона защиты отключающего аппарата:** Участок электрической цепи от выходных клемм отключающего защитного аппарата до входных клемм нижестоящего защитного аппарата или до клемм электроприемника.

**3.12 предельно допустимое отклонение напряжения:** Отклонение напряжения на клеммах электроприемников, допустимое в ремонтном, аварийном и послеаварийном режиме работы СОПТ.

**3.13 DC/DC конвертор:** Полупроводниковый преобразователь, обеспечивающий гальваническую развязку цепей постоянного тока, защиту электроприемников от перенапряжений и помех.

**3.14 поддерживающий заряд:** Заряд аккумуляторной батареи при напряжении, установленном производителем, с целью компенсировать саморазряд и поддерживать аккумулятор в полностью заряженном состоянии.

**3.15 резервная зона защиты отключающего аппарата:** Участок электрической цепи от выходных клемм ближайшего нижестоящего защитного аппарата до входных клемм следующего за ним защитного аппарата или до клемм электроприемника.

**3.16 система оперативного постоянного тока:** Электроустановка, обеспечивающая питание электроприемников постоянного тока.

**3.17 термокомпенсация напряжения заряда:** Регулирование напряжения поддерживающего заряда аккумулятора в зависимости от его температуры.

**3.18 ток кратковременной нагрузки;  $I_{кр.нг.}$ :** Ток нагрузки, продолжительностью не более 5 секунд.

**3.19 ток временной нагрузки;  $I_{вр.нг.}$ :** Ток нагрузки, создаваемой электроприемниками, подключаемыми к источнику питания в аварийном режиме подстанции, и характеризующий установившийся режим аварийного разряда аккумуляторной батареи.

**3.20 ток постоянной нагрузки;  $I_{пт.нг.}$ :** Ток нагрузки СОПТ в нормальном режиме работы, остающийся неизменным в течение аварийного разряда.

**3.21 ускоренный заряд:** Заряд аккумулятора за максимальное нормативно допустимое время после полного или частичного разряда, выполненный в соответствии с рекомендациями производителя.

#### 4 Список принятых сокращений

АБ – аккумуляторная батарея;

ЗА – защитный аппарат;

ЗУ – зарядное устройство;

РЗА – релейная защита и автоматика;

ЩПТ – щит постоянного тока;

ШРОТ – шкаф распределения оперативного тока;

СОПТ – система оперативного постоянного тока;

MOSFET–металл–оксид–полупроводниковый полевой транзистор (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor);

IGBT – биполярный транзистор с изолированным затвором (Insulated-Gate Bipolar Transistor);

ЭП – электроприемник.

#### 5 Общие положения

5.1 Номинальное напряжение СОПТ,  $U_{ном}$ , составляет 220 В [1, 2].

5.2 Нормально допустимое отклонение напряжения на клеммах электроприемников СОПТ составляет  $\pm 5 \%$  [1].

5.3 Предельно допустимое отклонение напряжения на клеммах электроприемников СОПТ, в том числе при аварийных разрядах АБ и при выполнении ускоренных зарядов АБ составляет от минус 15 до плюс 10 %. При напряжениях, превышающих 110 % от номинального, питание электроприемников СОПТ должно переводиться на резервную АБ, за исключением ПС I типа архитектуры с высшим напряжением 35 кВ, или ПС с высшим напряжением 110-150 кВ, имеющей не более 3 выключателей в РУ высшего напряжения, укомплектованных одной АБ [1].

5.4 Температура, поддерживаемая в аккумуляторных помещениях, должна составлять  $20 \pm 10$  °С. Рекомендуемая температура составляет 20 °С.

5.5 Короткие замыкания и подключения нагрузки не должны сопровождаться провалами напряжения на клеммах электроприемников продолжительностью более 1 с, при остаточном напряжении не менее 0,7 номинального напряжения или прерываниями напряжения в течение более 0,5 с [3].

5.6 Выбор оборудования СОПТ новых подстанций производят в следующей последовательности по видам оборудования:

5.6.1 аккумуляторные батареи;

5.6.2 зарядные устройства;

5.6.3 проводники;

5.6.4 отключающие защитные аппараты;

5.6.5 DC/DC конверторы;

5.6.6 блоки конденсаторов.

## **6 Методические указания по выбору аккумуляторных батарей**

6.1 Исходными данными для выбора аккумуляторных батарей являются:

6.1.1 номинальное напряжение и схема сети оперативного постоянного тока с указанием длины и марки каждого из кабелей, минимально допустимого рабочего напряжения каждого из приводов включения высоковольтных выключателей;

6.1.2 токи, и продолжительности работы электроприемников в режиме аварийного разряда аккумуляторной батареи;

6.1.3 разрядные характеристики аккумуляторов, предоставляемые производителями;

6.1.4 информация о наличии и параметрах устройств стабилизации напряжения;

6.1.5 расчетная продолжительность аварийного разряда АБ, согласно СТО ПАО «ФСК ЕЭС» 56947007-29.120.40.041-2010 [1].

6.2 Выбор аккумуляторной батареи должен производиться в следующем порядке:

6.2.1 построение диаграммы нагрузки системы оперативного постоянного тока;

6.2.2 выбор количества аккумуляторов;

6.2.3 предварительный выбор номинальной емкости аккумуляторов;

6.2.4 выбор дополнительной группы аккумуляторов, при необходимости;

6.2.5 выбор номинальной емкости аккумуляторов.

6.3 Построение диаграммы нагрузки оперативного постоянного тока

6.3.1 Диаграмма нагрузки СОПТ строится на основании информации о токах и продолжительности работы электроприемников в режиме аварийного разряда аккумуляторной батареи. Распределение некоторых видов электроприемников по характеру нагрузки приведено в Таблице 6.1 [1, 4].

Таблица 6.1. Распределение некоторых видов электроприемников СОПТ по характеру нагрузки

| <b>Характер нагрузки</b> | <b>Состав нагрузки</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Постоянная нагрузка      | устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики;<br>устройства связи, обеспечивающие передачу сигналов и команд релейной защиты;<br>устройства нижнего и среднего уровня автоматизированной системы управления технологическим процессом, системы сбора и передачи информации;<br>постоянно включенная часть аварийного освещения;<br>устройства сигнализации |



|                          |                                                                                                                                                      |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Временная нагрузка       | аварийное освещение;<br>инверторы резервного питания автоматизированной системы управления технологическим процессом;                                |
| Кратковременная нагрузка | устройства управления высоковольтными коммутационными аппаратами;<br>привода автоматических вводных и секционных выключателей ЩСН напряжением 0,4 кВ |

6.3.2 При отсутствии информации о продолжительности работы электроприемников следует строить двухступенчатую диаграмму нагрузки на интервале времени, соответствующем расчетной продолжительности режима аварийного разряда, в следующей последовательности:

- определяется суммарное значение тока постоянной и временной нагрузок,  $I_{пт.нг.}, I_{вр.нг.}$ ;
- определяется значение тока кратковременной нагрузки,  $I_{кр.нг.}$ ;
- определяется максимальная продолжительность кратковременной нагрузки  $t_n$ , с;
- на диаграмме кратковременная нагрузка располагается в конце разряда, как показано на рисунке 6.1.

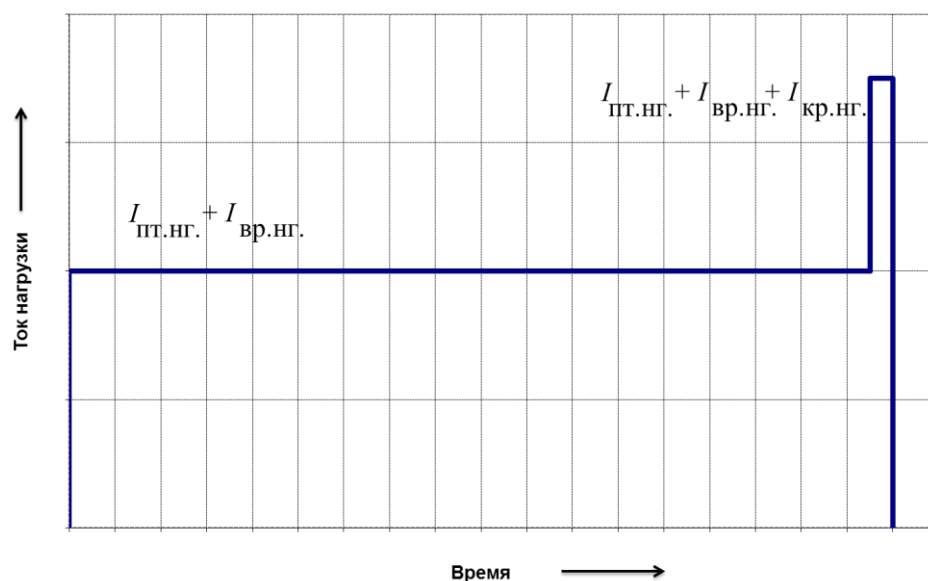


Рис. 6.1. Двухступенчатая диаграмма нагрузки СОПТ

6.3.3 При наличии информации о токах и продолжительности работы электроприемников временной нагрузки, строится многоступенчатая диаграмма нагрузки, рисунок 6.2. При этом, если отсутствует информация о моментах включения части электроприемников, то предполагается их одновременное включение в работу в конце разряда АБ. Ток нагрузки принимается равным сумме токов всех электроприемников, входящих в группу постоянной и временной нагрузок, а продолжительность работы – равной наибольшей продолжительности работы среди этих электроприемников. Если отсутствует информация о моментах включения

части электроприемников, но исключена возможность их одновременной работы, то предполагается их включение в работу последовательно в конце разряда АБ. Подключение электроприемников предполагается в порядке возрастания их токов.

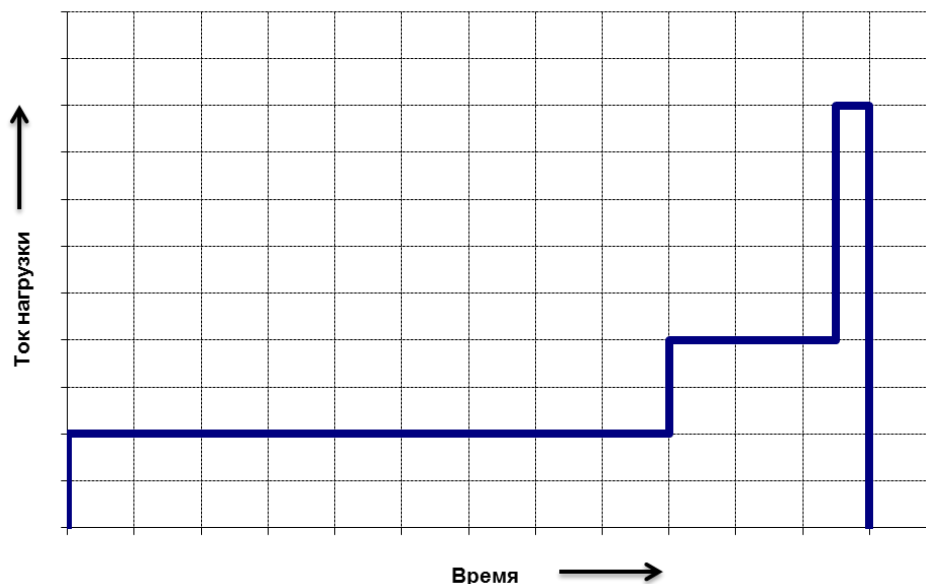


Рис. 6.2. Многоступенчатая диаграмма нагрузки СОПТ

#### 6.4 Выбор количества аккумуляторов

6.4.1 Количество аккумуляторов в батарее требуется выбирать округлением до целого, значения, полученного по выражению

$$N = \frac{U_{\text{нб.норм.доп}}}{U_{\text{ак.пз}}}, \quad (6.1)$$

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

$U_{\text{ак.пз}}$  – напряжение поддерживающего заряда аккумуляторов, В, для свинцово-кислотных аккумуляторов открытых типов, при температуре в помещении аккумуляторном помещении 20 °С,  $U_{\text{ак.пз}}$ , принимают равным 2,23 В. Значение может быть уточнено в соответствии с требованиями производителя.

6.4.2 Для предотвращения превышения максимально допустимого напряжения на клеммах электроприемников напряжение ускоренного заряда АБ необходимо ограничивать значением, рассчитываемым по выражению

$$U_{\text{ак.уз.}} = \frac{U_{\text{нб.пред.доп}}}{N}, \quad (6.2)$$

где  $U_{\text{нб.пред.доп}}$  – наибольшее предельно допустимое напряжение на клеммах электроприемников, В, принимают равным 1,1 номинального напряжения, в соответствии с [1].

## 6.5 Предварительный выбор номинальной емкости аккумуляторов

6.5.1 Расчет емкости аккумуляторов требуется производить по разрядной характеристике, соответствующей напряжению в конце разряда наиболее близкому к значению, рассчитываемому по выражению, В:

$$U_{\text{нм.раб.ак.}} = \frac{U_{\text{нм.доп}} + \Delta U_{\text{АБ-Эл}}}{N}, \quad (6.3)$$

где  $U_{\text{нм.доп}} = 0,85 \cdot U_{\text{ном}}$  – наименьшее допустимое рабочее напряжение на клеммах электроприемников, В, принимаемое 0,85 от номинального напряжения; наименьшее допустимое рабочее напряжение на клеммах приводов выключателей может иметь другое значение;

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

Если расчетное напряжение на аккумуляторе в конце разряда составляет более 1,9 В, то необходимо предпринять мероприятия по снижению потери напряжения в цепи между АБ и электроприемником,  $\Delta U_{\text{АБ-Эп}}$  путем реализации следующих мероприятий:

- а) увеличение сечения кабелей в цепи питания электроприемников;
- б) уменьшение тока нагрузки за счет запрета одновременного завода пружин приводов выключателей комплектного распределительного устройства.

6.5.2 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 Р 50571.16.

6.5.3 Расчет емкости производится с использованием разрядной характеристики аккумуляторов, соответствующей напряжению в конце разряда по 6.5.1, номинальной емкостью, наиболее близкой значению, рассчитываемому по выражению, А·ч

$$C' = k_{\text{ср}} \cdot t \cdot I_{\text{ср}}, \quad (6.4)$$

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; принимается равным 1,5.

6.5.4 Предварительный расчет емкости по двухступенчатой диаграмме нагрузки рассчитывается по выражению, А·ч

$$C_{\text{пр}} = k_1 \cdot (I_{\text{пт.нг}} + I_{\text{вр.нг}}) + k_2 \cdot I_{\text{кр.нг}}, \quad (6.5)$$

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.

Коэффициент интенсивности разряда позволяет учесть влияние тока разряда 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 6.7.

Если предусматривается применение дополнительной группы аккумуляторов, предварительный расчет емкости по двухступенчатой диаграмме нагрузки производится по выражению

$$C_{\text{пр}} = k_1 \cdot (I_{\text{пт.нг}} + I_{\text{вр.нг}}). \quad (6.6)$$

6.5.5 Емкость аккумуляторной батареи, соответствующая многоступенчатой диаграмме нагрузки, принимается равной максимальному значению, среди емкостей, требуемых для покрытия отдельных расчетных участков диаграммы нагрузки.

Диаграмму нагрузки разбивают на участки по количеству интервалов времени, на которых ток нагрузки не изменяется. При этом начало всех участков принимается одинаковым - в момент начала разряда аккумуляторной батареи, а окончание участка с номером  $s$  определяется моментом окончания интервала времени с номером  $s$ , рисунок 6.3.

Емкость аккумуляторов, требуемая для покрытия нагрузки на  $s$  участке диаграммы, рассчитывается по выражению

$$C_{\text{пр.}s} = \sum_{P=1}^s [k_t \cdot (I_P - I_{(P-1)})], \quad (6.7)$$

где  $C_{\text{пр.}s}$  – емкость аккумуляторной батареи, требуемая для покрытия нагрузки на расчетном участке диаграммы с номером  $s$ ;

$P$  – номер текущего интервала диаграммы нагрузки;

$I_P$  – ток нагрузки на интервале с номером  $P$ , А; для первого интервала диаграммы нагрузки разность  $I_P - I_{(P-1)}$  принимается равной  $I_P$ ;

$t$  – продолжительность разряда, определяемая от начала интервала  $P$  до конца расчетного участка  $S$ , с;

$k_t$  – коэффициент интенсивности разряда продолжительностью  $t$ , А·ч/А.

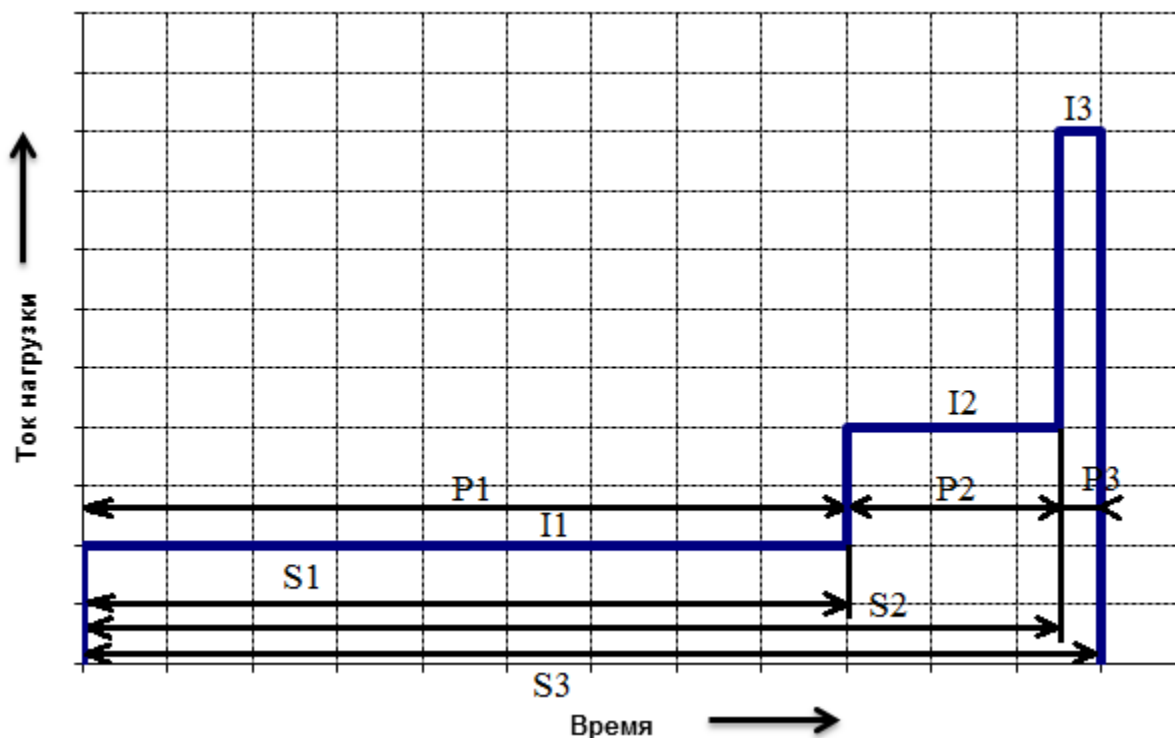


Рис. 6.3. Расчетные участки и интервалы диаграммы нагрузки

6.5.6 После расчета емкости по двухступенчатой или многоступенчатой диаграмме нагрузки из ряда номинальных емкостей аккумуляторов рассматриваемого типа требуется выбрать значение, большее  $C_{пр}$ .

Если выбранная номинальная емкость аккумуляторов не совпадает с емкостью, принятой в 6.5.3, то необходимо произвести корректировку расчетной емкости по 6.5.4 или 6.5.5 с использованием разрядной характеристики аккумуляторов, соответствующей напряжению в конце разряда по 6.5.1, и номинальной емкостью значением больше  $C_{пр}$ . Корректировка емкости не требуется, если аккумуляторы с номинальной емкостью, принятой по 6.5.3, изготовлены с применением тех же пластин, что применяются в аккумуляторах с номинальной емкостью, принятой по 6.5.6. Например, из пластин GroE 25, изготавливаются аккумуляторы номинальной емкостью от 75 до 450 А·ч.

6.6 Для компенсации снижения емкости под влиянием рабочей температуры и старения аккумуляторов в процессе всего срока эксплуатации,

расчетную емкость аккумуляторной батареи, определенную по 6.5.4, необходимо увеличить согласно выражению:

$$C = k_3 \cdot C_{\text{пр}}, \quad (6.8)$$

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

Номинальная емкость аккумуляторной батареи принимается из ряда номинальных емкостей аккумуляторов выбранного типа больше, чем  $C$ .

6.7 Расчет коэффициента интенсивности разряда аккумуляторной батареи:

6.7.1 Интенсивность разряда аккумуляторной батареи влияет на требуемую номинальную емкость аккумуляторов. Количественно учет влияния интенсивности разряда требуется производить по (6.5) – (6.7) с помощью коэффициента интенсивности разряда,  $k_t$ , который 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  $t$ .

6.7.2 Для определения значений  $k_t$  используются разрядные характеристики аккумуляторов для десятичасового режима разряда, предоставляемые производителями. Если разрядные характеристики аккумуляторов заданы в виде зависимости максимального тока разряда от продолжительности разряда, то их необходимо пересчитать в зависимость коэффициента интенсивности разряда  $k_t$ , А·ч/А, от продолжительности разряда по формуле:

$$k_{ti} = \frac{C'}{I(t_i)}, \quad (6.9)$$

где  $t_i$  – продолжительность разряда аккумулятора, мин;

$C'$  – номинальная емкость аккумуляторной батареи, выбранная по (6.4);

$I(t_i)$  – максимальный ток разряда аккумулятора, А, при продолжительности разряда  $t$ .

6.7.3 Требуется построить разрядную характеристику аккумулятора в виде зависимости коэффициента интенсивности разряда  $k(t_i)$  от продолжительности разряда, рисунок 6.4.

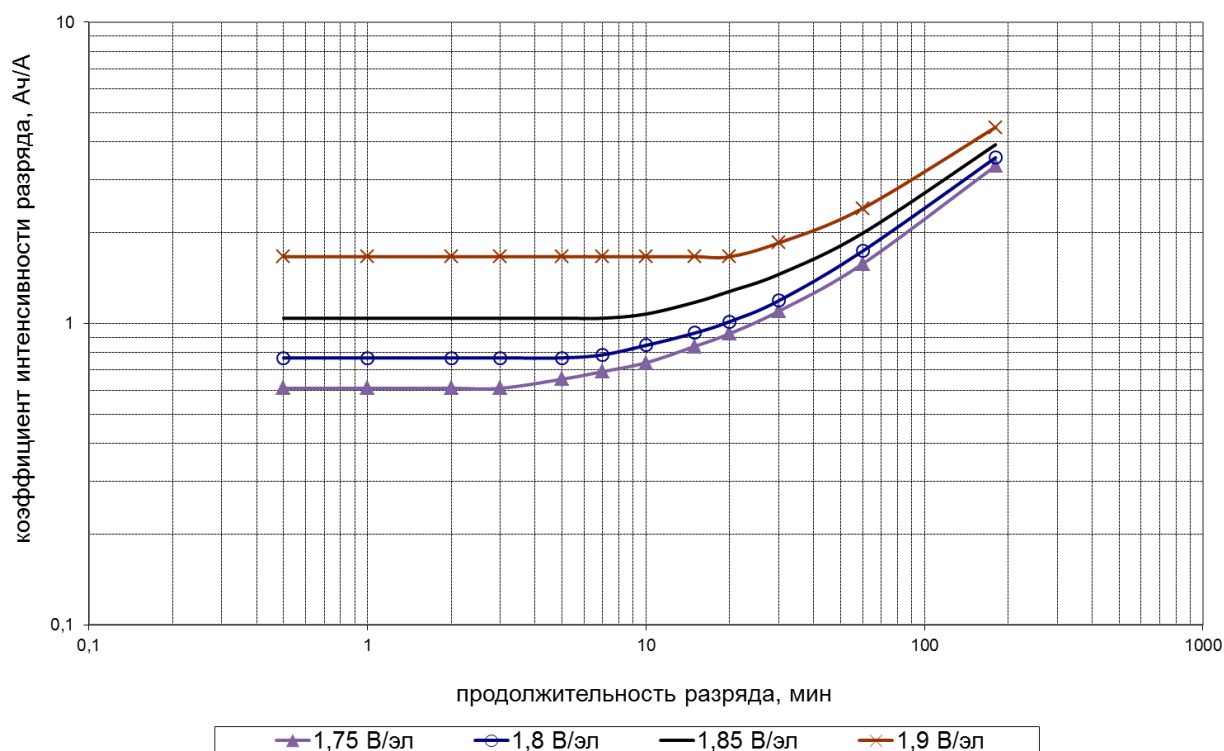


Рис. 6.4. Пример зависимости коэффициента интенсивности разряда,  $k(t)$ , от продолжительности разряда для аккумуляторов с поверхностными положительными пластинами типа БП номинальной емкостью от 500 до 2600 А·ч при напряжении на аккумуляторе в конце разряда 1,75; 1,8; 1,85 и 1,9 В

## 7 Методические указания по выбору зарядных устройств

7.1 В качестве зарядных устройств могут использоваться либо тиристорные либо импульсные зарядные устройства на базе MOSFET или IGBT – технологий. Импульсные зарядные устройства, по сравнению с тиристорными, имеют меньшие пульсации напряжения, меньшие искажения синусоидальности питающей сети и более высокий коэффициент мощности. Тип ЗУ определяется на основании технико-экономического сопоставления вариантов.

7.2 При модернизации систем оперативного постоянного тока с установкой АБ с дополнительной группой аккумуляторов должны быть предусмотрены отдельные зарядные устройства для дополнительной группы аккумуляторов или ЗУ двухканального исполнения.

7.3 Зарядные устройства должны иметь следующие номинальные параметры:

- 7.3.1 номинальное входное напряжение – 220 или 3х380 В;
- 7.3.2 номинальное выходное напряжение – 220 В;
- 7.3.3 номинальный выходной ток – одно значение из стандартизованного ряда номинальных токов согласно ГОСТ 25953;
- 7.3.4 климатическое исполнение УХЛ, категория размещения 4 согласно ГОСТ 15150 или другое, обоснованное проектом;

7.3.5 степень защиты не ниже IP31.

7.4 В технической документации на ЗУ поставщик должен отразить соответствие следующим техническим требованиям [1, 2]:

7.4.1 ЗУ должно иметь систему естественного охлаждения.

7.4.2 ЗУ должно отвечать требованиям стойкости к механическим внешним воздействующим факторам по группе М40 ГОСТ 17516.1 и должно иметь сейсмическую стойкость, соответствующую географическому расположению подстанции.

7.4.3 ЗУ должно нормально функционировать при отклонениях входного напряжения в диапазоне не менее  $\pm 15\%$ .

7.4.4 Должна обеспечиваться возможность параллельной работы на стороне выпрямленного напряжения двух ЗУ с симметричным делением между ними суммарного тока нагрузки или работы одного из ЗУ в режиме «горячего» резерва.

7.4.5 ЗУ должно иметь автоматическую блокировку, при превышении напряжения 2,30 В/эл при отключенной приточно-вытяжной вентиляции помещения АБ и иметь возможность выдавать сигнал о блокировке.

7.4.6 ЗУ должно иметь защиты от повышения и понижения напряжения на входе, перенапряжения на тиристорах, перегрузок, внутренних коротких замыканий, коротких замыканий в нагрузке.

7.4.7 ЗУ должно обеспечивать автоматический запуск при восстановлении напряжения источника переменного тока после его случайного исчезновения, в том числе многократного.

7.4.8 В режимах ремонта и наладки, ЗУ должно обеспечивать питание электроприемников без аккумуляторной батареи и применения дополнительных фильтров и устройств.

7.4.9 ЗУ должно обеспечивать самодиагностику с выдачей обобщенного сигнала неисправности при внутренних повреждениях.

7.4.10 В режиме коротких замыканий и пусковых токов электроприемников, при отключенной АБ, ЗУ должно обеспечивать кратность выходного тока не менее 1,5 номинального тока с продолжительностью не менее чем 2 с и не менее 3 номинальных токов с продолжительностью не менее чем 0,1 с.

7.4.11 ЗУ должно иметь блокировку на повышение напряжения свыше 242 В при неисправном устройстве стабилизации напряжения.

7.4.12 ЗУ должно иметь следующие виды сигнализации:

7.4.12.1 при выходе из допустимых пределов напряжения и тока нагрузки;

7.4.12.2 обобщенный сигнал неисправности.

7.4.13 ЗУ должно обеспечивать режим трехступенчатого заряда АБ; 1 ступень – ступень ограничения тока заряда, 2 ступень – ступень ограничения напряжения заряда, 3 ступень – ступень стабилизации напряжения заряда.



7.4.14 ЗУ должно обеспечивать возможность задания и поддержания следующих параметров:

7.4.14.1 ток первой ступени заряда АБ в пределах  $(0,05 \div 0,3) \cdot C_{10}$ ;

7.4.14.2 напряжение второй ступени заряда АБ в пределах  $2,3 \div 2,4$  В на аккумулятор с точностью  $\pm 2$  %;

7.4.14.3 напряжение третьей ступени заряда АБ с учетом термокомпенсации в соответствии с типом аккумуляторов и их количеством в батарее с точностью  $\pm 1$  %.

7.5 Напряжение поддерживающего заряда аккумуляторов открытых типов, с учетом термокомпенсации, должно соответствовать значениям, приведенным в Таблице 7.1 или рекомендациям производителя аккумуляторов.

Таблица 7.1. Зависимость напряжения поддерживающего заряда аккумулятора от температуры в аккумуляторном помещении

| Температура, °С                      | +10  | +20  | +30  |
|--------------------------------------|------|------|------|
| Напряжение поддерживающего заряда, В | 2,27 | 2,23 | 2,18 |

7.6 Исходными данными для выбора зарядного устройства являются:

7.6.1 тип и количество аккумуляторов в батарее;

7.6.2 номинальная десятичасовая емкость аккумуляторов, А·ч;

7.6.3 суммарный ток постоянной нагрузки СОПТ, А;

7.6.4 минимально допустимый выходной ток ЗУ по условию его устойчивой работы;

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

7.6.6 емкость конденсатора выходного фильтра ЗУ.

7.7 Выбор зарядного устройства должен производиться в следующем порядке:

7.7.1 выбирают номинальный выходной ток зарядного устройства;

7.7.2 проводят проверку ЗУ по пульсациям тока поддерживающего заряда АБ;

7.7.3 проверяют соответствие ЗУ техническим требованиям, приведенным в п. 7.4.

7.8 Порядок выполнения действий, перечисленных в 7.7, приведен в 7.9 - 7.10.

7.9 Выбор номинального выходного тока:

7.9.1 При выборе номинального тока ЗУ необходимо проверять выполнение следующих условий [1]:

7.9.1.1 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;

7.9.1.2 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;

7.9.1.3 ток постоянной нагрузки ЗУ должен превышать минимально допустимый по условию устойчивой работы ЗУ.

7.9.2 Номинальный выходной ток зарядного устройства выбирается из ряда номинальных токов, п. 7.3.3, по условию

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{нб.раб}}, \quad (7.1)$$

где  $I_{\text{нб.раб}}$  – наибольший рабочий выходной ток зарядного устройства.

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

$$I_3 = \frac{I_{\text{пт.нг}} + k \cdot C_{10}}{2}, \quad (7.2)$$

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.

7.10 Проверка зарядного устройства по пульсациям тока поддерживающего заряда

7.10.1 Проверку ЗУ по пульсациям тока поддерживающего заряда аккумуляторной батареи допускается не проводить для высокочастотных зарядных устройств.

7.10.2 Среднеквадратичное значение пульсаций тока при работе ЗУ на АБ определяется по выражению:

$$I_{\text{нАБ}} = \frac{U_{\text{нг}} \cdot X_C \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{X_C}\right)^2 + \left(\frac{I_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}}\right)^2}}{\sqrt{(R_{\text{ак}} \cdot N)^2 + X_C^2}}, \quad (7.3)$$

где  $U_{\text{нг}}$  – 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, Ом;

$R_{\text{ак}}$  – 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.

Емкостное сопротивление конденсатора фильтра ЗУ определяется по выражению:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 300 \cdot C}, \quad (7.4)$$

где  $C$  – емкость конденсатора фильтра, Ф.

7.10.3 Если среднеквадратичное значение пульсаций тока поддерживающего заряда в расчете на 100 А·ч емкости АБ не превышает 5 А, то пульсации тока поддерживающего заряда не превышают максимально допустимые значения. Иначе, необходимо выбрать ЗУ с меньшим уровнем пульсаций напряжения на активной нагрузке и повторить проверку по п. 7.10.2.

## **8 Методические указания по выбору проводников**

8.1 Исходными данными для выбора и проверки проводников в системах оперативного постоянного тока являются:

8.1.1 схема сети оперативного постоянного тока (с указанием параметров существующих проводников и защитных аппаратов для реконструируемых подстанций);

8.1.2 номинальные токи электроприемников, входящих в состав постоянной, временной и кратковременной нагрузок;

8.1.3 тип и количество аккумуляторов в батарее, напряжение аккумулятора в конце разряда, ЭДС и внутреннее сопротивление аккумуляторов.

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

8.2.1 предварительно выбирается сечение проводника по потере напряжения;

8.2.2 выбранное сечение проверяется по термической стойкости к токам короткого замыкания и невозгораемости.

8.3 Выбор проводников в остальных цепях должен производиться в следующем порядке:

8.3.1 предварительно выбирается сечение проводника по длительно допустимому току;

8.3.2 выбранное сечение проверяется по потере напряжения;

8.3.3 выбранное сечение проверяется по термической стойкости к токам короткого замыкания и невозгораемости.

8.4 Предварительный выбор сечения проводника в цепях питания кратковременной нагрузки,  $S_{\text{пр}}$ , производится из ряда сечений по ГОСТ 22483, по условию:

$$S_{\text{пр}} \geq \frac{\rho \cdot I_{\text{кр.нг}} \cdot l_{\Sigma} \cdot 10^{-2}}{(N \cdot U_{\text{нм.раб.ак}} - U_{\text{нм.доп}}) \cdot n_{\text{пров}}}, \quad (8.1)$$

где  $\rho = 1,85 \cdot 10^{-2}$  Ом·мм<sup>2</sup>/м – удельное сопротивление меди.

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

$l_{\Sigma}$  – суммарная длина проводников в цепи от аккумуляторной батареи до клемм нагрузки, м;

$N$  – количество аккумуляторов в батарее, шт.; при наличии дополнительной группы аккумуляторов количество аккумуляторов определяется с учетом дополнительной группы;

$U_{\text{нм.раб.ак}}$  – напряжение аккумулятора в конце разряда, рассчитываемое при выборе АБ, В (в случае отсутствия данных допускается принимать 1,9 В/эл);

$U_{\text{нм.доп}}$  – минимально допустимое напряжение на клеммах нагрузки, В (принимают по технической документации нагрузки);

$n_{\text{пров}}$  – количество параллельных проводников в одном полюсе, по умолчанию принимается равным 1.

Если выбранное сечение превышает 185 мм<sup>2</sup>, то требуется увеличить число параллельных проводников,  $n_{\text{пров}}$ , и повторить выбор по (8.1)

8.5 Предварительный выбор сечения проводников  $S_{\text{пр}}$  в цепях питания постоянной и временной нагрузки по длительно допустимому току.

8.5.1 Предварительный выбор сечения проводников по длительно допустимому току не производится для цепей, питающих только кратковременную нагрузку.

8.5.2 Выбирается сечение проводника по длительно допустимому току, удовлетворяющему условию:

$$I_{\text{длит.доп}} \geq \frac{I_{\text{пт.нг}} + I_{\text{вр.нг}}}{n_{\text{пров}} \cdot k_t}, \quad (8.2)$$

где  $I_{\text{длит.доп}}$  – длительно допустимый ток проводника, см. приложение Г.

$I_{\text{пт.нг}}, I_{\text{вр.нг}}$  – ток постоянной и временной нагрузки, протекающий через проводник, А;

$n_{\text{пров}}$  – количество параллельных проводников в одном полюсе, по умолчанию принимается равным 1;

$k_t$  – поправочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды, выбирается по таблице 8.1.

Таблица 8.1. Поправочные коэффициенты, учитывающие расчетную температуру окружающей среды

| Изоляция                              | Поправочные коэффициенты при расчетной температуре окружающей среды $k_t$ , °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                       | минус 5 и ниже                                                                 | 0    | +5   | +10  | +15  | +20  | +25  | +30  | +35  | +40  | +45  | +50  |
| поливинилхлоридный пластикат и резина | 1,29                                                                           | 1,24 | 1,20 | 1,15 | 1,11 | 1,05 | 1,00 | 0,94 | 0,87 | 0,81 | 0,74 | 0,67 |
| бумажно-масляная                      | 1,24                                                                           | 1,20 | 1,17 | 1,13 | 1,09 | 1,04 | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,74 |

Примечание: при отсутствии данных расчетную температуру принимают 40 °C

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

$$I_{\text{длит.доп}} \geq \frac{k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{ном.ЗУ}}}{n_{\text{пров}} \cdot k_t}, \quad (8.3)$$

где  $I_{\text{ном.ЗУ}}$  – номинальный выходной ток ЗУ, А;

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

8.5.4 Сечение кабеля в цепи ввода аккумуляторной батареи принимается по большему значению из сечений, выбранных по п. 8.4 и п. 8.5.2.

8.6 Проверка сечения проводника по потере напряжения в цепях питания постоянной и временной нагрузки:

8.6.1 Проверку по потере напряжения проводников групповых линий питания нагрузки ШРОТ и проводников в цепи конечных электроприемников выполнять по условию:

$$I_{\text{АБ-ЩПТ}} \cdot R_{\text{АБ-ЩПТ}} + I_{\text{ЩПТ-ШРОТ}} \cdot R_{\text{ЩПТ-ШРОТ}} + \\ + I_{\text{ШРОТ-Эл}} \cdot R_{\text{ШРОТ-Эл}} \leq N \cdot U_{\text{нм.раб.ак}} - U_{\text{нм.доп}}, \quad (8.4)$$

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

$R_{\text{АБ-ЩПТ}}$  – активное сопротивление кабельной линии от АБ до ЩПТ, Ом;

$I_{\text{ЩПТ-ШРОТ}}$  – ток нагрузки ШРОТ (постоянной, временной и кратковременной), А;

$R_{\text{ЩПТ-ШРОТ}}$  – активное сопротивление кабельной линии от ЩПТ до ШРОТ, Ом;

$I_{\text{ШРОТ-Эл}}$  – ток электроприемника, А;

$R_{\text{ШРОТ-Эл}}$  – активное сопротивление кабельной линии от ШРОТ до электроприемника, Ом;

$N$  – количество аккумуляторов в основной группе АБ.

При проверке по потере напряжения также учитывается кратковременная нагрузка СОПТ.

При проверке по потере напряжения сопротивлением ошиновки АБ, переходных сопротивлений контактов и сопротивлением катушек защитных аппаратов допускается пренебрегать.

8.6.2 Если условие проверки по потере напряжения не выполняется, то необходимо увеличить сечение проводников групповой линии питания нагрузки ШРОТ и/или проводников в цепи конечного электроприемника на одну ступень и повторить проверку по п. 8.6.1.

8.7 Проверка на термическую стойкость и невозгораемость

8.7.1 Проверка проводников на термическую стойкость и невозгораемость производится сопоставлением температур проводников к моменту отключения короткого замыкания с максимальными предельно допустимыми значениями, которые составляют

по условиям термической стойкости:

а) 160 °С – для проводников с поливинилхлоридной изоляцией;

б) 200 °С – для проводников с бумажно-масляной изоляцией;

по условиям невозгораемости:

а) 350 °С – для проводников с поливинилхлоридной изоляцией;

б) 400 °С – для проводников с бумажно-масляной изоляцией.

8.7.2 Температура проводника к моменту отключения короткого замыкания,  $\vartheta_{\text{кон}}$ , рассчитывается по выражению, ГОСТ Р МЭК 60949, °С

$$\vartheta_{\text{кон}} = (\vartheta_{\text{нач}} + \beta) \cdot e^{\frac{I_{\text{кз}}^2 \cdot t_{\text{откл}}}{k_1^2 \cdot S_{\text{пр}}^2 \cdot \varepsilon^2}} - \beta, \quad (8.5)$$

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

$\beta$  – величина, равная обратному температурному коэффициенту сопротивления при 0 °С, принимаемая равной 234,5 °К;

$I_{\text{кз}}$  – среднеквадратичное значение тока короткого замыкания, А;

$t_{\text{откл}}$  – продолжительность протекания тока короткого замыкания в проводнике, с;

$k_1$  – постоянная, зависящая от материала проводника, принимается равной 226 А·с<sup>1/2</sup>/мм<sup>2</sup> для проводника с медными токопроводящими жилами;

$S_{\text{пр}}$  – сечение проводника;

$\varepsilon$  – коэффициент, учитывающий отвод тепла от проводника в изоляцию, принимается равным 1.

Расчет температур проводника для проверки на термическую стойкость производится два раза для двух расчетных случаев, соответствующих двум наборам расчетных условий, Таблица 8.2. Термическая стойкость проводника

считается обеспеченной, если обе расчетные температуры не превышают максимальные предельно допустимые значения, п. 8.7.1. Расчет температур проводника для проверки на невозгораемость производится аналогично. Невозгораемость проводника считается обеспеченной, если обе расчетные температуры не превышают максимальные предельно допустимые значения, п. 8.7.1.

8.7.3 Продолжительность протекания тока короткого замыкания в проводнике  $t_{откл}$  принимается равной:

8.7.3.1 максимальному времени срабатывания основной защиты проводника - для проверки термической стойкости;

8.7.3.2 максимальному времени срабатывания резервной защиты проводника - для проверки невозгораемости [5].

8.7.4 Максимальное время срабатывания основной и резервной защиты определяется по характеристике срабатывания защитных аппаратов, в основной или резервной зоне защиты которых находится проверяемый проводник. При этом нужно учесть разброс характеристики срабатывания в сторону больших значений времени.

8.7.5 Токи короткого замыкания для проверки на термическую стойкость и невозгораемость рассчитываются по ГОСТ 29176, в соответствии с расчетными условиями, приведенными в Таблице 8.2. Внутреннее сопротивление и ЭДС аккумуляторов допускается принимать по данным производителя и не зависящими от внешнего сопротивления. Коэффициент учета влияния дуги при сопротивлении цепи КЗ более 650 мОм принимается постоянным и равным значению, соответствующему сопротивлению 650 мОм, ГОСТ 29176, приложение 2.

Таблица 8.2. Расчетные условия короткого замыкания для проверки проводников на термическую стойкость и невозгораемость

| Расчетное условие        | набор 1                                                                      | набор 2       |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Расчетная схема          | нормальная                                                                   |               |
| Расчетное место          | начало КЛ                                                                    | конец КЛ      |
| Расчетный вид            | дуговое                                                                      | металлическое |
| Расчетный момент времени | начальный момент                                                             |               |
| Предшествующий режим     | зарядные устройства включены,<br>аккумуляторная батарея – полностью заряжена |               |

8.7.6 Для цепей, защищаемых плавкими предохранителями, проверку на невозгораемость не проводят при условии обеспечения термической стойкости.

8.7.7 В случае если условия термической стойкости или невозгораемости кабеля не обеспечиваются, то увеличивают сечение проводника на одну ступень и повторяют процедуры выбора в соответствии с п.8.7.

8.7.8 Если увеличение сечения проводника более чем на две ступени относительно предварительно выбранного значения не обеспечивает

термическую стойкость или невозгораемость проводника, то следует уменьшить время срабатывания защитного аппарата или рассмотреть другое место подключения проводника с меньшим уровнем токов короткого замыкания.

## **9 Методические указания по выбору защитных аппаратов**

9.1 Исходными данными для выбора и проверки защитных коммутационных аппаратов в системе оперативного постоянного тока подстанций являются:

- 9.1.1 номинальное напряжение и схема СОПТ;
- 9.1.2 типы и длины проводников кабельной распределительной сети СОПТ;
- 9.1.3 номинальные токи зарядных устройств;
- 9.1.4 номинальная емкость и внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи;
- 9.1.5 состав электроприемников постоянной, временной и кратковременной нагрузки СОПТ.

9.2 Выбор защитных аппаратов СОПТ осуществляется в следующем порядке:

- 9.2.1 предварительный выбор аппарата по условиям применения: номинальному напряжению, номинальному току, климатическому исполнению, категории размещения;
- 9.2.2 выбор защитной характеристики аппарата;
- 9.2.3 проверка отстройки от токов кратковременной нагрузки;
- 9.2.4 проверка защитных аппаратов на чувствительность;
- 9.2.5 проверка защитных аппаратов на селективность;
- 9.2.6 проверка защитных аппаратов на быстродействие;
- 9.2.7 проверка защитных аппаратов на отключающую способность.

9.3 Предварительный выбор защитных аппаратов по условиям применения:

9.3.1 Защитный аппарат должен иметь климатическое исполнение УХЛ, категорию размещения 4 согласно ГОСТ 15150.

9.3.2 Защитный аппарат должен быть предназначен для работы на постоянном токе.

При выборе плавкого предохранителя в качестве защитного аппарата следует выбирать аппараты типа «предохранитель-выключатель-разъединитель», обеспечивающие коммутацию токов нагрузки.

9.3.3 Защитный аппарат должен иметь степень защиты не менее IP 31.

9.3.4 Защитный аппарат должен отвечать требованиям стойкости к механическим внешним воздействующим факторам по группе М13 ГОСТ 17516.1.



9.3.5 Выбор номинального напряжения защитного аппарата,  $U_e$ , проводится по условию [4]:

$$U_e \geq U_{\text{ном}}, \quad (9.1)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение системы оперативного постоянного тока.

9.3.6 Выбор номинального тока  $I_n$  защитного аппарата производится по выражению, А:

$$I_n \geq I_{\text{пт.нг.ЗА}} + I_{\text{вр.нг.ЗА}} + 0,4 \cdot I_{\text{кр.нг.ЗА}}, \quad (9.2)$$

где  $I_{\text{пт.нг.ЗА}}$  – сумма номинальных токов постоянной нагрузки, подключенной через защитный аппарат, в нормальном и ремонтном режимах, А;

$I_{\text{вр.нг.ЗА}}$  – сумма номинальных токов временной нагрузки, подключенной через защитный аппарат, в нормальном и ремонтном режимах, А;

$I_{\text{кр.нг.ЗА}}$  – сумма номинальных токов кратковременной нагрузки, подключенной через защитный аппарат, в нормальном и ремонтном режимах, А.

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

$$I_n \geq k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{ном.ЗУ}}. \quad (9.3)$$

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

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

Проводники в зоне защиты аппарата должны удовлетворять условию:

$$I_n \leq I_{\text{длит.доп}}, \quad (9.4)$$

где  $I_{\text{длит.доп}}$  – длительного допустимый ток проводника, находящегося в основной зоне защиты аппарата.

Если условие (9.4) не выполняется, то выбирается проводник большего сечения, обеспечивающего выполнение условия (9.4).

9.4 Выбор защитной характеристики аппарата:

9.4.1 Для плавких предохранителей предварительно выбираются плавкие вставки с защитной характеристикой типа gG (приложение Д), соответствующая номинальному току плавкой вставки.

9.4.2 Защитная характеристика автоматических выключателей с номинальным током более 125 А задается кратностью тока срабатывания мгновенного расцепителя. Предварительно выбирается характеристика с кратностью тока срабатывания не менее 5.

9.4.3 Защитная характеристика автоматических выключателей модульного типа, с номинальным током 125 А и менее, задается типом характеристики, определяющей кратность тока срабатывания мгновенного расцепителя. Предварительно выбирается характеристика типа С (приложение Д).

9.4.4 При выборе характеристики необходимо учитывать, что ЗА должен предотвращать превышение температуры оборудования сверх допустимой как при коротких замыканиях, так и в зоне перегрузок [4].

9.5 Проверка отстройки от токов кратковременной нагрузки:

9.5.1 Проверка должна производиться для защитных аппаратов, через которые протекают токи кратковременной нагрузки.

9.5.2 Для проверки отстройки защитных аппаратов от токов кратковременной нагрузки на одном графике строятся времятоковая характеристика кратковременной нагрузки, определяющая изменение потребляемого тока во времени, и защитная характеристика аппарата.

9.5.3 Результат проверки считается удовлетворительным в случае, если характеристика кратковременной нагрузки располагается ниже и левее и не пересекает защитную характеристику аппарата.

9.5.4 В случае неудовлетворительного результата проверки требуется:

9.5.4.1 для плавких предохранителей – выбрать плавкую вставку с большим номинальным током;

9.5.4.2 для автоматических выключателей:

а) при номинальном токе 125 А и более – увеличить уставку срабатывания электромагнитного расцепителя, при номинальном токе до 125 А – скорректировать тип защитной характеристики в сторону увеличения тока срабатывания;

б) при невозможности увеличения тока срабатывания выбрать автоматический выключатель с большим номинальным током.

9.6 Проверка селективности срабатывания защитных аппаратов:

9.6.1 Проверку защитных аппаратов, установленных последовательно в рассматриваемой электрической цепи, на селективность, требуется проводить попарно.

9.6.2 Селективность защитных аппаратов проверяется в общей зоне защиты аппаратов, для нижестоящего аппарата эта зона является основной, для вышестоящего – резервной.

9.6.3 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. Расчет минимального и максимального токов короткого замыкания производится по ГОСТ 29176 согласно расчетным условиям, приведенным в Таблице 9.1.

Таблица 9.1. 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                                                         | Дуговое                                                       |
| Расчетный момент времени | Начальный момент                                                |                                                               |
| Предшествующий режим     | Зарядные устройства отключены, аккумуляторная батарея разряжена | Зарядные устройства включены, аккумуляторная батарея заряжена |

Разряженное состояние АБ задается увеличением ее внутреннего сопротивления в 1,5 раза по отношению к сопротивлению заряженной АБ.

9.6.4 При наличии пересечений защитных характеристик в зоне возможных токов короткого замыкания результат проверки считается неудовлетворительным, требуется увеличить ток срабатывания или номинальный ток вышестоящего аппарата. В случае, если условие (9.4) не выполняется, то следует увеличить сечение кабеля.

#### 9.7 Проверка чувствительности защитных аппаратов

9.7.1 Чувствительность плавких предохранителей считается обеспеченной, если плавкий предохранитель соответствует требованиям раздела 9.8.

9.7.2 Для проверки чувствительности автоматических выключателей определяется коэффициент чувствительности по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.мин}}}{I_{\text{сраб.макс}}}, \quad (9.5)$$

где  $I_{\text{кз.мин}}$  – минимальный ток короткого замыкания в зоне защиты, А;

$I_{\text{сраб.макс}}$  – максимальный ток срабатывания расцепителя мгновенного действия автоматического выключателя с учетом разброса защитной характеристики, А.

9.7.3 Разброс защитной характеристики автоматического выключателя приводится в технической документации производителя.

9.7.4 Защитный аппарат обладает удовлетворительной чувствительностью к токам короткого замыкания, если коэффициент чувствительности, определенный по (9.5) превышает 1,1.

9.7.5 Минимальный ток короткого замыкания определяется по ГОСТ 29176 согласно расчетным условиям, приведенным в Таблице 9.2.

Таблица 9.2. Расчетные условия короткого замыкания для определения минимального тока короткого замыкания при проверке чувствительности ЗА.

| Расчетное условие | Значение |
|-------------------|----------|
|-------------------|----------|

|                          |                                                                 |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Расчетная схема          | Ремонтная                                                       |
| Расчетное место          | Конец основной/резервной зоны защиты                            |
| Расчетный вид            | Дуговое                                                         |
| Расчетный момент времени | Время срабатывания защитного аппарата                           |
| Предшествующий режим     | Зарядные устройства отключены, аккумуляторная батарея разряжена |

9.7.6 Минимальный ток короткого замыкания за DC-DC конвертором определяется по характеристике ограничения выходного тока, предоставляемой производителем, для продолжительности КЗ, соответствующей времени срабатывания защитного аппарата.

9.7.7 Если чувствительность не обеспечена, предпринимаются следующие мероприятия, в порядке приоритетности:

9.7.7.1 выбирается автоматический выключатель с меньшим током срабатывания, с защитной характеристикой Z, согласно приложению Д;

9.7.7.2 выбирается автоматический выключатель с меньшим номинальным током;

9.7.7.3 вместо автоматических выключателей используются плавкие предохранители;

9.7.7.4 увеличивается ток КЗ путем увеличения сечения кабелей.

9.8 Проверка быстродействия защитных аппаратов:

9.8.1 Проверка быстродействия отключающих защитных аппаратов включает в себя:

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

9.8.1.2 проверку по продолжительности провалов напряжения.

9.8.2 Проверка проводника на термическую стойкость и невозгораемость проводят по 8.7.

9.8.3 Если термическая стойкость или невозгораемость проводника не обеспечена, следует предпринять следующие мероприятия, в порядке приоритетности:

9.8.3.1 использовать плавкие предохранители, обеспечивающие ближнее резервирование, вместо автоматических выключателей;

9.8.3.2 увеличить сечение защищаемого проводника.

9.8.4 Для выполнения проверки по продолжительности провалов:

9.8.4.1 рассчитывают ток короткого замыкания по ГОСТ 29176 для двух наборов расчетных условий, таблица 9.3;

Таблица 9.3. Расчетные условия короткого замыкания для проверки по продолжительности провалов напряжения

| Расчетные условия | Набор 1                     | Набор 2                    |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Расчетная схема   | Нормальная                  |                            |
| Расчетное место   | начало основной зоны защиты | конец основной зоны защиты |
| Расчетный вид     | дуговое                     | Металлическое              |

|                          |                                                                  |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Расчетный момент времени | начальный момент                                                 |
| Предшествующий режим     | зарядные устройства включены,<br>аккумуляторная батарея заряжена |

9.8.4.2 определяют продолжительность провала напряжения по среднему значению времени отключения короткого замыкания, согласно защитной характеристике аппарата. Продолжительность провала напряжения допускается определять по минимальному значению продолжительности короткого замыкания с учетом анализа последствий возможных нарушений в работе электроприемников.

9.8.5 Проверка по продолжительности провалов напряжения считается выполненной, если продолжительность провала напряжения не превышает 0,5 с [3].

9.8.6 В случае, если проверка не выполняется, то уменьшают номинальный ток защитного аппарата или рассматривают другую схему питания электроприемников.

9.9 Проверка защитных аппаратов на отключающую способность.

9.9.1 Для проверки защитных аппаратов на отключающую способность требуется рассчитать максимальный отключаемый ток в соответствии с ГОСТ 29176 согласно расчетным условиям, приведенным в Таблице 9.4

Таблица 9.4. Расчетные условия короткого замыкания для проверки отключающей способности защитных аппаратов

| Расчетное условие        | Значение                                                         |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Расчетная схема          | Нормальная                                                       |
| Расчетное место          | клеммы проверяемого ЗА со стороны источника                      |
| Расчетный вид            | Металлическое                                                    |
| Расчетный момент времени | начальный момент                                                 |
| Предшествующий режим     | зарядные устройства включены,<br>аккумуляторная батарея заряжена |

9.9.2 Отключающая способность защитного аппарата считается удовлетворительной, если она превышает расчетный ток короткого замыкания. Иначе, требуется выбрать защитный аппарат с большей отключающей способностью.

## 10 Выбор проводников и защитных аппаратов для подстанций II и III архитектуры

10.1 При строительстве новых подстанций II и III архитектуры и комплексной реконструкции действующих подстанций для выбора проводников и защитных аппаратов в цепях СОПТ следует применять 10.2 – 10.6.

10.2 В цепи присоединения АБ к ЩПТ выбирать:

10.2.1 В качестве защитного аппарата предохранители с плавкой вставкой с защитной характеристикой типа gG (приложение Д) и номинальным током 160 А.

10.2.2 Длину кабельной линии не более 20 м; сечение кабельной линии принимать 120 мм<sup>2</sup>.

10.3 В цепи присоединения ЗУ к ЩПТ выбирать:

10.3.1 В качестве защитного аппарата предохранители с плавкой вставкой с защитной характеристикой типа gG (приложение Д) и номинальным током 63 А.

10.3.2 Длину кабельной линии не более 10 м; сечение кабельной линии принимать 16 мм<sup>2</sup>.

10.4 При выборе защитных аппаратов и кабельных линий в присоединениях распределительного шкафа ЩПТ:

10.4.1 Применять в качестве защитного аппарата предохранители в соответствии с п. 9.3, с плавкой вставкой с защитной характеристикой типа gG (приложение Д). Номинальный ток плавкой вставки выбирать по п. 9.3.6, но не менее 25 А.

10.4.2 При применении в качестве защитных аппаратов 3-го уровня автоматических выключателей, сечение кабельной линии выбирать исходя из требуемой длины в соответствии с таблицей 10.1.

10.4.3 При применении в качестве защитных аппаратов 3-го уровня предохранителей, сечение кабельной линии выбирать исходя из требуемой длины в соответствии с таблицей 10.2.

10.5 При выборе защитных аппаратов и кабельных линий в присоединениях ШРОТ без DC/DC конвертора:

10.5.1 Применять в качестве защитного аппарата автоматический выключатель с характеристикой С (приложение Д) и номинальным током 2 А, либо, по согласованию с заказчиком, предохранители с плавкой вставкой цилиндрического типа с защитной характеристикой типа gG (приложение Д) и номинальным током 4 А.

10.5.2 Длина и сечение кабельной линии должны соответствовать указанным в таблице 10.1 при применении на 3-ем уровне защиты автоматических выключателей, или указанным в таблице 10.2 А при применении на 3-ем уровне защиты предохранителей.

Таблица 10.1. Параметры ЗА и кабельных линий для ПС II и III архитектуры при использовании автоматических выключателей на третьем уровне защиты

| Номинальный ток плавкой вставки второго уровня защиты, А | Сечение КЛ ЩПТ - ШРОТ <sup>1)</sup> , мм <sup>2</sup> | Минимально допустимая длина кабельной линии ЩПТ - ШРОТ <sup>1)</sup> , м | Максимально допустимая длина кабельной линии ЩПТ - ШРОТ <sup>1)</sup> , м | Сечение КЛ ШРОТ <sup>1)</sup> - ЭП, мм <sup>2</sup> | Максимально допустимая длина кабельной линии ШРОТ <sup>1)</sup> - ЭП, м |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 25                                                       | 16                                                    | 185                                                                      | 200                                                                       | 2,5 (4) <sup>2)</sup>                               | 100 (200) <sup>2), 3)</sup>                                             |
|                                                          | 25                                                    | 290                                                                      | 315                                                                       |                                                     |                                                                         |

|    |    |      |      |                       |                             |
|----|----|------|------|-----------------------|-----------------------------|
|    | 35 | 405  | 440  |                       |                             |
|    | 50 | 575  | 645  |                       |                             |
|    | 70 | 805  | 900  |                       |                             |
|    | 95 | 1095 | 1200 |                       |                             |
| 35 | 16 | 125  | 200  | 2,5 (4) <sup>2)</sup> | 100 (200) <sup>2), 3)</sup> |
|    | 25 | 190  | 315  |                       |                             |
|    | 35 | 270  | 440  |                       |                             |
|    | 50 | 380  | 645  |                       |                             |
|    | 70 | 535  | 900  |                       |                             |
|    | 95 | 720  | 1200 |                       |                             |
| 40 | 16 | 105  | 200  | 4                     | 200 <sup>3)</sup>           |
|    | 25 | 165  | 315  |                       |                             |
|    | 35 | 230  | 440  |                       |                             |
|    | 50 | 325  | 645  |                       |                             |
|    | 70 | 450  | 900  |                       |                             |
|    | 95 | 610  | 1200 |                       |                             |
| 50 | 16 | 80   | 200  | 4                     | 200 <sup>3)</sup>           |
|    | 25 | 125  | 315  |                       |                             |
|    | 35 | 175  | 440  |                       |                             |
|    | 50 | 245  | 645  |                       |                             |
|    | 70 | 340  | 900  |                       |                             |
|    | 95 | 460  | 1200 |                       |                             |

<sup>1)</sup> – ШРОТ или щит питания блокировки или шкаф поиска земли.

<sup>2)</sup> – При выборе сечения 2,5 мм<sup>2</sup> максимально допустимой длиной следует считать 100 м, при 4 мм<sup>2</sup> – 200 м.

<sup>3)</sup> – Увеличение максимальной длины в два раза допустимо при использовании в каждом полюсе двух жил указанного сечения, включенных параллельно.

Примечание:

Расчеты проведены для АБ емкостью от 250 до 1000 А·ч, с внутренним сопротивлением от 15 до 40 мОм. Все кабельные линии выбирать с медными жилами.

10.6 При выборе защитных аппаратов и кабельных линий в присоединениях ШРОТ, щита питания блокировки или щита поиска земли с DC/DC конверторами:

10.6.1 При организации двухуровневой защиты за DC/DC конвертором:

10.6.1.1 Следует применять в качестве защитных аппаратов установленных за DC/DC конверторами автоматические выключатели с характеристикой Z (приложение Д), номинальным током 6 А.

10.6.1.2 Для последнего уровня защиты автоматические выключатели с характеристикой Z (приложение Д), номинальным током 2 А.

10.6.1.3 Кабельная линия между автоматическими выключателями 6 А и 2 А выбирается, в зависимости от требуемой длины их таблицы 10.3, но с сечением не менее 10 мм<sup>2</sup>.

10.6.1.4 Кабельная линия за автоматическим выключателем 2 А выбирается сечением 2,5 мм<sup>2</sup>, и длиной не более 150 м.

Таблица 10.2. Параметры ЗА и кабельных линий для ПС II и III архитектуры при использовании ПП на третьем уровне защиты

| Номинальный ток плавкой вставки второго уровня защиты, А | Сечение КЛ ЩПТ -ЩРОТ <sup>1)</sup> , мм <sup>2</sup> | Минимально допустимая длина кабельной линии ЩПТ -ЩРОТ <sup>1)</sup> , м | Максимально допустимая длина кабельной линии ЩПТ -ЩРОТ <sup>1)</sup> , м | Сечение КЛ ЩРОТ <sup>1)</sup> - ЭП, мм <sup>2</sup> | Максимально допустимая длина кабельной линии ЩРОТ <sup>1)</sup> - ЭП, м |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 25                                                       | 16                                                   | 6                                                                       | 200                                                                      | 2,5 (4) <sup>2)</sup>                               | 100 (200) <sup>2), 3)</sup>                                             |
|                                                          | 25                                                   | 6                                                                       | 315                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 35                                                   | 6                                                                       | 440                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 50                                                   | 6                                                                       | 645                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 70                                                   | 6                                                                       | 900                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 95                                                   | 6                                                                       | 1200                                                                     |                                                     |                                                                         |
| 35                                                       | 16                                                   | 6                                                                       | 200                                                                      | 2,5 (4) <sup>2)</sup>                               | 100 (200) <sup>2), 3)</sup>                                             |
|                                                          | 25                                                   | 6                                                                       | 315                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 35                                                   | 6                                                                       | 440                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 50                                                   | 6                                                                       | 645                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 70                                                   | 6                                                                       | 900                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 95                                                   | 6                                                                       | 1200                                                                     |                                                     |                                                                         |
| 40                                                       | 16                                                   | 6                                                                       | 200                                                                      | 2,5 (4) <sup>2)</sup>                               | 100 (200) <sup>2), 3)</sup>                                             |
|                                                          | 25                                                   | 6                                                                       | 315                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 35                                                   | 6                                                                       | 440                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 50                                                   | 6                                                                       | 645                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 70                                                   | 6                                                                       | 900                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 95                                                   | 6                                                                       | 1200                                                                     |                                                     |                                                                         |
| 50                                                       | 16                                                   | 6                                                                       | 200                                                                      | 2,5 (4) <sup>2)</sup>                               | 100 (200) <sup>2), 3)</sup>                                             |
|                                                          | 25                                                   | 6                                                                       | 315                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 35                                                   | 6                                                                       | 440                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 50                                                   | 6                                                                       | 645                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 70                                                   | 6                                                                       | 900                                                                      |                                                     |                                                                         |
|                                                          | 95                                                   | 6                                                                       | 1200                                                                     |                                                     |                                                                         |

<sup>1)</sup> – ЩРОТ или щит питания блокировки или шкаф поиска земли.

<sup>2)</sup> – При выборе сечения 2,5 мм<sup>2</sup> максимально допустимой длиной следует считать 100 м, при 4 мм<sup>2</sup> – 200 м.

<sup>3)</sup> – Увеличение максимальной длины в два раза допустимо при использовании в каждом полюсе двух жил указанного сечения, включенных параллельно.

Примечание:

Расчеты проведены для АБ емкостью от 250 до 1000 А·ч, с внутренним сопротивлением от 15 до 40 мОм. Все кабельные линии выбирать с медными жилами.

10.6.2 При организации одноуровневой защиты за DC/DC конвертором:



10.6.2.1 Следует применять в качестве защитных аппаратов установленных за DC/DC конверторами автоматические выключатели с характеристикой С (приложение Д), номинальным током 2 А.

10.6.2.2 Сечение кабельной линии выбирают, в зависимости от требуемой длины, из таблицы 10.3.

Таблица 10.3. Параметры кабельных линий за DC/DC конверторами для ПС II и III архитектуры

| Сечение КЛ, мм <sup>2</sup> | Максимально допустимая длина кабельной линии, м |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|
| 2,5                         | 150                                             |
| 4                           | 250                                             |
| 6                           | 370                                             |
| 10                          | 600                                             |
| 16                          | 1000                                            |

## 11 Выбор параметров DC/DC конверторов

11.1 Для снижения влияния цепей с потенциально высоким уровнем перенапряжений и помех (цепей оперативной блокировки, аварийного освещения подстанции, резервного питания системы поиска земли и пр.) на цепи питания релейной защиты и автоматики, следует обеспечить гальваническую развязку этих цепей.

11.2 Питание таких цепей должно осуществляться от DC/DC конверторов с номинальными входным и выходным напряжениями 220 В.

11.3 Выбирают DC/DC конверторы изолированные, с усиленной изоляцией по ГОСТ IEC 60335-1.

11.4 Номинальный выходной ток выбирают равным 10 А для обеспечения гарантированного срабатывания автоматических выключателей с номинальным током 6 А, характеристикой Z (приложение Д). При коротких замыканиях и при включении электроприемников DC/DC конвертор работает в режиме источника тока, что обеспечивает гарантированное срабатывание автоматических выключателей номинального тока 2 А, характеристикой С (приложение Д).

11.5 При параллельной работе двух конверторов, система управления конверторов должна обеспечивать равное деление тока нагрузки, с погрешностью не более 20%.

11.6 В режиме коротких замыканий и пусковых токов электроприемников, DC/DC конвертор должен обеспечивать кратность выходного тока не менее 3-х номинальных токов продолжительностью не менее 0,1 с и не менее 1,5 номинальных токов продолжительностью не менее 2 с, рисунок 11.1.

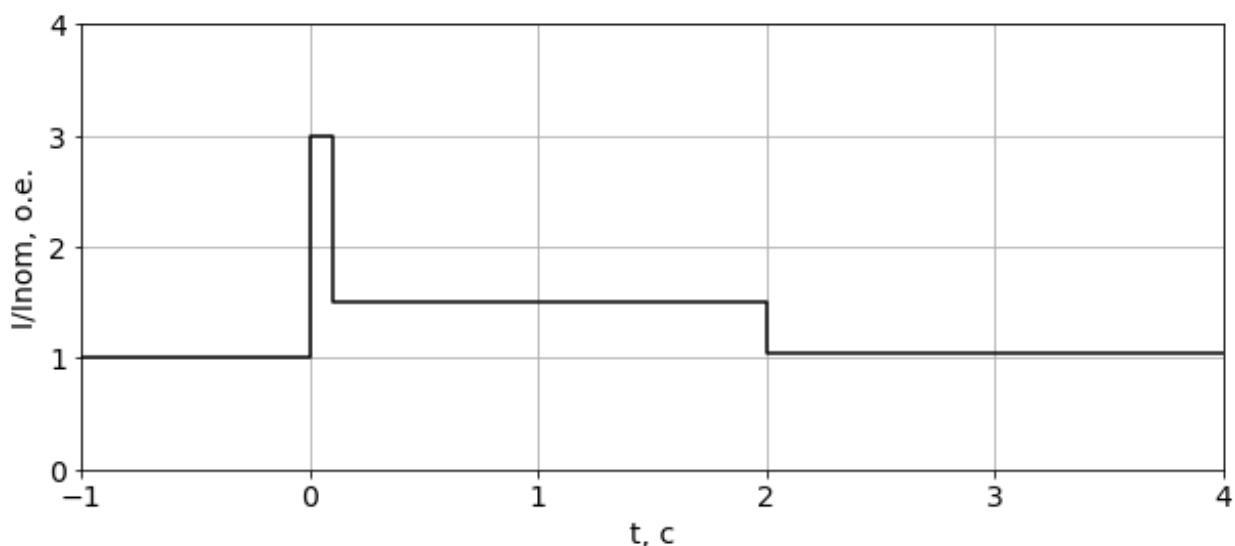


Рис. 11.1. Требования к выходному току DC/DC конвертора в режимах коротких замыканий и пусковых токов электроприемников.

11.7 DC/DC конвертор должен нормально функционировать при отклонениях входного напряжения в диапазоне не менее  $\pm 15\%$ .

11.8 DC/DC конвертор должен иметь защиты от повышения и понижения напряжения на входе, перегрузок, внутренних коротких замыканий, коротких замыканий в нагрузке.

11.9 DC/DC конвертор должен обеспечивать автоматический запуск при восстановлении напряжения источника переменного тока после его исчезновения, в том числе многократного.

## 12 Выбор параметров блока конденсаторов

12.1 При строительстве новых подстанций II и III архитектуры и комплексной реконструкции действующих подстанций, для обеспечения требований по провалам напряжения [3] при переключении питания сборок ШРОТ, применяют блоки конденсаторов. Принципиальная электрическая схема блока конденсаторов приведена на рисунке 12.1.

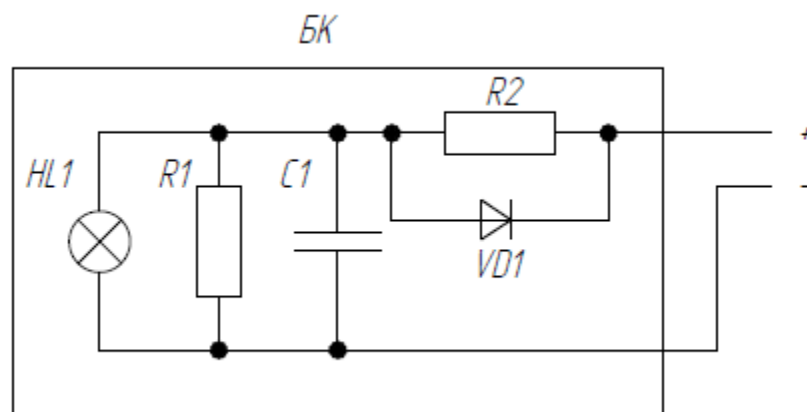


Рис. 12.1. Принципиальная электрическая схема блока конденсаторов.

12.2 Емкость конденсатора  $C1$  выбирают не менее 3 мФ, номинальное напряжение конденсатора 400 В, эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора не более 0,5 Ом.

12.3 Разрядное сопротивление  $R1$  должно обеспечивать разряд конденсатора до напряжения 75 В не более чем за 10 мин. Пиковая рассеиваемая мощность на  $R1$  не должна превышать 2 Вт. Следует применять сопротивление 150 кОм.

12.4 Сопротивление  $R2$ , ограничивающее ток заряда конденсатора выбирают исходя из максимальной рассеиваемой мощности 50 Вт в начале заряда. Следует применять сопротивление 1 кОм.

12.5 Диод  $VD1$  следует выбирать на напряжение 400 В. Максимальный импульсный ток диода  $I_{FSM}$ , должен удовлетворять условию:

$$I_{FSM} \geq \frac{220}{ESR}, \quad (12.1)$$

где  $ESR$  – эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора, Ом.

## Примеры выбора аккумуляторных батарей

### А.1. Выбор аккумуляторной батареи по двухступенчатой диаграмме нагрузки СОПТ

Исходные данные: номинальное напряжение СОПТ – 220 В, тип аккумуляторов – БП. Расчетная продолжительность режима аварийного разряда АБ – 3 ч.

Нагрузка СОПТ:

Суммарный ток постоянной и временной нагрузки – 30 А;

Ток кратковременной нагрузки,  $I_{кр.нг} = 50$  А в течении 5 с.

Наиболее мощный и удаленный электроприемник потребляет ток  $I_{кр.эп} = 50$  А и подключен к ЩПТ кабелем длиной,  $l_{ЩПТ-эп} = 375$  м и сечением  $95 \text{ мм}^2$ , материал токоведущих жил – медь, удельное активное сопротивление,  $r_{ЩПТ-эп} = 0,19 \text{ мОм/м}$ . Длина кабельной линии соединяющей АБ и ЩПТ,  $l_{АБ-ЩПТ} = 20$  м, сечение –  $185 \text{ мм}^2$ , материал токоведущих жил – медь, удельное активное сопротивление,  $r_{АБ-ЩПТ} = 0,097 \text{ мОм/м}$ .

Расчет:

Диаграмма нагрузки системы оперативного постоянного тока приведена на рисунке А.2.

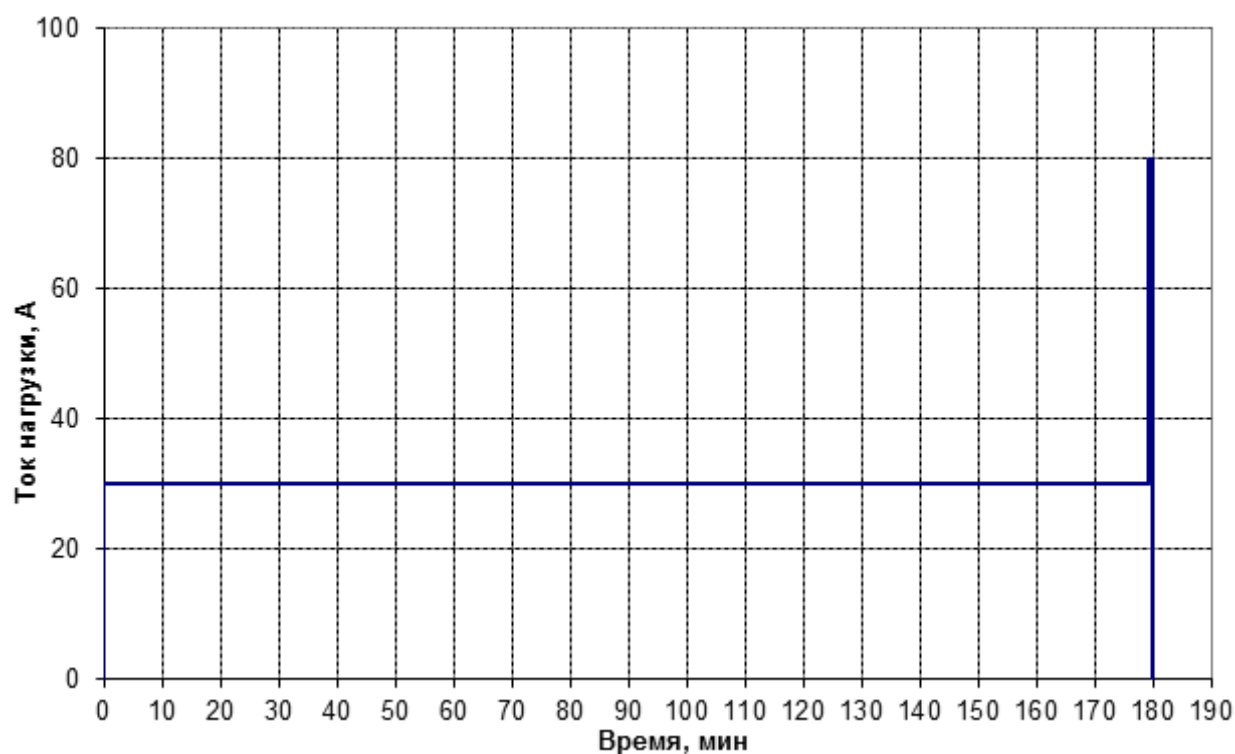


Рис. А.2. Диаграмма нагрузки СОПТ

Устройство стабилизации напряжения на сборках ЩПТ отсутствует, следовательно, число элементов аккумуляторной батареи выбрано согласно (6.1), и составит:

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

Максимальная потеря напряжения в цепи от аккумуляторной батареи до клемм электроприемников, подключенных к АБ, рассчитана по выражению:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{АБ-Эп}} &= 2 \cdot (I_{\text{пт.нг}} + I_{\text{вр.нг}} + I_{\text{кр.эп}}) \cdot r_{\text{АБ-ЩПТ}} \cdot l_{\text{АБ-ЩПТ}} + \\ &+ 2 \cdot I_{\text{кр.эп}} \cdot r_{\text{ЩПТ-Эп}} \cdot l_{\text{ЩПТ-Эп}} = \\ &= 2 \cdot (30 + 50) \cdot 0,097 \cdot 0,02 + 2 \cdot 50 \cdot 0,19 \cdot 0,375 = 7,43 \text{ В.} \end{aligned}$$

Наименьшее допустимое рабочее напряжение на клеммах электроприемников, по п. 6.5.1:

$$U_{\text{нм.доп}} = 0,85 \cdot 220 = 187 \text{ В.}$$

Напряжение аккумулятора в конце разряда по (6.3):

$$U_{\text{нм.раб.ак}} = \frac{187 + 7,44}{104} = 1,87 \text{ В.}$$

Согласно (6.4) предварительно выбирают емкость АБ:

$$C' = 1,5 \cdot 3 \cdot 30 = 135 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Коэффициенты приведения разрядного тока для аккумуляторов БП номинальной емкостью 150 А·ч рассчитаны в соответствии с 6.7. Результаты расчета приведены на рисунке А.3

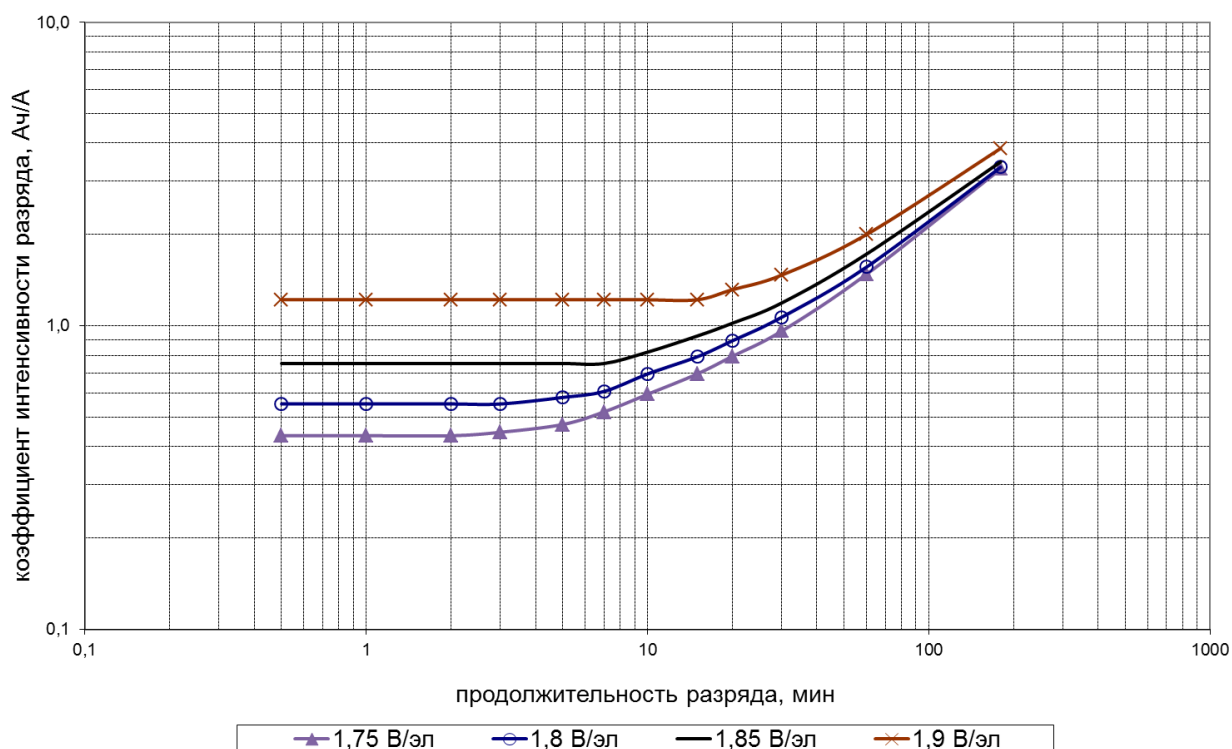


Рис. А.3. Зависимость коэффициента интенсивности разряда,  $k_t$ , от продолжительности разряда для аккумуляторов типа БП номинальной емкостью от 75 до 450А·ч при напряжении на аккумуляторе в конце разряда 1,75; 1,8; 1,85 и 1,9 В

Расчетные коэффициенты интенсивности разряда приняты для напряжения аккумулятора в конце разряда округленного до 1,9 В, рисунок А.3. Коэффициент  $k_1$  принят равным 3,8 А·ч/А, что соответствует продолжительности разряда 180 мин. Коэффициент  $k_2$  принят равным 1,4, что соответствует минимальной продолжительности разряда на разрядной характеристике 30 с. Расчет емкости аккумуляторов, требуемых для покрытия заданной нагрузки, рисунок А.3, произведен по (6.5):

$$C_{\text{пр}} = 3,8 \cdot 30 + 1,4 \cdot 50 = 184 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Полученному расчетному значению емкости соответствует номинальная емкость аккумуляторов 200А·ч. Пересчет емкости из-за расхождения полученной и предварительно выбранной номинальных емкостей не производят, т.к. аккумуляторы 8БП200 и 6БП150 изготавливаются из одинаковых пластин.

Значение расчетной емкости аккумуляторной батареи  $C_{\text{пр}}$ , А·ч, определенное по (6.5), для компенсации снижения емкости под влиянием температуры окружающей среды и в результате старения АБ, скорректировано по (6.8):

$$C = 1,5 \cdot 184 = 276 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

В качестве номинальной емкости аккумуляторной батареи принято 300 А·ч, как большее значение емкости их ряда номинальных емкостей аккумуляторов типа БП.

Таким образом, в результате расчета выбрана аккумуляторная батарея, состоящая из 104 аккумуляторов типа 12БП300, номинальной емкостью 300 А·ч.

#### А.2. Выбор аккумуляторной батареи типа БП по многоступенчатой диаграмме нагрузки СОПТ

Исходные данные: номинальное напряжение СОПТ – 220 В, тип аккумуляторов – БП, в СОПТ не предполагается установка специального устройства стабилизации напряжения. Расчетная продолжительность режима аварийного разряда АБ – 2 ч. Длина кабельной линии между АБ и ЩПТ,  $l_{\text{АБ-ЩПТ}} = 20$  м, сечение – 185 мм<sup>2</sup>, материал токоведущих жил – медь, удельное активное сопротивление,  $r_{\text{АБ-ЩПТ}} = 0,097$  мОм/м. Наиболее мощный электроприемник потребляет ток 160 А и подключен к ЩПТ кабелем сечением 120 мм<sup>2</sup> и длиной,  $l_{\text{ЩПТ-Эп}} = 85$  м, материал токоведущих жил – медь, удельное активное сопротивление,  $r_{\text{ЩПТ-Эп}} = 0,15$  мОм/м.

Нагрузки СОПТ:

1 – нагрузка с током 40 А подключаемая с начала и до конца режима аварийного разряда батареи;

2 – нагрузка с током 160 А, подключается в начальный момент разряда батареи, продолжительность работы – 1 мин.

3 – нагрузка с током 60 А, подключаемая через 1 мин с начала разряда батареи с продолжительностью работы 59 мин;

4 – нагрузка, подключаемая через 55 минут после начала разряда батареи, продолжительностью 5 минут и током 20 А;

5 – нагрузка, подключаемая через 119 минут после начала разряда батареи, продолжительностью 1 минута и током 80 А.

Расчет:

Диаграмма нагрузки системы оперативного постоянного тока составлена на основании данных об электроприемниках постоянного тока в режиме аварийного разряда аккумуляторной батареи с учетом времени подключения нагрузок и их продолжительности, рисунок А.4.

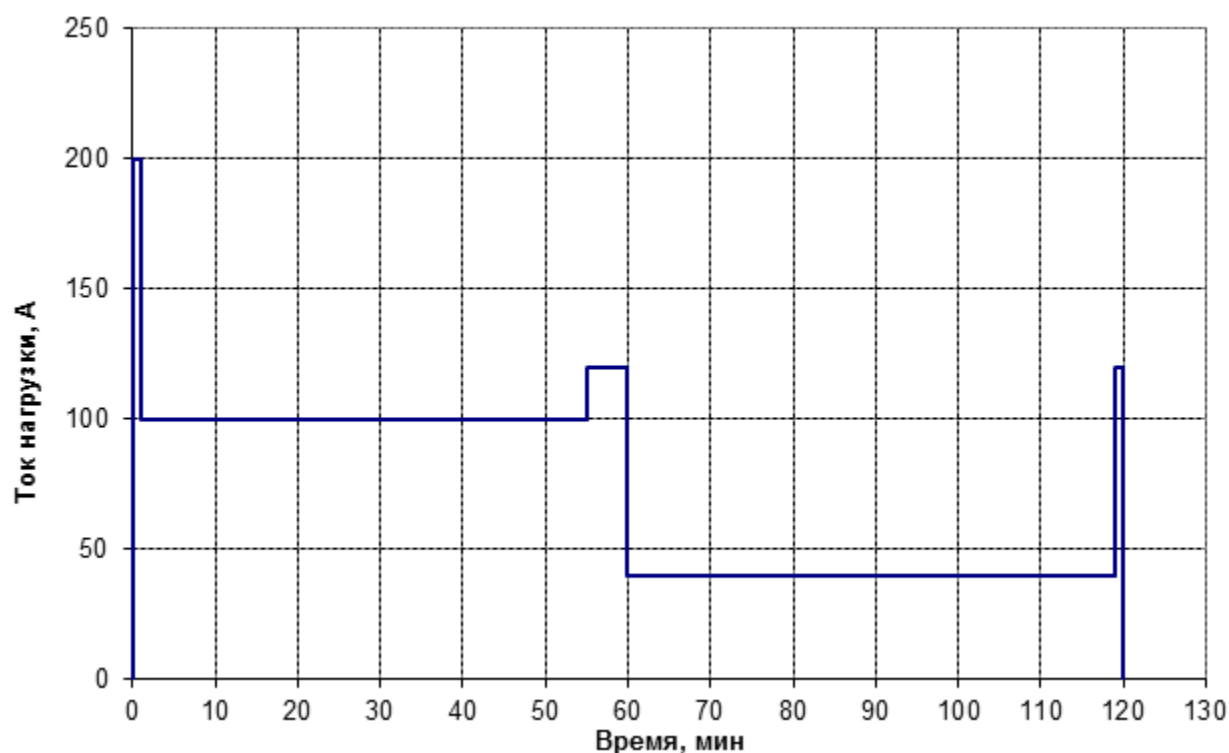


Рис. А.4. Диаграмма нагрузки СОПТ

Устройство стабилизации напряжения на сборках ЩПТ отсутствует, следовательно, число элементов аккумуляторной батареи выбрано по (6.1):

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

Максимальная потеря напряжения в цепи от аккумуляторной батареи до клемм электроприемников, подключенных к АБ:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{АБ-Эп}} &= 2 \cdot (I_{\text{вр.нг}} + I_{\text{кр.эп}}) \cdot R_{\text{АБ-ЩПТ}} \cdot L_{\text{АБ-ЩПТ}} + \\ &+ 2 \cdot I_{\text{кр.эп}} \cdot R_{\text{ЩПТ-Эп}} \cdot L_{\text{ЩПТ-Эп}} = \\ &= 2 \cdot (40 + 160) \cdot 0,097 \cdot 0,02 + 160 \cdot 2 \cdot 0,15 \cdot 0,085 = 4,9 \text{ В.} \end{aligned}$$

Наименьшее допустимое рабочее напряжение на клеммах электроприемников, по п. 6.5.1:

$$U_{\text{нм.доп}} = 0,85 \cdot 220 = 187 \text{ В.}$$

Напряжение аккумулятора в конце разряда по (6.3):

$$U_{\text{нм.раб.ак}} = \frac{0,85 \cdot 220 + 4,9}{104} = 1,84 \text{ В.}$$

Диаграмма нагрузки содержит пять интервалов времени, на которых ток нагрузки не изменяет своего значения. Таким образом, диаграмма нагрузки



разбита на пять участков начало и конец которых определены в соответствии с 6.5.5:

Согласно (6.4) предварительно выбрана емкость АБ:

$$C' = 1,5 \cdot 2 \cdot 72 = 216 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

где средневзвешенное значение тока постоянной и временной нагрузки рассчитывают по выражению

$$I_{\text{ср.}} = \frac{I_1 \cdot t_1 + I_2 \cdot t_2 + I_3 \cdot t_3 + I_4 \cdot t_4 + I_5 \cdot t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5} =$$

$$= \frac{200 \cdot 1 + 100 \cdot 54 + 120 \cdot 5 + 40 \cdot 59 + 120 \cdot 1}{1 + 54 + 5 + 59 + 1} = 72 \text{ А.}$$

Таблица А.1. Участки диаграммы нагрузки

| Номер участка | Начало участка, мин | Окончание участка, мин |
|---------------|---------------------|------------------------|
| 1             | 0                   | 1                      |
| 2             |                     | 55                     |
| 3             |                     | 60                     |
| 4             |                     | 119                    |
| 5             |                     | 120                    |

Коэффициенты интенсивности разряда, для аккумуляторов БП номинальной емкостью 225 А·ч, приведены на рисунке А.3.

Коэффициент интенсивности разряда для покрытия нагрузки на первом участке  $k_1$  принят равным 0,77 А·ч/А, что соответствует продолжительности разряда 1 мин и напряжению 1,85 В на аккумуляторе, рисунок А.3. Расчетная емкость первого участка по (6.7):

$$C_1 = 200 \cdot 0,77 = 154 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Коэффициент для покрытия нагрузки на втором участке:  $k_1$  принят равным 1,6 А·ч/А, что соответствует продолжительности разряда 55 мин,  $k_2$  принят равным 1,6 А·ч/А, что соответствует продолжительности разряда 54 мин. Расчетная емкость второго участка по (6.7):

$$C_2 = 200 \cdot 1,6 - 100 \cdot 1,6 = 160 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Коэффициент для покрытия нагрузки на третьем участке:  $k_1$  принят равным 1,7 А·ч/А, что соответствует продолжительности разряда 60 мин,  $k_2$  принят равным 1,7 А·ч/А, что соответствует продолжительности разряда 59 мин,  $k_3$  принят равным 0,77 А·ч/А, что соответствует продолжительности разряда 5 мин. Расчетная емкость третьего участка по (6.7):

$$C_3 = 200 \cdot 1,7 - 100 \cdot 1,7 + 20 \cdot 0,77 = 185,4 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Аналогично определены коэффициенты интенсивности разряда для четвертого и пятого участков диаграммы нагрузки и рассчитаны емкости для покрытия нагрузки на этих участках:

$$C_4 = 200 \cdot 2,79 - 100 \cdot 2,79 + 20 \cdot 1,79 - 80 \cdot 1,75 = 174,8 \text{ А} \cdot \text{ч};$$

$$C_5 = 200 \cdot 2,79 - 100 \cdot 2,79 + 20 \cdot 1,79 - 80 \cdot 1,75 + 80 \cdot 0,77 = 236,4 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Наибольшее значение емкости соответствует пятому участку диаграммы нагрузки – 236,4 А·ч. Значение расчетной емкости аккумуляторной батареи  $C_{пр}$ , А·ч, определенное формуле (6.7), для компенсации изменения емкости под влиянием температуры окружающей среды и снижения емкости в результате старения АБ, скорректировано по (6.8):

$$C = 1,5 \cdot C_{пр} = 1,5 \cdot 236,4 = 354,6 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

В качестве номинальной емкости аккумуляторной батареи принято 375 А·ч, как большее значение емкости их ряда номинальных емкостей аккумуляторов, например, типа БП.

Таким образом, в результате расчета выбрана аккумуляторная батарея, состоящая из 104 аккумуляторов, типа 15БП375, номинальной емкостью 375 А·ч.

### Пример выбора зарядного устройства

Исходные данные:

Аккумуляторная батарея, например, типа 7GroE700 имеет номинальную емкость 700А·ч, состоит из 104 аккумуляторов. Внутреннее сопротивление аккумулятора составляет 0,242 мОм. Ток постоянной нагрузки составляет 20 А.

Расчет:

Расчетный ток по формуле (7.2):

$$I_3 = \frac{I_{\text{пт.нг}} + k \cdot C_{10}}{2} = \frac{20 + 0,12 \cdot 700}{2} = 52 \text{ А.}$$

Наибольший рабочий ток равен наибольшему значению из тока постоянной нагрузки (20 А) и расчетного тока (52 А), то есть 52 А.

Выбираем ЗУ с номинальным током 63 А из ряда номинальных токов в соответствии с 7.3.3.

Предварительно выбираем ЗУ с максимальным значением пульсаций напряжения при работе на резистивную нагрузку без АБ 2 %.

Емкость конденсатора фильтра (запрашивается у производителя) – 6120 мкФ.

Емкостное сопротивление конденсатора фильтра на частоте 300 Гц по (7.4)

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 300 \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 300 \cdot 6120 \cdot 10^{-6}} = 0,087 \text{ Ом.}$$

Среднеквадратичное значение пульсаций тока поддерживающего заряда рассчитано по (7.3):

$$I_{\text{нАБ}} = \frac{220 \cdot 0,02 \cdot 0,087 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{0,087}\right)^2 + \left(\frac{63}{220}\right)^2}}{\sqrt{(0,242 \cdot 10^{-3} \cdot 104)^2 + 0,087^2}} = 48,8 \text{ А}$$

На 100 А·ч емкости АБ приходится

$$\frac{48,8}{700/100} = 6,97 \text{ А.}$$

Расчетное среднеквадратичное значение пульсаций тока в батарее составило 6,97 А на 100 А·ч емкости АБ, что превышает допустимое значение 5 А.

Вывод: следует выбрать ЗУ с меньшим уровнем пульсаций на активной нагрузке.

Проверка ЗУ с уровнем пульсаций напряжения на резистивной нагрузке 1 %.

Емкость фильтра, по данным производителя: 9180 мкФ.

Емкостное сопротивление конденсатора фильтра по (7.4)

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 300 \cdot 9180 \cdot 10^{-6}} = 0,058 \text{ Ом.}$$

Среднеквадратичное значение пульсаций тока поддерживающего заряда рассчитано по (7.3):

$$I_{nAB} = \frac{220 \cdot 0,01 \cdot 0,058 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{0,058}\right)^2 + \left(\frac{63}{220}\right)^2}}{\sqrt{(0,242 \cdot 10^{-3} \cdot 104)^2 + 0,058^2}} = 34,9 \text{ А.}$$

На 100 А·ч емкости АБ приходится

$$\frac{34,9}{700/100} = 4,99 \text{ А.}$$

Расчетное среднеквадратичное значение пульсаций тока в батарее составило 4,99 А на 100 А·ч емкости АБ, что не превышает допустимое значение 5 А.

**Длительно допустимые токи кабелей с поливинилхлоридной, резиновой  
и бумажно-масляной изоляцией**

Таблица В.1. Длительно допустимые токи кабелей с медными жилами и поливинилхлоридной, резиновой и бумажно-масляной изоляцией

| <b>Сечение кабеля, мм<sup>2</sup></b> | <b>Длительно допустимый ток для кабелей с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией при прокладке на воздухе (условная температура 25 °С), А</b> | <b>Длительно допустимый ток для кабелей с бумажно-масляной изоляцией при прокладке на воздухе (условная температура 25 °С), А</b> |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,5                                   | 19                                                                                                                                              | -                                                                                                                                 |
| 2,5                                   | 27                                                                                                                                              | -                                                                                                                                 |
| 4                                     | 38                                                                                                                                              | -                                                                                                                                 |
| 6                                     | 50                                                                                                                                              | 55                                                                                                                                |
| 10                                    | 70                                                                                                                                              | 75                                                                                                                                |
| 16                                    | 90                                                                                                                                              | 95                                                                                                                                |
| 25                                    | 115                                                                                                                                             | 130                                                                                                                               |
| 35                                    | 140                                                                                                                                             | 150                                                                                                                               |
| 50                                    | 175                                                                                                                                             | 185                                                                                                                               |
| 70                                    | 215                                                                                                                                             | 225                                                                                                                               |
| 95                                    | 260                                                                                                                                             | 275                                                                                                                               |
| 120                                   | 300                                                                                                                                             | 320                                                                                                                               |
| 150                                   | 350                                                                                                                                             | 375                                                                                                                               |
| 185                                   | 405                                                                                                                                             | -                                                                                                                                 |

**Активные сопротивления кабелей с медными жилами**  
**(напряжением до 1 кВ)**

Таблица Г.1. Активные сопротивления кабелей с медными жилами (напряжением до 1 кВ)

| Сечение жилы, мм <sup>2</sup> | Погонные значения сопротивления<br>(температура 20 °С), мОм/м |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1,5                           | 11,75                                                         |
| 2,5                           | 7,05                                                          |
| 4                             | 4,41                                                          |
| 6                             | 2,93                                                          |
| 10                            | 1,757                                                         |
| 16                            | 1,096                                                         |
| 25                            | 0,702                                                         |
| 35                            | 0,500                                                         |
| 50                            | 0,350                                                         |
| 70                            | 0,250                                                         |
| 95                            | 0,1841                                                        |
| 120                           | 0,1457                                                        |
| 150                           | 0,1167                                                        |
| 185                           | 0,0948                                                        |

**Времятоковые защитные характеристики  
отключающих защитных аппаратов**

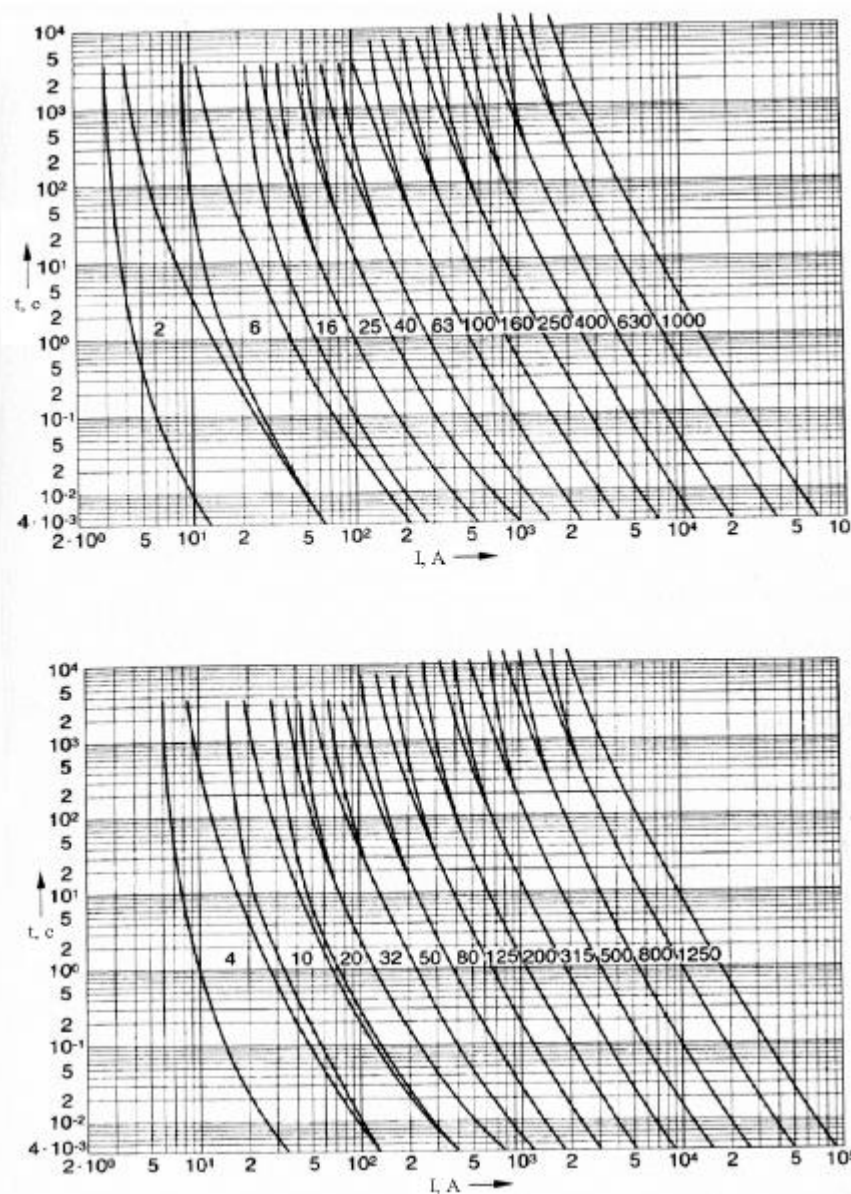


Рис. Д.1. Время-токовые защитные характеристики типа gG.

## Характеристика срабатывания С

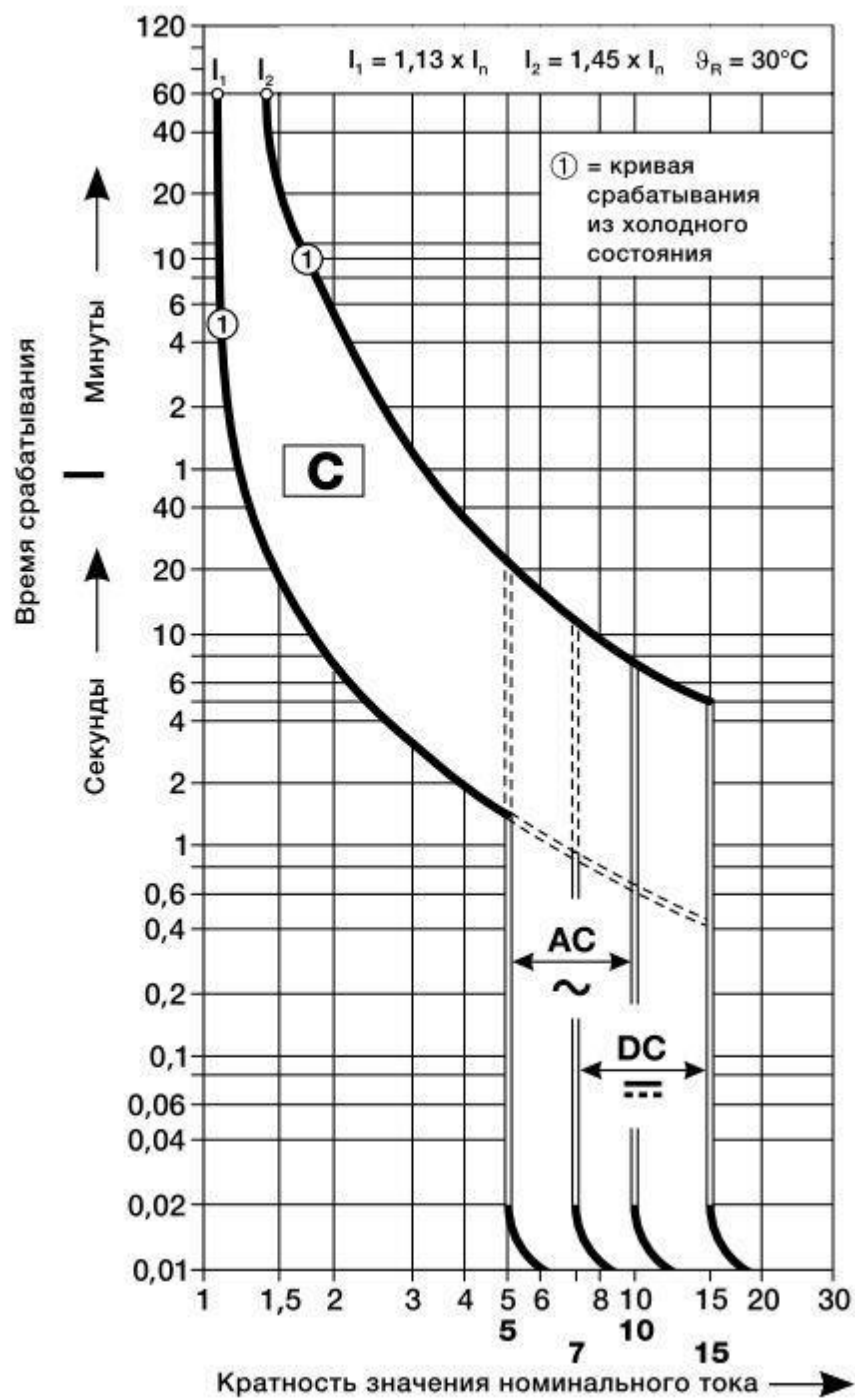


Рис. Д.2. Время-токовая защитная характеристика типа С.



## Характеристика срабатывания К

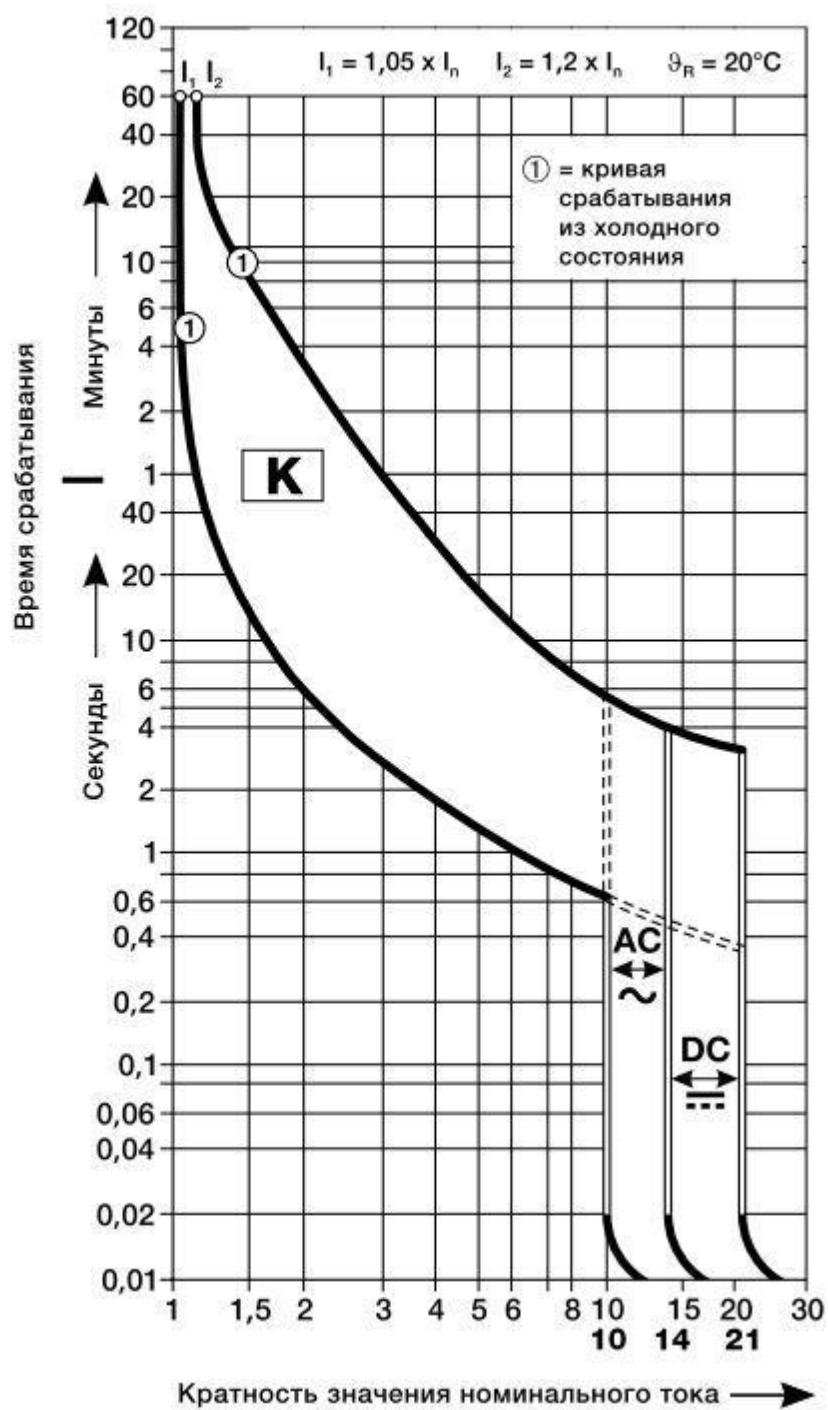


Рис. Д.3. Время-токовая защитная характеристика типа К.

## Характеристика срабатывания Z

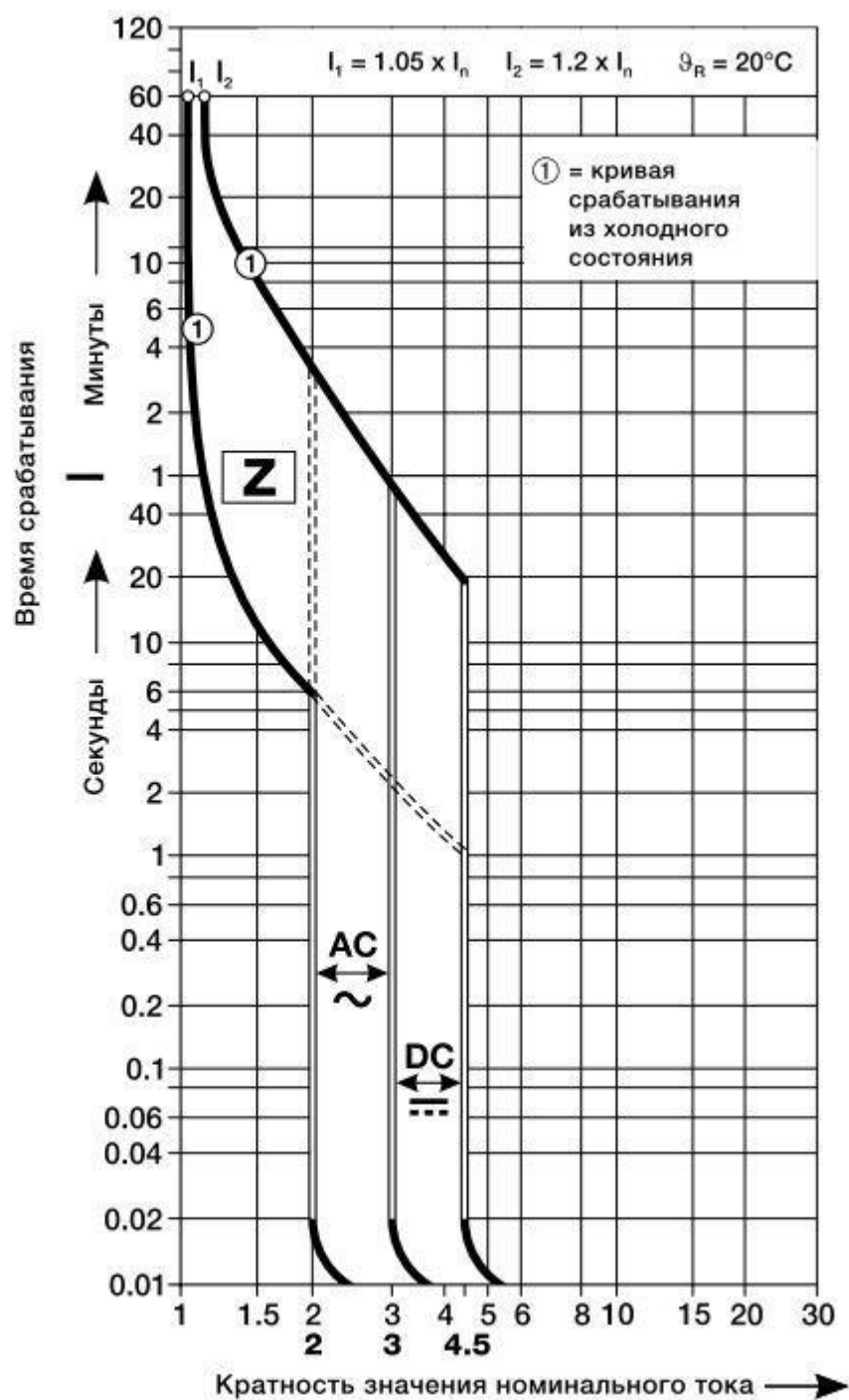


Рис. Д.4. Время-токовая защитная характеристика типа Z.

**Активные сопротивления защитных аппаратов напряжением до 1 кВ**

Таблица Е.1. Активные сопротивления защитных аппаратов напряжением до 1 кВ

| Номинальный ток, А | Активное сопротивление, мОм |
|--------------------|-----------------------------|
| 1                  | 1710                        |
| 2                  | 411                         |
| 2,5                | 305                         |
| 3,2                | 173                         |
| 4                  | 121                         |
| 5                  | 65                          |
| 6                  | 51                          |
| 8                  | 36                          |
| 10                 | 24                          |
| 12,5               | 14                          |
| 16                 | 8                           |

## Библиография

1. СТО 56947007-29.120.40.041-2010 Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования (утвержден приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 30.03.2010 № 206 в редакциях приказов от 14.12.2012 № 777 и от 28.01.2015 № 28).
2. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) (утвержден приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 25.08.2017 № 343).
3. СТО 56947007-29.240.044-2010 Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства (утвержден приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 21.04.2010 № 265).
4. МУ 34-70-035-83 Методические указания по расчету защит в системе постоянного тока тепловых электростанций и подстанций (утверждены Заместителем главного инженера Производственного объединения по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей «Союзтехэнерго» 28.02.1983).
5. Циркуляр Ц-02-98 (Э) О проверке кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания (утвержден приказом ОАО РАО «ЕЭС России» 16.03.1998).
6. IEEE 485-2010 Стандарт Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). Рекомендуемая методика IEEE выбора свинцово-кислотных стационарных батарей (Standard of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE 485-2010 Standard for Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications).