

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емец Валерий Сергеевич
Должность: Директор филиала
Дата подписания: 30.06.2026 12:32:57
Уникальный программный ключ:
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Рязанский институт (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт»

А.Ю. Мельников, Е.И. Лопатин

Электроэнергетические системы и сети

Практикум

Рязань
2025

УДК 621.311
ББК 31.28
М48

Мельников, А.Ю.

М48 Электроэнергетические системы и сети: практикум /
А.Ю. Мельников. Е.И. Лопатин. – Рязань : Рязанский институт
(филиал) Московского политехнического университета, 2025 – 28 с.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения. Они соответствуют рабочей программе и могут быть использованы для проведения практических занятий по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети».

Методические указания содержат индивидуальные задания по выполнению практических занятий, краткие теоретические и рекомендации по решению задач.

Печатается по решению методической комиссии Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

УДК 621.311
ББК 31.28

© Мельников А.Ю., Лопатин Е.И., 2025
© Рязанский институт (филиал)
Московского политехнического
университета, 2025

Содержание

Введение	4
1 Исходные данные по вариантам.....	6
2 Практическое задание № 1. Расчёт предварительного распределения мощности и выбор номинального напряжения электрической сети	7
3 Практическое задание № 2. Расчёта сечения проводов по экономической плотности тока	10
4 Практическое задание № 3. Проверка выбранных сечений по условиям возникновения коронного разряда и по допустимой токовой нагрузке	12
5 Практическое задание № 4. Расчёт режимов нагрузки кабельных линий	16
6 Практическое задание № 5. Способами плавки гололеда проводов ВЛ и выбором оптимального способа	20
Библиографический список	26

Введение

Настоящий практикум предназначен для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Целью практических занятий по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети» является овладение практическими методиками проектирования электроэнергетических систем и сетей, закрепление и расширение теоретических знаний студентов, умение пользоваться справочными и нормативными материалами для самостоятельного решения комплекса инженерных задач при проектировании систем и сетей электроснабжения промышленных предприятий.

Учебным планом предусмотрено проведение пяти практических занятий, на которых последовательно решаются основные вопросы проектирования систем и сетей электроснабжения.

В настоящих практических занятиях рассмотрены вопросы одного из важных разделов дисциплины – проектирование воздушных и кабельных линий систем электроснабжения.

Перед выполнением практических заданий необходимо рассмотреть исходные данные, изучить соответствующие теоретические вопросы и методику решения поставленных задач.

Для детального изучения теоретического материала следует использовать рекомендованную литературу.

Результаты выполненных практических занятий оформляются в виде отчёта объёмом от 20 до 25 страниц машинописного текста формата А4.

Содержание отчёта о выполнении практического задания должно включать:

- постановку задачи;
- краткие теоретические сведения;
- подробные численные расчёты;
- анализ результатов.

В пояснительной записке должно быть приведено обоснование принятых решений, представлены основные расчетные формулы и результаты расчётов.

Исходные данные на проведение первых трёх практических занятий приведены в разделе 1, причём результаты предыдущих занятий используются в последующих.

Варианты выбираются по предпоследней и последней цифре зачётной книжки.

1 Исходные данные на проектирование

От двух электростанций неограниченной мощности и напряжения А и В по воздушным линиям электропередачи запитаны четыре потребителя 1, 2, 3, 4 в соответствии со схемой, приведённой на рисунок 1.1.

Требуется выбрать марку провода для каждого участка.

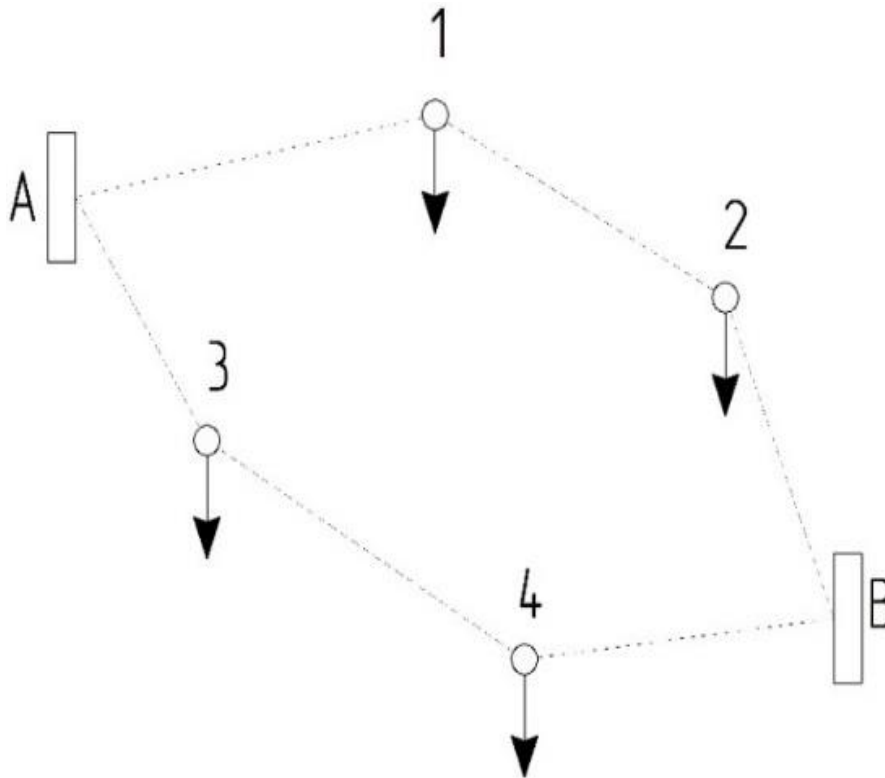


Рисунок 1.1 – Схема электрической сети

Исходные данные: длины участков; мощности потребителей; коэффициент мощности $\cos\varphi$, приведены в таблицах 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 – Исходные данные

Показатель	Вариант (последняя цифра шифра)									
Длина участка, км	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l_{A1}	17	42	27	37	25	30	36	37	17	27
l_{12}	42	20	36	45	35	22	27	45	42	36
l_{2B}	38	35	34	15	37	45	44	15	38	34
l_{A3}	32	44	37	32	25	30	25	32	32	37
l_{34}	21	32	30	40	35	22	45	40	21	30
l_{4B}	44	21	30	25	37	45	27	25	44	30

Таблица 1.2 – Исходные данные

Показатель	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
Мощность потребителя, кВт	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_1	41	40	42	45	47	38	41	45	41	40
P_2	32	37	35	38	30	39	34	38	32	37
P_3	27	35	40	27	29	37	43	27	27	35
P_4	37	29	27	40	35	27	24	40	37	29
Коэффициент мощности на участке сети, $\cos\varphi$	0,86	0,75	0,8	0,89	0,74	0,85	0,76	0,89	0,86	0,75

Эти исходные данные используются для:

- 1) расчёта предварительного распределения мощности;
- 2) выбора номинального напряжения электрической сети;
- 3) выбора сечений проводов по экономической плотности тока;
- 4) проверки выбранных сечений по условиям короны;
- 5) проверки выбранных сечений по допустимой токовой нагрузке.

2 Практическое занятие № 1. Расчёт предварительного распределения мощности и выбор номинального напряжения электрической сети

Цель занятия: освоить методику расчёта предварительного распределения мощности и выбора номинального напряжения электрической сети.

Задача: расчёт предварительного распределения мощности и выбор номинального напряжения электрической сети.

2.1 Краткие теоретические сведения

Для определения предварительного распределения мощности принимают следующие допущения: исходную сеть считают однородной, т. е. все линии принимают выполненными проводом одного сечения. В этом случае распределение мощностей в линиях определяется их длинами и может быть найдено на основе метода расчёта линий с двухсторонним питанием.

Для расчёта распределения мощности на участках сети составляется схема электроснабжения потребителей.

В качестве примера построения такой схемы, на рисунке 2.1 приведена схема электроснабжения потребителей 1 и 2.

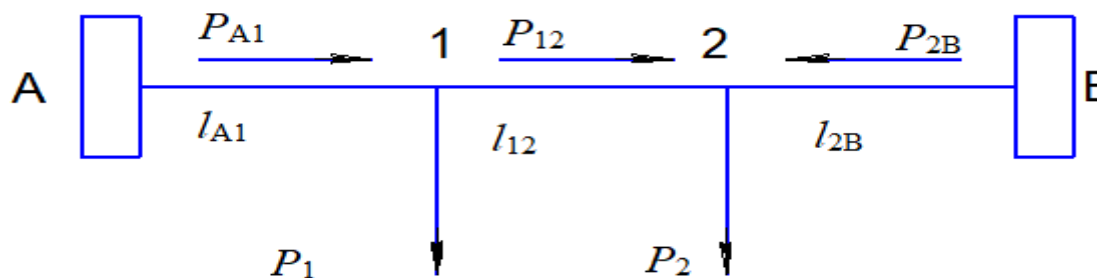


Рисунок 2.1 – Схема электроснабжения потребителей 1 и 2

По этой схеме вычисляются мощности участков. Так, например, вычисляется мощность участка А-1 используем формулу

$$P_{A1} = \frac{P_1 \cdot (l_{12} + l_{2B}) + P_2 \cdot l_{2B}}{l_{A1} + l_{12} + l_{2B}}.$$

Аналогично составляются схемы электроснабжения потребителей 3 и 4. и по аналогичным формулам вычисляются мощности всех участков.

После расчёта мощностей всех участков сети проводится проверка баланса мощностей по участкам сети. Так как приходящая по участкам А1 и 2В мощность расходуется на питание потребителей P_1 и P_2 , то справедливо равенство

$$P_{A1} + P_{2B} = P_1 + P_2.$$

Номинальное напряжение электрической сети зависит от нескольких факторов. Главный из них – экономический.

Если взять слишком высокое напряжение, то это, несомненно, снизит затраты при передаче электроэнергии, однако стоимость линий возрастёт в значительной степени. По этой причине номинальное напряжение выбирается как компромисс между высокой стоимостью строительства сети и потерями в процессе её эксплуатации. При этом используются эмпирические формулы.

Чаще всего для каждого участка сети используется выражение

$$U_{н.уч} = 4,34 \cdot \sqrt{l_{уч} + 0,016 \cdot P_{уч} \cdot 10^3}.$$

На основании полученных результатов выбирается ближайшее стандартное напряжение 6, 10, 35, 110, 220, 330, 500, 750 кВ. Оно едино для всех участков.

2.2 Порядок решения задачи

1. В соответствии с схемой электроснабжения сети (рисунок 1.1) составляется схема электроснабжения потребителей 1 и 2.
2. Рассчитывается мощность для участка А-1.
3. Рассчитывается мощность для участка 2-В.
4. Проводится проверка баланса мощностей.
5. Рассчитывается мощность для участка 1-2.
6. Расчёты аналогичные пунктам 1-5 проводятся для потребителей 3 и 4.
7. Данные по мощности всех участков заносятся в таблицу 2.2.
8. Рассчитываются номинальные напряжения всех участков электрической сети.

9. Выбирается напряжение из стандартного ряда высоких напряжений. Оно единое для всех участков.

Таблица 2.2 – Данные по мощности всех участков

Участок	Мощность, МВт
I_{A1}	
I_{2B}	
I_{A3}	
I_{4B}	
I_{12}	
I_{34}	

3 Практическое занятие № 2. Расчёта сечения проводов по экономической плотности тока

Цель занятия: освоить методику расчёта сечения проводов по экономической плотности тока.

Задача: выбор сечений проводов по экономической плотности тока.

3.1 Краткие теоретические сведения

В линиях электропередачи потери играют первостепенную роль и сечение проводов выбирается с учётом потерь при транспортировке энергии на большие расстояния. Такое сечение называется экономическим. Оно примерно на порядок больше, чем сечение, выбранное по устойчивости к нагреву.

Для участка сети А-1 экономическое сечение провода определяется по формуле

$$F_{A1} = \frac{I_{A1}}{J_{\circ}},$$

где F_{A1} – экономическое сечение провода, мм²;

I_{A1} – ток на участке А-1, А;

$j_э$ – рекомендуемая экономическая плотность ток А/мм².

Данные о рекомендуемой экономической плотности тока для различных проводов приводятся в справочной литературе.

Для наиболее распространенных сталеалюминиевых проводов марки АС обычно принимают значение экономической плотности тока в 1 мм²/А.

Для выбора экономического сечения провода необходимо определить силу тока в цепи в нормальном режиме работы.

Для нормального режима работы воздушной линии сила тока зависит от передаваемой мощности и номинального напряжения с поправкой на коэффициент мощности $\cos\varphi$. Выражение для участка А-1 имеет вид

$$I_{A1} = \frac{P_{A1} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{A1} \cdot \cos\varphi}.$$

Так как для каждого участка сети передаваемая мощность различна, то и сечения проводов будут разными. Полученное значение округляется до ближайшего стандартного сечения провода, которое можно найти в справочной литературе.

Аналогичные вычисления выполняются по всем участкам.

Найденные значения сечения проводов на каждом участке сети нуждаются в двух проверках.

Первая – по условиям возникновения коронного разряда. Он возникает при слишком высокой поверхностной плотности тока. Для его предотвращения сечение провода приходится увеличивать.

Вторая проверка – по допустимой токовой нагрузке, то есть способности противостоять недопустимому перегреву в аварийном режиме. Она также может повлечь за собой увеличение сечения провода.

Следует помнить, что по условиям короны существуют ограничения по минимальному сечению для воздушных линий электропередач напряжением выше 35 кВ.

3.2 Порядок решения задачи

1. Рассчитывается ток нормального рабочего режима для участка А-1.
2. Рассчитывается ток нормального рабочего режима для участка А-2.
3. Рассчитывается ток нормального рабочего режима для участка 2-В.
4. Рассчитывается ток нормального рабочего режима для участка 3-4.
5. Рассчитывается ток нормального рабочего режима для участка 4-В.
6. На основании расчётов токов участков выбираются сечения проводов по критерию экономической плотности тока и их марки.

4 Практическое занятие № 3. Проверка выбранных сечений по условиям возникновения коронного разряда и по допустимой токовой нагрузке

Цель занятия: освоить методику проверки выбранных сечений по условиям возникновения коронного разряда и по допустимой токовой нагрузке.

Задача: проверка выбранных сечений по условиям возникновения коронного разряда и по допустимой токовой нагрузке.

4.1 Краткие теоретические сведения

Найденные ранее значения сечения проводов на каждом участке сети нуждаются в двух проверках:

- выбранным сечениям проводов по условиям короны;
- допустимым токам нагрузки.

Явление общей короны возникает при высокой напряжённости электрического поля на поверхности провода и сопровождается характерным потрескиванием и видимым свечением. Процессы ионизации воздуха вокруг коронирующего провода приводят к потерям активной мощности. Уменьшение напряжённости на поверхности провода достигается увеличением радиуса (сечения) провода.

Проверка сечений проводов по условиям короны выполняется для ВЛ напряжением 110 кВ и выше. Выбранное сечение провода, должно быть проверено по условию

$$F \leq F_{\text{min.кор.}}$$

Минимальные сечения проводов $F_{\text{min.кор}}$ выбирается по таблице 4.1 [Таблица 2.5.6 ПУЭ].

Таблица 4.1 – Минимальные сечения проводов

U _{ном} , кВ	110	150	220	330	500	750	750
Кол-во проводов в фазе	1	1	1	2	3	4	5
$F_{\text{min.кор}}$, мм ²	70	120	240	240	300	400	300

Проверка выбранных сечений по допустимой токовой нагрузке заключается в вычислении расчётного тока.

В простых замкнутых сетях расчётный ток определяют из условий наиболее тяжёлого режима работы сети. В этом случае рассчитываются токи всех участков при аварии одного из них.

Так как после первой проверки выбраны сечения проводов, в первую очередь находится для каждого из них допустимую токовую нагрузку. Допустимый по нагреву ток должен, по крайней мере, в несколько раз численно превышать сечение провода (в указанном случае экономическое сечение 1 мм²/А).

Выбранные сечения проводов должны быть проверены по допустимому длительному току $I_{\text{доп}}$ (по нагреву) в послеаварийном режиме работы электрической сети, под которым подразумевается отключение любой линии. Значения $I_{\text{доп}}$ для проводов различных сечений приводятся в справочной литературе.

Проверка выбранных сечений по допустимому нагреву осуществляется по формуле

$$I_{\text{р}}^{\text{авар}} \leq I_{\text{доп}},$$

где $I_{\text{р}}^{\text{авар}}$ – наибольший ток в послеаварийном режиме, А;

$I_{\text{доп}}$ – допустимый ток по нагреву, А.

Рассмотреть случай с отключением участка А-1.

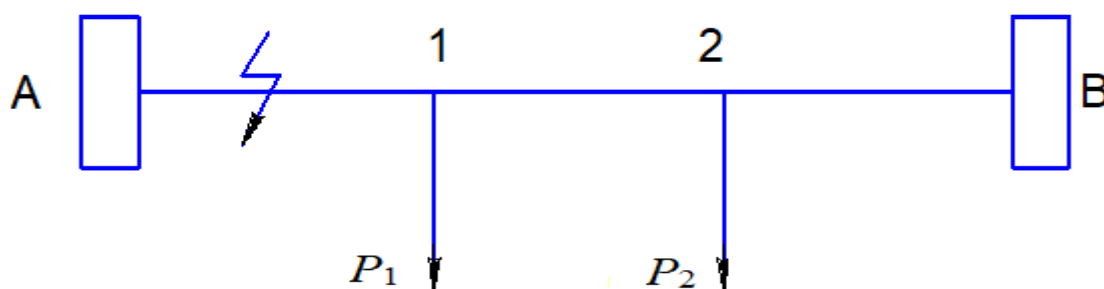


Рисунок 4.1 – Схема электроснабжения с отключением участка А-1

Вычисляется расчётный ток на участке 1-2 по допустимой токовой нагрузке. Так как этот ток идёт на потребитель мощностью P_1 , то

$$P_{12} = P_1.$$

Тогда

$$I_{12} = \frac{P_{12} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi}.$$

Полученное расчётное значение тока сравниваем с допустимым и, если нужно, принимается решение о применении провода большего сечения.

По участку 2-В протекает ток, питающий первый и второй потребители

$$P_{2В} = P_1 + P_2.$$

Аналогично находится ток данного участка и сравнивается с допустимым значением

$$I_{2В} = \frac{P_{2В} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{н.А1} \cdot \cos\varphi}.$$

Для остальных участков сети аналогично составляются схемы электроснабжения с отключением соответствующих участков. Расчёты проводятся аналогично.

Результаты расчётов необходимо представить в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчётов

Марки провода на участках электрической сети					
А-1	1-2	2-В	А-3	3-4	4-В

4.2 Порядок решения задачи

1. Выбранные ранее сечения проводов и их марки проверяются по условию ограничения потерь на корону в соответствии с таблицей 4.1.

2. Составляется схема электроснабжения с отключением участка А-1.

3. Находится расчётный ток на участке 1-2 для проверки выбранного провода по допустимой токовой нагрузке.

4. Находится расчётный ток на участке 2-В для проверки выбранного провода по допустимой токовой нагрузке.

5. Составляется схема электроснабжения с отключением участка 2-В.
6. Находится расчётный ток на участке А-1 для проверки выбранного провода по допустимой токовой нагрузке.
7. Находится расчётный ток на участке 1-2 для проверки выбранного провода по допустимой токовой нагрузке.
8. Составляется схема электроснабжения с отключением участка А-3.
9. Находится расчётный ток на участке 3-4 для проверки выбранного провода по допустимой токовой нагрузке.
10. Находится расчётный ток на участке 4-В для проверки выбранного провода по допустимой токовой нагрузке.
11. Составляется схема электроснабжения с отключением участка 4-В.
12. Находится расчётный ток на участке А-3 для проверки выбранного провода по допустимой токовой нагрузке.
13. Находится расчётный ток на участке 3-4 для проверки выбранного провода по допустимой токовой нагрузке.
14. Результаты сводятся в таблицу 4.2.

5 Практическое занятие № 4. Расчёт режимов нагрузки кабельных линий

Цель занятия: освоить методику расчёта режимов нагрузки кабельных линий.

Задача: расчёт допустимости перегрузки кабелей в нормальном режиме и при аварийном отключении одного из кабелей.

5.1 Условия задачи и исходные данные

От главной понижающей подстанции промышленного предприятия к распределительному пункту (РП) проложена T лет назад кабельная линия напряжением U состоящая из n параллельных кабелей с алюминиевыми жилами сечением F . В настоящее время расчётная нагрузка РП составляет величину S_p .

Оценить допустимость нагрузки кабелей в нормальном режиме и при аварийном отключении одного из кабелей. При недопустимой перегрузке кабелей дать рекомендации по увеличению количества кабелей.

Исходные данные по вариантам приведены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Исходные данные

Показатель	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение U , кВ	110	220	330	500	750	110	220	330	500	750
Расчётная нагрузка S_p , МВ·А	7	9	12	11	13	17	8	12	14	14
Сечение провода F , мм ²	70	95	120	150	185	240	70	95	120	150
Количество кабелей n , шт.	4	4	4	3	3	3	5	5	5	4

Таблица 5. 2 – Исходные данные

Показатель	Вариант (последняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество T , лет	5	10	16	19	8	12	6	18	17	20
Изоляция	БМ	П	В	Р	Пв	П	Пв	Р	БМ	В
Способ прокладки	тр.	откр.	тр.	откр.	откр.	тр.	откр.	откр.	тр.	тр.

Примечание. 1) Изоляция: Б – бумага, пропитанная маслосиликоновым составом; В – поливинилхлорид; П – полиэтилен; Пв – сшитый полиэтилен; Р – резина.

2) Способ прокладки: тр. – в земляной траншее; откр. – открыто.

5.2 Краткие теоретические сведения

По расчётной нагрузке S_p и напряжению U определяется расчётный ток I_p . По таблице 5.3 определяется допустимый длительный ток одиночного кабеля $I_{\text{доп}}$ в соответствии с его изоляцией и способом прокладки.

Таблица 5.3 – допустимый длительный ток одиночного кабеля

$F, \text{мм}^2$	70	95	120	150	185	240
БМ	<u>130</u>	<u>155</u>	<u>185</u>	<u>210</u>	<u>235</u>	<u>270</u>
	165	205	240	275	310	355
П, В, Р	<u>140</u>	<u>170</u>	<u>200</u>	<u>235</u>	<u>270</u>	<u>320</u>
	210	255	295	335	385	430
$\Pi_{\text{в}}$	<u>235</u>	<u>285</u>	<u>330</u>	<u>370</u>	<u>425</u>	<u>505</u>
	210	250	280	320	360	415

Примечание. В числителе указан $I_{\text{доп}}$ при открытой прокладке кабелей, в знаменателе – при прокладке в земляной траншее.

При параллельной прокладке кабелей на величину $I_{\text{доп}}$ вводится поправочный коэффициент k_n учитывающий количество n кабелей (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Поправочный коэффициент k_n

n , шт.	1	2	3	4	5	6
k_n , о.е.	<u>1</u>	<u>0,98</u>	<u>0,96</u>	<u>0,95</u>	<u>0,94</u>	<u>0,93</u>
	1	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75

Примечание. В числителе указан k_n при открытой прокладке кабелей, в знаменателе – при прокладке в земляной траншее. При открытой прокладке параллельных кабелей в количестве более шести принимать $k_n = 0,92$.

Проверка допустимости нагрузки кабелей в нормальном режиме работы выполняется по условию – $n \cdot k_n \cdot I_{\text{доп}} \geq I_p$.

При невыполнении этого условия дать рекомендации по увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей повторить проверку.

Необходимо иметь в виду, что при прокладке кабелей в траншее дополнительные кабели будут проложены в новой траншее.

При отключении одного из кабелей допускаются следующие аварийные перегрузки $k_{\text{пер}}$ оставшихся в работе кабелей:

- для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией – $k_{\text{пер}} = 1,3$;
- для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена при прокладке в земле (воздухе) – $k_{\text{пер}} = 1,23$;
- для кабелей с резиновой изоляцией – $k_{\text{пер}} = 1,18$;
- для кабелей с изоляцией из поливинилхлорида и полиэтилена – $k_{\text{пер}} = 1,15$.

Для кабелей с любой изоляцией, находящихся в эксплуатации более 15 лет, допустимая перегрузка должна быть снижена до 10 % – $k_{\text{пер}} = 1,11$.

Допустимость перегрузки кабелей в аварийном режиме проверяется по условию – $(n - 1) \cdot k_{n-1} \cdot k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} \geq I_p$.

При невыполнении этого условия, дать рекомендации по увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей и повторить проверку.

Поправочный коэффициент k_{n-1} определяется по таблице 1.4 для количества кабелей $n-1$.

В качестве аварийного режима следует принимать наиболее тяжёлый. Если по приведённым выше условиям количество кабелей следует увеличить, то в качестве аварийного режима принимать отключение дополнительно проложенного нового кабеля.

5.3 Порядок решения задачи

1. По расчётной нагрузке S_p и напряжению U определяется расчётный ток кабельной линии I_p .

2. По справочным данным [6, 12] определяется допустимый длительный ток одиночного кабеля $I_{\text{доп}}$ в соответствии с его изоляцией и способом прокладки.

При параллельной прокладке кабелей на величину $I_{\text{доп}}$ вводится поправочный коэффициент k_n , учитывающий количество n кабелей.

3. Проверяется допустимости нагрузки кабелей в нормальном режиме работы. При невыполнении этого условия дать рекомендации по увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей повторить проверку

4. При аварийном отключении одного из кабелей допускаются следующие перегрузки $k_{\text{пер}}$ оставшихся в работе кабелей (справочные данные).

5. Проверяется допустимость перегрузки кабелей в аварийном режиме. В качестве аварийного режима следует принимать наиболее тяжёлый.

6 Практическое занятие № 5. Способами плавки гололеда проводов ВЛ и выбором оптимального способа

Цель занятия: ознакомиться с основными способами плавки гололеда проводов ВЛ и выбором оптимального способа.

Задача: расчёт мощности S и напряжения U , требуемых для плавки гололеда переменным и выпрямленным током.

6.1 Условия задачи и исходные данные

Воздушная линия электропередачи (ВЛ) напряжением $U_{\text{ном}}$, длиной L , с проводами сечением F проходит в районе интенсивного гололедообразования. Для ВЛ предусматривается плавка гололеда на проводах, которая должна осуществляться от шин низкого напряжения 10 кВ подстанции, к которой эта ВЛ присоединена.

Рассчитать мощность S и напряжение U , требуемые для плавки гололеда переменным и выпрямленным токами. Рекомендовать для своего варианта ВЛ конкретный способ плавки гололеда.

Исходные данные по вариантам приведены в таблицах 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1 – Исходные данные

Показатель	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение ВЛ $U_{\text{ном}}$, кВ	110	220	330	500	750	110	220	330	500	750

Таблица 6.2 – Исходные данные

Показатель	Вариант (последняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина ВЛ L , км	30	25	30	25	35	40	45	60	50	55
Сечение провода F , мм ²	70	95	120	120	150	150	185	185	240	240

6.2 Краткие теоретические сведения

Принципиальные схемы плавки гололеда переменным и выпрямленным током приведены на рисунке 6.1. При плавке гололеда переменным током (рисунок 6.1а) ВЛ подключается к шинам от 6 до 10 кВ непосредственно. При плавке гололеда выпрямленным током ВЛ подключается к шинам от 6 до 10 кВ через выпрямитель UZ (рисунок 6.1б). В обоих случаях на другом конце провода ВЛ замыкаются накоротко.

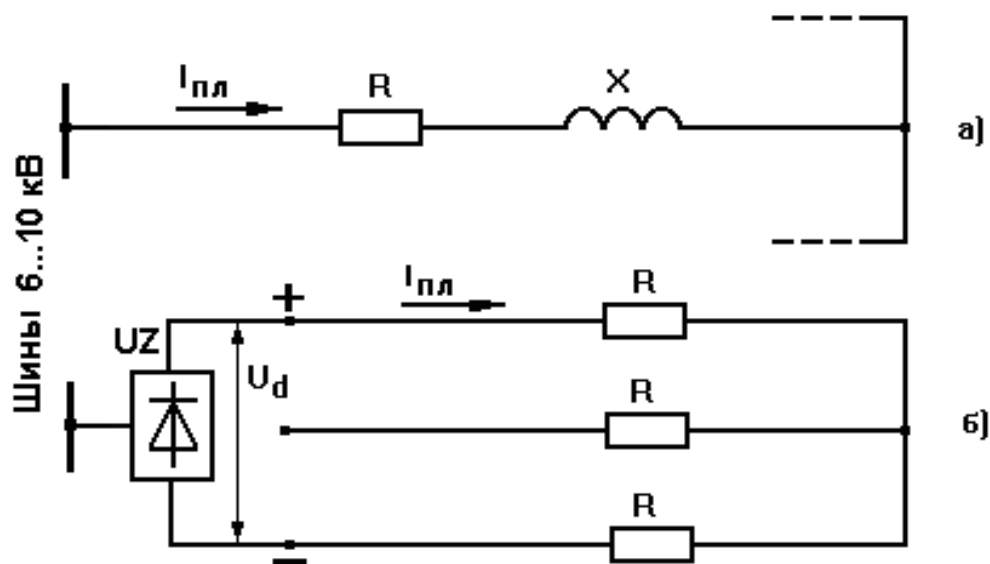


Рисунок 6.1 – Принципиальные схемы плавки гололеда переменным (а) и постоянным (б) током

Ток плавки $I_{пл}$ рекомендуется принимать равным от 1,0 до 2,0 $I_{доп}$. Величина допустимого длительного тока $I_{доп}$ и удельных сопротивлений r_o и x_o для проводов различных сечений приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Допустимый длительный ток

$F, \text{мм}^2$	70	95	120	150	185	240	300	400
$r_o, \text{Ом/км}$	0,43	0,31	0,25	0,2	0,16	0,12	0,1	0,07
$I_{доп}, \text{А}$	265	330	390	450	510	610	690	825

Плавка гололеда переменным током (рисунок 6.1а).

1. Принять определенную величину тока плавки гололеда $I_{пл}$.
2. Определить сопротивления проводов ВЛ (R , X и Z).
3. По величине тока $I_{пл}$ и полному сопротивлению Z вычислить *линейное* напряжение источника питания U . Принять ближайшее номинальное напряжение.
4. По величинам $I_{пл}$ и U определить полную *трёхфазную* мощность S , требуемую для плавки гололеда.

Плавка гололеда выпрямленным током (рисунок 6.1б).

1. Принять такую же величину тока плавки гололеда $I_{пл}$.
2. Определить активное сопротивление проводов R .
3. По принятой величине тока $I_{пл}$ и сопротивлению R вычислить напряжение на выходе выпрямителя U_d .
4. По величинам $I_{пл}$ и U_d рассчитать мощность на выходе выпрямителя P_d .
5. При определении мощности и линейного напряжения на входе выпрямителя использовать следующие приближенные выражения

$$S \cong P_d,$$

$$U \cong \frac{U_d}{\sqrt{2}},$$

принять ближайшее номинальное напряжение.

6.3 Порядок решения задачи

1. Привести принципиальные схемы плавки гололеда переменным и выпрямленным током. При плавке гололеда переменным током ВЛ подключается к шинам 10 кВ непосредственно. При плавке гололеда выпрямленным током ВЛ подключается к шинам 10 кВ через выпрямитель. В обоих случаях на другом конце ВЛ провода замыкаются накоротко.

2. Ток плавки $I_{пл}$ рекомендуется принимать в диапазоне от 1,0 до 2,0 $I_{доп}$. Величины допустимого длительного тока $I_{доп}$ и удельных сопротивлений r_0 и x_0 для проводов различных сечений справочные данные.

3. Плавка гололеда переменным током.

3.1 Принять величину тока плавки гололеда $I_{пл}$ в пределах от 1,0 до 2,0 $I_{доп}$.

3.2 Определить сопротивления проводов ВЛ (R , X и Z).

3.3 По величине тока $I_{пл}$ и полному сопротивлению Z вычислить линейное напряжение $U_{пл}$, требуемое для плавки гололеда.

3.4 Принять ближайшее номинальное напряжение $U_{ном}$. Если это напряжение значительно отличается от 10 кВ, рекомендовать специальный трансформатор для плавки гололеда, например трансформатор 6/10 кВ, 10/20 кВ или 10/35 кВ.

3.5 Для принятого напряжения $U_{ном}$ рассчитать новое уточненное значение тока плавки $I'_{пл}$.

3.6 По принятому напряжению $U_{ном}$ и величине уточненного тока плавки $I'_{пл}$ определить полную *трёхфазную* мощность $S_{пл}$, требуемую для плавки гололеда.

4. Плавка гололеда выпрямленным током.

4.1 Принять величину тока плавки гололеда $I_{пл}$ в пределах от 1,0 до 2,0 $I_{доп}$.

4.2 Определить активное сопротивление R одной фазы линии.

4.3 По принятой величине тока $I_{\text{пл}}$ и сопротивлению R вычислить напряжение на выходе выпрямителя U_d .

4.4 Определить фазный ток I и линейное напряжение U на входе выпрямителя, для чего использовать следующие приближенные выражения

$$I = 0,8I_{\text{пл}},$$

$$U \cong \frac{U_d}{\sqrt{2}}.$$

Принять ближайшее номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$, при необходимости рекомендовать специальный трансформатор для плавки гололеда.

4.5 Для принятого напряжения $U_{\text{ном}}$ рассчитать новые уточненные значения тока плавки $I'_{\text{пл}}$ и фазного тока $I'_{\text{пл}}$ на входе выпрямителя. Ток плавки должен оставаться в пределах от 1,0 до 2,0 $I_{\text{доп}}$.

4.6 По принятому напряжению $U_{\text{ном}}$ и уточненной величине фазного тока I' определить полную трехфазную мощность $S_{\text{пл}}$ на входе выпрямителя, требуемую для плавки гололеда.

5. Выбрать для своего варианта линии способ плавки гололеда. При этом можно учесть следующие рекомендации:

- при отсутствии необходимости в установке специальных трансформаторов в обеих схемах плавки гололеда и двукратном и более отличии мощностей $S_{\text{пл}}$ отдать предпочтение схеме плавки гололеда выпрямленным током;

- при необходимости установки специального трансформатора для плавки гололеда переменным током и отсутствии такой необходимости для плавки гололеда выпрямленным током отдать предпочтение схеме плавки гололеда выпрямленным током;

- при необходимости установки специального трансформатора для плавки гололеда выпрямленным током и отсутствии такой необходимости для плавки гололеда переменным током отдать предпочтение схеме плавки гололеда переменным током;

- при необходимости установки специальных трансформаторов в обеих схемах плавки гололеда отдать предпочтение схеме плавки гололеда выпрямленным током.

Библиографический список

1. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие: рек. Мин. обр. РФ/ А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – Ростов н/Д : Феникс; Красноярск: Издат. проекты, 2008. – 719 с.
2. Основы современной энергетики в 2 т. Учебник: рек. Мин. обр. РФ: Т. 2. Современная электроэнергетика / под ред. Е.В. Аметистова. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2010. – 632 с.
3. Лыкин, А.В. Электрические системы и сети: учебное пособие / А.В. Лыкин. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. – 247 с.
4. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: учебник / В.И. Идельчик. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
5. Электрические системы. Электрические сети: Учебник для электроэнерг. спец. Вузов / ред. В.А. Веников. – 2-е изд., перераб. и доп.. – Москва : Высш. шк., 1998. – 512 с.
6. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С.Л. Кужеков, С.В. Гончаров. – 3-е изд. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – 493 с.
7. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов: учебное пособие / В.М. Блок, Г.К. Обушев, Л.В. Паперно, ред. В.М. Блок. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1990. – 384 с.
8. Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 9-е изд., стер. – Москва : Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.
9. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : ЭНАС, 2009. – 391 с.
10. Пospelов, Г.Е. Электрические системы и сети: проектирование: учебное пособие / Г.Е. Пospelов, В.Т. Федин. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск : Высш. шк., 1988. – 308 с.

11. Шелухина, Т.И. Расчёты нормальных и предельных по мощности установившихся режимов сложных энергосистем: учебное пособие / Т.И. Шелухина. – Москва : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2005. – 52 с.
12. Савина, Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях: монография / Н.В. Савина; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск : Наука, 2008. – 228 с.
13. Тарасов, В.И. Теоретические основы анализа установившихся режимов электроэнергетических систем: монография / В.И. Тарасов; отв. ред. Л.Ю. Анапольский. – Новосибирск : Наука, 2002. – 344 с.
14. Кочкин, В.И. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий: книга / В.И. Кочкин, О.П. Нечаев. – Москва : Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. – 248 с.
15. Вокин, И.А. Проектирование районной электрической сети: учебное пособие / И.А. Вокин, Д.М. Карсунцева. – Сызрань : Самар. гос. технический. университет. филиал в Сызрани, 2011. – 20 с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей / под редакцией Д.Л. Файбисовича. Издание 2-е перер. и допол. – Москва : «Издательство НЦ ЭНАС» 2006. – 324 с.

Учебное издание

Мельников Александр Юрьевич
Лопатин Евгений Игоревич

Электроэнергетические системы и сети

Практикум

Подписано в печать _____. Тираж 5 экз.

Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53