

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Улан-Удэнский колледж железнодорожного транспорта -  
филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»  
(УУКЖТ ИрГУПС)



М.А. Тюпова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по выполнению курсового проекта  
**ПМ 02. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ**

МДК. 02.01 Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций

для специальности  
13.02.07 Электроснабжение  
(по отраслям)

*Базовая подготовка  
среднего профессионального образования*

*Очная форма обучения на базе  
основного общего образования / среднего общего образования*

*Заочная форма обучения на базе среднего общего образования*

Улан-Удэ 2024

1

Электронный документ выгружен из ЕИС ФГБОУ ВО ИрГУПС и соответствует оригиналу

Подписант ФГБОУ ВО ИрГУПС Трофимов Ю.А.

00920FD815CE68F8C4CA795540563D259C с 07.02.2024 05:46 по 02.05.2025 05:46 GMT+03:00

Подпись соответствует файлу документа



УДК 621.311.4 (7)

ББК 31.278

Т - 98

Тюпова М.А

**Т-98 МДК.02.01 Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций**  
[Текст]: Методические указания по выполнению лабораторных работ МДК.02.01 Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций для обучающихся очной и заочной формы обучения специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) / М.А. Тюпова; Улан-Удэнский колледж железнодорожного транспорта ИрГУПС. – Улан-Удэ: Сектор информационного обеспечения учебного процесса УУКЖТ ИрГУПС, 2024. –78 с.

Методическое пособие разработано в помощь студентам при выполнении курсового проекта. Выполнение обучающимся курсового проекта проходит на заключительном этапе изучения МДК 02.01 Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций, в ходе которого осуществляется обучение по применению полученных знаний и умений при решении комплексных задач, связанных со сферой профессиональной деятельности будущих специалистов.

Предназначено для обучения студентов среднего профессионального образования и может быть полезно техническим специалистам.

УДК 621.311(7)

ББК 31.278

Рассмотрено на заседании ЦМК протокол №8 от 12.03.24 и одобрено на заседании Методического совета колледжа протокол №4 от 14.03.24

© Тюпова М.А., 2024

©УУКЖТ ИРГУПС, 2024

## 1. Введение

Данное методическое пособие разработано в соответствии с требованиями ФГОС СПО и примерной программой профессионального модуля ПМ. 01. « Техническое обслуживание оборудования электрических подстанции и сетей» МДК 01.01 « Устройство и техническое обслуживание электрических подстанции».

Методическое пособие разработано в помощь обучающимся специальности 13.02.07 Электроснабжение ( по отраслям) при выполнении заданий курсового проекта по теме: «Выбор оборудования электрической подстанции». Методическое пособие не ограничивает инициативы преподавателей по тематике и содержанию курсового проекта.

В результате выполнения курсового проекта по теме: « Выбор оборудования электрической подстанции» МДК 01.01. «Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций» обучающиеся должны соответствовать общим и профессиональным компетенциям:

- ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;
- ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие;
- ОК 04. . Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами;
- ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста;
- ОК 06. Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей;
- ОК 7. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях;.
- ОК 9. Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности;
- ОК 10. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках;

ПК 2.1. Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей.

ПК 2.2. Выполнять основные виды работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии.

ПК 2.3. Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматизированных систем.

ПК 2.4. Выполнять основные виды работ по обслуживанию воздушных и кабельных линий электроснабжения.

ПК 2.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

**знать:**

- устройство оборудования электроустановок;
- условные графические обозначения элементов электрических схем;
- логику построения схем,
- типовые схемные решения, принципиальные схемы эксплуатируемых электроустановок;
- виды работ и технологию обслуживания трансформаторов и преобразователей;
- виды и технологии работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств;
- эксплуатационно-технические основы линий электропередачи, виды и технологии работ по их обслуживанию;
- основные положения правил технической эксплуатации электроустановок;
- виды технологической и отчетной документации, порядок ее заполнения.

Методическое пособие содержит основные требования и рекомендации по выполнению курсового проекта по основным разделам:

- титульный лист;
- задание на проект;
- исходные данные;
- содержание ;
- введение;
- основная часть (с теоретической основой разрабатываемых вопросов и практическими расчетами);

–перечень рекомендуемых источников.

Курсовой проект оформляется в соответствии с правилами и требованиями образовательной организации и с соблюдением требований ЕСКД и ГОСТ.

## 2. Задание на курсовой проект

1. Составление однолинейной схемы электрических соединений трансформаторной подстанции (формат А1). Описание однолинейной схемы электрических соединений трансформаторной подстанции.

2. Определение наибольших мощностей потребителей.

3. Определение суммарной полной мощности потребителей.

4. Выбор типа, количества понижающих трансформаторов.

5. Определение мощности на шинах первичного напряжения электрической подстанции.

6. Расчет максимальных рабочих токов на шинах и по присоединениям РУ.

7. Расчет максимальных токов короткого замыкания для характерных точек электрической подстанции.

8. Выбор и проверка основного оборудования РУ.

9. Мероприятия по охране труда.

10. Специальная часть проекта.

Технологический раздел и мероприятия по экологии и охране труда, противопожарной технике и промышленной санитарии включаются в пояснительную записку на рассмотрение образовательной организации.

Исходные данные к курсовому проекту представлены в таблице 1.

### 3. Исходные данные

#### Исходные данные для курсового проекта

Таблица 1

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема питания										
Номер трансформаторной подстанции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность короткого замыкания на шинах районной подстанции $S_{к1}$ , МВА	2000	3000	2500	1000	900	1300	700	1100	750	400
Мощность короткого замыкания на шинах районной подстанции $S_{к2}$ , МВА	1500	2200	4000	800	1200	750	600	950	500	850
Длина ВЛ 110 или 35 кВ , км $L_1$	35									
$L_2$					15					
$L_3$								23		
$L_4$	15	20	18	17	26				17	18
$L_5$	28	13	19	19	29				28	21
$L_6$	25	31	28	18	19				19	20
$L_7$	24	21	24	27	32				31	24
$L_8$					35	34	23	34		
$L_9$					20	31	25	26		
$L_{10}$					40	27	31	29	$L_{11-25}$	$L_{12-26}$
Номера потребителей, питающихся от проектируемой подстанции	1,2,4,5, 6,7,8	1,2,3,5 6,7,8	2,3,4,5 9,10, 20	11,12,1 4 15,23, 24,25	1,3,4, 16,17, 18,22	10,13, 19,21, 22,23, 25	9,11, 14,15, 21,23 24	1,2,3,4, 9,10, 22,23	11,15,14, 18,2,8,7, 6	18,25,20,21 ,1,11,23

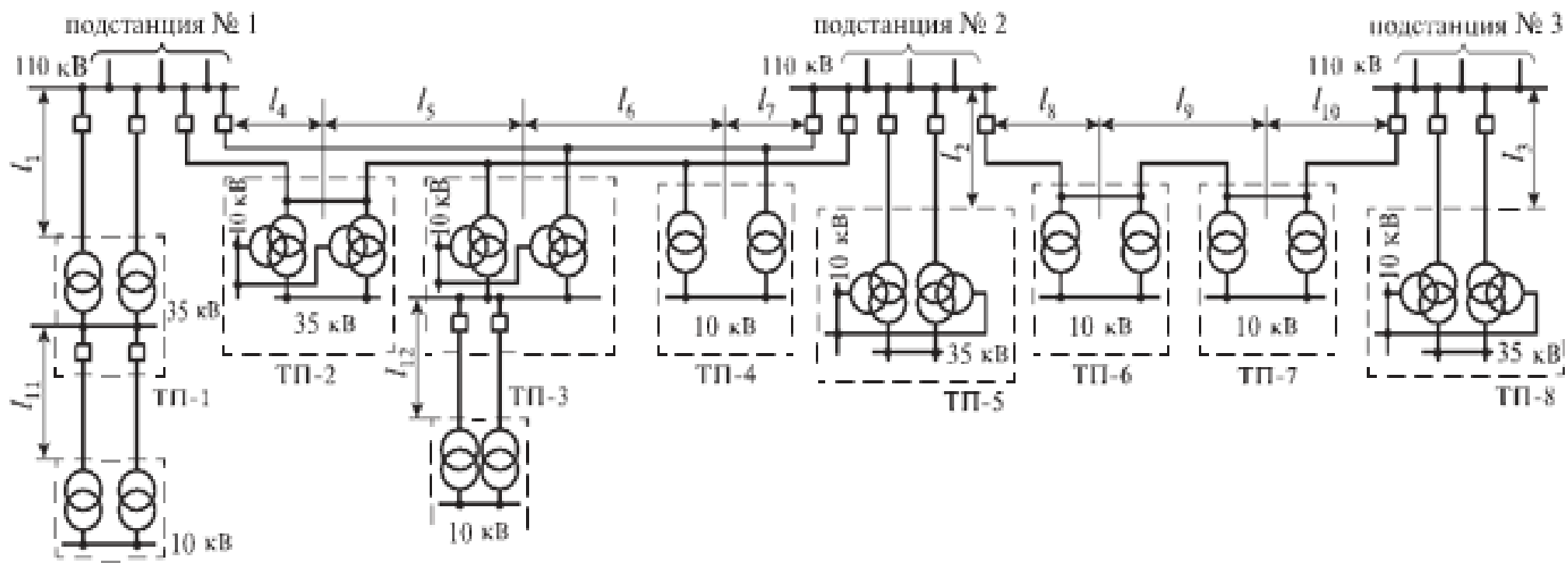


Рисунок 1. Схема внешнего электроснабжения трансформаторных подстанции



Таблица 2

### Потребители, получающие питание от заданной подстанции

№ потреби- теля	Наименование потребителя	Установленная мощность, $P_{уст, кВт}$	Категория потребителя	Коэффициент	
				Спроса $K_c$	Мощности $\cos \varphi$
1	2	3	4	5	6
1	<b>Потребители 35кВ</b> Машиностроительный	10000	1	0,65	0,93
2	Завод строительных материалов	3000	2	0,45	0,93
3	Химический завод	7000	1	0,6	0,93
4	Текстильная фабрика	5000	2	0,65	0,92
5	Сельскохозяйственные потребители	4500	2	0,55	0,92
6	Завод электротехнического оборудования	6000	1	0,5	0,93
7	Локомотиворемонтный	14000	1	0,45	0,92
8	Тепловозное депо	3500	1	0,3	0,93
9	<b>Потребители 10кВ</b> Металлообрабатывающий завод	12000	1	0,4	0,93
10	Завод сельскохозяйственных машин	6300	2	0,6	0,93
11	Предприятие пищевой промышленности	2000	2	0,52	0,92
12	Фабрика по переработке сельскохозяйственных продуктов	1200	2	0,61	0,92
13	Деревообрабатывающая фабрика	2200	2	0,3	0,92
14	Вагоноремонтный завод	8000	1	0,33	0,92
15	Электровозное депо	5000	1	0,35	0,93
16	Вагонное депо	3500	1	0,43	0,93
17	Ремонтные мастерские	1800	1	0,36	0,92
18	Мотор-вагонное депо	3000	1	0,26	0,93
19	Наружное освещение	1000	2	0,75	0,98
20	Коммунально-бытовые потребители	800	2	0,5	0,96
21	Вокзал	900	1	0,76	0,93
22	Водопровод и канализация	600	1	0,8	0,94
23	Котельная	500	2	0,35	0,92
24	Пост электрической централизации	650	1	0,5	0,93

25	Компрессорная	300	1	0,7	0,91
----	---------------	-----	---	-----	------

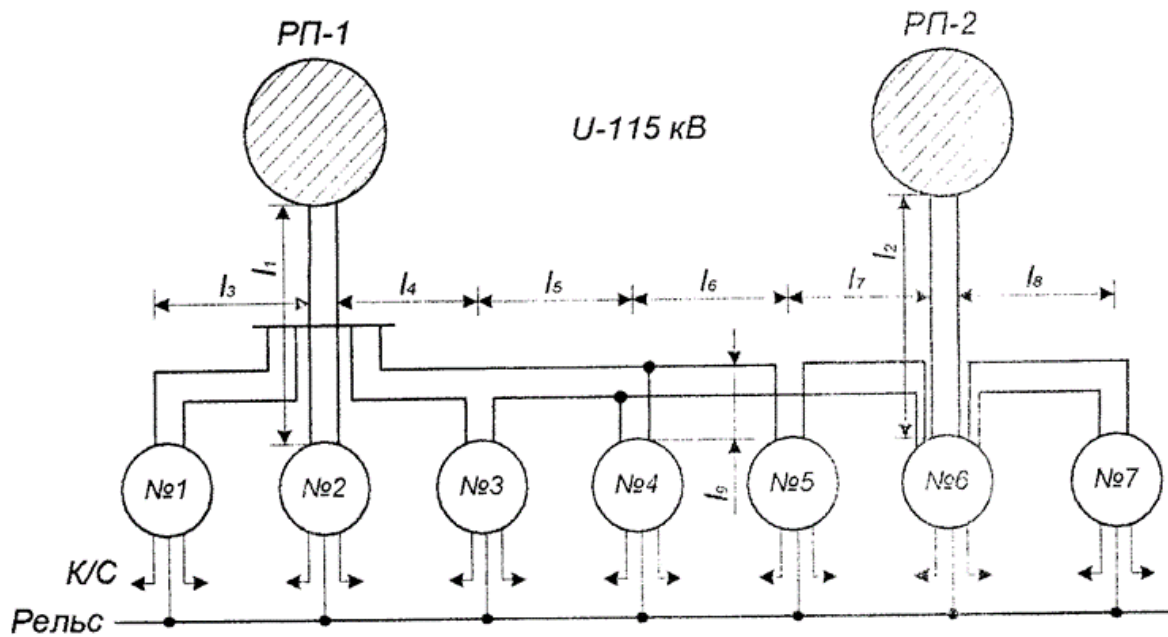


Рисунок 2.

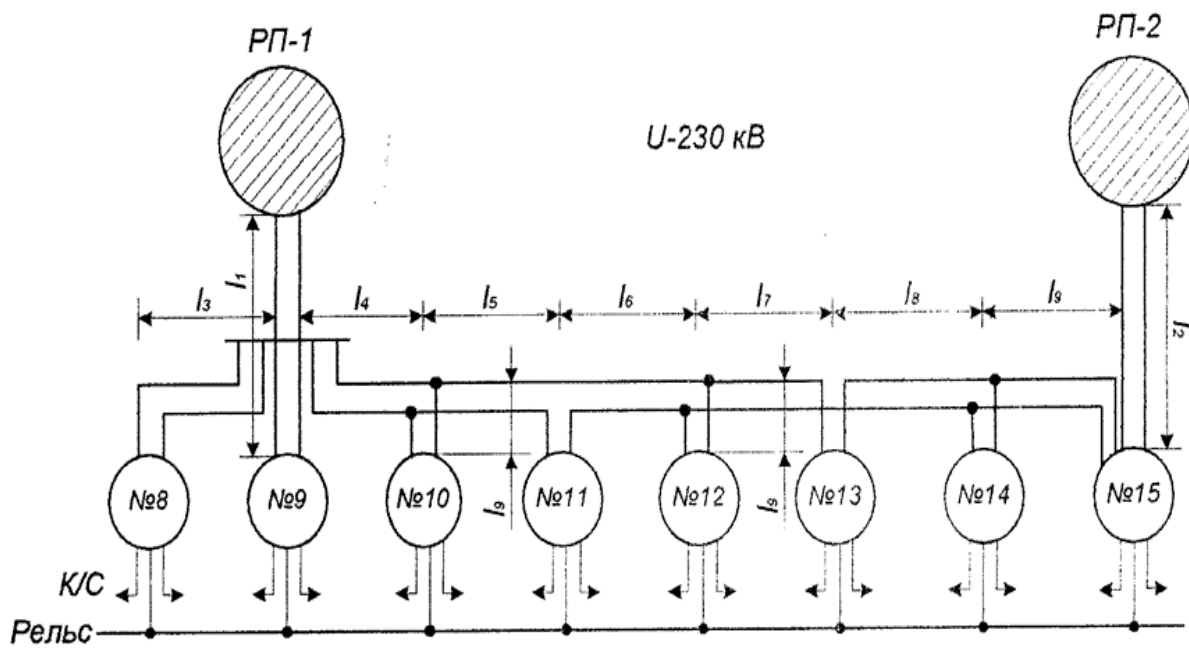


Рисунок 3.



Таблица 3

Наименование	Варианты														
	Рис.1							Рис.2							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Характеристика электрофицируемого участка. Номинальное напряжение к/с. Количество путей. Тип рельса. Тип контактной подвески. Расстояние между тяговыми подстанциями L, км	Для всех вариантов 25 кВ. Участок двухпутный. Для всех вариантов ПБСМ-95+МФ-100. Принять согласно схемы внешнего электроснабжения,														
Схема внешнего электроснабжения. Длина ВЛ ,км:															
L1		15							20						
L2						25									34
L3	40							25							
L4	35	20	50	55	50	30	45	45	30	25	35	20	30	25	38
L5	30	50	35	45	25	45	25	20	25	30	40	35	20	30	25
L6	25	40	45	30	30	32	30	35	33	20	35	15	30	25	30
L7	35	30	30	40	42	41	40	20	25	45	20	20	45	30	20
L8							12	35	34	20	35	22	25	10	33
L9					25			33	12	24	22	10	15	3	16
Мощность короткого замыкания на шинах вторичного напряжения 220(110)кВ районной подстанции Рп-1 Скз, МВА Рп-2 Скз, МВА	1700 2200	4000 2200	5000 4000	2800 6000	2000 1250	1000 2000	1500 2500	2200 3300	6700 5000	2500 4000	1250 2500	2500 2000	5000 5900	3300 6250	4000 5000
№ проектируемой подстанции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Тип подстанции	Тупиковая	Опорная	Транзитная	Отпаечная	Транзитная	Опорная	Тупиковая	Тупиковая	Опорная	Отпаечная	Транзитная	Отпаечная	Транзитна	Отпаечная	Опорная
Первичное напряжение на шинах подстанции	110	110	110	110	110	110	110	220	220	220	220	220	220	220	220

Продолжение таблицы 3

Номинальное напряжение на шинах РУ тягового элс	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
Эффективный ток подстанции по фазам ,питающим К/С,А															
Iэа	175	350	200	300	300	250	375	270	200	335	380	275	300	300	325
Iэв	230	287,5	150	250	270	300	125	320	170	186	250	290	350	250	200

|

Таблица 4

№ Ва-Ри-анта	Наименование потребителей	Установленная мощность РУ кВт	Категория потребителей	Коэффициент		Напряжение линии потребителя ,кВ
				Спроса ,Кс	Мощности cos	
1	2	3	4	5	6	7
1	1 железнодорожный узел	1500	1	0,5	0,93	10
	2 Локомотивное депо	1000	1	0,45	0,92	10
	3 Вагонное депо	800	2	0,5	0,92	10
	4 Освещение и быт. нагрузка	750	2	0,6	0,96	27,5
2	1 Сельскохозяйственные потребители	2400	2	0,5	0,92	10
	2 Завод строи. Материалов	1200	2	0,7	0,92	10
	3 Текстильная фабрика	1500	2	0,6	0,93	10
	4 Железнодорожный узел	1000	1	0,45	0,93	27,5
3	1 металлургический завод	5000	1	0,6	0,93	35
	2 Рудники	12000	1	0,5	0,93	35
	3 Железнодорожный узел	1200	1	0,45	0,92	27,5
	4 Освещение и быт. нагрузка	400	2	0,5	0,97	27,5
4	1 Машиностроительный Завод	8000	1	0,5	0,93	35
	2 Завод строи. Материалов	4500	2	0,6	0,92	35
	3 сельхоз. Потребители	3000	2	0,5	0,92	35
	4 Железнодорожный узел	2000	1	0,6	0,93	27,5
5	1 Машиностроительный Завод	3000	1	0,6	0,93	35
	2 Локомотивное депо	1200	1	0,55	0,92	35
	3 Дорожно-рем. Мастерские	1000	2	0,4	0,93	35
	4 Железнодорожный узел	1200	1	0,65	0,92	27,5
6	1 Химический завод	5000	1	0,65	0,93	10
	2 Железнодорожный узел	1500	1	0,6	0,93	10
	3 Фабрика пищевых продуктов	2000	2	0,5	0,92	10
	4 Освещение и бытовая нагрузка	600	2	0,65	0,98	27,5
7	1 Металлургический завод	7000	1	0,75	0,93	35
	2 шахты угольные	6000	1	0,45	0,92	35
	3 Химический завод	5000	1	0,55	0,93	35
	4 Железнодорожный узел	1800	1	0,6	0,92	27,5
8	1 Железнодорожный узел	2500	1	0,45	0,93	10
	2 Вагонное депо	900	2	0,5	0,92	10
	3 сельскохозяйственные потребители	1800	2	0,5	0,92	10
	4 Освещение и бытовая нагрузка	1200	2	0,6	0,96	27,5
9	1 Машиностроительный завод	4000	1	0,6	0,93	10
	2 Локомотивное депо	1500	1	0,5	0,92	10
	3 Фабрика пищевой промышленности	2000	2	0,4	0,92	10
	4 Железнодорожный узел	2500	1	0,55	0,93	27,5
10	1 Шахты угольные	4000	1	0,65	0,93	35
	2 завод строительных материалов	2500	2	0,6	0,92	35
	3 Сельскохозяйственные потребители	3000	2	0,5	0,92	35
	4 Освещение и бытовая нагрузка	1000	2	0,55	0,97	27,5
11	1 Металлургический завод	12000	1	0,75	0,93	35
	2 Завод строительных материалов	4500	2	0,6	0,92	35
	3 Железнодорожный узел	2000	1	0,65	0,92	27,5
	4 Освещение и бытовая нагрузка	450	2	0,7	0,96	27,5
12	1 Рудники	10000	1	0,45	0,92	35
	2 Текстильный комбинат	6000	2	0,6	0,93	35
	3 Сельскохозяйственные потребители	5000	2	0,55	0,92	35
	4 Освещение и бытовая нагрузка	900	2	0,75	0,98	27,5
13	1 Вагонное депо	1800	1	0,5	0,93	10
	2 Сельскохозяйственные потребители	3500	2	0,5	0,92	10
	3 Освещение и бытовая нагрузка	800	2	0,55	0,96	10
	4 Железнодорожный узел	1500	1	0,6	0,93	27,5
14	1 металлургический завод	3500	1	0,6	0,93	35
	2 Шахты угольные	3000	1	0,7	0,92	35
	3 Химический завод	2500	1	0,65	0,93	35
	4 Железнодорожный узел	900	1	0,5	0,92	27,5
15	1 Шахты угольные	7000	1	0,65	0,93	35
	2 Завод строительных материалов	4000	2	0,6	0,92	35
	3 сельскохозяйственные потребители	3800	2	0,5	0,92	35
	4 Освещение и бытовая нагрузка	700	2	0,55	0,92	27,5



**Мощность понижающих трансформаторов тяговой подстанции переменного тока для питания тяговой нагрузки.** Нагрузка подстанции задана действующими значениями токов наиболее и наименее загруженных плеч питания  $I'_д$  и  $I''_д$ , то

$$S_T = 27,5 \times (2 \times I'_д + 0,65 \times I''_д) \times 0,83 \times k_M$$

где:  $k_M$  - коэффициент, учитывающий влияние внутрисуточной неравномерности движения на износ изоляции обмоток трансформатора, который для двухпутных линий с электровозной тягой в проекте можно принять 1,45, а для однопутных линий- 1,25

**Пример 1.** Определить необходимую мощность понижающих трансформаторов для питания тяговой нагрузки тяговой подстанции переменного тока. Участок двухпутный, действующее значение тока наиболее загруженного плеча питания  $I'_д=220$  А, наименее загруженного плеча  $I''_д=170$  А.

$$S_T = 27,5 \times (2 \times 220 + 0,65 \times 170) \times 0,83 \times 1,25 = 15706,45 \text{ А}$$

**Мощность районных ( нетяговых) потребителей.** Необходимую мощность на шинах проектируемой подстанции, требующуюся для питания районных потребителей, определяют в следующей последовательности.

Производим расчет мощность ДПР:

$$S_{MAX \text{ дпр}} = \frac{P_y \times k_c}{\cos\varphi}$$

где:  $P_y$ - установленная мощность потребителей электроэнергии, кВт;

$k_c$  -коэффициент спроса, учитывающий режим работы, загрузку и КПД оборудования

$$S_{MAX \text{ дпр}} = \frac{700 \times 0,5}{0,92} = 380,43 \text{ кВА}$$

**Мощность собственных нужд (СН) подстанции и выбор трансформатора собственных нужд.** Определяем мощность собственных нужд подстанции и выбор трансформатора собственных нужд. Требующуюся мощность для питания СН переменного тока определяют суммированием присоединенной мощности всех потребителей.

Таблица 5

Наименование потребителей	Единица измерения, шт	Полная мощность, кВт×А
Нагрузка шкафа на открытой части подстанции		
Подогрев масла выключателей:		
У-220	-	50
МКП-110М	-	15
С-35 М	-	3,6
ВМУЭ-35Б, ВМУЭ-27,5Б	-	1,8
Подогрев выключателей в КРУН-10	-	1,1
Подогрев приводов выключателей:		
У-220	-	4,8
МКП-110М, ВМУЭ-35Б, ВМУЭ-27,5Б	-	0,8
С-35М	-	0,4
Обдув понижающих трансформаторов с номинальной мощностью $S_{н.тр}$		
10 МВ×А	-	3,0
16 МВ×А	-	3,5
25 МВ×А	-	4,0
40 МВ×А	-	10,0
Привод ПДН-1	-	1,5
Подогрев приводов КЗ и ОД	2 комплекта	4,0
Подогрев шкафов СН	Комплект	6,0
Подогрев приборных отсеков:		
КРУН РУ 10 Кв	РУ	15,0
КРУН автоблокировки	Комплект	5,0
Освещение открытой части подстанций:		
промежуточных	-	3-5
опорных	-	35
Трансформаторы автоблокировки		40;63 или 100
Дежурный пункт дистанции контактной сети	-	54
Передвижная база масляного хозяйства	-	20
Нагрузка шкафа в здании подстанции		
Отопление здания подстанции		
переменного тока	-	40
постоянного	-	75
Освещение здания подстанции:		
переменного тока	-	2-3
постоянного	-	4-6
Калорифер помещения аккумуляторной	-	8,0
Вентиляция помещения аккумуляторной	-	4,0
Вентиляция машинного зала	-	1,6
Подзарядное устройство батареи:		
СК-6	-	17
СК-20	-	27
Стойки телемеханики и управления	Комплект	3,5
Электроподогреватель душа	-	18,0
Слесарная мастерская	-	3,0

На всех тяговых подстанциях устанавливают по два ТСН с вторичным напряжением 380/220 В, работающих с глухозаземленной нейтралью.

При определении мощности ТСН исходят из того, что один трансформатор должен обеспечить всю нагрузку СН:

$$S_{н.тр} \geq S_{СН}$$

где:  $S_{СН}$  - максимальная мощность потребителей СН, кВ×А

**Пример 2.** Выбрать трансформаторы собственных нужд промежуточной тяговой подстанции переменного тока с первичным напряжением 110 кВ.

$$S_{СН} = 0,006 \times S_T + S_{аб} = 0,006 \times 45500 + 100 = 373 \text{ кВ} \times \text{А}$$

**Выбор понижающих трансформаторов и определение мощности подстанции.** Число и мощность трансформаторов следует выбирать исходя из технико-экономических расчетов и нормативных требований по резервированию, которым на тяговых подстанциях следует предусматривать по два главных понижающих трансформатора. Мощность понижающего трансформатора рекомендуется определять исходя из условий аварийного режима:

$$S_{н.тр} \geq \frac{S_{max}}{K_{ав} \times (n - 1)}$$

где:  $S_{max}$  - суммарная максимальная нагрузка первичной обмотки трансформатора, кВ×А;

$K_{ав}$  - коэффициент допустимой перегрузки трансформатора по отношению к его номинальной мощности в аварийном режиме, равный 1,4;

$n$  - количество трансформаторов

Таблица 6

Электрические параметры трехфазных (Т) двухобмоточных масляных (М) трансформаторов на напряжение до 35 Кв

ТИП	НОМИНАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ	НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ОБМОТОК		ТОК ХОЛОСТОГО ХОДА	НАПРЯЖЕНИЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ
		первичное	вторичное		

	$S_{н.тр}$ , кВА	$U_{1н}$ , кВ	$U_{2н}$ , кВ	$I_{х.х}$ , %	$U_k$ , %
ТМ-25/10	25	10	0,4	3,2	4,5
ТМ-40/10	40	10	0,4	3,0	4,5
ТМ-63/10	63	10	0,4	2,8	4,5
ТМ-100/10	100	10	0,4	2,6	4,5
ТМ-100/27,5	100	27,5	0,4	2,6	6,5
ТМ-100/35	100	35	0,4	2,6	6,5
ТМ-160/10	160	10	0,4	2,4	4,5
ТМ-160/27,5	160	27,5	0,4	2,4	6,5
ТМ-160/35	160	35	0,4	2,4	6,5
ТМ-250/10	250	10	0,4	2,3	4,5
ТМ-250/27,5	250	27,5	0,4	2,3	6,5
ТМ-250/35	250	35	0,4	2,3	6,5
ТМ-400/10	400	10	0,4	2,1	4,5
ТМ-400/27,5	400	27,5	0,4	2,1	6,5
ТМ-400/35	400	35	0,4	2,1	6,5
ТМ-630/10	630	10	0,4	2,0	5,5
ТМ-630/27,5	630	27,5	0,4	2,0	6,5
ТМ-630/35	630	35	0,4	2,0	6,5

Таблица 7

Электрические характеристики трехобмоточных трехфазных масляных трансформаторов с высшим напряжением 110 кВ

Тип	номинальная мощность	напряжения обмотки			ток холостого хода	напряжение короткого замыкания между обмотками			схема и группа соединения обмоток
		высшего напряжения	среднего напряжения	низшего напряжения		$U_{кв-с}$ , %	$U_{кв-н}$ , %	$U_{кс-н}$ , %	
	$S_n$ , кВА	$U_{1н}$ , кВ	$U_{2н}$ , кВ	$U_{3н}$ , кВ	$I_{х.х}$ , %				
ТМТ-630/110	6300	110	38,5	11,0	4,8	10,5	17,0	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТМТН-6300/110	6300	115	38,5	11,0	1,2	10,5	17,0	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТМТН-10000/110	10000	115	38,5	11,0	1,1	17,0	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-10000/110	10000	110	38,5	10,5	5,0	17,0	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11

ТДТН-10000/110	10000	115	38,5	11,0	5,0	17,0	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-16000/110	16000	115	38,5	11,0	5,0	17,0	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТНЭ-2000/110	20000	115	27,5	11,0	0,8	10,5	17,0	6	Y*-Δ-Δ-11-11
ТДТНЭ-20000/110	20000	115	38,5	11,0	2,5	17,0	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-25000/110	25000	115	38,5	11,0	1,0	10,5	17,0	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТНЭ-25000/110	25000	115	27,5	11,0	1,0	10,5	17,0	6	Y*-Δ-Δ-11-11
ТДТНЭ-25000/110	25000	115	38,5	27,5	1,0	17	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-31500/110	31500	115	38,5	11,0	1,0	10,5	17,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-40000/110	40000	115	38,5	11,0	0,9	17,0	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТНЭ-40000/110	40000	115	27,5	11,0	0,9	10,5	17,0	6	Y*-Δ-Δ-11-11
ТДТНЭ-40000/110	40000	115	38,5	27,5	0,9	17,0	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-63000/110	63000	115	38,5	11,0	0,8	17,0	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДЦТП-32000/110	32000	115	38,5	27,5	1,1	17,5	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11

Таблица 8

Электрические характеристики трехобмоточных трехфазных масляных трансформаторов с высшем напряжением 220 кВ

Тип	номинальная мощность	напряжения обмотки			ток холостого хода	напряжение короткого замыкания между обмотками			схема и группа соединения обмоток
		высшего напряжения	среднего напряжения	низшего напряжения		$U_{кв-с}$ , %	$U_{кв-н}$ , %	$U_{кс-н}$ , %	
	$S_n$ , кВА	$U_{1н}$ , кВ	$U_{2н}$ , кВ	$U_{3н}$ , кВ	$I_{х.х}$ , %				
ТДТН-25000/220	25000	230	38,5	11	1,2	12,5	20	6,5	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТНЭ-40000/220	40000	230	27,5	11	1,1	12,5	22	9,5	Y*-Δ-Δ-11-11
ТДТНЭ-40000/220	40000	230	38,5	27,5	1,1	22	12,5	9,5	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-63000/220	63000	230	38,5	11,0	1,0	12,5	24	10,5	Y*-Y*-Δ-0-11

Таблица 9

**Электрические характеристики трехфазных трехобмоточных трансформаторов на напряжение 110, 150 и 220 кВ (старых выпусков)**

Тип	Мощность, МВА	Напряжение обмоток , кВ			Напряжение короткого замыкания, %			потери, кВт		ток холостого хода, %	схема и группы соединения
		ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	ХХ	КЗ		
ТДТНГ-10000/110	10,0	115	38,5	11,0	17,0 10,5	10,5 17,0	6,0 6,6	47	72	5,0	Y*-Y*-Δ-12-11
ТДТНГ-15000/110	15,0	115	38,5	11,0	10,5 17,0	17,0 10,5	6,0 6,0	65	140	5,0	Y*-Y*-Δ-12-11
ТДТНГ-20000-110	20,0	115	38,5	11,0	10,5 17,0	17,0 10,5	6,0 6,0	45	127	2,5	Y*-Y*-Δ-12-11
ТДТНГЭ-20000/110	20,0	112 112	27,5 38,5	11,0 27,5	11,2 18,4	18,4 11,2	6,5 6,5	78	182	5,0	Y*-Δ-Δ-11-11 Y*-Y*-Δ-12-11
ТДТНГ-31500/110	31,5	110 115	38,5 38,5	6,6 11,0	17,4 10,7	10,5 17,1	6,2 6,2	125	255	5,0	Y*-Y*-Δ-12-11
ТДТНГ-31500/110	31,5	115 110	6,3 27,5	6,3 6,6	10,5 10,7	10,2 17,2	6,0 6,1	95	195	4,0 5,0	Y*-Δ-Δ-11-11 Y*-Δ-Δ-11-11
ТДТНГЭ-31500/110	31,5	110 110	27,5 38,5	11,0 27,5	10,5 17,0	17,0 10,5	6,0 6,1	125	255	5,0	Y*-Δ-Δ-11-11 Y*-Y*-Δ-12-11
ТДТНГ-31500/110	31,5	110	38,5 27,5	27,5 11,0	17,0 10,1	10,3 16,8	6,1 5,9	- 125	- 255	- 5,0	Y*-Y*-Δ-12-11 Y*-Δ-Δ-11-11
ТДТНГ-40500/110	40,5	112	38,5	11,0	17,0	10,5	6,0	135	300	4,00	Y*-Y*-Δ-12-11
ТДТГЭ-40500/110	40,5	110 110	27,5 38,5	11,0 27,5	10,1 17,0	16,9 10,1	6,1 6,1	60 98	300 300	4,00 3,00	Y*-Δ-Δ-11-11 Y*-Y*-Δ-12-11
ТДТНГЭ-40500/110	40,5	112 112	27,5 38,5	11,0 27,5	10,1 16,7	17,0 10,5	6,0 6,0	135	300	4,0	Y*-Δ-Δ-11-11 Y*-Y*-Δ-12-11
ТДТНГЭ-25000/150	25,0	150	38,5	27,5	10,5	11,5	5,8	120	190	6,00	
ТДТНГЭ-20000/220	20,0	220	38,5	6,6 или 11,0	17,0 18,0 12,5	19,1	6,3	95	145	5,50 4,75	Y*-Y*-Δ-12-11 Y*-Δ-Δ-0-11 Y*-Δ-Δ-11-11
ТДТНГЭ-40000/220	40,0 40,0	230 230	27,5 38,5	11,0 27,5	12,5 20,5	20,5 12,5	7,5 7,5	175 145	255 145	4,50 3,30	Y*-Δ-Δ-11-11 Y*-Y*-Δ-12-11

**Пример 3.** Определяем мощность понижающих трансформаторов отпаечной тяговой подстанции переменного тока, включенной в рассечку ВЛ 110 кВ.

Мощность тяговых обмоток трансформаторов:

$$S_{\max T} = S_T + S_{\max \text{ дпр}} + S_{\text{ТСН}} = 15706,45 + 380,43 + 250 = 16336,88 \text{ МВ} \times \text{А}$$

Определяем необходимую мощность первичных обмоток понижающих трансформаторов:

$$S_{\max 110} = (S_T + S_{\max \text{ дпр}} + S_{\text{ТСН}}) \times k_p = 16336,88 \times 0,96 = 15683,4 \text{ кВ} \times \text{А}$$

где:  $S_T$ - мощность, расходуемая на тягу поездов, кВ × А;

$S_{max дпр}$ - максимальные полные мощности всех нетяговых потребителей с учетом потерь в сетях и трансформаторах;

$S_{ТСН}$ - номинальная мощность ТСН, кВ × А;

$K_p$  - коэффициент одновременности максимальных нагрузок тяговых и нетяговых потребителей, равный 0,95-0,98, если нетяговая нагрузка составляет меньше 2-3% тяговой нагрузки, то  $K_p$  не следует учитывать,

тип	номинальная мощность $S_n$ , кВ×А	напряжение обмоток			напряжение короткого замыкания между обмотками			схема и группа соединения обмоток
		высшего напряжения	среднего напряжения	нижнего напряжения	$U_{кв-с}, \%$	$U_{кв-н}, \%$	$U_{кс-н}, \%$	
		$U_{1н}, кВ$	$U_{2н}, кВ$	$U_{3н}, кВ$				
ТДТНЭ-40000/110	40000	115	27,5	11,0	10,5	17,0	6	Y*-Δ-Δ-11-11

Производим проверку понижающего трансформатора по коэффициенту загрузки:

$$K_{загр} \geq 0,74 \div 1,4$$

$$K_{загр} = \frac{S_{max 110}}{S_{н.тр}} = \frac{15683,4}{40000} = 0,39$$

На подстанции предусматриваем установку двух трансформаторов один из которых будет в работе, другой в резерве.

## **Схемы главных электрических соединений тяговых подстанций**

Присоединение тяговых подстанций к электрической сети должно быть осуществлено таким образом, чтобы обеспечить бесперебойное питание этих подстанций при нормальном и аварийном режимах работы. Для этого обычно тяговые подстанции имеют двухстороннее питание. Тяговые подстанции переменного тока питаются от сетей 110 (220) кВ, а тяговые подстанции постоянного тока - от сетей 6-220 кВ. В зависимости от способа присоединения к электрической сети тяговые подстанции могут быть опорными, промежуточные и тупиковыми. Для указанных типов подстанций характерны особенности выполнения схем главных электрических соединений. На опорных подстанциях к шинам 110 (220) кВ присоединяют не менее трех питающих линий электропередачи (ВЛ). Промежуточные подстанций могут быть включены в рассечку одной цепи ВЛ 110 (220) кВ по схеме «мостика с выключателем», обеспечивая секционирование ВЛ. По шинам таких подстанций, как и опорных, осуществляется передача транзитом электрической энергии питающей системы. Промежуточные подстанции другого вида присоединяются глухими ответвлениями (отпайками) к двум цепям ВЛ 110 (220) кВ по схеме «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой». Тупиковые подстанции обычно получают питание от разных секции сборных шин опорных тяговых подстанций или районных подстанций по нескольким радиальным линиям при напряжении 6-35 кВ.

**РУ 110 (220) кВ опорных тяговых подстанций.** Распределительное устройство обычно имеет одинарную, секционированную выключателем, и обходную системы шин. Линии и главные понижающие трансформаторы подключают к секциям шин через выключатели, которые могут замещаться при



ремонте обходным выключателем с помощью обходной системы шин. Для контроля напряжения на обходной системе шин к одной ее фазе подключен трансформатор напряжения. К каждой секции шин присоединено по трехфазному комплекту разрядников и трансформаторов напряжения. Обходная система шин может быть использована для плавки гололеда на ВЛ 110 (220) кВ. в этом случае на обходных разъединителях устанавливают двигательные приводы. Понижающие трансформаторы подстанций 220 кВ имеют глухозаземленные нейтрали. Трансформаторы на подстанциях 110 кВ могут работать с заземленными или изолированными нейтралью. Поэтому в цепи заземления нейтрали устанавливают разъединитель с двигательным приводом.

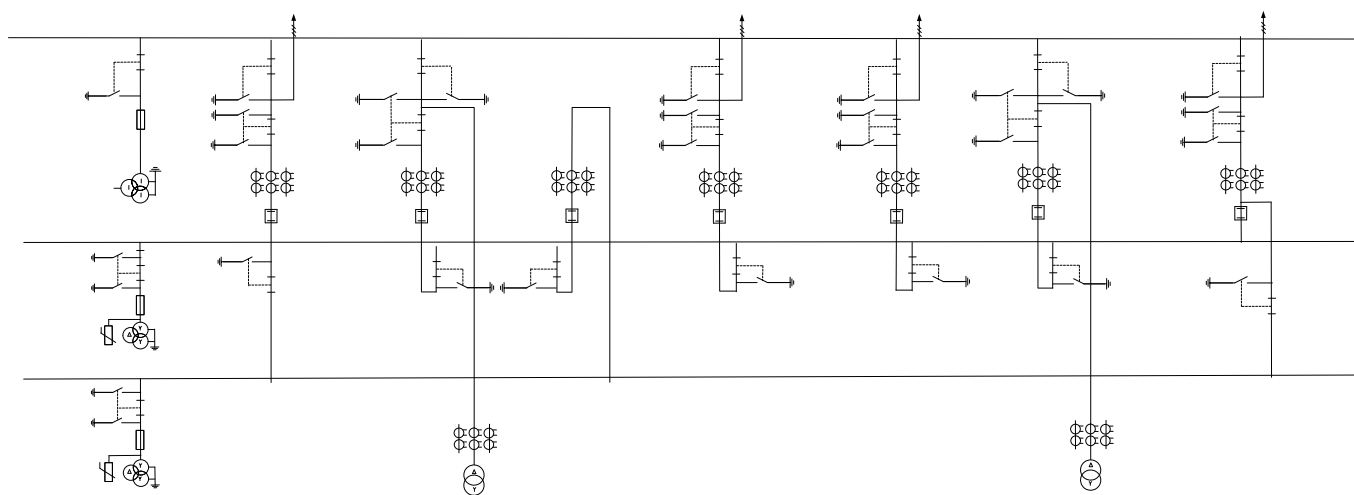


Рисунок 4. Схема главных электрических соединений РУ 110 (220) кВ опорных тяговых подстанций

**РУ 110 (220) кВ промежуточных подстанций по схеме «мостик с выключателем».** Распределительное устройство, схема которого приведена на рисунке 4, имеет ремонтную и рабочую перемычки между вводами. Разъединители ремонтной перемычки включают для обеспечения транзита мощности энергосистемы при отключении выключателя рабочей перемычки. Трансформаторы тока и напряжения устанавливают для подключения релейной защиты линии. Ремонтная перемычка используется также в схеме плавки гололеда линий 110 (220) кВ. В этом случае к ней присоединяют фидеры плавки гололеда от РУ 10; 27,5 или 35 кВ и разъединители оборудуют двигательными приводами.

Линии 110 (220) кВ присоединяют разъединителями с двигательными приводами. В цепи каждого понижающего трансформатора установлены разъединитель с двигательным приводом, быстродействующий отделитель, дополненный короткозамыкателем. В районах с интенсивным гололедообразованием, в которых работа отделителей недостаточно надежна, отделитель и короткозамыкатель заменяют выключателем.

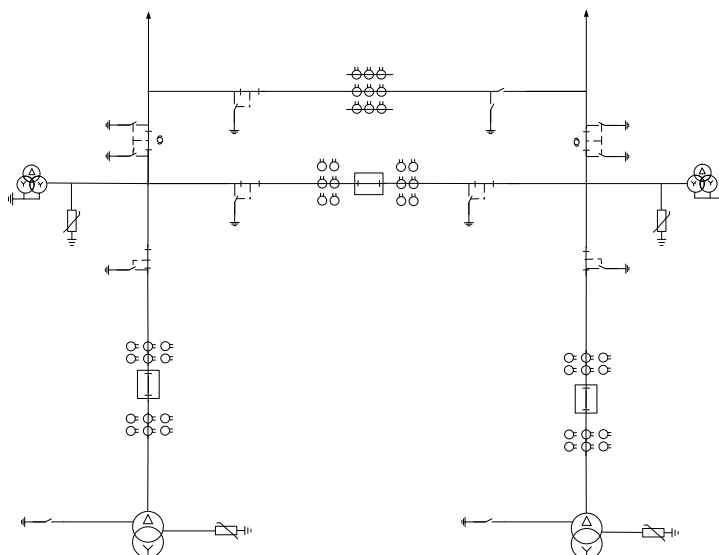


Рисунок 5. Схема главных электрических соединений РУ 110 (220) кВ промежуточной подстанции, включенной в рассечку ВЛ 110 (220) Кв.

При этом разъединитель имеет ручной привод. Использование разъединителей с двигательными приводами на присоединениях линии и понижающих трансформаторов позволяет выполнять переключения по телеуправлению.

**РУ 110 (220) кВ промежуточных подстанций на отпайке и тупиковых, выполненных по схеме «два блока с неавтоматической перемычкой».** Схема рисунок 5 отличается от рассмотренной выше отсутствием ремонтной перемычки и выключателя и рабочей перемычке. Отпадает надобность в трансформаторе напряжения. Подстанции постоянного тока обычно питают от одной из двух ВЛ с включенной перемычкой. При тяге на переменном токе подстанции нормально питают от двух ВЛ при разомкнутой перемычке на подстанции.

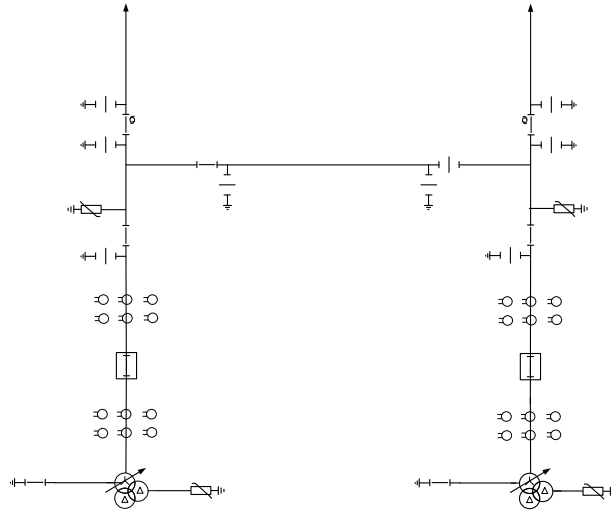


Рисунок 6. Схема главных электрических соединений РУ 110 кВ промежуточной подстанций на отпайке и тупиковых.

Расчетная схема представляет собой упрощенную электрическую схему с указанием тех элементов электрической цепи и их параметров, которые влияют на короткое замыкание. При расчетах токов короткого замыкания определяют не только максимальные токи которые необходимы для проверки выбираемого оборудования, но и минимальные токи короткого замыкания для проверки устройств защиты. Поэтому при расчетах составляется две расчетные часть линий и трансформатор не участвует. На расчетной схеме все элементы цепи нумеруют  $(x_{*n})$ , около каждого элемента указывают его параметры, необходимые для вычисления относительного сопротивления

$$\left( \frac{x_{*n}}{0.02} \right)$$

Расчет энергосистемы производится по формуле:

$$x_{*энс} = \frac{S_б}{S_к}$$

где:

$S_б$ - базисная мощность, равна 100 мВА,

$S_к$ - мощность короткого замыкания энергосистемы ( по исходным данным).

$U_H$ ; кВ	6	10,5	15	27,5	35	110	150	220
$U_{ср}$ ; кВ	6,3	10,5	17	26,2	37	115	154	230

Расчет трансформатора.

$$x_{*тр} = \frac{U_k * S_{\bar{c}}}{100 * S_{н.тр.}}$$

где

$U_k$  - напряжение короткого замыкания трансформатора[%] , 100-коэффициент,

$S_{н.тр.}$  - номинальная мощность трансформатора (из задания) [МВА] – двух обмоточного транс- форматора.

Для 3х обмоточных трансформаторов в справочнике задают напряжение КЗ для каждой пары обмоток  $U_{кв-с}$ ;  $U_{кв-н}$ ;  $U_{кс-н}$  . Каждую обмотку такого трансформатора представляют в схеме за- мещения как самостоятельное индуктивное сопротивление и определяется по формуле:

$$\left. \begin{aligned} u_{к.в} &= 0,5 (u_{к.в-с} + u_{к.в-н} - u_{к.с-н}); \\ u_{к.с} &= 0,5 (u_{к.в-с} + u_{к.с-н} - u_{к.в-н}); \\ u_{к.н} &= 0,5 (u_{к.в-н} + u_{к.с-н} - u_{к.в-с}). \end{aligned} \right\}$$

При расчете сопротивления линии индуктивного сопротивления 1 км фазы 3х фазной линии можно принять

$$x_* = x_0 * l \frac{S_{\bar{c}}}{U_{ср}^2}$$

где:

$x_{\bar{c}}$  относительное активное сопротивление 1 км линий,

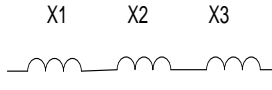

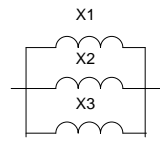

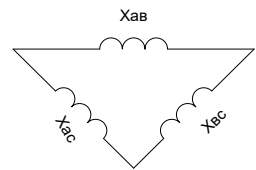
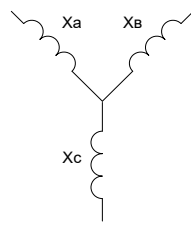
$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$  – сопротивление воздушной линии напряжением от 6 до 220 кВ,

$x_0 = 0,3 \text{ Ом/км}$  – сопротивление воздушной линии напряжением 500 кВ

$x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$  кабельные линии- 10,5 кВ,  $x_0 = 0,12 \text{ Ом/км}$  кабельные линии- 35 кВ,  $l$  –

длина линии [км],  $U_{ср}^2$  - среднее напряжение.

Преобразование схемы замещения выполняем в направлении от источника питания к месту ко- роткого замыкания, при этом используются правила последовательного и параллельного соедине- ния, преобразование треугольника в звезду.

Выполняемое преобразование	Схемы		Формула сопротивления преобразованной схемы
	До преобразования	После преобразования	
Последовательное соединение			$X_{\Sigma} = X_1 + X_2 + \dots + X_n$
Параллельное соединения			$X_{\Sigma} = X_1 / n$ $X_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{n}}$
Преобразование треугольника в звезду			$X_A = \frac{X_A \times X_B}{X_A + X_B + X_C}$ $X_B = \frac{X_A \times X_C}{X_A + X_B + X_C}$ $X_C = \frac{X_B \times X_C}{X_A + X_B + X_C}$

Расчет токов КЗ.

По вычисленным значениям результирующих относительных сопротивлений до точек КЗ ( $x_{*K1}$ ;  $x_{*K2}$ ;  $x_{*K3}$ ) выполняем расчет токов КЗ.

6. Базисный ток:

$$7. I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н}}}$$

где:

$S_{\text{б}}$ - базисная мощность [МВА],

$U_{\text{н}}$  номинальное напряжение в точке КЗ [кВ].

2. Периодическая составляющая 3х фазного тока КЗ :

$$I_{\text{к}} = \frac{I_{\text{б}}}{x_{*к}}; [\text{кА}],$$

где  $x_{*к}$  - результирующее относительное сопротивление до точки КЗ.

4. Максимальное значение периодической составляющей тока КЗ в момент размыкания контактов выключателя:

$$i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \times I_{\text{к}} \times e^{\frac{-\tau}{T_{\text{д}}}}$$

где:

$I_{\text{к}}$ - периодическая составляющая тока КЗ;

$T_a$ - постоянная времени затухания периодической составляющей тока КЗ [кА].

Элементы	$T_a, c$
Сборные шины подстанции с первичным напряжением:	
35 кВ	0,02
110—150 кВ	0,02—0,03
220 кВ	0,03
Сборные шины низшего напряжения понижающих подстанций с трансформаторами мощностью:	
32—80 МВ·А	0,05—0,1
25 МВ·А и ниже	0,045
Распределительные сети напряжением 6 (10) кВ	0,01

где:

$t_{\text{з}}$  - минимальное время до размыкания контактов.

$$\tau = t_{\text{зmin}} + t_{\text{св}}; [c], \quad t_{\text{зmin}} \text{ минимальное время действия защиты } = 0,01 [c],$$

$t_{\text{св}}$  - собственное время отключения выключателя с приводом (по справочнику),  $\frac{-\tau}{T_a}$  - определяем по графику.

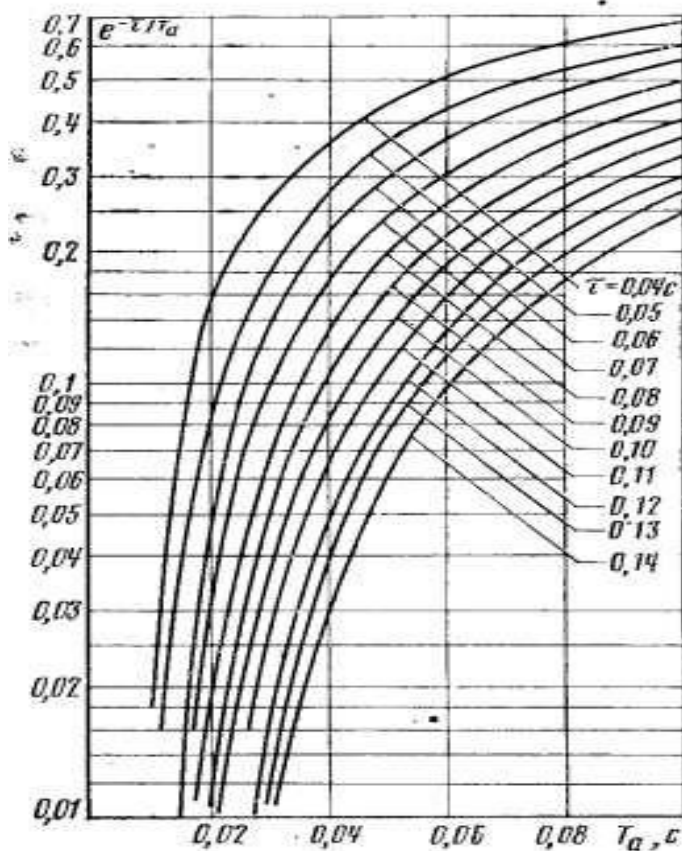


Таблица для определения затухающей апериодической составляющей тока К.З.

4. Мощность 3-х фазного КЗ.

$$S_k = \frac{S_g}{x_{\Sigma k(1,2,3)}}$$

где:

$X_{\Sigma k(1,2,3)}$  - относительные сопротивления точек КЗ

5. Определяем ударный ток КЗ.

$$i_y = 2,55 \times I_k;$$

6. Тепловой импульс тока КЗ.

$$W_k = I_k^2 (t_{откл} + T_a); [кА^2 \times с],$$

где

$t_{откл}$  - время отключения тока КЗ =  $t_{ср} + t_{св} + t_{рз}$ ;

$t_{ср}$  - собственное время срабатывания защиты = 0,1 [с],

$t_{рз}$  - время выдержки срабатывания защиты (по заданию преподавателя).

**Расчет максимальных рабочих токов основных присоединений подстанций.** Электрические аппараты выбирают по условиям длительного режима работы сравнением рабочего напряжения и наибольшего длительного рабочего тока присоединения, где предполагается установить данный аппарат, с его номинальным напряжением и током. При выборе учитывается необходимое исполнение аппарата ( для наружной и внутренней установки). Выбранные аппараты проверяют по условию короткого замыкания.

Согласно ПУЭ по режиму к.з. при напряжении выше 1000 В не проверяют: аппараты и проводники, защищенные плавкими предохранителями с вставками на номинальный ток до 60 А- по электродинамической стойкости;

аппараты и проводники, защищенные плавкими предохранителями независимо от их номинального тока и типа- по термической стойкости;

аппараты и шины цепей трансформаторов напряжения при расположении их в отдельной камере или за добавочным резистором;

проводники к неответственным индивидуальным электроприемникам;

провода воздушных линий электропередач при ударном токе к.з., меньшем 50 кА, и отсутствии быстродействующих устройств АПВ.

За наибольший рабочий ток присоединения принимают ток с учетом допустимой перегрузки длительностью не меньше 30 мин. При расчете максимальных рабочих токов присоединений необходимо учесть возможность 1,5-кратной перегрузки трансформаторов в наиболее неблагоприятном режиме, увеличение токов параллельно включенных трансформаторов и линий в случае отключения одного из трансформаторов или линии. Для выбора линий нетяговых потребителей следует предусмотреть запас на перспективу, который можно принять равный 30% существующей мощности потребителей.

1. Вводы подстанций опорной по схеме «мостика с выключателем в перемычке», перемычка между вводами :

$$I_{p \max} = \frac{k_{\text{пр}} \times S_{\text{ТП}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н}}}$$

где:  $S_{\text{ТП}}$  - максимальная полная мощность подстанций;

$k_{\text{пр}}$  - коэффициент перспективы развития потребителей, равный 1.3;

$U_{\text{н}}$  - номинальное напряжение на вводе подстанций

2. Вводы подстанций по схеме «мостика с неавтоматической перемычкой», присоединенной отпайкой к ВЛ, тупиковой подстанций:

$$I_{p \max} = \frac{k_{\text{пер}} \times \sum S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н}}}$$

где:  $\sum S_{\text{н.тр}}$  - сумма номинальных мощностей понижающих трансформаторов;



$k_{пер}$ - коэффициент допустимой перегрузки трансформаторов, равный 1,5;

3. Сборные шины опорной подстанций:

$$I_{p \max} = \frac{k_{пр} \times k_{рн1} \times S_{тп}}{\sqrt{3} \times U_{н}}$$

где:  $k_{рн1}$  - коэффициент распределения нагрузки по шинам первичного напряжения, равный 0,6-0,8

4. Первичная обмотка ВН двух- и трехобмоточного понижающего трансформатора:

$$I_{p \max} = \frac{k_{пер} \times S_{н.тр}}{\sqrt{3} \times U_{н1}}$$

где:  $S_{н.тр}$ - номинальная мощность понижающего трансформатора;

$k_{пер}$ -коэффициент допустимой перегрузки трансформатора, равный 1,5;

$U_{н1}$ -номинальное напряжение первичной обмотки ВН трансформатора;

5. Вторичная обмотка НН двухобмоточного понижающего трансформатора:

$$I_{p \max} = \frac{k_{пер} \times S_{н.тр}}{\sqrt{3} \times U_{н2}}$$

где:  $U_{н2}$ - номинальное напряжение вторичной обмотки НН трансформатора;

6. Вторичные обмотки СН и НН трехобмоточного понижающего трансформатора ( с учетом возможности отключения одного из двух трансформаторов):

$$I_{p \max} = \frac{S_{max2}}{\sqrt{3} \times U_{н2}}$$

где:  $S_{max2}$ - максимальная полная мощность на шинах СН или НН подстанций;

$U_{н2}$ - номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора СН или НН;

7. Сборные шины вторичного напряжения понижающих трансформаторов, цепь секционного выключателя:

$$I_{p \max} = \frac{k_{рнII} \times \sum S_{н.тр}}{\sqrt{3} \times U_{н2}}$$

где:  $\sum S_{н.тр}$  - сумма номинальных мощностей понижающих трансформаторов;

$k_{рнл}$  - коэффициент распределения нагрузки на шинах вторичного напряжения, равный 0,5-0,7 (0,5- при числе присоединений пять и более; 0,7- при меньшем числе присоединений);

8. Сборные шины РУ районной нагрузки тяговой подстанций, присоединенного к трехобмоточному трансформатору:

$$I_{p \max} = \frac{k_{рн} \times k_{пр} \times S_{\max рп}}{\sqrt{3} \times U_{н2}}$$

где:  $S_{\max рп}$  - максимальная полная мощность на шинах районной нагрузки;

9. Линия районного (нетягового) потребителя:

$$I_{p \max} = \frac{k_{пр} \times S_{\max}}{\sqrt{3} \times U_{н}} = \frac{k_{пр} \times P_{\max}}{\sqrt{3} \times U_{н} \times \cos\varphi}$$

где:  $S_{\max}, P_{\max}$  - полная и активная мощности потребителя;

$\cos\varphi$  - коэффициент мощности потребителя;

$U_{н}$  - номинальное напряжение потребителя.

### Выбор токоведущих частей. Выбор сборных гибких шин (таблица 10.)

Для РУ 27,5 кВ и выше применяют гибкие шины, выполненные проводами АС.

Таблица 10

Характеристика условий выбора гибких шин	Формула
По длительно допускаемому току	$I_{доп} \geq I_{р \max}$
По термической стойкости	$g \geq g_{\min} = \sqrt{B_k} \times 10^6 / C$
По условию отсутствия коронирования (при напряжении 35 кВ и выше)	$0,9 \times E_0 \geq 1,07 \times E$

В таблице 10 приняты обозначения:

$I_{доп}$  - длительно допускаемый ток для выбранного сечения, А;

$I_{р \max}$  - максимальный рабочий ток сборных шин, А;

$g$ - выбранное сечение, мм<sup>2</sup>;

$g_{\min}$ - минимально допустимое сечение токоведущей части по условию ее термической стойкости, мм<sup>2</sup>;

$B_k$ - тепловой импульс тока к.з. для соответствующей характерной точки подстанций, кА<sup>2</sup>×с;

$C$ - коэффициент ( таблица 16.)

Максимальное значение начальной критической напряженности электрического поля, при котором возникает разряд в виде короны, кВ/см,

$$E_0 = 30.3 \times m \times \left(1 + \frac{0.299}{r_{\text{пр}}^{\frac{1}{2}}}\right)$$

где:  $m$ - коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности провода ( для многопроволочных проводов  $m=0,82$ )

$r_{\text{пр}}$ - радиус провода, см

Напряженность электрического поля около поверхности провода, кВ/см,

$$E = \frac{0,354 \times U}{r_{\text{пр}} \times \lg D_{\text{ср}}/r_{\text{пр}}}$$

где:  $U$ - линейное напряжение,кВ;

$D_{\text{ср}}$ - среднее геометрическое расстояние между проводами фаз, см. При горизонтальном расположении фаз  $D_{\text{ср}} = 1,26 \times D$ . Здесь  $D$ - расстояние между соседними фазами, см. Для сборных шин приняты расстояния между проводами разных фаз -1,5; 3,0 и 4,0 м для напряжений 35; 110 и 220 кВ соответственно.

Таблица 11

вид проводника	коэффициент $C$ , $\frac{A \times C^{1/2}}{\text{мм}^2}$	вид проводника	коэффициент $C$ , $\frac{A \times C^{1/2}}{\text{мм}^2}$
Шины медные	170	Кабели до 10 Кв с алюминиевыми жилами: с бумажной изоляцией с поливинилхлоридной изоляцией с полиэтиленовой изоляцией	85 75 65
Шины алюминиевые, неизолированные	88		
алюминиевые провода			

Выбор сборных жестких шин (таблица 11.). В закрытых РУ сборные шины выполняют алюминиевыми шинами.

Выбор и проверка на термическую стойкость жестких шин выполняются аналогично гибким шинам. Следует учесть, что при расположении шин прямоугольного сечения плашмя значения допустимых длительных токов  $I_{доп}$ , приведенные в справочниках, должны быть уменьшены на 5% для шин с шириной полос 60 мм и на 8% для шин с шириной полос  $> 60$  мм.

Электродинамическая стойкость шин, укрепленных на опорных изоляторах, проверяется по механическому напряжению  $\sigma_{расч}$ , возникающему в них к.з.,

$$\sigma_{расч} = 1,76 \times \frac{i_y^2 \times l^2}{W \times a} \times 10^{-8}$$

где:  $l$ - расстояние между соседними опорными изоляторами, м;

$a$ - расстояние между осями шин соседних фаз, м;

$I_y$ - ударный ток трехфазного к.з., кА;

$W$ - момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию усилия, м<sup>3</sup>.

Момент сопротивления однополюсных прямоугольных шин при расположении на ребро

$$W = b^2 \times h/6$$

при расположении плашмя

$$W = b \times h^2/6$$

где:  $b$  и  $h$ - толщина и ширина шины, м;

$\sigma_{доп}$ - допустимое механическое напряжение в материале шин

Материал	Марка	$\sigma_{доп}$ , МПа
алюминий	А5,А6	40
алюминиевый сплав	АДО	65
алюминиевый сплав (закаленный и естественно состаренный)	АД31Т	75
алюминиевый сплав (закаленный и искусственно состаренный)	АД31Т1	90
медь	-	140
сталь	-	160

**Пример 4.** Выбор сборных гибких шин.

$$I_{доп} \geq I_p \text{ мах}$$

$$690 \text{ A} \geq 629,83 \text{ A}$$

$$g \geq g_{\min} = \sqrt{B_k \times 10^6 / C}$$

$$300 \geq 42,51$$

$$g_{\min} = \sqrt{B_k \times 10^6 / C} = \sqrt{14 \times 10^6 / 88} = 42,51$$

$$0,9 \times E_0 \geq 1,07 \times E$$

$$E_0 = 30,3 \times m \times \left( 1 + \frac{0,299}{r_{np}^{\frac{1}{2}}} \right) = 30,3 \times 0,82 \times \left( 1 + \frac{0,299}{12,1} \right) = 25,4$$

$$E = \frac{0,354 \times U}{r_{np} \times \lg D_{cp} / r_{np}} = \frac{0,354 \times 110}{12,1 \times \frac{378}{12,1}} = 0,103$$

$$0,9 \times 25,4 \geq 1,07 \times 0,103$$

$$22,86 \geq 0,110$$

Выбираем АС-300

**Выбор выключателей переменного тока.** (таблица 12.). При выборе выключателей его паспортные характеристики сравнивают с расчетными условиями работы на подстанций.

Таблица 12

характеристика условий выбора выключателей	формула
--	---------

по месту установки ( наружная , внутренняя) по номинальному напряжению по номинальному длительному току по отключающей способности: по номинальному периодическому току отключения по полному току отключения по электродинамической стойкости: по предельному периодическому току к.з. по ударному току по термической стойкости	- $U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{p \max}$ $I_{H \text{ откл}} \geq I_k$ $\sqrt{2} \times I_{H \text{ откл}} \times (1 + \beta_H) \geq (\sqrt{2} \times I_k + i_{ат})$ $I_{пр.с} \geq I_k$ $i_{пр.с} \geq i_y$ $I_T^2 \times t_T \geq B_k$
--	---

где:  $U_H$ - номинальное напряжение, кВ ;

$U_p$ - рабочее напряжение РУ, кВ;

$I_H$ - номинальный ток выключателя, А;

$I_{p \max}$ - максимальный рабочий ток присоединения, где устанавливают выключатель, А;

$I_{H \text{ откл}}$ - номинальный ток отключения выключателя по каталогу, кА;

$I_k$ - максимальный ток к.з., который предстоит отключать выключателю по расчету, кА;

$i_{ат}$ -апериодическая составляющая тока к.з. в момент расхождения контактов выключателя  $\tau$ , кА;

$\beta_H$ - номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе.

$I_{пр.с}$ - эффективное значение периодической составляющей предельного сквозного тока к.з. по каталогу, кА;

$i_{пр.с}$ - амплитудное значение предельного сквозного тока к.з. по каталогу, кА;

$i_y$ - ударный ток к.з. по расчету , кА;

$I_T$ - предельный ток термической стойкости по каталогу, кА;

$t_T$ - время прохождения тока термической стойкости по каталогу, с;

$B_k$ - тепловой импульс тока к.з. по расчету,  $кА^2 \times с$ ;

### Пример 5.

Высоковольтный выключатель на напряжение 110 кВ.

1. по месту установки ( наружная , внутренняя)	наружная
2. по номинальному напряжению	110 кВ $\geq$ 110 кВ
3. по номинальному длительному току	1000 А $\geq$ 629,83 А
4. по отключающей способности:	
5. по номинальному периодическому току отключения	20 А $\geq$ 0,47 А
6. по полному току отключения	39,5 А $\geq$ 1,71 А
7. по электродинамической стойкости:	
8. по предельному периодическому току к.з.	20 А $\geq$ 0,47 А
9. по ударному току	52 А $\geq$ 1,19 А
10. по термической стойкости	3600 $\geq$ 0,14 кА <sup>2</sup> ×с

Выбираем выключатель типа ВМТ-110Б-20/1000 УХЛ

Выбираем выключатель на напряжение 27,5 кВ

1. по месту установки ( наружная , внутренняя)	наружная
2. по номинальному напряжению	27,5 кВ $\geq$ 27,5 кВ
3. по номинальному длительному току	1000 А $\geq$ 428,04 А
4. по отключающей способности:	
5. по номинальному периодическому току отключения	15 А $\geq$ 1,85 А
6. по полному току отключения	29,69 А $\geq$ 3,1 А
7. по электродинамической стойкости:	
8. по предельному периодическому току к.з.	26 А $\geq$ 1,85 А
9. по ударному току	45 А $\geq$ 4,71 А
10. по термической стойкости	576 $\geq$ 0,14 кА <sup>2</sup> ×с

Выбираем выключатель типа ВБНТ-27,5-45/1000

**Выбор разъединителей.** ( таблица 13) При выборе разъединителей по конструкции следует учитывать место расположения разъединителя ( внутреннее или наружное ), количество и расположение заземляющих ножей.

характеристика условий выбора разъединителя	формула
по конструкции	-
по номинальному напряжению	$U_n \geq U_p$
по номинальному току	$I_n \geq I_{p \max}$
по электродинамической стойкости:	$i_{пр.с} \geq i_y$
по термической стойкости	$I_T^2 \times t_T \geq B_k$

### Пример 6.

Выбор разъединителя на напряжения 110 кВ:

по конструкции	открытого типа
по номинальному напряжению	$110 \text{ кВ} \geq 110 \text{ кВ}$
по номинальному току	$1000 \text{ кА} \geq 629,83 \text{ кА}$
по электродинамической стойкости:	$80 \text{ кА} \geq 1,19 \text{ кА}$
по термической стойкости	$2883 \geq 0,14 \text{ кА}^2 \times \text{с}$

Выбираем разъединитель типа РДЗ-110/1000

Выбор разъединителя на напряжение 27,5 кВ

по конструкции	открытого типа
по номинальному напряжению	$27,5 \text{ кВ} \geq 27,5 \text{ кВ}$
по номинальному току	$1000 \text{ кА} \geq 428,04 \text{ кА}$
по электродинамической стойкости:	$63 \text{ кА} \geq 4,71 \text{ кА}$
по термической стойкости	$1875 \geq 3,78 \text{ кА}^2 \times \text{с}$

Выбираем разъединитель типа РДЗ-35/1000 УХЛ1

**Выбор измерительных трансформаторов тока (ТТ)** (таблица 14). При выборе ТТ, помимо условий, указанных в таблице 14, необходимо учитывать его назначение для присоединения каких видов защит и измерительных приборов предназначен ТТ.

Класс точности ТТ должен соответствовать его назначению. Трансформаторы тока класса 0,5 применяют для присоединения расчетных счетчиков (класс точности



этих счетчиков на подстанции обычно 2,0), класса 1- для присоединения приборов технического учета, класса 3 (Р) или 10 – для присоединения релейной защиты.

Так как индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, можно принять  $z_2 \approx r_2$ , тогда

$$r_2 = r_{пр} + \sum r_{приб} + r_{конт}$$

где:  $\sum r_{приб}$  - сопротивление катушек всех последовательно включенных приборов, Ом

$r_{конт}$  - сопротивление переходных контактов, принимаемое 0,05 Ом при двух-трех приборах и 0,1 Ом при большем числе приборов.

Таблица 14

характеристика условий выбора трансформатора тока	формула
по конструкции ( опорные или проходные , внутренней или наружной установки )	-
по номинальному напряжению	$U_n \geq U_p$
по номинальному току	$I_{н1} \geq I_{p \max}$
по электродинамической стойкости ( отдельно стоящие ТТ, кроме шинных)	$\sqrt{2} \times I_{н1} \times k_d \geq i_y$
по термической стойкости ( отдельно стоящие ТТ)	$(I_{н1} \times k_T)^2 \times t_T \geq B_k$
по классу точности	-
по нагрузке вторичных цепей	$Z_{2н} \geq Z_2$

где:  $I_{p \max}$  - максимальный рабочий ток присоединения, где устанавливают ТТ, А;

$I_{н1}$  - номинальный ток первичной обмотки ТТ, А; его назначение должно быть как можно ближе к значению  $I_{p \max}$ , так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешности измерения;

$k_d$  - кратность электродинамической стойкости по каталогу;

$i_y$  - ударный ток к.з. в месте установки ТТ, А;

$k_T$  - кратность термической стойкости по каталогу;

$t_T$  - время термической стойкости по каталогу, с;

$V_k$ - тепловой импульс тока к.з. в месте установки ТТ по расчету,  $кА^2 \times с$ ;

$Z_{2н}$ - номинальная допустимая нагрузка проверяемой обмотки ТТ в выбранном классе точности по каталогу, Ом;

$Z_2$ - вторичная нагрузка, присоединенная к проверяемой обмотке ТТ по расчету, Ом;

### Пример 7.

Выбор трансформатора тока на напряжение 27,5 кВ

по конструкции ( опорные или проходные , внутренней или наружной установки )

наружной установки

по номинальному напряжению

$35 кВ \geq 27,5 кВ$

по номинальному току

$600 кА \geq 428,04кА$

по нагрузке вторичных цепей

$0,95 Ом \geq 0,145 Ом$

Выбираем трансформатор тока типа ТВТ-35-600-1

### Выбор измерительного трансформатора напряжения (ТН) (таблица 15).

Конструкция и схема соединения обмоток должны соответствовать назначению трансформатора, которые могут быть одно- или трехфазными. Последние применяют при напряжении 6 (10 ) кВ, а однофазные- при любых напряжениях. При необходимости обеспечить контроль изоляции электроустановки применяют техобмоточные трансформаторы.

Таблица 15

характеристика условий выбора трансформатора напряжения	формула
по конструкции и схеме соединения обмоток	-
по номинальному напряжению	$U_n \geq U_p$
по классу точности	-
по нагрузке вторичных цепей	$S_{2н} \geq S_2$

где:  $S_{2н}$ - номинальная мощность трансформатора в выбранном классе точности  $В \times А$ . При использовании однофазных трансформаторов, соединенных в трехфазную группу звездой,

$$S_{2H}=3 \times S_H$$

при соединении по схеме открытого треугольника

$$S_{2H}=2 \times S_H$$

где:  $S_H$ - номинальная мощность однофазного трансформатора, В×А. Для трехфазных трансформаторов в каталоге приводится его полная трехфазная мощность  $S_{2H}$ .

### Пример 7.

Выбор трансформатора напряжения на напряжение 27,5 кВ

по конструкции и схеме соединения обмоток -

по номинальному напряжению  $27,5 \text{ кВ} \geq 27,5 \text{ кВ}$

по классу точности -

по нагрузке вторичных цепей  $300 \text{ В} \times \text{А} \geq 100 \text{ В} \times \text{А}$

Выбираем трансформатор напряжения типа НОМ-35-66

**Расчет релейных защит.** Релейную защиту присоединений тяговых подстанций выполняют по схемам, предусматривающим применение постоянного оперативного тока. Для защит используют вторичные косвенного действия реле тока РТ-40, реле напряжения РН-50, реле мощности РБМ-170 или РБМ-270, дифференциальные реле РНТ-565 и ДЗТ-11, реле защиты от однофазных замыканий ЗЗП-1, электронные реле защиты фидеров контактной сети переменного тока УЭЗФ и др .

Расчет релейной защиты заключается в определении типа защиты и способа ее исполнения по рисунку 7, первичного тока срабатывания защиты  $I_{сз}$  , тока уставки срабатывания реле  $I_{у,ср}$ , времени срабатывания защиты в проверке чувствительности защиты  $k_{ч}$  для максимальной токовой защиты. Кроме того, выполняется проверка трансформаторов тока на 10%-ную погрешность.

В таблице 16 при проверке чувствительности защиты линии  $I_{к.min}$ - минимальный ток трехфазного к.з. в конце зоны защиты; при проверке чувствительности защиты трансформатора  $I_{к.min}$ - минимальный ток трехфазного к.з. и  $I_{к.min}^{(1)}$ - минимальный ток однофазного к.з. на вторичной стороне трансформатора . Во всех случаях значение  $k_{ч}$  должно быть не меньше 1,5.

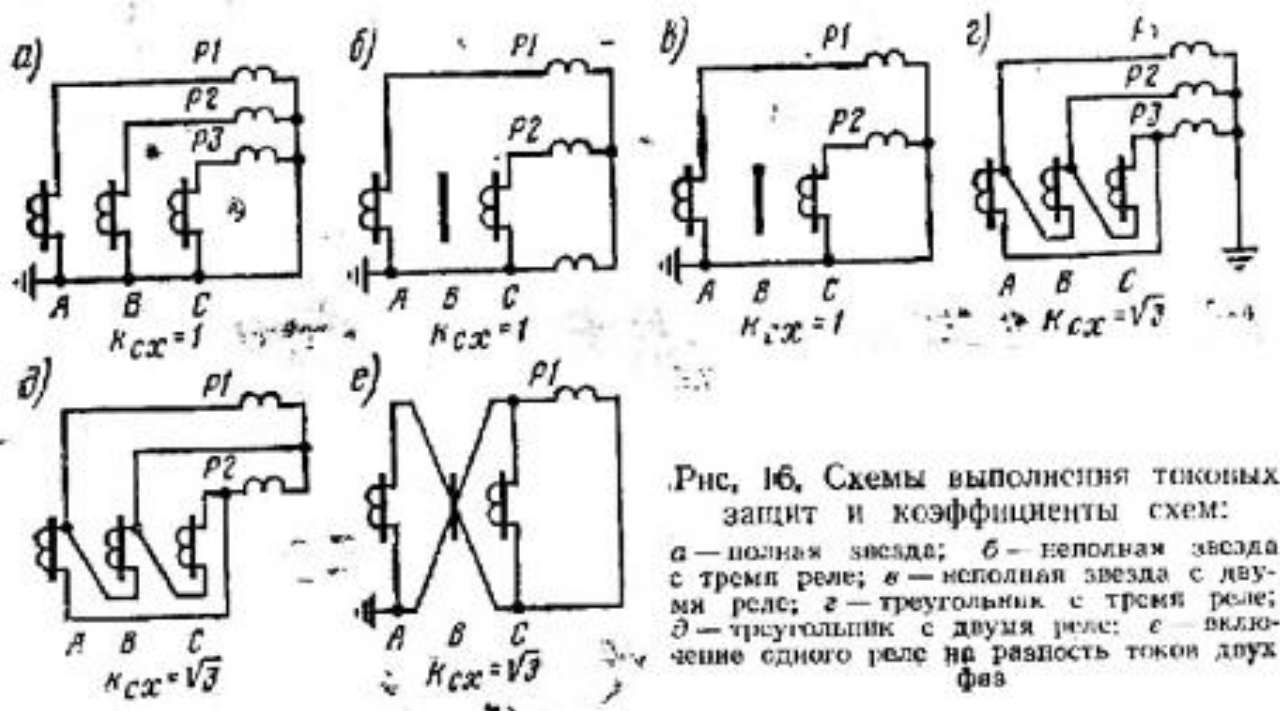


Рисунок 7. Схемы выполнения токовых защит и коэффициенты схем.

Ток уставки срабатывания реле

$$I_{y.c.p} = k_{cx} \times I_{c3} / K_I$$

где:  $I_{c3}$  - ток срабатывания защиты;

$k_{cx}$  - коэффициент схемы, который показывает, во сколько раз ток в реле защиты больше, чем ток во вторичной обмотке трансформатора тока (определяется по рисунку 1.)

$K_I$  - коэффициент трансформации трансформатора тока.

Расчет защит следует начинать с наиболее удаленных присоединений от ввода подстанции. В таблице 16 и последующих расчетных формулах приняты следующие коэффициенты:

$k_n$  - коэффициент надежности защиты;

$k_b$  - коэффициент возврата реле;

$k_c$  - коэффициент селективности действия защиты, вводимой в расчетные формулы для того, чтобы по отношению к одному и тому же значению тока чувствительность защиты, расположенной ближе к источнику питания, была меньше чувствительности защиты, которая расположена дальше от источника питания;

$k_3$ - коэффициент самозапуска электродвигателей, учитывающий бросок тока при разгоне заторможенных двигателей при к.з.;

$K_T$  -коэффициент трансформации понижающих трансформаторов;

$K_I$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$K_U$ -коэффициент трансформации трансформатора напряжения

Таблица 16

Номер схемы выполнения защиты	Номер рисунка	Формулы для расчета коэффициента чувствительности $K_{\text{ч}}$					
		при двухфазном к. з.			при однофазном к. з.		
		на линии	за трансформатором со схемой				
			$Y/Y-0(12)$	$Y/\Delta-11$	$Y/Y-0$	$\Delta/Y-11$	
А	Б	В	Г	Д			
1	16, а и б	$\frac{\sqrt{3}I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}}$	$\frac{\sqrt{3}I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}K_T}$	$\frac{I_{\text{к min}}}{I_{\text{сз}}K_T}$	Рис. 16, а не применяют	$\frac{2I_{\text{к}}^{(1)}}{3I_{\text{сз}}K_T}$	$\frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{\sqrt{3}I_{\text{сз}}K_T}$
2	16, в	$\frac{\sqrt{3}I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}}$	$\frac{\sqrt{3}I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}K_T}$	$\frac{I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}K_T}$		$\frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{3I_{\text{сз}}K_T}$	$\frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{\sqrt{3}I_{\text{сз}}K_T}$
3	16, г	$\frac{I_{\text{к min}}}{I_{\text{сз}}}$	$\frac{I_{\text{к min}}}{I_{\text{сз}}K_T}$	$\frac{\sqrt{3}I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}K_T}$	Не применяют		$\frac{2I_{\text{к}}^{(1)}}{3I_{\text{сз}}K_T}$
4	16, д	$\frac{I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}}$	$\frac{I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}K_T}$	$\frac{\sqrt{3}I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}K_T}$	То же		$\frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{3I_{\text{сз}}K_T}$
5	16, е	$\frac{I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}}$	$\frac{I_{\text{к min}}}{2I_{\text{сз}}K_T}$	Не применяют	Не применяют		

**Защита линий продольного электроснабжения 10 кВ, ДПР 27,5 кВ, и линий 6 (10) кВ питания устройств СЦБ.** Возможны три варианта защиты в зависимости от времени срабатывания предохранителей на стороне высокого напряжения потребителей.

1. При  $t_{\text{пр}} \leq (0,01-0,02)$  с применяют двухступенчатую максимальную токовую защиту в двухфазном двухрелейном исполнении. Ток срабатывания первой ступени защиты:

$$I_{\text{сз}} = 0,865 \times I_{\text{к min}}/K_{\text{ч}}$$

где:  $I_{k\ min}$  - минимальный ток к.з. у потребителя;

$K_{\text{ч}}$  - коэффициент чувствительности защиты, равный 1,5

Выдержка времени 1-й ступени защиты равна 0 с.

Ток срабатывания второй ступени защиты

$$I_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{Н}}}{K_{\text{В}}} \times I_{\text{р max}}$$

где:  $K_{\text{Н}}=1,5 \div 2$ ;  $K_{\text{В}}=0,85$

$I_{\text{р max}}$  - максимальный рабочий ток линии

Выдержка времени 2-й ступени защиты равна 0,5 с. Чувствительность защиты не проверяют.

2. При  $t_{\text{отр}} \geq (0,01-0,02)$  с используют токовую отсечку без выдержки времени по схеме рис.1,в ( первая ступень), дополненную максимальной токовой защитой по той же схеме с выдержкой времени ( вторая ступень). Выдержку времени ее принимают на ступень выше максимального значения времени срабатывания предохранителя любого присоединения.

В случае невозможности реализации необходимой зоны действия отсечки по варианту 2 применяют вариант 3- двухступенчатую максимальную токовую защиту по схеме рис.1,в. Выдержку времени первой ступени защиты принимают на ступень выше максимального значения времени срабатывания предохранителя любого присоединения, а выдержку времени второй ступени- на одну ступень выше, чем первой.

Для защиты о однофазных замыканий на землю на всех линиях, кроме ДПР, устанавливают направленную защиту нулевой последовательности типа ЗЗП-1.

### Пример 8.

$$I_{\text{сз}} = 0,865 \times \frac{1250}{1,5} = 720,83 \text{ А}$$

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,5}{0,85} \times 11,42 = 20,15 \text{ А}$$

$$I_{\text{у.ср}} = 1 \times \frac{720,83}{60} = 12,01 \text{ А}$$

$$I_{y.cp} = 1 \times \frac{20,15}{60} = 0,33 \text{ A}$$

**Защита трансформаторов собственных нужд и подогрева.** Токовая отсечка без выдержки времени (см. рис.1,в) является основной защитой от к.з. в обмотках трансформатора и на его выводах. Ток

$$I_{c3} = k_H \times I_{k.max2} / K_T$$

где:  $k_H = 1,3 \div 1,4$

$I_{k.max2}$  - максимальный ток, проходящий через вторичную обмотку при трехфазном к.з.

Чувствительность защиты

$$I_{c3} = 0,865 \times I_{k.min} / I_{c3} \geq 2$$

Если  $k_q < 1,5$ , то допускается выполнять проверку чувствительности по формуле

$$k_q = 0,865 \times I_{k.min} / (I_{c3} \times k_T) > 1,5$$

где:  $I_{k.min}$  - минимальный ток трехфазного к.з. на шинах собственных нужд.

**Пример 9.**

$$I_{c3} = \frac{1,15}{0,85} \times 314,91 = 426,05 \text{ A}$$

$$k_q = \frac{2}{3} \times \frac{7400}{426,05 \times 4} = 2,89 > 1,5$$

$$k_T = \frac{110}{27,5} = 4$$

$$I_{y.cp} = \frac{1 \times 426,05}{600} = 0,71 \text{ A}$$

**Защита вводов РУ среднего и низшего напряжений подстанции с первичным напряжением 110 (220) кВ.** На вводе 27,5 кВ устанавливают максимальную токовую защиту с выдержкой времени (см рис. 1б,в) с пуском по напряжению с двойным комплектом реле, включенных на сумму токов обоих понижающих трансформаторов. Выдержку времени защиты принимают на ступень больше, чем у максимальных защит присоединений, подключенных к шинам 27,5 кВ. При включении обоих трансформаторов работает первый комплект реле. Ток срабатывания защиты при этом

$$I_{c3} = 2 \times k_H \times I_{H.тр} / K_B$$

при включении одного трансформатора работает второй комплект реле, тогда ток срабатывания защиты

$$I_{сз} = \kappa_H \times I_{H.тр} / \kappa_B$$

где:  $\kappa_H = 1,1 \div 1,2$ ;  $\kappa_B = 0,85$

$I_{H.тр}$  - номинальный ток тяговой обмотки трансформатора.

Чувствительность защиты

$$\kappa_ч = 0,865 \times I_{к min} / I_{сз} > 1,5$$

где:  $I_{к min}$  - минимальный ток трехфазного к.з. на шинах 27,5 кВ

**Пример 10.**

$$I_{сз} = 2 \times 1,1 \times \frac{839,78}{0,85} = 2173,54 \text{ A}$$

$$I_{H.тр} = \frac{40000}{\sqrt{3} \times 27,5} = 839,78 \text{ A}$$

$$I_{сз} = 1,1 \times \frac{839,78}{0,85} = 1086,78 \text{ A}$$

$$\kappa_ч = 0,865 \times \frac{3270}{2173,54} = 1,30 > 1,5$$

$$\kappa_ч = 0,865 \times \frac{3270}{1086,78} = 2,60 > 1,5$$

$$I_{y.cр} = \frac{1 \times 2173,54}{600} = 3,62 \text{ A}$$

$$K_I = \frac{600}{1} = 600$$

$$I_{y.cр} = \frac{1 \times 1086,78}{600} = 1,81 \text{ A}$$

**Защита понижающих трансформаторов 110 (220) кВ.** Для защиты трансформаторов от к.з. в обмотках и на его выводах используют трехфазную дифференциальную защиту без выдержки времени с тремя ( для трехобмоточных) или с двумя реле ( для двухобмоточных трансформаторов). В дипломном проекте расчет этой защиты обычно не выполняют.



Трансформатор оборудуют двухступенчатой газовой защитой и защитой от застревания механизма регулирования напряжения под нагрузкой в промежуточном положении.

Максимальная токовая защита с выдержкой времени ( см. рис .1, г) с пуском по напряжению предназначена для защиты трансформатора от внешних к.з. и резервирует дифференциальную и газовую защиты. Выдержку времени ее принимают на ступень больше, чем у максимальных защит на стороне низшего и среднего напряжений трансформатора. Ток срабатывания защиты принимают большим из двух значений:

$$I_{сз1} = K_H \times I_{н.тр} / K_B$$

$$I_{сз2} = K_C \times I'_{сз}$$

где:  $K_H=1,1 \div 1,2$ ;  $K_B=0,85$ ;  $K_C=1,05 \div 1,1$

$I_{н.тр}$ -номинальный ток первичной обмотки понижающего трансформатора.

$$I'_{сз} = I_{сз} / K_T$$

### Пример 11.

$$I_{сз1} = 1,1 \times \frac{209}{0,85} = 271,6 \text{ A}$$

$$I_{н.тр} = \frac{40000}{\sqrt{3} \times 110} = 209 \text{ A}$$

$$I_{сз2} = 1,05 \times 74,5 = 78,2 \text{ A}$$

$$I'_{сз} = \frac{298}{4} = 74,5 \text{ A}$$

$$I_{сз} = 1,1 \times 271,6 = 298 \text{ A}$$

$$K_T = \frac{110}{27,5} = 4$$

$$K_C = \frac{3170}{2 \times 271 \times 4} = 1,5 > 1,5$$

$$I_{у.ср} = \frac{\sqrt{3} \times 298}{120} = 4,3 \text{ A}$$

$$K_I = \frac{600}{5} = 120$$

## Выбор аккумуляторной батареи, зарядно -подзарядного устройства. На

тяговых подстанциях обычно применяется постоянный оперативный ток, источником которого являются аккумуляторные батареи типа СК, работающие в режиме постоянного подзаряда. Аккумуляторную батарею выбирают по необходимой емкости, определяемой типовым номером батареи, и по напряжению, которого должно поддерживаться на шинах постоянного оперативного тока.

При выборе батареи исходят из аварийного режима работы электроустановки, когда к постоянной нагрузке батареи добавляется нагрузка аварийного освещения и других потребителей, переключаемых на питание от постоянного тока при исчезновении переменного напряжения. К постоянной нагрузке на подстанциях относятся цепи управления, сигнализации, защиты, автоматики, телемеханики, блокировки безопасности, на тяговых подстанциях постоянного тока- держащие катушки быстродействующих выключателей. При напряжении батареи 220 В постоянная нагрузка составляет 10-20 А, нагрузка аварийного режима-10-15 А.

Кроме того, батарею проверяют по кратковременному толчковому току, значение которого определяется, помимо постоянной и аварийной нагрузок, еще током, потребляемым наиболее мощным приводом выключателя.

Количество последовательно соединенных аккумуляторных элементов определяется необходимым напряжением на шинах. В последние годы на тяговых подстанциях применяют батареи на 220 В. Батареи включают по упрощенной схеме без элементного коммутатора.

У батареи имеются четыре отпайки для получения различных напряжений для питания цепей включения выключателей, цепей управления и защиты.

потребители постоянного тока	число одно- временно ра- ботающих	ток одного потребителя, А	нагрузка батареи, А	
			длитель- ная	кратко- времен- ная
постоянно присоединенные приемники				
лампы положения выключателей	24	0,065	1,56	-
устройства управления и защиты	-	-	12	-
приемники, присоединенные при аварийном режиме				
устройства телеуправления и связи	-	-	1,4	-

аварийное освещение	-	-	10	-
привод пружинный выключателя ВБНТ-35	-	-	-	3,0
ИТОГО:			24,96	3,0

Последовательность выбора батареи:

1. Составляют таблицу, в которой указывают токи всех постоянно присоединенных к батарее потребителей и присоединяемых к ней при аварийном режиме, а также установившийся ток, потребляемый наиболее мощным приводом включения выключателя. На основании данных таблицы подсчитывают токи длительной и кратковременной нагрузок на аккумуляторную батарею а аварийном режиме.

Ток длительного разряда а аварийном режиме

$$I_{\text{дл.разр}} = I_{\text{пост}} + I_{\text{ав}}$$

где:  $I_{\text{пост}}$ -ток постоянной нагрузки рабочего режима, А;

$I_{\text{ав}}$ -ток временной аварийной нагрузки, А.

Ток кратковременного разряда а аварийном режиме

$$I_{\text{кр.разр}} = I_{\text{дл.разр}} + I_{\text{вкл}}$$

где:  $I_{\text{вкл}}$ -ток, потребляемый наиболее мощным приводом выключателя ,А

2. Определяют необходимую расчетную емкость батареи  $A \times \text{ч}$

$$Q_{\text{расч}} = I_{\text{дл.разр}} \times t_{\text{ав}}$$

где:  $t_{\text{ав}}$ -длительность разряда при аварии, принимаемая для тяговых подстанции равная 2 ч

3. Выбирают номер батареи по требуемой емкости:

$$N \geq 1.1 \times Q_{\text{расч}} / Q_{N=1}$$

где:  $Q_{N=1}$ - емкость аккумулятора СК-1; при длительности разряда  $t_{\text{ав}}=2$  ч имеет  $Q_{N=1}=22 A \times \text{ч}$

4. Выбираем номер батареи по току кратковременного разряда:

$$N \geq I_{\text{кр.разр}} / 46$$

где: 46-кратковременно допускаемый разрядный ток аккумулятора СК-1,А

5. По результатам расчетов принимают наибольший из двух значений номер аккумуляторной батареи. Дробное значение номера округляют до ближайшего большего типового номера

Определяют полное число последовательно включенных элементов батареи:

$$n = U_{шв}/U_{пз}$$

где:  $U_{шв}$ -напряжение на шинах включения, принимаемое 258 В при первичном напряжении подстанции 110-220 кВ и 245 В при напряжении подстанции 10-35 кВ

$U_{пз}$ -напряжение аккумуляторного элемента при подзаряде, равное 2,15 В.

Число аккумуляторных элементов, нормально питающих шины управления и защиты

$$n_{шз} = U_{ш}/U_{пз}$$

где:  $U_{ш}$ -напряжение на шинах управления и защиты, равное 232 В

6. Выбор зарядно- подзарядного агрегата ( ЗПУ) выполняют по необходимым значениям напряжения, тока и мощности ЗПУ, которые определяют исходя из первого ( формовочного) заряда батареи. Расчетная мощность ЗПУ

$$P_{расч.зпу} = U_{зар} \times (I_{зар} + I_{пост})$$

Напряжение заряда ЗПУ, В

$$U_{зар} = n \times 2.15 + (2 \div 3)$$

где:  $n$ - полное число элементов батареи

Зарядный ток батареи:

$$I_{зар} = 5,25 \times N \text{ (для СК-1-СК-5)}$$

$$I_{зар} = 3,75 \times N \text{ ( для СК-6-СК-20)}$$

В качестве зарядно-подзарядного агрегата широко применяются выпрямительный агрегат типа ВАЗМ-380/260-40/80, обеспечивающий стабилизированное выпрямленное напряжение до 260В , при токе до 80А, максимальная мощность 20,8 кВт. Во время формовочного заряда батарей с номером больше СК -10 включают два таких агрегата.

### Пример 12.

$$I_{дл.разр} = 13,56 + 11,4 = 24,96 \text{ А}$$

$$I_{\text{кр.разр}} = 24,96 + 3,0 = 27,96 \text{ A}$$

$$Q_{\text{расч}} = 24,96 \times 2 = 49,92 \text{ A} \times \text{ч}$$

$$3 \geq 1.1 \times \frac{49,92}{22} = 2,4$$

$$3 \geq \frac{27,96}{46} = 0,60$$

$$n = \frac{258}{2,15} = 120$$

$$P_{\text{расч.зпу}} = 2,61 \times (15,75 + 13,56) \times 10^{-3} = 7,6 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{зар}} = 120 \times 2.15 + 3 = 261 \text{ В}$$

$$I_{\text{зар}} = 5,25 \times 3 = 15,75 \text{ A}$$

## Методические указания по оформлению курсового проекта

### 1. Общие положения

Материал курсового проекта является учебным документом и разрабатывается обучающимися в соответствии с темой на основании задания и исходных данных.

Курсовой проект должен быть оформлен в соответствии с требованиями государственных стандартов, регламентирующих обязательные правила оформления проекта, которые предусматривают единый порядок изложения и размещения текста пояснительной записки, иллюстраций к тексту, графиков, таблиц, чертежей.

Графическая часть проекта должна соответствовать требованиям стандартов ЕСКД, ЕСТД.

Содержание задания на курсовой проект разрабатывается руководителем данного проекта, предварительно рассматривается и утверждается на заседании предметной цикловой комиссии, выдается обучающемуся на отдельном бланке. В задании конкретизируются задачи, условия проектирования, указывается перечень графического материала и специальная часть.

Материал курсового проекта представляется в виде:

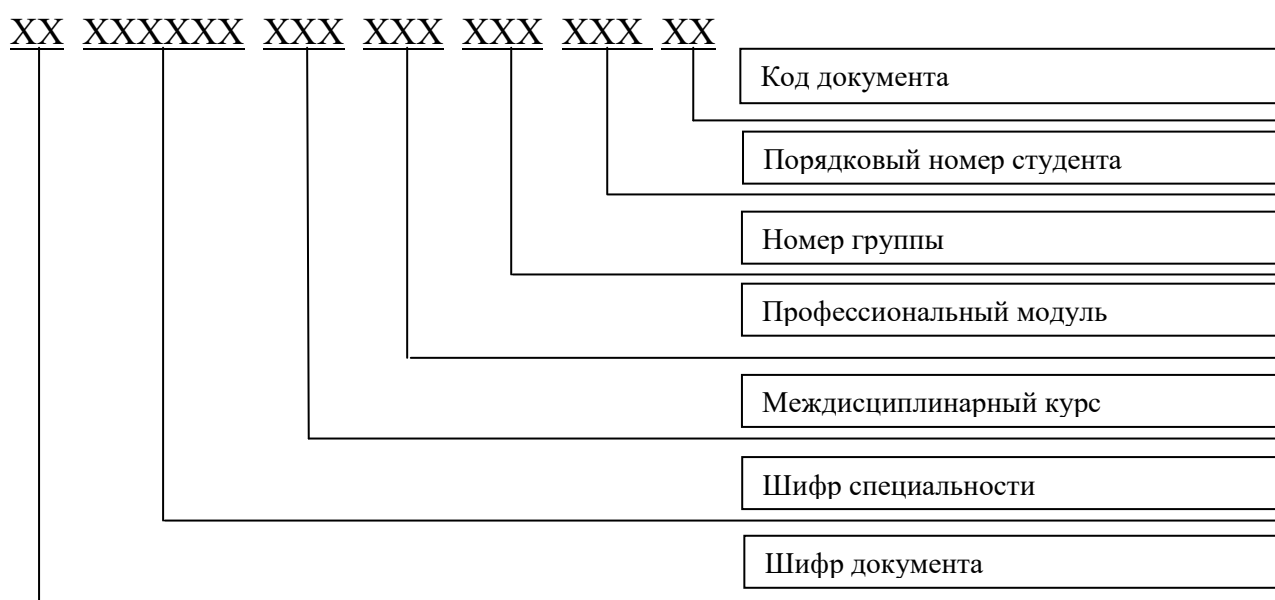
– учебной документации (графический и текстовый материалы);

– иллюстрированного материала ( плакаты, фотографии и другие материалы, необходимые для показа и пояснений в процессе защиты проекта);

## 2. Комплектность и обозначение документов

Обозначение учебной документации курсового проекта производится в соответствии с порядковой системой обозначений.

Базовое обозначение учебного курсового проекта включает:



Для обозначения текстовых документов, имеющих код к базовому обозначению добавляют код документа в соответствии с ГОСТ 2.102-2013 (ПЗ- пояснительная записка).

Например, пояснительная записка курсового проекта, выполненного обучающимся группы Э-41 очной формы обучения, специальности «Электроснабжение ( по отраслям)» , с порядковым номером 27 , должна иметь следующее обозначение : КП 13.02.07 ПМ .01 МДК.01.01.041.027.ПЗ.

В графической части для электрических схем ГОСТ 2.701-2008 устанавливают код «Э» и тип (1-структурная; 2- функциональная; 3- принципиальная;4- соединений). Например: схема электрических соединений- Э4. Если на одном графическом документе выполнены два типа схем, выпущенных на одно изделие, то такому совмещенному документу присваивается код, состоящий из буквы, определяющей вид схемы, и цифры 0. Например, схема электрическая принципиальная и соединений – Э0. Соответственно, если в графической части выполнена схема электрических соединений, то она должна иметь следующее обозначение : КП 13.02.07 ПМ.01 МДК.01.01.041.027.Э4.

При необходимости могут быть назначены дополнительные марки основных комплектов рабочих чертежей. Для марок применяют прописные буквы ( не более трех) русского алфавита, соответствующие начальным буквам наименований основного комплекта рабочих чертежей.

### **Пример**

- Диаграммы временные –ДВ;
- Трассировка контактной сети станции и перегона – МС ( монтажная схема);
- План трансформаторной подстанции –ГП (генеральный план);
- Разрезы подстанции- РП.

Например, обозначение чертежа плана трансформаторной подстанции, в графической части проекта- КП 13.02.07 ПМ.01. МДК 01.01.041.027.ГП.

Листы чертежей всех форматов после защиты проекта складываются в соответствии с ГОСТ 2.501-2013: сначала вдоль линий, перпендикулярных к

основной надписи, а затем вдоль линий, параллельных ей до формата А4. Основная надпись должна быть расположена на лицевой стороне вдоль короткой стороны сложенного листа.

### **3. Основные надписи**

Конструкторские графические документы снабжаются основной надписью по форме 1 (рис 8.) в соответствии с ГОСТ 2.104-2006. Для последующих листов чертежей и схем допускается применение формы 2а (рис.9).

Основные надписи располагают в правом нижнем углу конструкторских документов, а на листах формата А4- вдоль короткой стороны листа.

В графах основной надписи ( номера граф приведены на рисунках 9,10,11 в скобках) указывают значения соответствующих реквизитов или атрибутов:

а) В графе 1- наименование изделия или наименование документа, если этому документу присвоен код.

Наименование изделия должно соответствовать принятой терминологии и быть кратким. Его записывают в именительном падеже единственного числа.



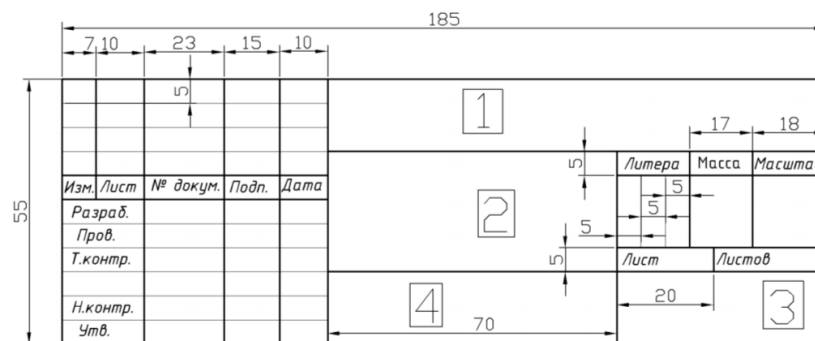


Рисунок 8

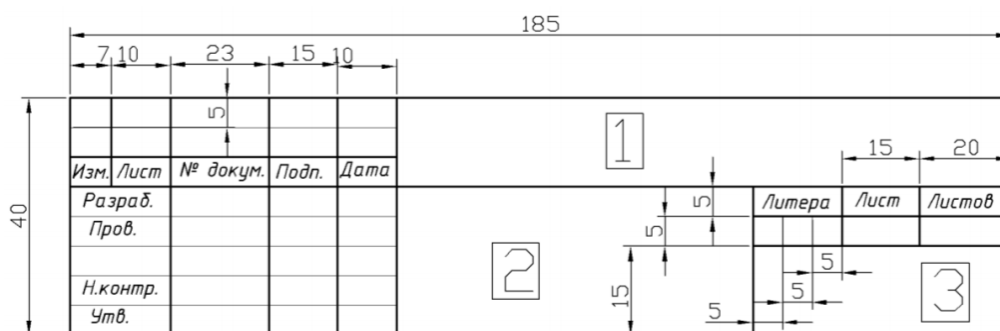


Рисунок 9

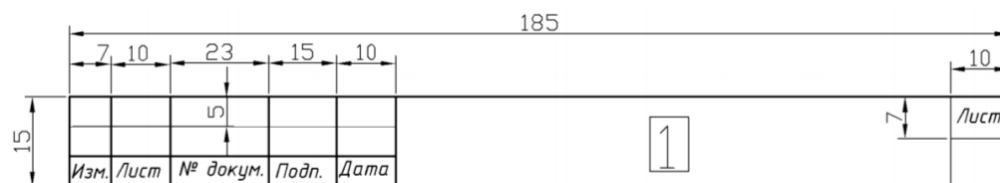


Рисунок 10

В наименование изделия, как правило, не включают сведений о назначении и местоположении изделия. В наименовании, состоящем из нескольких слов, должен быть прямой порядок слов ( на первом месте – имя существительное );

б) в графе 2- обозначение документа ( например , КП 13.02.07 ПМ.01. МДК 01.01.041.027.Э4);

в) в графе 3- обозначение материала детали ( графа заполняется только на чертеже детали);

г) в графе 4- литеру, присвоенную данному документу.

Всем учебным документам присваивается литера «У» ,а реальным –«Р». В зависимости от вида работ указывается условно принятое обозначение для проектов и работ :К1- контрольная работа №1; КР- курсовая работа; КП- курсовой проект; ДР- дипломная работа; ДП- дипломный проект. Графу заполняют последовательно, начиная с крайней левой клетки;

д) в графе 5- массу изделия в кг ( или т) ( для учебных чертежей допускается графу не заполнять);

е) в графе 6- масштаб по ГОСТ 2.302-81;

ж) в графе 7- порядковый номер листа документа, если он выполнен на нескольких листах;

з) в графе 8- общее количество листов документа ( графу заполняют только на первом листе);

и) в графе 9- наименование образовательной организации ( сокращено, инициалами), номер учебной группы или шифр обучающегося заочной формы обучения;

к) в графе 10- характер работы, выполняемой лицом, подписавшим документ.

Свободная строка заполняется по усмотрению цикловой комиссии , например: «Руков»- руководитель проекта, «Консульт.» - консультант.

л) в графе 11- фамилии лиц, подписавших документ;

м) в графе 12- подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11;

н) в графе 13- дата подписания документа.

Графы 14-18 в учебной документации не заполняется.

Первые ( или заглавные) листы текстовых конструкторских документов строительных изделий или строительных и монтажных работ снабжаются основной надписью по форме 2 ( см. рис 9), а последующие листы- по форме 2а ГОСТ 2.104-2006 (см. рис.10). Заполнение граф основной надписи текстовых документов производится в соответствии с их номерами, показанными на рисунках в скобках, с учетом допущений, предусмотренных для учебной документации.

## **4. Графические материалы**

### **4.1. Общие требования**

Графический материал ( чертежи, схемы) выполняются как карандашом на чертежной бумаге, так и могут быть выполнены в электронной форме как электронные чертежи. Вид документа и его наименования при этом сохраняются.

Форматы листов, определяемые размерами внешней рамки, должны соответствовать ГОСТ 2.301-2006. Наиболее употребительные основные форматы А1 (841×594 мм), А2( 594×420 мм), А3 (420×297 мм), А4 (297×210 мм).

Надписи и обозначения на чертежах и схемах выполняются чертежными шрифтом по ГОСТ 2.304-81. Высота букв и цифр на чертежах, выполненных в карандаше, должна быть не менее 3,5 мм, а с применением графических устройств вывода ЭВМ не менее 2,5 мм.

В части масштабов, изображения линий, материалов, изделий и т.п. графический материал должен соответствовать стандартам ЕСКД, ЕСТД и СПДС.

#### **4.2. Схемы**

Схема- документ, на котором показаны в виде условных графических обозначений составные части изделия и связь между ними.

Общие требования к схемам определяется ГОСТ 2.701-2008. Схемы выполняют без соблюдения масштаба. Действительное пространственное расположение частей изделия может быть учтено приближенно или не учтено совсем.

Применение на схемах тех или иных графических обозначений определяется правилами выполнения схем определенного вида и типа.

Графические обозначения выполняют линиями толщиной, равной толщине линии связи на этой же схеме. Размеры изображений условных графических обозначений элементов должны соответствовать размерам, установленным в стандартах на эти условные графические обозначения. Если размеры в указанных стандартах не установлены, то условные графические обозначения элементов изображают в соответствии с размерами изображения их в стандартах.

Расстояние между отдельными графическими изображениями должно быть не менее 2 мм.

При оформлении иллюстративных материалов ( плакатов), содержащих схемы, разрешается для наглядности размеры условных обозначений элементов выполнять в увеличенном произвольном масштабе ( по сравнению с размерами, установленными соответствующими стандартами).

Линии связи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от формата схемы и размеров графических обозначений. Рекомендуемая толщина линий от 0,3 до 0,4 мм.

Линии должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и пересечений. Допускается применять и наклонные отрезки линий связи, длина которых, по возможности, должна быть ограничена. Расстояние между соседними параллельными линиями связи должно быть не менее 3 мм.

Линии связи в пределах одного листа изображают полностью, но при затруднении чтения схемы их можно обрывать. В этом случае линии связи заканчивают стрелками с соответствующими метками, а в скобках указывают местонахождение продолжения линий.

Перечень элементов на электрической схеме помещают на первом листе и оформляют в виде таблицы (рис. 11), заполняемой сверху вниз. Как правило, его располагают над основной надписью. При отсутствии места для продления граф перечня элементов над основной надписью продолжения перечня помещают слева от нее с повторением головки таблицы.

При необходимости перечень элементов может быть выпущен в виде самостоятельного документа на листах формата А4 с основной надписью в форме 2 и 2а ГОСТ 2.104-2006. Перечню элементов, как самостоятельному документу, присваивается код, состоящий из буквы «П» и кода схемы, к которой он выпущен. Например, код перечня элементов к электрической принципиальной схеме- ПЭЗ. В графе 1 основной надписи указывается наименование изделия и наименование документа- «Перечень элементов». Запись в спецификацию перечня элементов производят после схемы, к которой он выполнен.

<i>поз. обозна- чение</i>		<i>кол</i>	<i>примечание</i>

Рис.11

На принципиальной электрической схеме изображают все элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля заданных процессов, электрические связи между ними. Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном положении.

На схемах соединений (монтажных) изображают все элементы, входящие в состав изделия, входные и выходные элементы, разъемы, платы, зажимы и соединения между ними. Элементы выполняются в виде прямоугольников или внешних очертаний. Рядом с графическим изображением указывают позиционное обозначение, соответствующее обозначение на принципиальной схеме.

На схемах расположения показывают конструкцию составных частей изделия, помещение или местность, на которых они расположены. Составные части изделия выполняют в виде внешних очертаний или условных графических обозначений. Около каждого элемента указывают его позиционное обозначение.

## 5. Спецификация

### 5.1. Определение, форма и разделы спецификации

Спецификация является основным конструкторским документом, определяющим состав сборочной единицы, комплекта или комплекта.

Спецификацию составляют на отдельных листах формата А4 на каждую сборочную единицу, комплект или комплекс по форме 1 (первый или заглавный лист) и форме 1а (последующие листы). Заглавная часть (головка) спецификации для форм 1 и 1а приведены на рис.12.

<i>форма</i>	<i>зона</i>	<i>поз.</i>	<i>обозначение</i>	<i>наименование</i>	<i>кол.</i>	<i>примеч.</i>

Основную надпись в спецификациях выполняют по ГОСТ 2.104-2006: на первом листе по форме 2 ( см рис 9.), а на всех последующих листах- по форме 2а (см. рис 10).

В спецификацию записывают составные части, входящие в специфицируемое изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к этому изделию и его неспецифицируемым составным частям.

Наличие тех или иных разделов определяется составом специфицируемого изделия. Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают. После заполнения каждого раздела рекомендуется оставлять несколько свободных строк.

## **5.2. Заполнение граф спецификации**

В графе «Формат» указывают форматы документов в соответствии с ГОСТ 2.301-2006. Если документ выполнен на нескольких листах различных форматов, то в графе проставляют звездочку, а в графе «Примечание» перечисляют все форматы.

В графе «Зона» указывают обозначение зоны, в которой находится номер позиции записываемой составной части по ГОСТ 2.104-2006. При составлении учебных спецификации графу «Зона» разрешается не заполнять.

В графе «Поз.» указывают порядковые номера составных частей, непосредственно входящих в специфицируемое изделие, в последовательности записи их в спецификации.

В графе «Обозначение» указывают присвоенное обозначение деталей.

В графе «Наименование» указывают наименование и обозначение изделий в соответствии со стандартами на эти изделия.

В графе «Кол.» указывают: для составных частей изделия, записываемых в спецификацию- количество их на одно специфицируемое изделие.

В графе «Примечание» указывают дополнительные сведения для планирования и организации производства, а также другие сведения, относящихся к записанным в спецификацию изделиям.

После каждого раздела спецификации необходимо оставлять несколько свободных строк для доработок, внесения изменений и дополнений. Рекомендуется

резервировать и номера позиций, которые проставляют в спецификацию в случаях заполнения резервных строк.

Спецификации, выполненные на отдельных листах формата А4, подшиваются в конце пояснительной записки в качестве приложения. Допускается совмещение спецификации со сборочным чертежом. При этом спецификацию располагают над основной надписью и заполняют точно так же, как спецификацию, выполненную на отдельных листах. Основную надпись выполняют по форме 1 ГОСТ 2.104-2006. Совмещенному документу присваивают обозначение основного конструкторского документа ( спецификации),

## **6. Пояснительная записка**

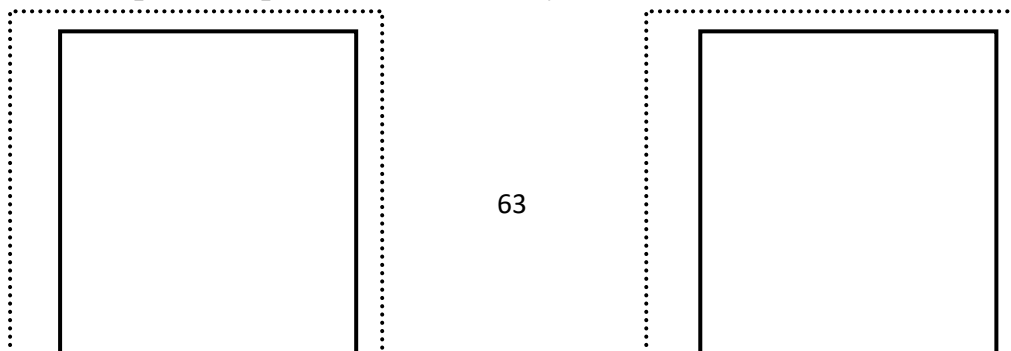
### **6.1. Общие сведения**

Пояснительная записка (ПЗ) выполняется на листах писчей бумаги формата А4. Первый или заглавный лист составляет по форме 5 ГОСТ 2.106-2006 ( рис.13а) с основной надписью по форме 2 ГОСТ 2.104-2006 (см. рис .9). Последующие листы составляют по форме 5а ГОСТ 2.106-2006 (рис.6б) с основной надписью по форме 2а ГОСТ 2.104-2006 ( см.рис 10). Дополнительные графы при составлении учебных текстовых документов допускается не выполнять.

ПЗ выполняется с использованием компьютера и принтера на одной стороне листа через 1,5 интервала. Цвет шрифта должен быть черным, высота букв, цифр и других знаков- не менее 1.8 мм( кегль не менее 12).

Расстояние от боковой внутренней рамки до границ текста в начале и в конце строк- не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней внутренней рамки документа, должно быть не менее 10 мм. Абзацы в тексте начинаются отступом, равным 15-17 мм.

Обнаруженные отпечатки, опiski и графические неточности допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста ( графики) машинописным способом или рукописным с использованием черных чернил, пасты или туши.



---

Рис.13

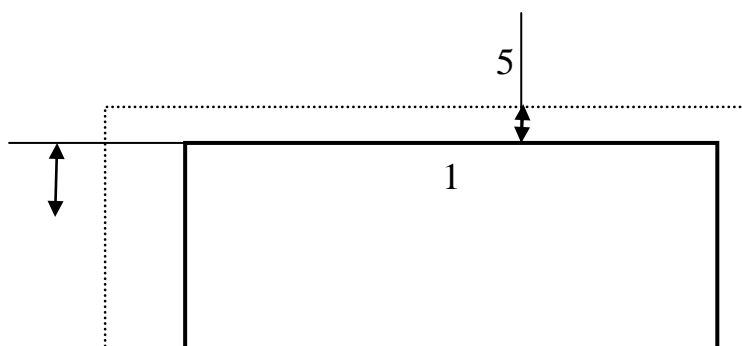
## 6.2. Структурные части пояснительной записки

Структурными частями пояснительной записки проекта является :

- Титульный лист;
- Задание на проект;
- Содержание;
- Введение ;
- Основная часть;
- Заключение;
- Список использованных источников;
- Приложения.

### Титульный лист

Титульный лист является первым листом ПЗ.





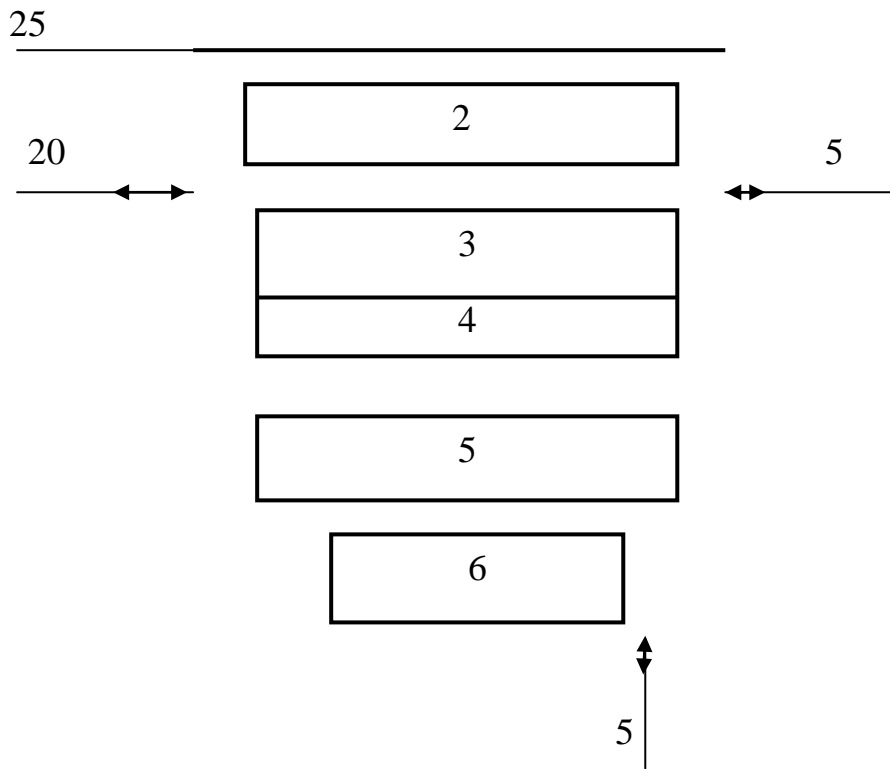


Рисунок 14. Титульный лист

Титульный лист ПЗ к проекту ( работе ) заполняется по форме, приведенной на рисунке 14:

- а) поле 1- полное наименование образовательной организации;
- б) поле 2- в правой части гриф допуска заместителя директора по учебной работе к защите курсового проекта;
- в) поле 3- наименование проектируемого изделия или курсового проекта ( в соответствии с основной надписью на заглавном листе) и наименование документа ( пояснительная записка). Наименование изделия ( проекта) записывается прописными буквами крупным шрифтом. Наименование документа- строчными буквами ( кроме первой прописной);
- г) поле 4- обозначение документа крупным шрифтом;
- д) поле 5- дата защиты и оценка курсового проекта, учетная степень, должность и подпись руководителя проекта ( рецензента для обучающихся заочной формы обучения), подпись обучающегося- разработчика с указанием номера учебной группы ( или шифра обучающегося заочной формы обучения). Справа от каждой

подписи- инициалы и фамилии лиц, подписавших документ, а ниже подписи- дата подписания.

Для курсового проекта в поле 5 размещают подписи, инициалы и фамилии обучающегося, руководителя проекта, консультантов, нормоконтролера, их ученые степени и должности;

е) поле 6- год выполнения документа ( без указания слова «год» или «г»).

Номер страницы на титульном листе не ставится, но включается в общую нумерацию.

### **Задание на проект**

Тема курсового проекта, указанная в задании, должна быть идентична теме, указанной на титульном листе и в приказе.

Срок сдачи законченной работы должен соответствовать указанному в приказе директора техникума заданию.

### **Содержание**

Содержание включает наименование следующих структурных частей ПЗ: обозначения и сокращения, введения, заключение, список использованных источников, а также имеющих заголовки разделов и подразделов основной части и приложений с указанием номера страницы, на которой размещается начало материала. В ПЗ объемом не более 10 страниц содержание допускается не составлять.

### **Введение**

Во введение отражается состояние рассматриваемых в курсовом проекте вопросов на современном этапе и задачи проектирования каждого раздела, отражается актуальность темы. Введение занимает один-два листа.

### **Основная часть**

Структура и содержание основной части пояснительной записки должны соответствовать заданию на курсовой проект. Основная часть пояснительной записки курсового проекта включает в себя:

- Общую часть;
- Технологический раздел- специальную часть проекта ;

- Обеспечение безопасности движения поездов;
- Мероприятия по экологии, охране труда, противопожарной технике и промышленной санитарии.

Общая часть содержит основные положения разрабатываемой темы.

Технологический раздел- специальная часть курсового проекта представляет разработку одного из вопросов совершенствования организации учебного процесса. В качестве нее могут быть представлены стенды, планшеты, плакаты, методические указания и др.

В разделе безопасности движения поездов разрабатываются мероприятия по бесперебойному снабжению электроэнергией электроподвижного состава. Рассматриваются меры по предупреждению и устранению причин порождающих случаи повреждения оборудования, а также по укреплению трудовой и технической дисциплины работников, связанных с движением поездов.

В разделе мероприятия по экологии, охране труда, противопожарной технике и промышленной санитарии приводятся сведения об анализе производственной обстановки, перечень организационных и технических мероприятий при эксплуатации разрабатываемого устройства или при производстве работ, разрабатываются вопросы защиты окружающей среды от вредных воздействий объектов хозяйства электроснабжения железнодорожного транспорта.

### **Заключение**

Заключение должно содержать конкретные выводы по работе над проектом, должны быть сформулированы основные результаты, приведены выводы по всем разделам курсового проекта. Заключение в курсовом проекте занимает один-два листа.

### **Рубрикация пояснительной записки, нумерация страниц**

Текст основной части ПЗ в соответствии с ГОСТ 2.105-2006 должен быть разделен на разделы, которые при необходимости разбивают на подразделы, пункты, подпункты.

Разделы, подразделы, пункты, подпункты следует нумеровать арабскими цифрами, разделенными точками, и записывать с абзацного отступа. После номера раздела, подраздела, пункта и подпункта точка не ставится.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах основной части ПЗ.

**Пример** -1,2,3, и т.д.

Номер подраздела или пункта включает номер раздела и порядковый номер подраздела и (или) пункта.

**Пример** -1.1, 1.2, 1.3 и т.д. или 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 и т.д.

Перечисление в тексте ПЗ в виде требований, указаний, положений и т.д. записывают с абзаца. Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис или, при необходимости ссылки в тексте на одно из перечислений, строчную букву, после которой ставится скобка. Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится в абзацного отступа, как показано на примере.

**Пример**

- а) \_\_\_\_\_;
- б) \_\_\_\_\_;
- 1) \_\_\_\_\_;
- 2) \_\_\_\_\_;
- в) \_\_\_\_\_;

Разделы и подразделы должны иметь заголовки, которые четко и кратко отражают их содержание. Пункты, как правило, заголовков не имеют.

Заголовки записывают строчными буквами (кроме первой прописной) без точки в конце, не подчеркивая. Перенос слов в заголовках, не допускается. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Расстояние между заголовком и последующим текстом должно быть равно 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 8 мм.

Каждый раздел ПЗ рекомендуется начинать с нового листа. Для разделов, текст которых записывают на одном листе с текстом предыдущего раздела, а также для

подразделов расстояния между последней строкой текста и последующими заголовками – 15 мм или три – четыре интервала.

Каждую структурную часть ПЗ следует начинать с нового листа. Наименование структурной части «Содержание» записывают симметрично тексту строчными буквами, начиная с прописной буквы, без точки в конце, не подчеркивая.

Заголовки остальных структурных частей ПЗ : «Обозначение и сокращения», «Введение», «Заключение», «Список использованных источников» записывают с абзацного отступа с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая.

Заголовки структурных частей рекомендуется выделять полужирным шрифтом.

Листы ПЗ должны иметь сквозную нумерацию от титульного листа до последней страницы, включая рисунки , таблицы и т.п, расположенные внутри основного текста и в приложениях. На титульном листе и задании на проект ( работу) номер страницы не ставится, но они входят в общее количество.

### **Иллюстрации**

Иллюстрации ( чертежи, рисунки, схемы) именуют рисунками. Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрацию следует располагать после текста, в котором впервые дана на нее ссылка, или на следующей странице. Допускается помещать иллюстрации в конце текста ПЗ. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД, СПДС.

Иллюстрации , за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Допускается нумерация иллюстраций в пределах раздела. В этом случае номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделенных точкой.

**Пример** –рис.1.1, рис.1.2 и т.д.

Иллюстрации при необходимости могут быть наименованы, которое помещают под ними и располагают следующим образом:

**Пример** – Рис.1 – Расчетная схема вала и эпюры моментов

При необходимости под иллюстрацией помещают поясняющие данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок», порядковый номер и наименование помещают после поясняющих данных.

Иллюстрации, как правило, следует выполнять на одной странице. Если рисунок не уместится на одной странице, допускается переносить его на другую страницу. При этом наименование рисунка помещают на первой странице, поясняющие данные - на каждой странице и под ними пишут: «Рисунок ..., лист,,».

Если в тексте есть ссылка на составные части изделия, то на иллюстрации должны быть указаны номера позиций этих составных частей в пределах данной иллюстрации, которые располагают в возрастающем порядке.

### Таблицы

Цифровой материал, как правило, следует оформлять в виде таблиц (рисунок 15). Название таблицы, при его наличии, должно отражать его содержание, быть точным и кратким. Название таблицы выполняют строчными буквами (кроме первой прописной) и размещают над таблицей. Заголовок не подчеркивают и точку в конце заголовка не ставят. Слово «Таблица» начинают от левого края таблицы.

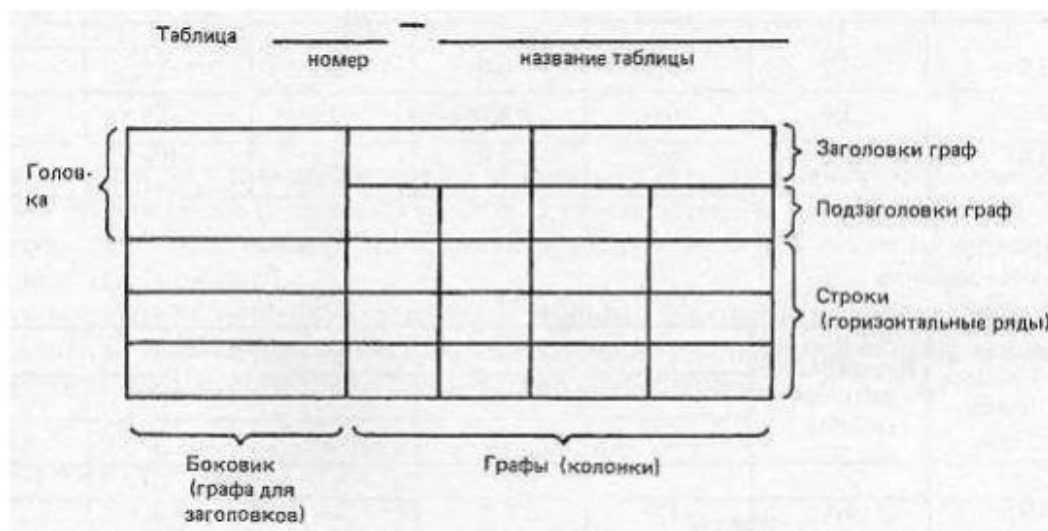


Рисунок 15. Таблица пример

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если в тексте ПЗ одна таблица, она должна быть обозначена «Таблица 1».

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы ПЗ должны быть приведены по ссылки в тексте.

Заголовки граф и строк таблиц начинают с прописных букв, а подзаголовки граф со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком. Если подзаголовки граф имеют самостоятельное значение, то их начинают с прописной буквы. Заголовки граф и строк указывают в единственном числе. В конце заголовков и подзаголовков точки не ставят.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф.

Для сокращения текста заголовков и подзаголовков граф отдельные понятия заменяют буквенными обозначениями, установленными ГОСТ 2.316-2008 или другим обозначениям, если они пояснены в тексте или приведены на иллюстрациях, например: D-диаметр, H- высота, L- длина.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями. Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы.

Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки таблицы, допускается проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана на нее ссылка, или на следующей странице, а при необходимости, в приложении к ПЗ.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа так, чтобы ее можно было читать, повернув ПЗ по часовой стрелке.

Если строки или графы таблицы выходят за формат листа, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик.

При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номерами граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Слово «Таблица» указывает один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями слева пишут слова «Продолжение таблицы» с указанием номера (обозначения) таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, то в первой части таблицы нижней горизонтальной черту, ограничивающую таблицу, на проводят.

Графу «№п/п» ( номер по порядку) в таблицу не включают. Нумерация граф таблицы арабскими цифрами допускается в случаях, если в тексте ПЗ имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

При необходимости нумерации показателей, параметров и других данных порядковые номера следует указывать в боковине таблицы перед наименованием.

### Пример

Таблица \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_  
номер название таблицы

Ш	А	П	К	А
1	2	3	4	5

Продолжение таблицы \_\_\_\_\_  
(указать номер таблицы)

1	2	3	4	5



Обозначение единицы физической величины, общей для всех данных в строке, следует указывать после ее наименования. Допускается, при необходимости, обозначение единицы физической величины выносить в отдельную графу ( строку).

### **Формулы и обозначения единиц величин**

В формулах в качестве символов применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами или общепринятые в научно-технической литературе или научно-технической документации (НТД).

Формулы следует выделять из текста свободными строками. Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не уменьшается в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=) и после знаков плюс (+) , минус (-), умножения ( $\times$ ) , деления (:) или других математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

При большом количестве формул в расчетной части ПЗ допускается не выделять формулы свободными строками или выделять только сверху.

Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, приводят непосредственно под формулой с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где», без двоеточия после того.

Формулы а ПЗ, за исключением формул, помещаемых в приложении, должны нумероваться сплошной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Одну формулу обозначают  $-(1)$ .

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (3.1).

В многострочной формуле номер ставится после последней строки. При обозначении одним номером группы формул номер ставится за фигурной скобкой против середины этой группы.

Формулы, за которые отсутствие ссылки в тексте, допускается не нумеровать.

Обозначение единиц величин принятых в формуле символов указываются в том числе, когда по этой формуле ведется расчет. Обозначение единицы указывается после расшифровки значения символа через запятую.

После пояснения формулы в новой строке повторяется формула с подстановкой вместо буквенных значений числовых значений величин, а в конце, после знака равенства, приводится результат с обозначением единицы величины.

### Пример

Среднюю скорость движения локомотива  $V$ , км/ч, определяется по формуле:

$$V = \frac{3.6 \times s}{t},$$

где  $s$ - пройденный путь, м;

$t$ - время движения, с.

$$V = \frac{3.6 \times 100}{5} = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

В учебной документации допускается подстановку числовых значений приводить после формулы в буквенном виде.

Порядок изложения в ПЗ математических уравнений или неравенств такой же, как и формул. Математические выражения, которые не представляют собой уравнения, могут быть вписаны прямо в строке текста независимо от их размера.

В обозначениях единиц точка, как знак сокращения, не ставится.

### Пример – мм, км, ч, мин

Числовые значения величин с обозначением единиц счета и физических величин следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единицы счета от единицы до девяти – словами.

### Примеры

1. Объем 30 м<sup>3</sup>.
2. Зазор не более 2 мм.
3. Катушку пропитать два раза.

Перед числом, имеющим обозначение единицы физической величины, предлог «в» или тире «-» не ставится.

## Примеры

1. Напряжение 220 В.
2. Зазор 2 мм.

Обозначение единиц величин недопустимо отделять от числового значения (переносить на разные строки и станицы), кроме единиц физических величин, помещаемых в таблицах ПЗ, выполненных машинописным способом. Между последней цифрой числа и обозначением единицы физической величины следует оставлять пробел, например: 100кВт, 80%, 20°С.

При указании значений величин с предельными отклонениями следует заключать числовые значения с предельными отклонениями в скобках, а обозначения единиц физической величины помещать после скобок или проставлять его после числового значения величины и после ее предельного отклонения, например :  $(100 \pm 0,1)$  мм; 50 г  $\pm 1$ г.

При перечислении в тексте ПЗ ряда числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, ее обозначение указывают только после последнего числового значения. При этом в ряду величин осуществляется выравнивание числа знаков после запятой.

### Пример – 1,50; 1,75; 2,00 мм

Если в тексте ПЗ приводится диапазон числовых значений физической величины, выраженных в одной и той же единице физической величины, то обозначение этой единицы указывается за последним числовым значением диапазона.

## Примеры

1. От 2 до 5 мм.
2. От -40 до +50 °С.

Буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, следует определять точками на средней линии, как знаками умножения, например: Н×м; А×м<sup>2</sup>.

В буквенных обозначениях отношений единиц в качестве знака деления должна применяться только одна косая или горизонтальная черта.

При применении косой черты обозначения единиц в числителе и знаменателе следует помещать в одну строку, а произведение обозначений единиц в знаменателе следует заключать в скобки, например, Вт/(м<sup>2</sup>×К).

Дробные числа в ПЗ необходимо приводить в виде десятичных дробей. При невозможности выразить числовое значение в виде десятичной дроби, допускается записывать в виде простой дроби в одну строчку через косую черту, например, 5/26.

### **Сокращения**

В тексте ПЗ допускается сокращения, которые применяются только с цифровыми значениями, например, с- страницы; г- год; гг. -годы; мин- минимальный; макс- максимальный; абс .-абсолютный; отн. – относительный, а также общепринятые сокращения, установленные правилами русской орфографии и ГОСТ 7.12-2011, например, т.е. – то есть ; т.д. – так далее; т.п. – тому подобное; и др.- и другие; пр.- прочие; см.- смотри; номин.- номинальный; наим.- наименьший; наиб.- наибольший; св.- свыше и др.

Допускается применение сокращений, установленных только в данной ПЗ. Полное название сокращения приводится при первом упоминании в тексте с указанием в скобках сокращенного названия или аббревиатуры.

Если в ПЗ принята особая система сокращения слов и наименований, то их перечень должен быть приведен в структурном элементе «Обозначения и сокращения».

### **Список использованных источников**

Список должен содержать сведения об источниках, использованных при выполнении проекта ( работы). Сведения располагают в порядке появления ссылок на источники в тексте ПЗ, нумеруют арабскими цифрами без точки и записывают с абзацного отступа.

Сведения об источниках приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003. При составлении учебной документации в библиографических описаниях документов допускается не приводить факультативные элементы, указывая только обязательные элементы описания, обеспечивающие идентификацию документа.

### **Примеры библиографических записей использованных источников**

## **1. Книги**

### **1.1. Один автор**

Почаевец В.С. Электрические подстанции / В.С. Почаевец – М.: ФГБОУ «УМЦ ЖДТ», 2012.

### **1.2. Два автора**

Марикин А.Н. Новые технологии в сооружении и реконструкции тяговых подстанций / А.Н. Марикин, А.В.Мизинцев.- М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008-220 с.

### **1.3. Три автора**

Фигурнов Е.П. Релейная защита фидеров контактной сети однофазного переменного тока / Е.П. Фигурнов, Ю.И. Жарков, Т.Е. Петрова. – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2009-107 с.

### **1.4. Четыре и более авторов**

Электроснабжение нетяговых потребителей железнодорожного транспорта. Устройство, обслуживание, ремонт: учебное пособие / В.Е.Чекулаев [и др.]- М.: ГОУ «Учебно- методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» , 2010-304 с.

## **2. Стандарты, правила, нормы, методики, инструкции**

2.1. Инструкция № 4054 «Инструкция по безопасности при эксплуатации электроустановок тяговых подстанций и районов электроснабжения железных дорог» (4054) от 18.03.2008 г. – М.: ОАО «РЖД», 2008.

