

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



А.В. Аверина

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по выполнению контрольной работы

ПМ.02 Техническое обслуживание оборудования электрических  
подстанций и сетей

МДК 02.02 «Устройство и техническое обслуживание сетей  
электропитания»

для специальности  
13.02.07 Электропитание (по отраслям)

*базовый уровень  
среднего профессионального образования  
заочная форма обучения на базе среднего общего образования*

Улан-Удэ 2024

УДК 621.331:621.311.4 (07)

ББК 39.217

А-194

Аверина А.В.

**А -194                    ПМ.02 Техническое обслуживание оборудования  
электрических**

**подстанций и сетей. МДК 02.02 Устройство и техническое обслуживание  
сетей электроснабжения [Текст]:** Методические указания по выполнению  
контрольной работы по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по  
отраслям) / А.В. Аверина; Улан-Удэнский колледж железнодорожного  
транспорта ИрГУПС. – Улан-Удэ: Сектор информационного обеспечения  
учебного процесса УУКЖТ ИрГУПС, 2023. – 26 с.

В методических указаниях описываются требования к выполнению контрольной работы, а также задания и методические указания для решения задач. Указания содержат три задачи, 47 вопросов для контрольной работы, выполняемой по вариантам, темы практических работ.

Данные методические указания предназначены для обучающихся заочной формы обучения среднего профессионального образования специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям).

УДК 621.331:621.311.4 (07)

ББК 39.217

© Аверина А.В., 2024

©УУКЖТ ИРГУПС, 2024

## Содержание

	Пояснительная записка	3
	Тематический план дисциплины	7
1	Общее положение	8
2	Требования к выполнению контрольной работы	8
3	Задания для выполнения контрольной работы	11
4	Методические указания для решения задач	17
5	Список рекомендуемой литературы	26

## Пояснительная записка

Методические указания по выполнению контрольной работы разработаны в соответствии с рабочей учебной программой дисциплины МДК 02.02 «Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения» для специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), и требованиями к результатам освоения программы подготовки специалистов среднего звена ФГОС СПО по данной специальности. Методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения.

Цель данных методических указаний – оказать помощь студентам при выполнении контрольной работы и закреплении теоретических знаний по основным разделам дисциплины.

Выполнение контрольной работы направлено на формирование общих и профессиональных компетенций, закрепление знаний, освоение необходимых умений и способов деятельности, формирование первоначального практического опыта:

- ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.
- ОК 02. Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.
- ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях.
- ОК 04. Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде.
- ОК 05. 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, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрелигиозных отношений, применять стандарты антикоррупционного поведения.

ОК 07. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.

ОК 08. Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности.

ОК 09. 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.

В методических указаниях представлены: тематический план, общие положения, требования к выполнению контрольной работы, выбор задания для контрольной работы, теоретические вопросы, список рекомендуемой литературы.

#### **Критерии оценки за контрольную работу:**

В целях повышения качества выполняемых контрольных работ

преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент:

представил контрольную работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями; использовал рекомендованную и дополнительную учебную литературу; при выполнении заданий показал высокий уровень знания по заданной тематике, проявил творческий подход при ответе на вопросы, умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие выводы; выполнил работу грамотно с точки зрения поставленной задачи, т.е. без ошибок и недочетов или допустил не более одного недочета.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент:

представил контрольную в установленный срок и оформил ее в соответствии с изложенными требованиями; использовал рекомендованную и дополнительную литературу; при выполнении заданий показал хороший уровень знания материала по заданной тематике, практически правильно сформулировал ответы на поставленные вопросы, представил общее знание информации по проблеме; выполнил работу полностью, но допустил в ней: а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета б) или не более двух недочетов.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент:

представил работу в установленный срок, при оформлении работы допустил незначительные отклонения от изложенных требований; показал достаточные знания по основным темам контрольной работы; использовал рекомендованную литературу; выполнил не менее половины работы или допустил в ней а) не более двух грубых ошибок, б) или не более одной грубой ошибки и одного недочета, в) или не более двух-трех негрубых ошибок, г) или одной негрубой ошибки и трех недочетов, д) или при отсутствии ошибок, но при наличии 4-5 недочетов.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется:

когда число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «зачтено (удовлетворительно)» или если правильно выполнено менее половины работы; если студент не приступал к выполнению работы или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.

#### Тематический план дисциплины

Раздел/тема дисциплины	Объем аудиторных часов при заочной форме обучения	
	Всего	В том числе практических и лабораторных занятий
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Тема 5.1 Правила устройства электроустановок	6	4
<b>Итого:</b>	<b>10</b>	<b>4</b>

## 1. Общие положения

Выполнение контрольной работы по дисциплине МДК 02.02 «Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения» является промежуточным этапом подготовки специалистов железнодорожного транспорта. Контрольная работа должна представлять собой самостоятельное и законченное исследование студента, результат анализа современной литературы по заданным теоретическим и практическим заданиям.

Содержание контрольной работы и ее защита должны показать способность студента к самостоятельной практической работе по дисциплине.

### 2. Требования к выполнению контрольной работы

Студенты должны быть внимательными при определении варианта. Работа, выполненная не по своему варианту, возвращается студенту без проверки и зачета.

К выполнению работ следует подходить творчески, используя рекомендованную литературу. Ответы должны быть полными по существу, краткими по форме, без механического переписывания материала учебника или учебных пособий.

Отвечая на вопросы контрольного задания, студент должен показать знания программного материала, при необходимости увязать их с деятельностью конкретных организаций.

Контрольная работа выполняется в тетради, страницы которой нумеруются. На каждой странице тетради следует оставлять поля шириной 4-5 см, а для рецензии (заключения) преподавателя 2-3 свободные страницы в конце тетради (вложенные листы должны быть закреплены).

При оформлении контрольной работы на обложку тетради наклеивается заполненный студентом-заочником бланк. На бланке указываются: фамилия,



имя и отчество студента, шифр (номер зачетки), наименование дисциплины в соответствии с учебным планом, вариант контрольной работы, адрес, место работы, занимаемая должность. При заполнении реквизитов сокращения слов не допускаются.

Работа должна быть выполнена аккуратно, четким, разборчивым почерком. Сокращения слов и подчеркивания в тексте не допускаются. Общий объем работы не должен превышать 18 страниц рукописного текста.

В конце работы приводится перечень используемых источников, где сначала указываются нормативные документы (законы, указы, постановления, приказы, инструкции и т.д.), затем в алфавитном порядке учебная литература и справочные пособия с указанием фамилии и инициалов автора, наименования источника, места и года его издания; затем ставится дата выполнения работы и подпись студента.

При выполнении контрольной работы студент должен показать умения пользоваться учебной литературой при ответе на теоретические задания, применять формулы в расчетах при решении задач, анализировать конкретные экономические ситуации, давать оценку полученным результатам.

На каждую контрольную работу преподаватель дает письменное заключение (рецензию) и выставляет оценки.

5 «отлично» — четкие и конкретные ответы на теоретические вопросы; знание формул и умение правильно их применять в решении задач; самостоятельность исчислений; умение анализировать результаты; умение самостоятельно делать выводы; отсутствие ошибок при проведении расчетов;

4 «хорошо» — полностью раскрыты теоретические вопросы; знание формул и умение их правильно применять; самостоятельность исчислений; незначительные ошибки в решениях, в формулировке выводов;

3 «удовлетворительно» — неполные ответы на теоретические вопросы; затруднения в знании формул и умении их правильно применять; задача

решена не полностью или с ошибками; работа оформлена небрежно;

2 «неудовлетворительно» — неправильные ответы на теоретические вопросы; неверное решение; отсутствие выводов; незнание формул; работа выполнена небрежно.

Работа с неудовлетворительной оценкой возвращается студенту с рецензией, содержащей рекомендации по устранению недостатков.

По получении проверенной контрольной работы студент должен внимательно ознакомиться с исправлениями и замечаниями, прочитать заключение преподавателя, сделать работу над ошибками и повторить недостаточно усвоенный материал в соответствии с рекомендациями преподавателя. После этого студент выполняет работу повторно и отправляет вместе с первой на проверку.

## Задания для выполнения контрольной работы

Задание на контрольную работу составлено в 50 вариантах. Номер варианта определяется двумя последними цифрами шифра студента по таблице 1.

Таблица 1 - варианты контрольной работы

Две последние цифры шифра	Номер варианта	Номера вопросов и задач	Две последние цифры шифра	Номер варианта	Номера вопросов и задач
01 51	1	1,11	26 76	26	6,18
02 52	2	2,12	27 77	27	7,19
03 53	3	3,13	28 78	28	8,20
04 54	4	4,14	29 79	29	9,11
05 55	5	5,15	30 80	30	10,12
06 56	6	6,16	31 81	31	1,14
07 57	7	7,17	32 82	32	2,15
08 58	8	8,18	33 83	33	3,16
09 59	9	9,19	34 84	34	4,17
10 60	10	10,20	35 85	35	5,18
11 61	11	1,12	36 86	36	6,19
12 62	12	2,13	37 87	37	7,20
13 63	13	3,14	38 88	38	8,11
14 64	14	4,15	39 89	39	9,12
15 65	15	5,16	40 90	40	10,13
16 66	16	6,17	41 91	41	1,15
17 67	17	7,18	42 92	42	2,16
18 68	18	8,19	43 93	43	3,17
19 69	19	9,20	44 94	44	4,18
20 70	20	10,11	45 95	45	5,19
21 71	21	1,13	46 96	46	6,20
22 72	22	2,14	47 97	47	7,11
23 73	23	3,15	48 98	48	8,12
24 74	24	4,16	49 99	49	9,13
25 75	25	5,17	50 00	50	10,14

При выполнении контрольной работы следует:

- переписывать условие вопроса, задачи, исходные данные;
- текст писать грамотно, разборчиво, шрифтом 14 Times New Roman;
- кратко пояснять порядок вычислений;
- пояснять параметры в формулах;
- обращать внимание на единицы измерения;
- графический материал оформлять по ГОСТу

### ЗАДАЧИ № 1-10

1. Рассчитать экономичное сечение  $F_{ЭК}$  проводов воздушной трехфазной линии с одной нагрузкой на ее конце.
2. Выбрать стандартное сечение линии  $F_{НОМ}$  и проверить его по условию нагрева.
3. Для линии выбранного сечения определить:
  - а) потерю фазного  $\Delta U_{\phi}$  и линейного  $\Delta U_{л}$  напряжения в кВ;
  - б) относительную потерю напряжения в %.
4. Проверить выбранное сечение по допустимой потере напряжения.
5. По результатам расчетов начертить векторную диаграмму напряжений и тока в проводе линии для одной фазы.

Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные	Номера задач '									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наибольшая мощность нагрузки в конце линии $S_2$ , кВт	650	2500	10000	25000	5500	350	990	4500	4900	22000
Коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi_2$	0,89	0,9	0,91	0,93	0,92	0,92	0,9	0,91	0,9	0,92
Номинальное напряжение линии и $U_{НОМ}$ , кВ	6	10	35	110	35	6	10	35	35	110
Длина линии $L$ , км	5	8	25	60	30	5	6	33	28	70
Число часов использования максимума нагрузки $T_{max}$ , ч/год	2500	3500	5500	2000	4000	4500	2800	6000	2900	3800
Допустимая относительная потеря напряжения $e_{доп}$ , %	8	10	7	6	9	7	6	8	9	10
Материал проводов линии	Алюминий (А)					Сталеалюминий (АС)				

### ЗАДАЧИ № 11-20

1. Рассчитать количество подвесных тарельчатых изоляторов в гирлянде, исходя из значения удельной длины пути утечки гирлянды  $\lambda$ .

2. Рассчитать количество подвесных тарельчатых изоляторов в гирлянде по условию воздействия коммутационных перенапряжений.

3. Пояснить обозначение и параметры указанного типа изолятора.

Исходные данные приведены в таблице 3

Таблица 3

Наименование исходных данных	Номера задач									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номинальное напряжение линии $U_{ном}$ , кВ	35	110	220	35	110	220	330	35	110	220
Тип изолятора	ПФ70-В	ПС70-Д	ПСГ120-А	ПФ160-А	ПС120-А	ПСГ70-А	ПС160-Б	ПФГ70-А	ПС160-В	ПС210-Б
Удельная длина пути утечки $\lambda$ , см/кВ	2,25	1,9	2,25	2,6	1,6	2,25	1,3	3,5	1,3	1,6
Коэффициент эффективности использования длины пути утечки $K_{\text{и}}$	1,1	1,0	1,25	1,2	1,15	1,2	1,15	1,25	1,2	1,1
Средняя расчетная мокроразрядная напряженность $E_{\text{мр}}$ , кВ/см	2,5	2,6	2,6	2,4	2,3	2,5	2,3	2,0	2,4	2,3

Задание №4. Выбор вопросов осуществляется по последней цифре зачетной книжки и первой букве фамилии (таблица 4).

Таблица 4 - Выбор вопросов для выполнения задания №4

Последняя цифра зачет. кн.	Номера теоретических вопросов													
	Первая буква фамилии													
	А,Х	Б,Э	В,О	Г,С	Е,Т	Ж,Ш	З,И	К,Ц	Л,Ч	М,Ю	Н,Ф	П,Я	Р,Щ	Д,У
0;7	1,30	2,31	3,32	4,33	5,34	6,35	7,36	8,37	16,38	17,39	18,40	22,41	23,42	24,43
1;5	25,44	26,45	27,46	28,47	29,48	1,48	2,47	3,46	4,45	5,44	6,43	7,42	8,41	40,16
2;6	17,39	38,18	22,37	23,36	24,35	25,34	26,33	27,32	28,31	29,30	2,30	3,31	4,32	5,33
3;8	6,34	7,35	8,36	16,37	17,38	18,39	22,4	23,41	24,42	25,43	26,44	27,45	28,46	29,47
4;9	26,43	3,30	4,31	5,32	6,33	7,34	8,35	16,36	17,37	18,38	22,39	23,4	24,41	25,42

Вопросы:

1. Приведите классификацию изоляторов по назначению, изобразите их. Укажите применяемые изоляторы и особенности строительства ВЛ.
2. Приведите классификацию высоковольтных линий (ВЛ) по назначению. Укажите достоинства и недостатки. Приведите эскиз профиля металлической опоры ВЛ.
3. Укажите требования к линейным проводам, применяемым на ВЛ. Опишите, какие провода воздушных линий нашли применение на железнодорожном транспорте. Приведите эскиз линейного провода марки АС-35.
4. Опишите этапы проектирования и последовательность выполнения работ при строительстве ВЛ. Поясните требования к выбору и подготовке трассы.
5. Поясните требования, предъявляемые к высоковольтным линиям в случае пересечения полотна железной дороги. Приведите эскиз АП-образной опоры для удлинённых пролётов с указанием оборудования.
6. Приведите правила техники безопасности при работах на высоковольтных линиях до 10 кВ. Приведите эскиз опоры ВЛ марки СНЦ (ОСНЦ) с указанием оборудования.
7. Поясните, отчего зависит количество изоляторов на высоковольтных линиях с металлическим профилем опор свыше 10 кВ. Укажите марку применяемых изоляторов. Приведите эскиз подвесного изолятора.
8. Опишите последовательность изготовления ж/б опор, укажите марку. Опишите, как производят рытьё котлованов под опоры и установку ж/б опор в котлованы по средством механизации. Правила техники безопасности при выполнении работ.
9. Опишите, как производится установка опоры высоковольтной линии с выше 35 кВ по средством механизации. Правила техники безопасности при выполнении работ.

10. Приведите типы, виды и конструкции промежуточных опор высоковольтных линий с выше 10 кВ. Укажите материалы. Приведите рисунки.
11. Приведите классификацию ВЛ СЦБ. Укажите достоинства и недостатки. Приведите эскиз типового профиля силовой опоры одноцепной высоковольтно-сигнальной линии. Поясните назначение оборудования ВЛ СЦБ.
12. Укажите основные профили опор воздушных линий связи. Опишите, как производят рытьё котлованов под опоры и установку ж/б и деревянных опор в котлованы. Правила техники безопасности при выполнении работ.
13. Приведите классификацию кабельных линий по назначению. Приведите эскиз силового кабеля, бронированного стальными лентами.
14. Опишите конструкцию силовых и контрольных кабелей. Приведите эскиз силового кабеля.
15. Расшифруйте следующие маркировки кабелей: СБВГ, СБПБ, СБПБГ, СБПС, АВВГ, АПсВГ, АСРГ, КРСГ.
16. Перечислите назначение, места установки и устройство оборудования и арматуры кабельных линий.
17. Приведите виды и назначение кабельных материалов для силовых кабелей; буквенное обозначение силовых кабелей.
18. Приведите основные требования техники безопасности при работах на кабельных линиях: рытьё траншей, транспортировка и прокладка кабелей.
19. Опишите основные виды работ при монтаже силового кабеля в силовых шкафах и кабельных муфтах.
20. Опишите основные виды работ при монтаже силовых кабелей напряжением до 10 кВ.
21. Приведите основные требования техники безопасности при разделке

- силовых кабелей и работе с кабельными массами.
22. Перечислите основные виды повреждений и коррозии кабелей, и меры по защите кабелей от различных видов коррозии.
  23. Осмотры опор воздушных линий электропередач.
  24. Пересечения и сближения ВЛ между собой и с устройствами связи.
  25. Защита ВЛ от перенапряжений и заземление.
  26. Пересечения и сближения ВЛ с автомобильными и железными дорогами.
  27. Прокладка кабельной линии в блоках, трубах и железобетонных лотках.
  28. Прокладка кабельной линии в кабельных сооружениях.
  29. Способы соединения кабелей.
  30. Способы расположения проводов на опоре.
  31. Нормы пересечений проводов ВЛ между собой.
  32. Заземляющие устройств воздушных линий.
  33. Габариты воздушных линий электропередач.
  34. Нормы пересечений проводов ВЛ с железными и автомобильными дорогами.
  35. Способы оконцевания кабелей.
  36. Назовите основные типы воздушных линий по механической прочности и поясните, чем они отличаются друг от друга.
  37. Перечислите основные виды опор воздушных линий. Укажите их назначение и места установки.
  38. Перечислите арматуру воздушных линий. Укажите её назначение и маркировку.
  39. Защитные оболочки, их назначение, материалы изготовления, маркировка.
  40. Приведите виды муфт, применяемых в кабельных линиях.
  41. Эксплуатация воздушных линий. Правила приемки в эксплуатацию, порядок осмотров.



42. Правила безопасности при обслуживании воздушных линий.
43. Виды и сроки проверок воздушных линий.
44. Средства борьбы с гололедом и вибрацией проводов.
45. Техническое обслуживание кабельных линий.
46. Испытания высоковольтного кабеля.
47. Способы определения мест повреждения кабельной линии.  
Профилактические испытания кабелей. Применение испытательной аппаратуры.
48. Безопасность персонала при испытаниях кабельных линий.  
Оформление документации по результатам испытаний.

#### Методические указания для выполнения задач

В задачах №№ 1-10 предлагается освоить принцип электрических расчетов сетей: выбор площади сечения проводов по экономической плотности тока, по длительно допустимой нагрузке (по нагреву), проверка выбранного сечения по допустимой потере напряжения. Воздушные линии проверяются по условию отсутствия коронирования, а кабельные линии - на термическую стойкость токам короткого замыкания.

Для выбора сечения линии определяется величина наибольшего тока, протекающего в ней при передаче мощности  $S_2$ :

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_2}{\sqrt{3} * U_2 * \cos \varphi_2}, \text{А}$$

где  $U_2$  - номинальное напряжение потребителя, равное номинальному напряжению линии  $U_{\text{ном}}$ , кВ.

Экономичное сечение  $F_{\text{ЭК}}$  соответствует минимальным ежегодным расходам, оно определяется по формуле:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{раб}}}{i_{\text{ЭК}}}, \text{мм}^2$$

где  $i_{эк}$  - нормированное значение экономической плотности тока,  $A/mm^2$ .

Экономичная плотность тока зависит от типа проводника и продолжительности использования максимума нагрузки  $T_{max}$ , определяется для заданных расходных данных по таблице 6.

Таблица 6

Проводники	Экономичная плотность тока, $A/mm^2$ , при числе часов использования максимума нагрузки, $T_{max}$ ч/год		
	1000-3000	3000-5000	более 5000
Алюминиевые неизолированные провода	1,3	1,1	1

Сечение, полученное в результате расчета, округляется до ближайшего стандартного  $F_{ном} \sim F_{эк}$ .

Некоторые значения стандартных сечений и соответствующая длительно допустимая нагрузка  $I_{доп}$  приведены в таблице 7.

Таблица 7

Материал проводов	Алюминий (А)					Сталеалюминий (АС)				
	70	45	20	50	85	35	50	70	95	120
Номинальное сечение $S_{ном}$ , мм										
Допустимая длительная нагрузка $I_{доп}$ , А	265	325	375	440	500	175	40	65	30	380
Индуктивное сопротивление $x_0$ , Ом/км	0,388	0,377	0,393	0,363	0,355	0,403	0,392	0,382	0,371	0,691
Активное сопротивление $r_0$ , Ом/км	0,45	0,33	0,27	0,21	0,17	0,85	0,65	0,46	0,33	0,27

Проверка сечения провода по нагреву выполняется по длительно допустимому току по условию:

$$I_{доп} \geq I_{раб}$$

Для определения потери напряжения необходимо знать параметры линии: активное и индуктивное сопротивления, активную и реактивную проводимости.

Индуктивное сопротивление линии обусловлено наличием вокруг проводов переменного магнитного поля, создаваемого переменным током.

Активная проводимость линии вызвана коронированием и утечкой через изоляцию. Реактивная проводимость обусловлена наличием емкости каждого провода по отношению к другим проводам линии и к земле.

Электрический расчет местных сетей проводится без учета активной и реактивной проводимостей.

Далее следует начертить схему трехфазной линии с одной нагрузкой на конце (рис. 1а). Приняв, что нагрузка фаз линии и угол сдвига между током и напряжением в фазах одинаковы, расчет трехфазной линии можно вести по одному из ее проводов (фаз). Поэтому схема замещения вычерчивается для одной фазы (рис. 1б).

При длине линии  $L$  активное сопротивление каждого провода  $R = r_0 * L$ , а индуктивное сопротивление  $X_L = x_0 * L$ , где  $r_0$  и  $x_0$  - активное и индуктивное сопротивление 1 км провода определяется по таблице 6 методических указаний соответственно выбранному сечению  $S_{ном}$ .

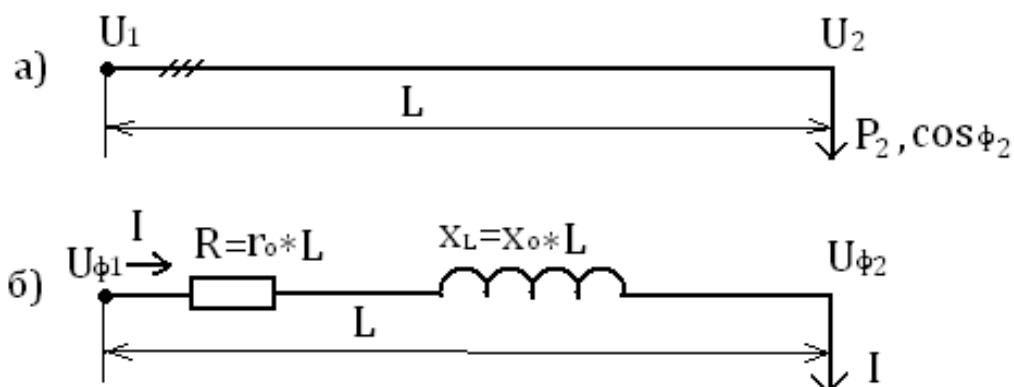


Рисунок 1.

При прохождении тока  $I_{раб}$  (на рис. 1, 2 упрощено обозначение  $I$ ) по проводу линии, в сопротивлениях  $R$  и  $X_L$  происходит потеря фазного напряжения:

$$\Delta U_{\phi} = I_{раб} * R * \cos \varphi_2 + I_{раб} * X_L * \sin \varphi_2.$$

Потеря линейного напряжения:

$$\Delta U_{л} = \sqrt{3} * \Delta U_{\phi} = \sqrt{3} * I_{раб} * (R * \cos \varphi_2 + X_L * \sin \varphi_2).$$

Вычислив  $U_{л}$ , находят относительную потерю напряжения, т.е. отношение потери напряжения  $U_{л}$  к номинальному напряжению линии в процентах:

$$e = \frac{\Delta U_{л}}{U_{ном}} * 100\%.$$

Проверка выбранного сечения по допустимой потере напряжения состоит в сопоставлении полученной в расчете величины относительной потери напряжения  $e$  с ее допустимым значением  $e_{доп}$ , заданным в таблице 2.

Сечение проводов линии проходит по допустимой потере напряжения и считается выбранным окончательно, если соблюдено условие:

$$e \leq e_{доп};$$

если это условие не выдержано, следует принять большее значение  $S_{ном}$  и повторить расчет  $U_{л}$  и  $e$ .

В заключение задачи следует начертить соответственно расчетным данным в масштабе векторную диаграмму напряжений и тока в проводе линии (рис.2). Принять масштаб по напряжению:

при  $U_{ном}=6кВ$   $M_u=0,5$  кВ/см

при  $U_{ном}=10кВ$   $M_u=0,5$  кВ/см

при  $U_{ном}=35кВ$   $M_u=2$  кВ/см

при  $U_{ном}=110кВ$   $M_u=6$  кВ/см

Масштаб по току  $M_I=30А/см$ .

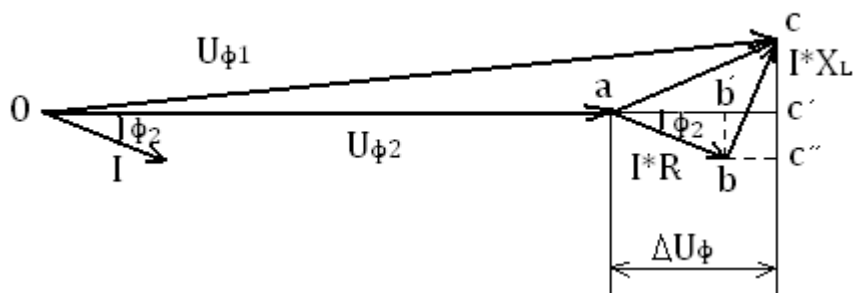


Рисунок 2

Для построения векторной диаграммы (рисунок 2) от точки  $O$  по горизонтальной оси в заданном масштабе откладывается величина фазного напряжения в конце линии  $U_{\phi 2}$  отрезок  $oa$  и ток нагрузки  $I_{\text{раб}}$ , сдвинутый по фазе на угол  $\varphi_2$ . Через точку  $a$  проводится прямая, параллельная вектору тока и на ней от точки  $a$  откладывается величина активного падения напряжения в линии  $I \cdot R$  (отрезок  $ab$ ). Через точку  $b$  проводится прямая линия перпендикулярно отрезку  $ab$  и от точки  $b$  откладывается величина индуктивного падения напряжения в линии  $I \cdot X_L$  (отрезок  $bc$ ). Соединяя точки  $o$  и  $c$ , получаем вектор  $oc$  напряжения в начале линии  $U_{\phi 1}$

Падением напряжения в линии называется геометрическая разность между напряжениями в начале и конце линии, которая равна отрезку  $ac$ . Наибольший практический интерес представляет потеря напряжения, равная алгебраической разности напряжений в начале и конце линии.

Для выполнения задач №№ 11-20 следует изучить конструкцию воздушных линий электропередачи.

На воздушных линиях 110 кВ и выше должны применяться только подвесные изоляторы. При этом на воздушных линиях, питающих тяговые подстанции, и на больших переходах должны применяться стеклянные изоляторы. На ВЛ 35 кВ могут применяться как штыревые, так и подвесные стеклянные или фарфоровые изоляторы.

Основные технические характеристики подвесных изоляторов указаны в таблице 8.

Таблица 8

Тип изолятора	Размеры, мм		Длина пути утечки $L_{пу}$ , мм	Напряжение, кВ, не менее		Электро механическая разрушающая нагрузка, кН, не менее
	Строительная высота, Н	Диаметр, Д		Пробивное изоляционной среде	Выдерживаемое по дождём	
ПФ70-В	134	270	355	130	32	68,6
ПФ160-А	173	280	385	130	40	160
ПФГ70-А	130	270	400	130	40	70
ПС70-Д	127	255	290	130	40	70
ПСГ70-А	127	270	394	130	40	70
ПСГ120-А	146	300	425	130	48	120
ПС120-А	146	260	330	130	45	120
ПС160-Б	170	280	370	130	45	160
ПС210-Б	170	320	375	130	42	210
ПС160-В	146	280	370	130	45	160

При маркировке изоляторов буквы и цифры означают:

П - подвесной;

С - стеклянный;

Ф – фарфоровый

Г – для районов с загрязненной атмосферой,

Число (70,120 и др.) – минимальная электромеханическая нагрузка, кН;

Последняя буква (А,Б,В и Д) – вариант конструкции изолятора.

Для получения нужных электрических характеристик изоляции линии электропередач (сухоразрядного и мокроразрядного напряжения) подвесные изоляторы комплектуются в гирлянды. Для обеспечения надежной работы ВЛ при рабочем напряжении количество изоляторов в гирлянде вычисляется, исходя из значения удельной длины пути утечки гирлянды ( $\lambda$ ) с учетом коэффициента эффективности использования длины пути утечки изоляторов  $K_{и}$ . Удельная длина пути утечки  $\lambda$  (см/кВ) представляет собой отношение длины пути утечки к наибольшему рабочему линейному напряжению. Ее значение зависит от степени загрязненности атмосферы (I - VI степени). Введением коэффициента эффективности использования длины пути утечки учитывается, что разряд на отдельных участках гирлянды может отрываться от поверхности

изоляторов и развиваться в воздухе, а также учитывается неравномерность загрязнения и увлажнения поверхности изоляторов.

Количество изоляторов в гирлянде ВЛ на металлических и железобетонных опорах определяется по формуле:

$$n = \frac{L}{l_{пу}}, \quad (1)$$

где  $l_{пу}$  - геометрическая длина пути утечки изолятора, см;

$L$  - геометрическая длина пути утечки гирлянды изоляторов, см:

$$L = \lambda * U_{раб\ max} * K_n, \quad (2)$$

где  $U_{раб\ max}$  – наибольшее длительно допустимое рабочее линейное напряжение, кВ, принимается на 5-15 % выше номинального напряжения ВЛ.

Значения  $U_{раб\ max}$  указано в таблице 9.

Таблица 9

Номинальное напряжение линии $U_{ном}$ , кВ	35	110	220	330
Наибольшее длительно допустимое рабочее линейное напряжение, кВ	40,5	126	252	363
Кратность коммутационных перенапряжений $K$	3,5	3,0	3,0	2,7

Гирлянда, выбранная по рабочему напряжению, проверяется по условию воздействия коммутационных перенапряжений.

Число изоляторов в гирлянде определяется по формуле:

$$n = \frac{0,56 * K * U_{раб.маx}}{E_{мр} * H}, \quad (3)$$

где  $K$  - кратность коммутационных перенапряжений указана в таблице 4;

$E_{\text{мр}}$  – средняя расчетная мокроразрядная напряженность, кВ/см;

$H$  – строительная высота изолятора, см.

Учитывая возможность повреждений изоляторов в эксплуатации к полученному числу изоляторов в поддерживающих гирляндах добавляется один запасной.

Порядок расчета:

1. Рассчитать геометрическую длину пути утечки гирлянды изоляторов, см по формуле (2)

2. Рассчитать количество изоляторов в гирлянде ВЛ на металлических и железобетонных опорах по формуле (1)

3. Определить число изоляторов в гирлянде ВЛ по условию воздействия коммутационных перенапряжений, формула (3), учитывая возможность повреждений изоляторов в эксплуатации

4. Пояснить обозначение и параметры указанного типа изоляторов.



### Список рекомендованной литературы

- 1) Мамошин Р.Р Зимакова А.Н Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт ,1980.
- 2) Звездкин М.Н. , Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1985
- 3) Справочник по электроснабжению железных дорог. Под редакцией К. Г. Марквардта. М.: Транспорт, 1980. Т1-256с., Т2-392с.
- 4) Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей / М.: Госэнергонадзор, 2006, 392.
- 5) Ратнер М. П. Могилевский Е. Л. Электроснабжение нетяговых потребителей железных дорог / М.П. Ратнер. М.: Транспорт, 1985. 295
- 6) Рожков Л. Д., Козулин В. С. / Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожков. М.: Энергия, 1980, 596.
- 7) Долдин В.М /Электроснабжение нетяговых потребителей / М.: Пира-Пресс, 2010. 294с.
- 8) Петров Е. Б. Электрические подстанции – методическое пособие по дипломному и курсовому проектированию. М.: Маршрут, 2004, 245.
- 9) А. В. Воронин Электроснабжение электрифицированных железных дорог / М.: Транспорт, 1971, 296 с.

- 10) Почаевец В. С. Электрические подстанции. М.: Желдориздат, 2001, 512 с.
- 11) Прохорский А. А Тяговые и трансформаторные подстанции. М.: Транспорт, 1983, 496 с.
- 12) Гринберг-Басин М. М. Тяговые подстанции: Учебное пособие для техникумов ж.-д. транспорта. М.: Транспорт, 1980, 168с.
- 13) Бей Ю. М Тяговые подстанции. М.: Транспорт, 1986, 319с.
- 14) Правила устройства электроустановок. М.: Главэнергонадзор России, 2010. – 549с.