

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Красноярский государственный аграрный университет

Л.П. Костюченко

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРО-
СНАБЖЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗА-
ЦИЙ**

Задания для самостоятельной работы

Красноярск 2014

Рецензент

*В.А. Кожухов, кандидат технических наук, доцент кафедры
ТЭЭ Красноярского государственного аграрного университета*

Костюченко, Л.П.: Эксплуатация систем электроснабжения сельскохозяйственных организаций: задания для самостоятельной работы / Л.П. Костюченко; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – 65с.

Приведены варианты заданий для самостоятельной работы студентов по дисциплине. Задания нацелены на закрепление знаний и умений, полученных на практических занятиях, и приобретение опыта в решении задач с целью формирования у обучающегося требуемых компетенций. Приведены справочные материалы, необходимые для решения задач, вопросы для самоподготовки к итоговому контролю по дисциплине.

Предназначено для студентов СПО, обучающихся по специальности 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Красноярского государственного аграрного университета

© Красноярский государственный аграрный университет

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Эксплуатация систем электроснабжения сельскохозяйственных организаций» является частью профессионального цикла дисциплин подготовки студентов по специальности 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства».

Дисциплина реализуется в институте энергетики и управления энергетическими ресурсами АПК.

Дисциплина нацелена на формирование общих и профессиональных компетенций выпускника, а именно:

– ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

– ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

– ПК 2.1. Выполнять мероприятия по бесперебойному электроснабжению сельскохозяйственных организаций.

– ПК2.3. Обеспечивать электробезопасность.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с оптимизацией систем электроснабжения предприятий АПК с точки зрения повышения надежности при эксплуатации систем электроснабжения, экономичности систем электроснабжения, улучшения показателей качества электрической энергии за счет совершенствования эксплуатации систем электроснабжения сельскохозяйственных предприятий .

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические самостоятельной работы, самостоятельная работа студента, консультации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме тестирования и защиты отчетов по практическим работам и промежуточный контроль в форме зачета.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 230 часов. Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (160 часов) и 70 часов самостоятельной работы студента.

1 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

1.1 Графики электрических нагрузок и их характеристики

Цель самостоятельной работы: Изучить графики электрических нагрузок, научиться определять их показатели. [1, гл. 3, с. 75 – 82].

Задача 1.1

Определить расход электрической энергии предприятия АПК за год, число часов использования максимума нагрузки и коэффициент заполнения графика электрических нагрузок, если максимальная нагрузка в течение года составила величину P_{\max} , а режим самостоятельной работы предприятия характеризуется t годовым графиком нагрузки по продолжительности, который соответствует таблице 1.1. Варианты заданий приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Варианты графиков нагрузки для задачи 1.1

Номер графика	Номер ступеней графика	1	2	3
1	Нагрузка в долях от $P_{\max, \text{о.е.}}$	1	0,8	0,6
	Длительность ступеней, ч	3760	2000	3000
2	Нагрузка в долях от $P_{\max, \text{о.е.}}$	1	0,85	0,7
	Длительность ступеней, ч	4000	2000	2760
3	Нагрузка в долях от $P_{\max, \text{о.е.}}$	1	0,9	0,65
	Длительность ступеней, ч	3000	2760	3000
4	Нагрузка в долях от $P_{\max, \text{о.е.}}$	1	0,95	0,5
	Длительность ступеней, ч	2260	5000	1500
5	Нагрузка в долях от $P_{\max, \text{о.е.}}$	1	0,7	0,45
	Длительность ступеней, ч	2600	3000	3160

Таблица 1.2 – Варианты заданий для задачи 1.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Номер графика	1	2	3	4	5	4	1	2	3	4	5	1	2	3	5
P_{\max} , МВт	0,4	2	3	5	0,2	0,8	0,3	0,7	1	2	3	4	0,6	0,5	0,2
Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер графика	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	1	2	3	4	1
P_{\max} , МВт	0,3	0,7	12	2,1	3,2	4,2	0,6	0,5	0,4	2,4	3,7	5,1	0,2	0,8	7

Задача 1.2

Построить годовой график активной нагрузки предприятия АПК по продолжительности по характерным суточным графикам нагрузки для летнего и зимнего дня, которые представлены в таблице 1.3. В таблице 1.3 графики нагрузки приведены в процентах от максимальной мощности предприятия (P_{\max}), которая принимается по таблице 1.4 в соответствии с номером задания.

Таблица 1.3 – Суточные графики электрических нагрузок

Номер графика Часы суток	1		2		3		4		5	
	лето	зима								
1	60	50	55	95	80	95	35	80	35	80
2	35	40	55	95	70	100	40	70	65	80
3	40	70	55	95	60	100	40	60	65	60
4	40	100	80	80	60	100	40	60	65	60
5	40	100	80	70	60	100	35	60	40	60
6	35	95	70	60	35	100	35	35	40	35
7	35	95	60	60	40	80	35	95	35	100
8	35	95	80	60	40	95	50	95	20	100
9	50	95	80	35	40	100	50	95	20	80
10	50	80	70	100	35	100	60	100	30	80
11	50	80	60	100	35	100	60	100	35	70
12	40	70	80	100	35	100	70	100	35	60
13	70	60	80	60	50	100	75	100	20	80
14	100	60	70	35	50	80	75	100	35	100
15	100	60	60	95	40	95	75	80	40	100
16	95	35	80	95	40	100	60	80	40	100
17	95	40	80	95	40	100	65	70	40	90
18	95	40	80	70	35	100	65	60	35	90
19	95	40	80	60	35	100	65	80	35	90
20	80	35	70	60	35	100	40	80	35	95
21	80	35	60	60	50	80	40	70	50	95
22	70	35	80	35	50	95	35	70	50	95
23	60	50	80	95	40	95	20	70	35	90
24	60	50	55	95	40	95	20	80	35	80

Таблица 1.4 – Варианты заданий для задачи 1.2.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Номер графика	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	5
P_{\max} , МВт	0,4	2	3	5	0,2	0,8	0,3	0,7	1	2	3	4	0,6	0,5	0,2
Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер графика	1	2	3	2	1	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
P_{\max} , МВт	0,3	0,7	12	2,1	3,2	4,2	0,6	0,5	0,4	2,4	3,7	5,1	0,2	0,8	7

1.2 Практические методы расчета электрических нагрузок

Цель самостоятельной работы: Научиться выполнять расчеты электрических нагрузок методом коэффициентов одновременности и по добавкам мощности [1, с. 84–102].

Задача 1.3

Для проектируемого участка линии напряжением 0,38 кВ определить нагрузку вечернего максимума на каждом участке, если к линии подключены многоквартирные дома с вечерним максимумом нагрузки $P_{\text{мв}}$. Значения $P_{\text{мв}}$ и количество участков принять в соответствии с номером варианта задания по таблице 1.5. При расчете учесть, что каждый дом подключается к магистральной линии со своей опоры. Расстояние между опорами – 40м.

Таблица 1.5 – Варианты заданий для задачи 1.3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Число домов	5	6	4	7	4	8	4	9	12	7	5	6	8	10
$P_{\text{мв}}, \text{кВт}$	4	2	3	5	7	10	12	8	6	4	8	4	6	5
Вариант	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Число домов	6	6	4	6	5	8	7	9	11	10	6	7	7	12
$P_{\text{мв}}, \text{кВт}$	3	7	12	2,1	3,2	4,2	6	5	4	2,4	3,7	5,1	3	5

Задача 1.4

Для схемы сети 10 кВ, изображенной на рисунке 1.1 определить нагрузку на головном участке сети, используя таблицы добавок мощностей для сетей 10 кВ.

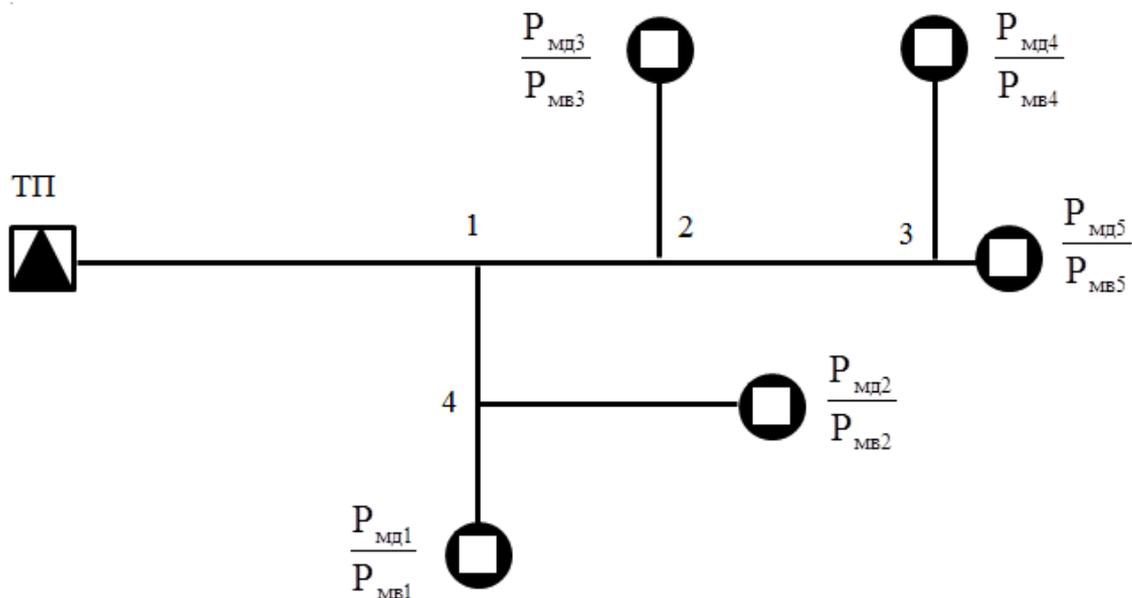


Рисунок 1.1 – Схема сети 10 кВ для задачи 1.4

Расчет выполнить для дневного и вечернего максимума нагрузок, данные которых в соответствии с вариантом задания приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Варианты заданий для задачи 1.4

Номер варианта	$P_{мд1}$, кВт	$P_{мв1}$, кВт	$P_{мд2}$, кВт	$P_{мв2}$, кВт	$P_{мд3}$, кВт	$P_{мв3}$, кВт	$P_{мд4}$, кВт	$P_{мв4}$, кВт	$P_{мд5}$, кВт	$P_{мв5}$, кВт
1	100	300	220	240	120	270	90	145	140	145
2	200	310	140	350	140	270	70	150	150	150
3	300	320	145	120	170	100	50	160	100	160
4	150	250	150	360	200	200	60	170	200	170
5	220	260	160	370	240	300	100	180	300	180
6	270	270	170	400	280	150	200	190	150	190
7	130	280	180	380	320	220	300	200	220	200
8	450	290	190	390	360	270	150	210	270	210
9	350	130	200	270	145	130	220	220	130	220
10	520	145	210	280	150	450	270	230	450	230
11	100	100	220	290	160	350	130	240	350	240
12	80	200	230	300	170	520	450	100	520	450
13	70	300	240	310	180	100	350	200	100	145
14	90	150	250	320	190	80	520	300	80	150
15	110	220	260	330	200	100	100	150	100	160
16	120	270	270	240	210	200	80	220	200	170
17	130	130	280	350	220	300	180	270	300	180
18	140	450	290	120	230	150	190	130	150	190
19	150	350	300	360	240	220	200	450	220	200
20	400	520	310	370	100	270	210	350	270	210
21	300	100	320	400	200	130	220	520	130	220
22	310	80	330	380	300	450	230	100	450	230
23	320	70	240	390	150	350	240	80	350	240
24	250	90	350	180	220	520	420	180	520	180
25	260	130	120	190	270	100	100	190	100	190
26	270	410	360	200	130	90	80	200	80	200
27	280	90	370	210	450	100	100	290	530	210
28	290	70	400	220	350	110	200	220	400	220
29	130	50	380	230	520	120	300	230	390	230
30	145	60	390	240	100	130	150	240	250	240

Задача 1.4

Для проектируемого участка линии напряжением 0,38 кВ определить нагрузку дневного максимума на каждом участке, если к линии подключены производственные потребители с дневным максимумом нагрузки $P_{мд}$. Значения $P_{мд}$ и количество потребителей (n) принять в соответствии с номером варианта задания по таблице 1.7. При расчете учесть, что каждый потребитель подключен к магистральной линии со своей опоры.

Таблица 1.7 – Варианты заданий для самостоятельного решения задачи 1.4

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_{мв1}, кВт$	4	2	3	5	7	10	12	8	6	4	8	4	6	5	12
$P_{мв2}, кВт$	30	40	25	28	42	37	22	12	14	32	6	25	38	23	22
$P_{мв3}, кВт$	8	15	10	12	4	6	8	23	5	10	3	10	5	2	8
$P_{мв4}, кВт$	5	10	8	-	12	4	2	11	2	-	15	7	12	14	2
$P_{мв5}, кВт$	7	3	-	-	-	-	-	17	10	-	2	-	-	-	-
n	5	5	4	3	4	4	4	5	5	3	5	4	1	4	3
Номер варианта	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$P_{мв1}, кВт$	3	7	12	2,1	3,2	4,2	6	5	4	2,4	3,7	5,1	3	5	8
$P_{мв2}, кВт$	12	2	3	28	7	6	4	6	18	32	8	3	9	16	12
$P_{мв3}, кВт$	10	8	16	26	8	12	8	30	7	4	10	18	6	12	23
$P_{мв4}, кВт$	30	40	25	-	42	37	22	12	14	-	36	25	38	23	11
$P_{мв5}, кВт$	-	6	-	-	-	-	-	2	10	-	2	-	-	-	17
n	4	5	4	3	4	4	4	5	5	3	5	4	3	4	5

2 УСТРОЙСТВО НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ИХ РАСЧЕТ

2.1 Конструктивное исполнение сельских электрических сетей

Цельсамостоятельной работы: Изучить конструкции сельских электрических сетей (провода, кабели, типы опор, изоляторы, особенности выполнения воздушных линий, механический расчет воздушных линий электрических сетей). Научиться определять параметры электрических сетей. [1, гл. 2, с. 37 – 74].

Задача 2.1

Нарисовать схемы замещения воздушной линии, выполненной алюминиевым проводом (АС), и проводом СИП-3. Номинальное напряжение линий 10 кВ.

В соответствии с заданным вариантом длин линий и площади сечения проводов (таблицы 2.1 и 2.2) записать в таблицу 2.3 справочные данные:

– удельное активное сопротивление r_0 , Ом/км провода АС и СИП-3, удельное реактивное сопротивление x_0 , Ом/км провода АС и СИП-3

Определить следующие параметры схемы замещения воздушной линии, выполненной проводами АС и СИП-3:

- активное сопротивление $R_{л}$, Ом;
- реактивное сопротивление $X_{л}$, Ом.

Записать в таблицу 2.3 полученные значения и сравнить $R_{л}$, $X_{л}$ для провода АС и СИП-3.

Нанести полученные расчетные значения параметров на схемы замещения линий.

Таблица 2.1 – Варианты длин линии для задачи 2.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина линий, км	11,2	3,6	3,1	4,4	5,2	4,1	5,9	7,1	8	10
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Длина линий, км	2,2	1,5	2,0	1,7	3,5	3,0	4	5,5	4,0	5,0
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Длина линий, км	4,7	2,9	9	12	15	14	13	8,5	17	23

Таблица 2.1 – Варианты площади сечения проводов линии для задачи 2.1

Номер варианта	Площадь сечения проводов, мм ²	Номер варианта	Площадь сечения проводов, мм ²	Номер варианта	Площадь сечения проводов, мм ²
1	25	11	120	21	95
2	35	12	95	22	120
3	50	13	50	23	50
4	70	14	70	24	70
5	95	15	95	25	95
6	120	16	120	26	120
7	25	17	25	27	25
8	35	18	35	28	35
9	50	19	50	29	50
10	70	20	70	30	70

Таблица 2.3 – Справочные данные и результаты расчетов

Воздушная линия (провод АС)				Воздушная линия (провод СИП-3)			
r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$R_{л}$, Ом	$X_{л}$, Ом	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$R_{л}$, Ом	$X_{л}$, Ом

Задача 2.2

Определить активное и индуктивное сопротивления линии, параметры которой в зависимости от варианта задания приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4– Варианты заданий для самостоятельного решения задачи 2.2

Номер варианта	Марка провода	U, кВ	ℓ , км	Номер варианта	Марка провода	U, кВ	ℓ , км
1	АС-120	110	23	16	А-70	10	7
2	АС-70	110	47	17	А-120	10	6
3	СИП-1 3x25+1x35	0,38	0,4	18	АС-70	10	5
4	СИП-1 3x35+1x50	0,38	0,2	19	АС-120	10	10
5	СИП-1 3x50+1x70	0,38	0,1	20	АС-70	10	12
6	СИП-1 3x50+1x70	0,38	0,15	21	А-70	10	6
7	СИП-1 3x95+1x95	0,38	0,23	22	СИП-3 1x70-10	10	5
8	СИП-1 3x50+1x70	0,38	0,34	23	СИП-3 1x95-10	10	8
9	СИП-2 3x70+1x95	0,38	0,38	24	СИП-3 1x120-10	10	9
10	СИП-2 3x25+1x35	0,38	0,25	25	СИП-3 1x70-10	10	11
11	СИП-2 3x50+1x70	0,38	0,3	26	СИП-3 1x95-10	10	14
12	СИП-2 3x70+1x95	0,38	0,18	27	АС-120	35	35
13	АС-70	10	2	28	АС-150	35	28
14	АС-120	10	3	29	АС-120	35	23
15	АС-70	10	4	30	АС-150	35	30

2.2 Потери и отклонения напряжения в электрических сетях

Цель самостоятельной работы: Научиться определять потери напряжения на участке линии с одной нагрузкой на конце и суммарные потери напряжения от источника до наиболее удаленного потребителя, определять допустимые потери напряжения, проверять сеть на колебания напряжения при пуске двигателя [1, с. 129 – 149; 2, с. 297–302].

Задача 2.3

Для схемы разветвленной сети напряжением U , принимаемой в соответствии с вариантом задания (рисунки 2.1 и 2.2), определить потери напряжения до наиболее удаленных точек сети. Нагрузка в узлах задана полной мощностью S (кВА) и коэффициентом мощности $\cos\varphi$. Параметры сети принять в соответствии с вариантом задания по таблицам 2.5 – 2.9.

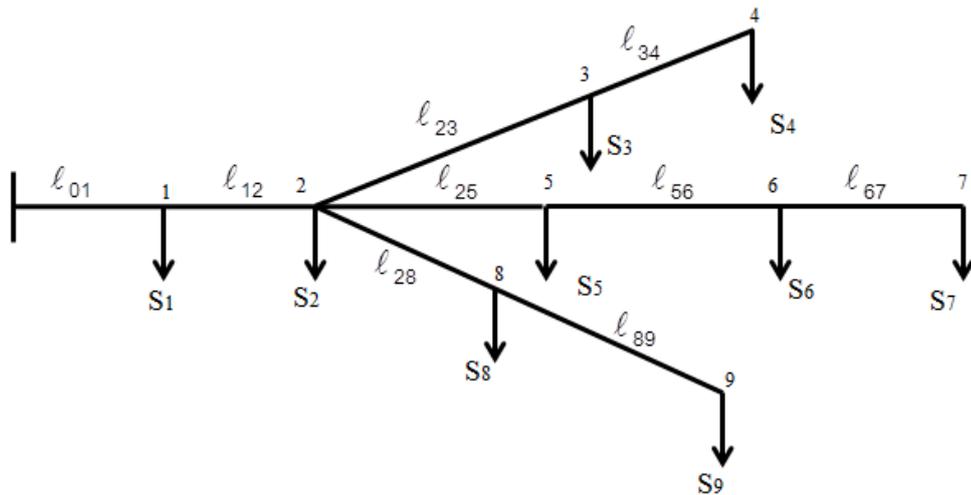


Рисунок 2.1 – Первая схема сети для задачи 2.3

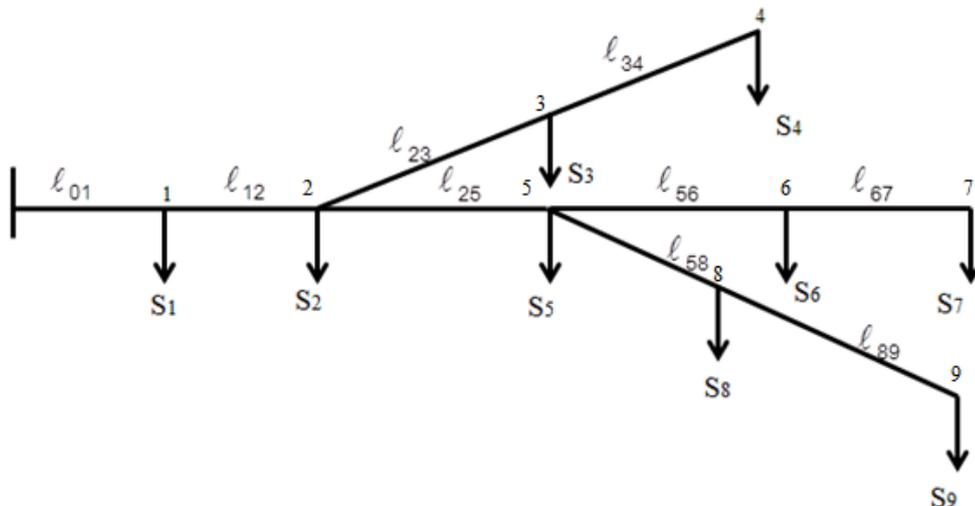


Рисунок 2.2 – Вторая схема сети для задачи 2.3

Таблица 2.5– Варианты заданий для самостоятельного решения задачи 2.3

Вариант	Марка провода	U, кВ	Схема	Код задания
1	СИП-1 3x25+1x35	0,38	Рисунок 2.1	А
2	СИП-1 3x35+1x50	0,38	Рисунок 2.2	В
3	СИП-1 3x25+1x35	0,38	Рисунок 2.1	С
4	СИП-1 3x35+1x50	0,38	Рисунок 2.2	Д
5	СИП-1 3x50+1x70	0,38	Рисунок 2.1	Е
6	СИП-1 3x50+1x70	0,38	Рисунок 2.2	А
7	СИП-1 3x95+1x95	0,38	Рисунок 2.1	В
8	СИП-1 3x50+1x70	0,38	Рисунок 2.2	С
9	СИП-2 3x70+1x95	0,38	Рисунок 2.1	Д
10	СИП-2 3x25+1x35	0,38	Рисунок 2.2	Е
11	СИП-2 3x50+1x70	0,38	Рисунок 2.1	А
12	СИП-2 3x70+1x95	0,38	Рисунок 2.2	В
13	АС-70	10	Рисунок 2.1	С
14	АС-120	10	Рисунок 2.2	Д
15	АС-70	10	Рисунок 2.1	Е
16	А-70	10	Рисунок 2.2	А
17	А-120	10	Рисунок 2.1	В
18	АС-70	10	Рисунок 2.2	С
19	АС-120	10	Рисунок 2.1	Д
20	АС-70	10	Рисунок 2.2	Е
21	А-70	10	Рисунок 2.1	А
22	СИП-3 1x70-10	10	Рисунок 2.2	В
23	СИП-3 1x95-10	10	Рисунок 2.1	С
24	СИП-3 1x120-10	10	Рисунок 2.2	Д
25	СИП-3 1x70-10	10	Рисунок 2.1	Е
26	СИП-3 1x95-10	10	Рисунок 2.2	А
27	АС-120	10	Рисунок 2.1	В
28	АС-150	10	Рисунок 2.2	С
29	АС-120	10	Рисунок 2.1	Д
30	АС-150	10	Рисунок 2.2	Е

Таблица 2.6 – Нагрузка сети 0,38 кВ для задачи 2.3

Код задания	Нагрузка в узлах, кВА/cosφ								
	$\frac{S_1}{\cos\varphi_1}$	$\frac{S_2}{\cos\varphi_2}$	$\frac{S_3}{\cos\varphi_3}$	$\frac{S_4}{\cos\varphi_4}$	$\frac{S_5}{\cos\varphi_5}$	$\frac{S_6}{\cos\varphi_6}$	$\frac{S_7}{\cos\varphi_7}$	$\frac{S_8}{\cos\varphi_8}$	$\frac{S_9}{\cos\varphi_9}$
А	20/0,8	5/0,6	11/0,8	6/0,9	10/0,8	12/0,9	5/1	10/1	7/0,9
В	10/0,7	-	20/0,8	15/0,6	-	6/0,9	10/0,8	12/0,9	5/1
С	6/0,9	10/0,8	12/0,9	5/1	14/0,8	10/0,7	13/0,6	5/0,9	12/0,7
Д	-	12/0,8	7/0,6	13/0,9	4/0,8	8/0,9	5/0,6	4/0,7	3/0,75
Е	10/0,7	13/0,6	5/0,9	12/0,9	3/0,8	9/0,8	4/0,6	1/1	3/1

Таблица 2.7 – Параметры сети 0,38 кВ для задачи 2.3

Код задания	Длина участков, м								
	0-1	1-2	2-3	3-4	2-5	5-6	6-7	5-8 или 2-8	8-9
А	100	120	40	50	130	90	60	40	40
В	120	100	90	40	50	150	60	60	100
С	40	40	40	50	50	50	50	50	50
Д	40	50	80	80	80	40	40	40	120
Е	50	50	50	50	40	40	120	40	40

Таблица 2.8 – Нагрузка сети 10кВ для задачи 2.3

Код задания	Нагрузка в узлах, кВА/cosφ								
	$\frac{S_1}{\cos\varphi_1}$	$\frac{S_2}{\cos\varphi_2}$	$\frac{S_3}{\cos\varphi_3}$	$\frac{S_4}{\cos\varphi_4}$	$\frac{S_5}{\cos\varphi_5}$	$\frac{S_6}{\cos\varphi_6}$	$\frac{S_7}{\cos\varphi_7}$	$\frac{S_8}{\cos\varphi_8}$	$\frac{S_9}{\cos\varphi_9}$
А	120/0,8	25/0,6	130/0,8	160/0,9	210/0,8	120/0,9	50/1	100/1	70/0,9
В	130/0,7	200/0,8	-	150/0,6	-	160/0,9	210/0,8	150/0,9	200/1
С	60/0,9	100/0,8	200/0,9	150/1	140/0,8	50/0,7	130/0,6	50/0,9	120/0,7
Д	200/0,8	250/0,8	70/0,6	130/0,9	40/0,8	180/0,9	50/0,6	40/0,7	30/0,75
Е	250/0,7	130/0,6	50/0,9	120/0,9	30/0,8	90/0,8	40/0,6	150/1	100/1

Таблица 2.9 – Параметры сети 10кВ для задачи 2.3

Код задания	Длина участков, м								
	0-1	1-2	2-3	3-4	2-5	5-6	6-7	5-8 или 2-8	8-9
А	2	3	2	1	4	6	4	5	3
В	3	2	1	3	1	7	8	3	2
С	1	3	4	7	4	3	2	3	2
Д	3	1	2	4	5	2	2	2	7
Е	2	1	3	4	2	1	3	5	4

Задача 2.4

В какой точке сети, изображенной на рисунке 2.3 можно запустить асинхронный короткозамкнутый двигатель мощностью 16 кВт, с номинальным напряжением 380 В, номинальным током 29 А и кратностью пускового тока $K_I = 7$. Марки проводов сети приведены в таблице 2.10. На подстанции установлен трансформатор типа ТМ напряжением 10/0,4кВ. Мощность трансформатора, установленного на подстанции, определить по коду задания из таблицы 2.11. Код задания в соответствии с порядковым номером по списку студентов в группе принимается по таблице 2.5. Варианты длин участков сети принимаются в соответствии с вариантом задания по таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Параметры сети для задачи 2.4

Участок сети	Марка провода	Варианты длин участков, м				
		1	2	3	4	5
1-2	АС-70	6000	5500	4800	6200	8000
3-4	СИП-1 3×50+1×70	200	154	127	300	180
4-5	СИП-1 3×25+1×35	100	120	150	70	90
5-6	СИП-1 3×25+1×35	80	150	140	134	127
4-7	СИП-1 3×25+1×35	122	158	142	175	200
7-8	СИП-1 3×25+1×35	150	141	170	130	168
7-9	СИП-1 3×35+1×50	205	158	194	107	183

Таблица 2.11 – Мощность трансформатора для задачи 2.2

Код задания	A	B	C	D	E	F
Мощность трансформатора, кВА	40	63	100	160	250	400

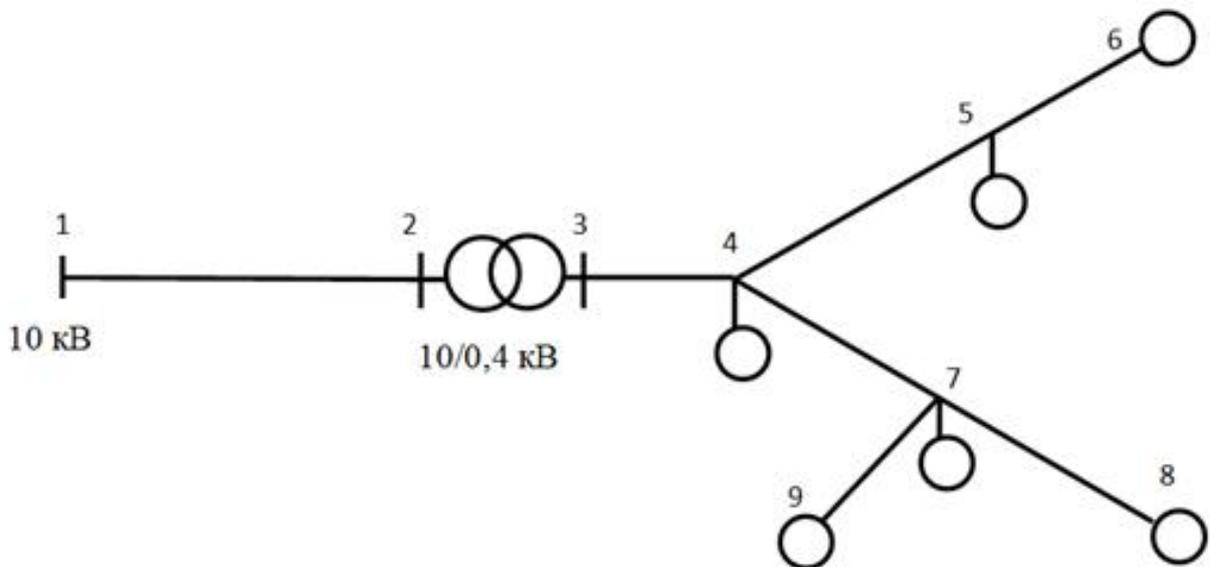


Рисунок 2.3 – Схема сети для задачи 2.4

2.3 Выбор площади сечений проводов

Цель самостоятельной работы: Изучить способы выбора площади поперечного сечения проводов в сельских линиях электропередачи. Научиться выбирать площади сечения проводов по длительно допустимому нагреву, экономической плотности тока, допустимой потере напряжения [1, с. 150–171]

Задача 2.5

Для схемы сети напряжением 10 кВ, приведенной на рисунке 2.4 выбрать площади сечения сталеалюминиевых проводов на всех участках. Выбор провести по нормативной экономической плотности тока $J_3 = 1,1 \text{ А/мм}^2$. Данные о длинах участков сети приведены в таблице 2.12, нагрузки в узлах – в таблице 2.13. Допустимая потеря напряжения в сети в таблице 2.14.

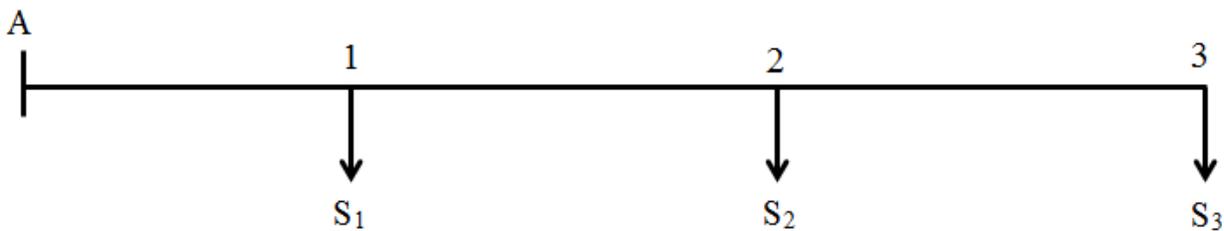


Рисунок 2.4 – Схема распределительной сети напряжением 10 кВ к задаче 2.5

Таблица 2.12– Варианты длин участков задачи 2.5

Номер варианта	Длина участков сети, км			Номер варианта	Длина участков сети, км		
	А-1	1-2	2-3		А-1	1-2	2-3
1	9,5	3,7	6,4	16	9,7	5,3	5,3
2	5,2	6,3	3,1	17	4,8	6,5	6,3
3	2,7	5,1	4,4	18	5,2	7,7	7,3
4	3,6	8,4	7,2	19	2,6	8,9	8,3
5	3,2	5,8	4,7	20	8,2	1,7	2,3
6	2,3	6,3	2,7	21	2,7	3,1	4,5
7	6,4	5,1	3,6	22	3,1	4,4	3,5
8	3,1	8,4	3,2	23	5,4	7,2	6,5
9	4,4	6,4	2,3	24	6,3	4,7	5,0
10	7,2	3,1	6,4	25	2,9	2,7	4,0
11	4,7	4,4	3,1	26	4,6	3,6	3,1
12	1-2	7,2	4,4	27	7,0	4,3	6,2
13	3,7	4,7	7,2	28	2,8	3,6	4,6
14	6,3	5,0	4,7	29	3,4	5,1	5,7
15	5,1	6,0	3,2	30	3,5	6,0	2,3

Таблица 2.13– Варианты нагрузки в узлах для задачи 2.5

Номер варианта	Нагрузка в узлах, МВА			Номер варианта	Нагрузка в узлах, МВА		
	S ₁	S ₂	S ₃		S ₁	S ₂	S ₃
1	0,1 + j0,1	0,4 + j0,1	0,4 + j0,1	16	0,2 + j0,1	0,2 + j0,2	0,4 + j0,2
2	0,2 + j0,1	0,2 + j0,1	0,6 + j0,2	17	0,1 + j0,1	0,5 + j0,2	0,2 + j0,1
3	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2	0,8 + j0,3	18	0,3 + j0,2	0,6 + j0,2	0,3 + j0,2
4	0,2 + j0,1	0,6 + j0,1	0,9 + j0,4	19	0,2 + j0,1	0,2 + j0,2	0,3 + j0,1
5	0,3 + j0,1	0,4 + j0,1	0,8 + j0,1	20	0,3 + j0,1	0,4 + j0,3	0,3 + j0,1
6	0,2 + j0,1	0,2 + j0,1	0,5 + j0,2	21	0,2 + j0,1	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2
7	0,2 + j0,2	0,3 + j0,1	0,3 + j0,2	22	0,2 + j0,2	0,5 + j0,1	0,2 + j0,1
8	0,1 + j0,1	0,5 + j0,2	0,4 + j0,1	23	0,1 + j0,1	0,5 + j0,2	0,5 + j0,2
9	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2	0,6 + j0,2	24	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2	0,3 + j0,2
10	0,2 + j0,1	0,3 + j0,1	0,7 + j0,1	25	0,1 + j0,1	0,4 + j0,2	0,4 + j0,2
11	0,2 + j0,1	0,6 + j0,1	0,6 + j0,1	26	0,3 + j0,1	0,5 + j0,2	0,3 + j0,1
12	0,3 + j0,1	0,4 + j0,1	0,9 + j0,1	27	0,2 + j0,1	0,6 + j0,2	0,4 + j0,2
13	0,2 + j0,1	0,2 + j0,1	0,5 + j0,2	28	0,2 + j0,2	0,2 + j0,2	0,2 + j0,1
14	0,2 + j0,2	0,3 + j0,1	0,3 + j0,2	29	0,1 + j0,1	0,4 + j0,3	0,5 + j0,2
15	0,1 + j0,1	0,5 + j0,2	0,6 + j0,2	30	0,3 + j0,2	0,3 + j0,2	0,3 + j0,2

Таблица 2.14 – Допустимая потеря напряжения для задачи 2.5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ΔU, %	5	5	4	4	5,4	4	5,4	5	5	6,2	5	4	5	4	5,8
Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ΔU, %	4	5	4	3	4	6,5	4	5	5	3	6,5	4,5	6	6	6,2

Задача 2.6

По допустимому току нагрева выбрать площадь сечения провода СИП напряжением 0,38 кВ для подключения нагрузки Р, мощность которой указана в таблице 2.16, а коэффициент мощности нагрузки – в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Варианты исходных данных для задачи 2.6

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
cosφ нагрузки	0,93	0,85	0,8	0,82	0,9	0,88	0,84	0,8	0,76	0,7
Номер варианта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
cosφ нагрузки	0,7	0,75	0,82	0,74	0,9	0,85	0,8	0,85	0,92	0,69
Номер варианта	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
cosφ нагрузки	0,65	0,91	0,88	0,84	0,81	0,78	0,72	0,67	0,84	0,75

Таблица 2.16 – Варианты исходных данных для задачи 2.6

Номер варианта	Нагрузка Р, кВт	Номер варианта	Нагрузка Р, кВт	Номер варианта	Нагрузка Р, кВт
1	42	13	105	21	133
2	35	11	85	22	135
3	40	13	90	23	147
4	45	14	95	24	149
5	59	15	100	25	134
6	55	16	94	26	160
7	63	17	110	27	138
8	65	18	115	28	170
9	79	19	120	29	183
10	71	20	125	30	165

Задача 2.7

Выбрать сечение проводов линии электропередачи напряжением 35 кВ для питания птицефабрики первой категории по надежности электроснабжения с максимальной нагрузкой 10 МВ·А при $\cos\varphi = 0,8$ и продолжительностью использования максимальной нагрузки 4500 ч. Протяженность линии составляет 20 км, допустимая потеря напряжения в сети 5,6%. При расчете учесть необходимость резервирования питания потребителя.

Задача 2.8

Выбрать сечение проводов воздушной линии электропередачи напряжением 0,4 кВ длиной 200 метров для питания цеха по выращиванию утят. Воздушная линия присоединяется к шинам подстанции 0,4 кВ, на которой установлен трансформатор ТМ номинальной мощностью 100 кВ·А. Подстанция питается по ВЛ 10 кВ, выполненной проводом АС-95/16, длиной 5 км. Нагрузка на вводе в цех составляет 40 кВт при $\cos\varphi = 0,85$, допустимая потеря напряжения в нормальном режиме составляет 4,8%. В цехе установлен вентилятор с асинхронным электродвигателем мощностью 14 кВт; коэффициент полезного действия электродвигателя – 90%; кратность пускового тока – 5,5; $\cos\varphi_{дв} = 0,8$.

Задача 2.12

Выбрать сечение кабеля типа АВВГ для питания электродвигателя от распределительного устройства типа ПР 85-3099-54-Т2. Параметры асинхронного электродвигателя типа 4А:

$P_{ном} = 55$ кВт; $\eta = 91$ %; $\cos \varphi = 0,92$; $K_I = 7,5$.

Задача 2.9

По проводу СИП на напряжении 0,38 кВ необходимо передать мощность $S = 60$ кВт при $\cos\varphi = 0,8$ на расстояние 250 метров. Трехфазный ток короткого замыкания в точке подключения линии составляет 1850 А, время отключения короткого замыкания $t_{\text{откл}} = 2$ с. Допустимая потеря напряжения составляет 5,5 %. Выбрать площадь сечения токоведущей жилы СИП и проверить провод на термическую стойкость к току короткого замыкания.

2.4 Расчет потерь мощности и энергии

Цель самостоятельной работы: научиться определять потери мощности и электрической энергии в сельских электрических сетях по методу максимальных нагрузок [1, с. 81 – 84].

Задача 2.10

По исходным данным задачи 2.3 для схемы разветвленной сети напряжением U , принимаемой в соответствии с вариантом задания (рисунки 2.1 и 2.2), определить суммарные годовые потери электроэнергии. Нагрузка в узлах задана полной мощностью S (кВА) и коэффициентом мощности $\cos\varphi$. Параметры сети принять в соответствии с вариантом задания по таблицам 2.5 – 2.9. Число часов использования максимума нагрузки (T_m) по всем участкам сети принять по таблице 2.16. Годовые потери электроэнергии указать в процентах от количества электроэнергии переданной по сети за год.

Таблица 2.16 – Варианты исходных данных для задачи 2.10

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T_m , час	3500	3710	4000	4200	4100	3400	4500	3900	4250	4700
Номер варианта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T_m , час	4650	3700	4000	3420	4540	3980	4520	3970	4140	3960
Номер варианта	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
T_m , час	3590	3760	4150	3920	4880	3700	4250	3870	3650	4350

Задача 2.11

На подстанции напряжением 10/0,4 кВ установлен трансформатор типа ТМ. Максимальную нагрузку трансформатора P_{\max} , коэффициент мощности нагрузки ($\cos\varphi$) принять в соответствии с заданным вариантом по таблице 2.17. Трансформатор присоединен к воздушной линии напряжением U , длиной ℓ . По сети за год необходимо передать электроэнергию W_{Γ} . Выбрать сечение провода линии 10 кВ и определить полные потери энергии в сети.

Таблица 2.17 – Варианты заданий для задачи 2.11

Номер варианта	Тип трансформатора	P_{\max} , кВт	$\cos\varphi$	U , кВ	ℓ , км	W_{Γ} , МВт·ч
1	2	3	4	5	6	7
1	ТМ-630/10/0,4	420	0,9	10	20	1680
2	ТМ-400/10/0,4	300	0,88	10	13	1260
3	ТМ-250/10/0,4	200	0,92	10	14	750
4	ТМ-160/10/0,4	125	0,85	10	17	500
5	ТМ-100/10/0,4	80	0,7	10	16	280
6	ТМ-630/10/0,4	500	0,8	10	15	1750
7	ТМ-400/10/0,4	340	0,9	10	10	1190
8	ТМ-250/10/0,4	220	0,88	10	12	770
9	ТМ-160/10/0,4	140	0,92	10	16	588
10	ТМ-100/10/0,4	74	0,85	10	15	333
11	ТМ-630/10/0,4	420	0,7	10	18	1600
12	ТМ-400/10/0,4	300	0,8	10	19	1200
13	ТМ-250/10/0,4	150	0,75	10	11	600
14	ТМ-160/10/0,4	100	0,75	10	14	350
15	ТМ-100/10/0,4	70	0,8	10	35	280
16	ТМ-630/35/10	420	0,9	35	28	1680
17	ТМ-1000/35/10	820	0,88	35	23	3280
18	ТМ-1600/35/10	1200	0,8	35	30	4800
19	ТМ-2500/35/10	2100	0,85	35	32	8400
20	ТМ-4000/35/10	2500	0,7	35	24	10000
21	ТМ-6300/35/10	4000	0,8	35	33	16000
22	ТМ-2500/35/10	2150	0,9	35	32	7525
23	ТМ-2500/35/10	1900	0,8	35	40	7500
24	ТМ-4000/35/10	3500	0,92	35	29	14000
25	ТМ-4000/35/10	3000	0,85	35	35	12000
26	ТМ-1600/35/10	1200	0,75	35	38	4800
27	ТМ-2500/35/10	2000	0,8	35	36	8000
28	ТМ-630/35/10	500	0,85	35	28	1750
29	ТМ-1000/35/10	830	0,9	35	40	2905
30	ТМ-2500/35/10	2200	0,9	35	23	7700

2.5 Расчет замкнутых электрических сетей

Цель самостоятельной работы: научиться выполнять расчеты режимов работы простейших замкнутых сетей[1, стр. 166 – 171].

Задача 2.12

Выполнить электрический расчёт замкнутой электрической сети, схема которой соответствует рисунку 2.5, а необходимые исходные данные в соответствии с вариантом задания приведены в таблице 2.18.

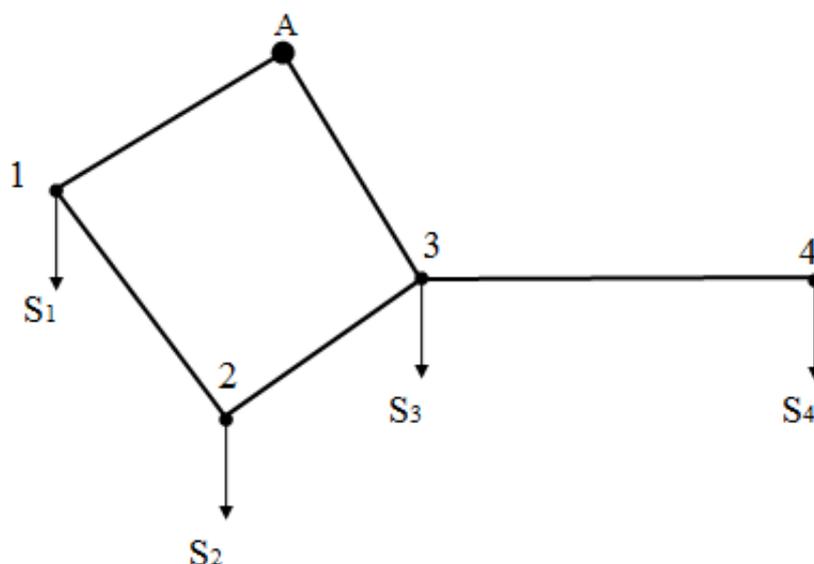


Рисунок 2.5 – Схема сети для выполнения расчетно-графической работы «Расчет замкнутых электрических сетей»

Порядок работы:

1. Определить потоки мощностей по участкам сети в нормальном режиме, определить точку токораздела.
2. Определить потоки мощностей при отключении головного участка А-1.
3. Определить потоки мощностей при отключении головного участка А-3.
4. Выбрать площадь сечения провода.
5. Выполнить проверку по длительно допустимому току.
6. Выполнить расчет потерь напряжения в нормальном и аварийном режимах.
7. По результатам расчета потерь напряжения в нормальном и аварийном режимах выполнить окончательный выбор провода.
8. Вычислить напряжения в узловых точках линии и построить эпюры распределения напряжений по длине линии.

Таблица 2.18 – Варианты задания для расчета замкнутых электрических сетей

№в	$S_1/\cos\varphi_1$	$S_2/\cos\varphi_2$	$S_3/\cos\varphi_3$	$S_4/\cos\varphi_4$	l_{A-1} , км	l_{1-2} , км	l_{2-3} , км	l_{3-4} , км	l_{A-3} , км	U_H , кВ	$\Delta U_{доп}$, %
1	100/0,87	200/0,69	250/0,8	300/0,9	1,5	3	1,6	0,5	2	10	5
2	200/0,6	210/0,8	340/0,6	—	2	2	2	—	2	10	6
3	150/0,7	400/0,8	340/0,8	150/0,85	3	2	3	2	4	10	4,5
4	1000/0,8	1500/0,8	1200/0,9	1050/0,7	5	4	3	2	5,5	35	6
5	2500/0,9	1700/0,8	1100/0,9	1300/0,7	4	5	5	3	4,8	35	5,5
6	40/0,8	20/0,9	10/0,85	—	0,1	0,2	0,3	—	0,15	0,38	4
7	30/0,85	30/0,7	20/0,9	10/0,9	0,2	0,25	0,3	0,35	0,25	0,38	5
8	1600/0,8	1700/0,9	1200/0,6	1300/0,8	3	5	7	2	35	35	6
9	1700/0,9	1300/0,8	1700/0,7	1400/0,8	2,5	5,6	4	7	2,5	35	4,5
10	400/0,8	250/0,9	300/0,7	250/0,9	1	2	3	2	1,6	10	6
11	170/0,75	260/0,7	320/0,85	310/0,7	3	2	2	3	4	10	5,5
12	230/0,8	300/0,7	200/0,8	400/0,7	5	3	2	1	3	10	5
13	400/0,9	330/0,85	100/0,7	100/0,8	3	2	1	4	4	10	6
14	300/0,7	150/0,8	120/0,9	100/0,7	2	4	4	2	5	10	4,5
15	100/0,8	400/0,9	500/0,9	600/0,8	2,3	3	3	1	2,8	10	6
16	20/0,9	30/0,7	10/0,8	30/0,75	0,2	0,3	0,3	0,2	0,28	0,38	5,5
17	15/0,7	21/0,7	35/0,8	—	0,3	0,4	0,3	—	0,32	0,38	5
18	10/0,7	20/0,8	30/0,8	10/0,9	0,4	0,3	0,2	0,1	0,41	0,38	6
19	30/0,85	20/0,85	25/0,7	10/0,8	0,15	0,2	0,3	0,4	0,18	0,38	4,5
20	40/0,85	10/0,85	20/0,85	10/0,85	0,3	0,15	0,18	0,21	0,25	0,38	6
21	140/0,87	220/0,69	250/0,8	330/0,9	1,5	3	1,6	0,5	2	10	5,5
22	240/0,6	230/0,8	380/0,6	270/0,85	2	2	2	5	3	10	6
23	170/0,7	430/0,8	360/0,8	160/0,85	3	2	3	2	4	10	4,5
24	1100/0,8	1400/0,8	1200/0,9	1080/0,7	5	4	3	2	5,5	35	6
25	2550/0,9	1800/0,8	1300/0,9	1900/0,7	4	5	5	3	4,8	35	5,5

Окончание таблицы 2.18

№В	$S_1/\cos\varphi_1$	$S_2/\cos\varphi_2$	$S_3/\cos\varphi_3$	$S_4/\cos\varphi_4$	$l_{A-1},$ км	$l_{1-2},$ км	$l_{2-3},$ км	$l_{3-4},$ км	$l_{A-3},$ км	$U_H,$ кВ	$\Delta U_{\text{доп}},$ %
26	800/0,8	700/0,7	600/0,8	400/0,8	5	3	3	5	6	35	5
27	1200/0,8	1500/0,9	1300/0,7	–	1,5	5	5	–	1	35	6
28	600/0,7	700/0,8	900/0,7	300/0,75	3	5	4	2	4	35	4,5
29	300/0,750	200/0,8	400/0,83	–	2	1,5	1,5	–	4	10	6
30	800/0,8	900/0,8	700/0,87	600/0,79	2	7	4	5	3	35	5,5
31	900/0,75	1200/0,69	1300/0,8	900/0,85	4	4,5	7	1	5	35	4
32	10/0,8	25/0,7	40/0,8	25/0,9	0,3	0,4	0,4	0,25	0,23	0,38	5
33	270/0,85	300/0,8	360/0,8	100/0,8	2	1,5	2	1,5	2,5	10	6
34	340/0,82	400/0,85	120/0,9	105/0,8	1,5	2,3	2,4	1,8	2	10	4,5
35	270/0,85	340/0,82	130/0,7	500/0,8	2,3	1,2	1,8	3	2,8	10	6
36	45/0,7	10/0,8	15/0,85	23/0,9	0,1	0,15	0,3	0,2	0,15	0,38	5,5
37	30/0,9	25/0,7	10/0,85	12/0,7	0,2	0,25	0,35	0,4	0,25	0,38	5
38	15/0,8	40/0,85	20/0,9	10/0,85	0,3	0,15	0,15	0,3	0,35	0,38	6
39	100/0,8	340/0,7	270/0,85	300/0,85	1	2	2	3	4	10	4,5
40	500/0,9	300/0,7	200/0,8	600/0,8	4	3	2	1	3,5	10	6
41	400/0,8	700/0,8	900/0,7	400/0,75	4	5	5	3	4,2	35	5,5
42	600/0,7	800/0,8	900/0,8	250/0,7	5	4	3	2	6	35	5
43	200/0,87	300/0,69	250/0,8	200/0,9	1,5	3	1,6	1,5	1,9	10	6
44	280/0,6	240/0,8	340/0,6	100	3	2	1	5	4	10	4,5
45	900/0,8	800/0,7	600/0,8	400/0,8	5	3	3	5	6	35	6
46	1100/0,8	1600/0,9	1300/0,7	–	1,5	5	5	–	1,9	35	5,5
47	650/0,7	800/0,8	990/0,7	300/0,75	3	5	4	2	3,5	35	6
48	400/0,750	300/0,8	300/0,83	–	2	1,5	1,5	–	2,8	10	4,5
49	900/0,8	1240/0,8	800/0,87	600/0,79	2	7	4	5	5	35	6
50	1000/0,75	1200/0,69	1300/0,8	900/0,85	4	4,5	7	1	3	35	4

ЗТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Цель самостоятельной работы: научиться выполнять расчеты токов трехфазного и однофазного короткого замыкания методами относительных и именованных единиц с учетом особенностей сельских электрических сетей [1, стр. 172 – 192].

Задача 3.1

Для схемы сети, приведенной на рисунке 3.1 выполнить расчет токов трехфазного короткого замыкания методом относительных единиц. Параметры сети в соответствии с вариантом задания принять по таблице 3.1.

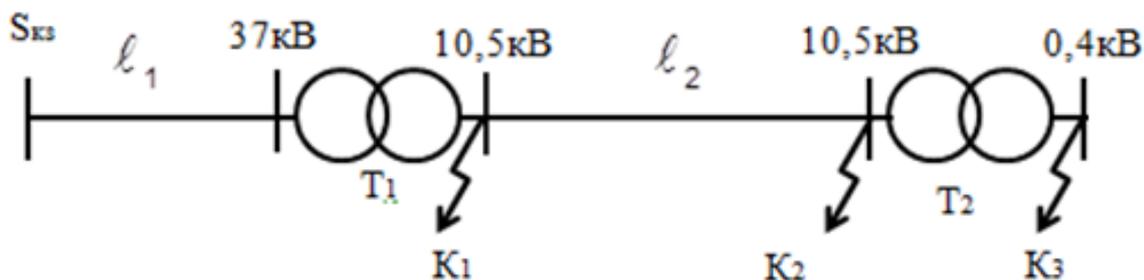


Рисунок 3.1 – Расчетная схема сети для задачи 2.13

Задача 2.14

Для схемы сети, приведенной на рисунке 3.2 выполнить расчет токов однофазного короткого замыкания методом именованных единиц. Параметры сети в соответствии с вариантом задания принять по таблице 3.2

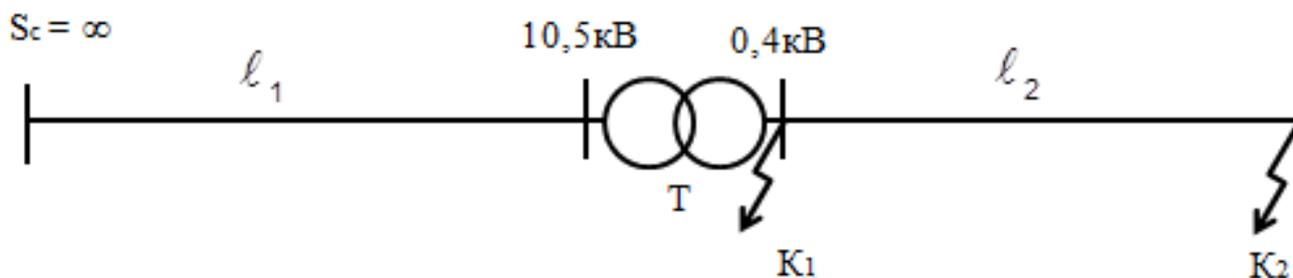


Рисунок 3.2 – Расчетная схема сети для задачи 2.14

Таблица 3.1 – Варианты заданий для задачи 3.1

Номер варианта	$S_{кз},$ МВА	$S_{номТ1},$ МВА	$S_{номТ2},$ МВА	$l_1,$ км	Марка провода да для l_1	$l_2,$ км	Марка про- вода для l_2
1	100	1000	63	22	АС-70	7	А-35
2	120	1600	40	10	АС-95	5	А-50
3	140	2500	25	15	АС-120	6	А-70
4	200	4000	100	21	АС-150	1	А-95
5	150	6300	160	14	АС-185	4	А-120
6	250	10000	250	18	АС-240	2	СИП-3 1 × 35
7	210	16000	400	23	АС-70	3	СИП-3 1 × 95
8	300	1000	630	26	АС-95	8	СИП-3 1 × 50
9	280	1600	63	28	АС-120	12	СИП-3 1 × 70
10	275	2500	40	17	АС-150	11	СИП-3 1 × 95
11	220	4000	25	15	АС-185	13	СИП-3 1 × 120
12	350	6300	100	14	АС-240	20	А-35
13	400	10000	160	12	АС-70	14	А-50
14	330	16000	250	19	АС-95	15	А-70
15	320	1000	400	30	АС-120	16	А-95
16	310	1600	630	32	АС-150	17	А-120
17	340	2500	63	34	АС-185	18	СИП-3 1 × 35
18	350	4000	40	17	АС-240	19	СИП-3 1 × 95
19	360	6300	25	18	АС-70	10	СИП-3 1 × 50
20	260	10000	100	19	АС-95	9	СИП-3 1 × 70
21	270	16000	160	27	АС-120	8	СИП-3 1 × 95
22	280	1000	250	14	АС-150	7	СИП-3 1 × 120
23	290	1600	400	13	АС-185	6	А-35
24	180	2500	630	10	АС-240	5	А-50
25	165	4000	100	35	АС-70	4	А-70
26	430	6300	160	24	АС-95	3	А-95
27	440	10000	250	31	АС-120	2	А-120
28	450	16000	400	32	АС-150	5	СИП-3 1 × 50
29	460	1600	630	16	АС-185	6	СИП-3 1 × 70
30	470	2500	160	14	АС-240	8	АС-95

Таблица 3.2 – Варианты заданий для самостоятельного решения задачи 3.2

№в	$S_{\text{номт}},$ МВА	$l_1,$ км	Марка провода для l_1	$l_2,$ м	Марка провода для l_2
1	63	6	АС-35	200	А-70
2	40	1	АС-50	250	А-120
3	25	4	А-70	300	А-70
4	100	2	А-95	100	А-70
5	160	3	А-120	120	А-120
6	250	8	СИП-3 1 × 35	140	А-70
7	400	12	СИП-3 1 × 95	220	А-120
8	630	11	СИП-3 1 × 50	70	А-70
9	63	13	СИП-3 1 × 70	90	А-70
10	40	20	СИП-3 1 × 95	130	СИП-1 3×25+1×35
11	25	14	АС-35	240	СИП-1 3×35+1×50
12	100	15	АС-50	260	СИП-1 3×25+1×35
13	160	16	А-70	280	СИП-1 3×35+1×50
14	250	17	А-95	320	СИП-1 3×50+1×70
15	400	18	А-120	340	СИП-1 3×50+1×70
16	630	19	СИП-3 1 × 35	380	СИП-1 3×95+1×95
17	63	10	СИП-3 1 × 95	100	СИП-1 3×50+1×70
18	40	9	СИП-3 1 × 50	120	СИП-2 3×70+1×95
19	25	8	СИП-3 1 × 70	140	СИП-2 3×25+1×35
20	100	7	СИП-3 1 × 95	220	СИП-2 3×50+1×70
21	160	6	АС-95	70	СИП-2 3×70+1×95
22	250	5	АС-35	160	СИП-2 3 × 120
23	400	4	АС-50	190	А-35
24	630	3	АС-70	140	А-50
25	100	2	АС-95	210	А-70
26	160	5	АС-120	290	А-95
27	250	6	СИП-3 1 × 50	280	А-120
28	400	8	СИП-3 1 × 70	220	СИП-1 3×35+1×50
29	630	5	СИП-3 1 × 95	135	СИП-1 3×50+1×70
30	160	7	А-70	325	СИП-1 3×50+1×70

Задача 3.3

Построить кривую изменения тока трехфазного короткого замыкания для условий возникновения максимально возможного тока короткого замыкания в сети с индуктивным и активным сопротивлениями, если сеть получает питание от источника бесконечной мощности.

4 РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Цель самостоятельной работы: Освоить методику определения допустимых потерь напряжения в сети 0,38 и 10 кВ. Научиться определять мощность компенсирующего устройства продольного и поперечного включения [1, стр. 172 – 192].

Задача 4.1

Для схемы сети, изображенной на рисунке 4.1, определить допустимые потери напряжения в сети 10 и 0,38 кВ. На шинах 10 кВ подстанции 35/10 кВ осуществляется режим регулирования напряжения, заданный в таблице 4.1 в зависимости от номера варианта.

$V_{ш}^{100}$ – отклонение напряжения в процентах от номинального напряжения сети в режиме максимальных нагрузок;

$V_{ш}^{25}$ – отклонение напряжения в процентах от номинального напряжения сети в режиме минимальных нагрузок.

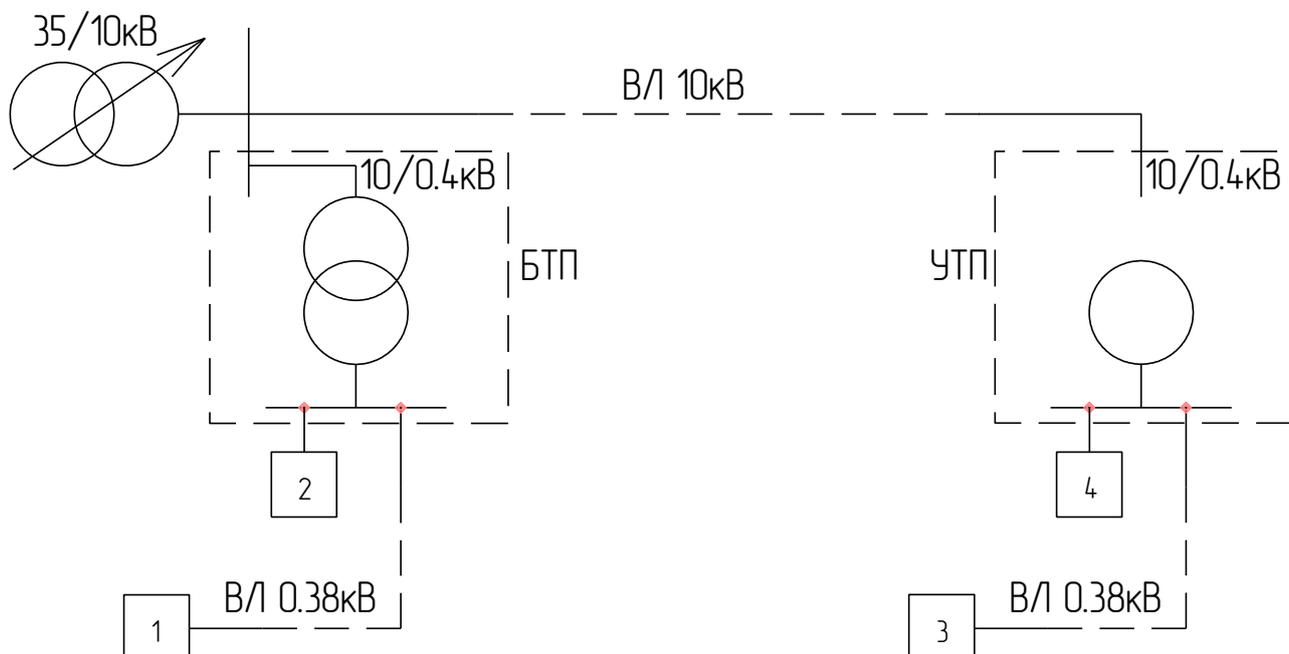


Рис. 4.1 – Схема сети для задачи 4.1

Таблица 4.1 – Варианты исходных данных для задачи 4.1

Номер варианта	Отклонение напряжения		Номер варианта	Отклонение напряжения	
	$V_{\text{ш}}^{100}, \%$	$V_{\text{ш}}^{25}, \%$		$V_{\text{ш}}^{100}, \%$	$V_{\text{ш}}^{25}, \%$
1	5	0	16	4	1
2	2	1	17	1	0
3	3	3	18	3	0
4	5	5	19	4	4
5	4	0	20	2	2
6	2	2	21	0	0
7	2	1	22	5	1,5
8	5	0	23	5	1
9	4	0	24	5	3
10	4	4	25	5	5
11	5	2	26	4,5	0
12	3	0	27	2,5	0
13	2	1,5	28	3	1
14	3,5	0	29	5	0
15	5,5	2	30	5	5

Задача 4.2

Для электрической сети напряжением 10 кВ, схема которой приведена на рисунке 4.2, требуется определить мощность батареи конденсаторов, которую необходимо установить на шинах 0,38 кВ подстанции для увеличения коэффициента мощности нагрузки до значения $\cos\varphi = 0,925$. Нагрузки в узлах и параметры сети в соответствии с вариантом задания приведены в таблице 4.2.

Определить насколько изменятся потери активной мощности в линии 10 кВ в результате установки выбранной батареи конденсаторов.

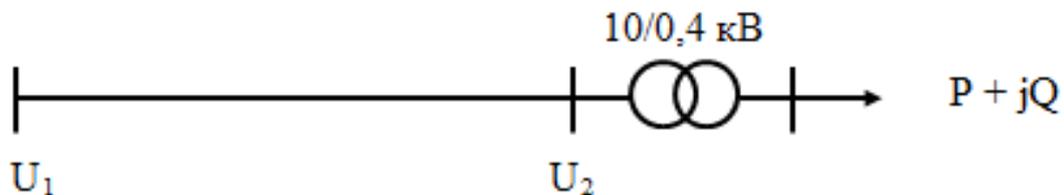


Рисунок 4.2 – Схема сети для задачи 4.2

Таблица 4.2 – Варианты исходных данных для задачи 4.2

Номер варианта	Марка провода	Длина линии, км	$P + jQ$, МВА	Номер варианта	Марка провода	Длина линии, км	$P + jQ$, МВА
1	АС-95	13	$0,6 + j0,5$	16	АС- 50	11	$0,84 + j0,65$
2	АС-95	14	$0,6 + j0,6$	17	АС- 70	13	$0,72 + j0,55$
3	АС-120	15	$0,6 + j0,6$	18	АС-50	17	$0,69 + j0,51$
4	АС-35	16	$0,7 + j0,4$	19	АС-70	18	$0,63 + j0,6$
5	АС-25	17	$0,8 + j0,5$	20	АС-95	16	$0,5 + j0,4$
6	АС-50	12	$0,8 + j0,6$	21	АС-150	12	$0,5 + j0,6$
7	АС-70	10	$0,7 + j0,5$	22	АС-50	9	$0,9 + j0,4$
8	АС-95	9	$0,7 + j0,5$	23	АС-70	16	$0,55 + j0,5$
9	АС-150	16	$0,8 + j0,7$	24	АС-95	18	$0,75 + j0,3$
10	АС-50	18	$0,6 + j0,5$	25	АС-120	20	$0,8 + j0,6$
11	АС-70	17	$0,6 + j0,6$	26	АС-70	19	$0,7 + j0,5$
12	АС-95	15	$0,5 + j0,4$	27	АС-70	13	$0,6 + j0,6$
13	АС-120	16	$0,75 + j0,5$	28	АС-150	10	$0,64 + j0,45$
14	АС-70	18	$0,85 + j0,5$	29	АС-70	8	$0,8 + j0,5$
15	АС-70	19	$0,65 + j0,5$	30	АС-95	14	$0,55 + j0,5$

5 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Выполнить электрический расчет замкнутой сети напряжением 10 кВ для нормального и аварийного режима, схема сети приведена на рисунке 5.1. Мощности (вкВА) и длины (в км) (подчеркнутая цифра) указаны на рисунке. Допустимая потеря напряжения в сети составляет 6%.

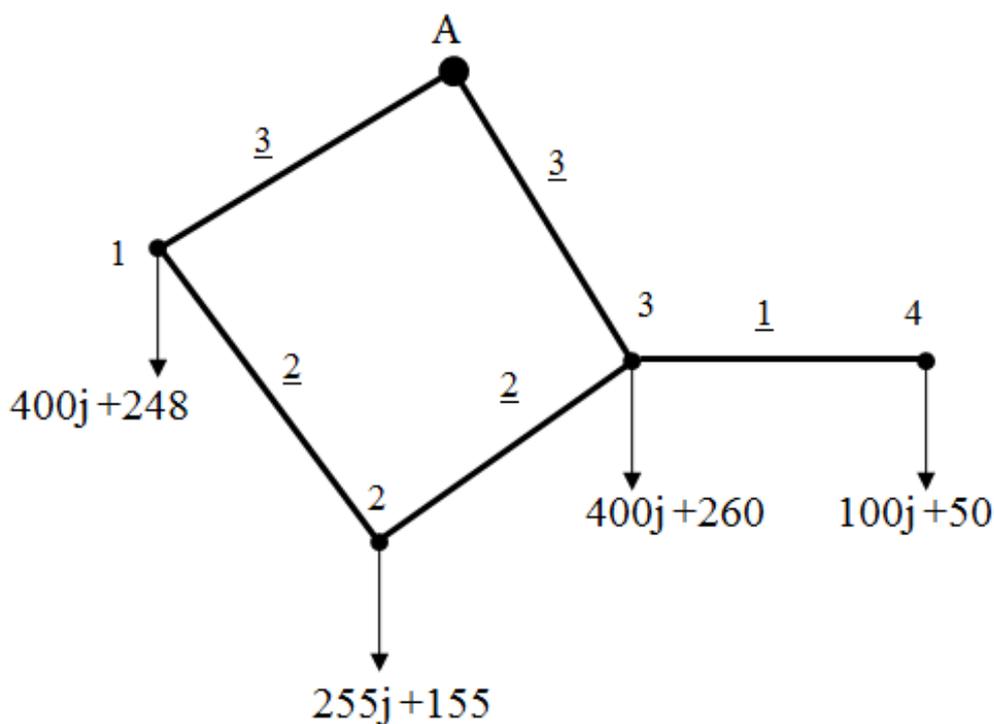


Рисунок 5.1 – Схема замкнутой сети к разделу 5.4

Решение:

1. Замкнутой называют электрическую сеть магистральные линии, которой получают питание не менее чем с двух сторон. Простейшими замкнутыми сетями являются линия с двухсторонним питанием от двух источников, напряжения которых в общем случае могут отличаться по величине и по фазе и кольцевая сеть, питающаяся от одного источника

Если кольцевую сеть разрезать по источнику питания и развернуть, то получим сеть с двухсторонним питанием, но с одинаковым напряжением на концах. Расчет сложных замкнутых сетей поэтому, в конечном счете, сводится к расчету линии с двухсторонним питанием.

Мощность от источника питания А определяется по формуле

$$\dot{S}_{A-1} = \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_B}{\dot{Z}_{AB}} \cdot U_H + \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \cdot \dot{Z}_{iB}}{\dot{Z}_{AB}}. \quad (5.1)$$

В практических расчетах принимают, что напряжения источников питания равны между собой по абсолютному значению и совпадают по фазе, а все участки магистральной линии выполнены проводом одинакового сечения. В этом случае мощности, передаваемые из источников питания, определяются

$$\dot{S}_{A-1} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \cdot l_{iB}}{L_{AB}}; \quad \dot{S}_{B-3} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \cdot l_{iA}}{L_{AB}} \quad (5.2)$$

или отдельно для активной и реактивной составляющих мощности

$$P_{A-1} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot l_{iB}}{L_{AB}}; \quad Q_{A-1} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot l_{iB}}{L_{AB}}; \quad (5.3)$$

$$P_{B-3} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot l_{iA}}{L_{AB}}; \quad Q_{B-3} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot l_{iA}}{L_{AB}}, \quad (5.4)$$

т.е., мощности, вытекающие из источников А или В, равны сумме мощностей каждого потребителя, подключенного в i -м узле магистральной линии, умноженных на противоположное плечо (расстояние от потребителя до противоположного источника питания).

Выполнить электрический расчет – это значит определить потери напряжения в сети при заданных сечениях проводов или выбрать сечения проводов линий при заданной допустимой потере напряжения.

Для определения потерь напряжения в сети надо определить потоки мощности по участкам, для этого преобразуем замкнутую сеть в линию с двухсторонним питанием.

Разрезаем замкнутую сеть по источнику питания и разворачиваем. Получили схему сети, изображенную на рисунке 5.2.

По формулам (5.3) и (5.4) определяем значения активных и реактивных мощностей, вытекающих из источников питания А и А'.

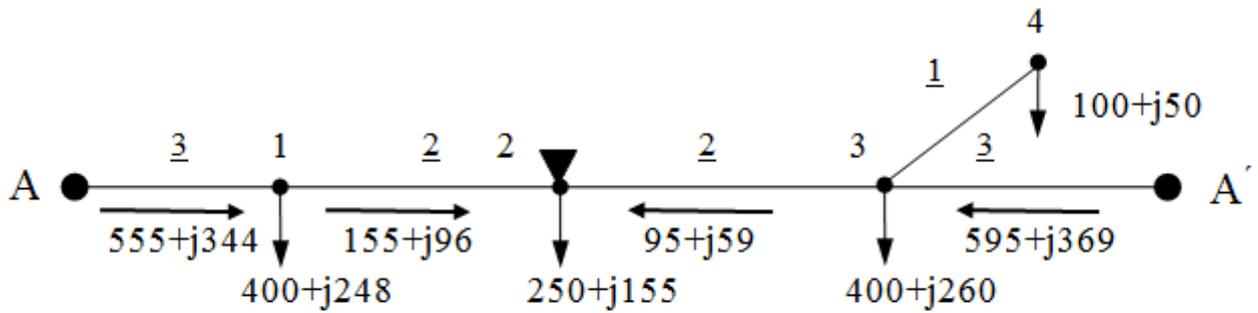


Рисунок 5.2 – Преобразование замкнутой сети в линию с двухсторонним питанием

$$P_{A-1} = \frac{P_1 \cdot (l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-A'}) + P_2 \cdot (l_{2-3} + l_{3-A'}) + P_3 \cdot l_{3-A'}}{L_{A-B}} =$$

$$= \frac{400 \cdot (2 + 2 + 3) + 250 \cdot (2 + 3) + (400 + 100) \cdot 3}{3 + 2 + 2 + 3} = 555 \text{ кВт.}$$

$$P_{A'-3} = \frac{P_3 \cdot (l_{3-2} + l_{2-1} + l_{1-A}) + P_2 \cdot (l_{2-1} + l_{1-A}) + P_1 \cdot l_{1-A}}{L_{A-B}} =$$

$$= \frac{(400 + 100) \cdot (2 + 2 + 3) + 250 \cdot (2 + 3) + 400 \cdot 3}{10} = 595 \text{ кВт.}$$

Аналогично вычисляем реактивные мощности

$$Q_{A-1} = \frac{248 \cdot (2 + 2 + 3) + 155 \cdot (2 + 3) + (260 + 50) \cdot 3}{10} = 344 \text{ квар.}$$

$$Q_{A'-3} = \frac{(260 + 50) \cdot (2 + 2 + 3) + 155 \cdot (2 + 3) + 248 \cdot 3}{10} = 369 \text{ квар.}$$

Если расчёт мощностей источников выполнен правильно, то сумма мощностей источников должна быть равна сумме мощностей потребителей. Выполним проверку

$$P_{A-1} + P_{A'-3} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4;$$

$$555 + 595 = 400 + 250 + 400 + 100;$$

$$1150 \text{ кВт} = 1150 \text{ кВт};$$

$$Q_{A-1} + Q_{A'-3} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4;$$

$$344 + 365 = 248 + 155 + 260 + 50;$$

$$713 \text{ квар} = 713 \text{ квар},$$

т.е. баланс активных и реактивных мощностей соблюдается.

2. Определяем значения мощностей на участках линии и находим точку токораздела, используя первый закон Кирхгофа.

К узлу 1 подтекает активная мощность P_{A-1} , а вытекают из него мощности P_1 и P_{1-2} . Так как сумма втекающих в узел токов (мощностей) равна сумме вытекающих токов (мощностей), то по участку 1–2 передается мощность

$$P_{1-2} = P_{A-1} - P_1 = 555 - 400 = 155 \text{ кВт};$$

$$Q_{1-2} = Q_{A-1} - Q_1 = 344 - 248 = 96 \text{ квар.}$$

Аналогично для узла 3

$$P_{3-2} = P_{A'-3} - P_3 - P_4 = 595 - 400 - 100 = 95 \text{ кВт};$$

$$Q_{3-2} = Q_{A'-3} - Q_3 - Q_4 = 369 - 260 - 50 = 59 \text{ квар.}$$

К узлу 2 мощности подходят с двух сторон. Такие узлы называют точкой токораздела. Проверим баланс мощности в узле 2. Сумма подтекающих в узел мощностей

$$P_{1-2} + P_{3-2} = 155 + 95 = 250 \text{ кВт}$$

равна мощности, потребляемой в этом узле. Это относится и к реактивным мощностям

$$Q_{1-2} + Q_{3-2} = 96 + 59 = 155 \text{ квар.}$$

Положение точки токораздела отмечается заштрихованным треугольником, определив месторасположение точки токораздела, линию с двухсторонним питанием мысленно разрезают в этой точке и получают две радиальные линии с односторонним питанием (рисунок 5.3).

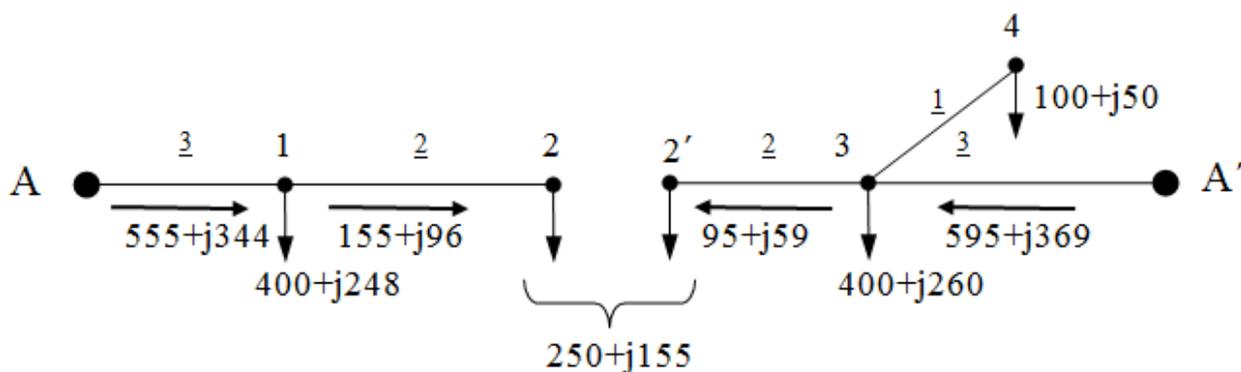


Рисунок 5.3— Замена линии с двухсторонним питанием двумя разомкнутыми

3. Для сетей напряжением 10 кВ выбираем марку провода и площадь его сечения методом экономических интервалов.

Полная мощность на наиболее загруженном участке $A'-3$

$$S_{A'-3} = \sqrt{P_{A'-3}^2 + Q_{A'-3}^2} = \sqrt{595^2 + 369^2} = 700 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Определяем ток на этом же участке

$$I_{A'-3} = \frac{S_{A'-3}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{700}{\sqrt{3} \cdot 10} = 40,5 \text{ А}.$$

В соответствии с концепцией развития сельских электрических сетей, разработанной ОАО «РОСЭП» филиала «НТЦ электроэнергетики» в сетях 10 кВ для повышения механической прочности должны применяться провода марок АС, причем на магистральных линиях сечением не менее 70 мм^2 , а на отпайках не менее 35 мм^2 .

$$S_{3-4} = \sqrt{100^2 + 50^2} = 111,8 \text{ кВА}.$$

$$I_{3-4} = \frac{111,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 6,46 \text{ А}.$$

Поэтому для магистрали выбираем провод АС-70, а для участка 3–4 провод может быть другого сечения, так как это отпайка от магистральной линии, сечение которой не должно быть меньше 35 мм^2 , принимаем провод А-35. Характеристики, выбранных проводов занесем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1– Характеристики проводов

Марка провода	r_o , Ом/км	x_o , Ом/км	$I_{\text{длит. доп. табл.}}$, А
АС-70	0,42	0,392	265
А-35	0,773	0,403	175

Здесь r_o , x_o определены по таблицам В 4, В 6 приложения В..

5. Проверяем выбранный провод по длительно допустимому нагреву.

Наибольшая мощность будет передаваться по любому из головных участков сети при отключении другого головного участка. Эта мощность равна сумме мощностей потребителей

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{(400 + 250 + 400 + 100)^2 + (248 + 155 + 260 + 50)^2} = 1353 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{S_{\text{макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{H}}} = \frac{1353}{\sqrt{3} \cdot 10} = 78,21 \text{ А.}$$

По таблице В 4 (приложение В) определяем длительно допустимый ток для провода АС-70.

$$I_{\text{длит. доп. табл.}} = 265 \text{ А, т.е.}$$

$$I_{\text{длит. доп. табл.}} \succ I_{\text{макс}}.$$

По нагреву в аварийном режиме провод проходит.

$$I_{\text{длит. доп. табл. АС-35}} = 175 \text{ А.}$$

$$I_{\text{макс 3-4}} = \frac{\sqrt{100^2 + 50^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 6,46 \text{ А} < 175 \text{ А.}$$

5. Проверяем выбранные провода по механической прочности.

Минимальные сечения проводов линий электропередачи по условиям механической прочности и коронирования в зависимости от напряжения сети, приведены в таблице В 17, из которой видим, что выбранные нами провода удовлетворяют требованиям механической прочности (сечение больше 25 мм²). Поэтому окончательно принимаем для линии эти провода.

6. Проверяем выбранный провод по потерям напряжения в нормальном режиме работы.

Потери напряжения в линии А-2

$$\Delta U_{1-2} = \frac{(P_{1-2} \cdot r_o + Q_{1-2} \cdot x_o) \cdot \ell_{1-2}}{U_{\text{H}}} = \frac{(155 \cdot 0,42 + 96 \cdot 0,392) \cdot 2}{10} = 20,6 \text{ В;}$$

$$\Delta U_{\text{А-1}} = \frac{(P_{\text{А-1}} \cdot r_o + Q_{\text{А-1}} \cdot x_o) \cdot \ell_{\text{А-1}}}{U_{\text{H}}} = \frac{(555 \cdot 0,42 + 344 \cdot 0,392) \cdot 3}{10} = 110,4 \text{ В.}$$

Потери напряжения от источника питания до точки токораздела

$$\Delta U_{\text{А-2}} = \Delta U_{1-2} + \Delta U_{\text{А-1}} = 20,6 + 110,4 = 131 \text{ В;}$$

$$\Delta U_{\text{А-2}} \% = \frac{131}{10000} \cdot 100\% = 1,31\%.$$

Напряжения в узлах

$$U_1 = U_{\text{H}} - \Delta U_{\text{А-1}} = 10000 - 110,4 = 9889,6 \text{ В;}$$

$$U_2 = U_{\text{H}} - \Delta U_{\text{А-1}} - \Delta U_{1-2} = 10000 - 110,4 - 20,6 = 9869 \text{ В.}$$

Потери напряжения в линии А'-2'

$$\Delta U_{A'-3} = \frac{(595 \cdot 0,42 + 369 \cdot 0,392) \cdot 3}{10} = 118,4 \text{ В};$$

$$\Delta U_{3-2'} = \frac{(95 \cdot 0,42 + 59 \cdot 0,392) \cdot 2}{10} = 12,6 \text{ В};$$

$$\Delta U_{3-4} = \frac{(100 \cdot 0,773 + 50 \cdot 0,403) \cdot 1}{10} = 9,8 \text{ В};$$

$$\Delta U_{A'-2'} = 118,4 + 12,6 = 131 \text{ В}.$$

Напряжения в узлах

$$U_3 = 10000 - 118,4 = 9881,6 \text{ В};$$

$$U_2' = U_2 = 10000 - 118,4 - 12,6 = 9869 \text{ В};$$

$$U_4 = 10000 - 118,4 - 9,8 = 9871,8 \text{ В}.$$

7. Определяем потери напряжения в аварийных режимах (например, при отключении источника A' или обрыве провода на участке $A'-3$).

Получим разомкнутую линию с питанием от источника A (рисунок 5.4).

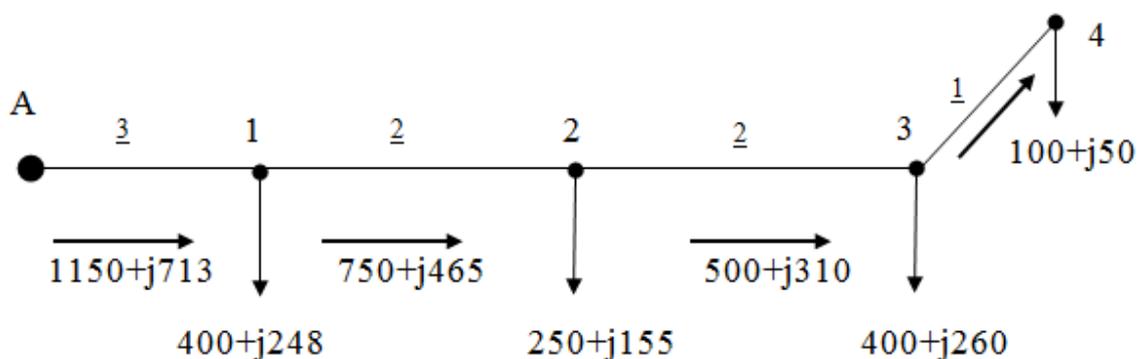


Рисунок 5.4 – Схема сети при отключении головного участка $A'-3$

Потоки мощности по сети при отключении участка $A'-3$:

$$P_{3-4} = 100 + j50;$$

$$P_{2-3} = 400 + 100 + j260 + j50 = 500 + j310;$$

$$P_{1-2} = 500 + 250 + j310 + j155 = 750 + j465;$$

$$P_{A-1} = 750 + 400 + j465 + j248 = 1150 + j713.$$

На участке 3-4 потери напряжения не изменяются, так как по нему течёт такой же ток, как и в нормальном режиме. По участкам магистральной линии токораспределение изменяется.

$$\Delta U_{2-3} = \frac{(500 \cdot 0,42 + 310 \cdot 0,392) \cdot 2}{10} = 66,3 \text{ В};$$

$$\Delta U_{1-2} = \frac{(750 \cdot 0,42 + 465 \cdot 0,392) \cdot 2}{10} = 99,5 \text{ В};$$

$$\Delta U_{A-1} = \frac{(1150 \cdot 0,42 + 713 \cdot 0,392) \cdot 3}{10} = 228,8 \text{ В}.$$

Суммарная потеря напряжения до узла 3 магистральной линии

$$\Delta U_{A-3} = 66,3 + 99,5 + 228,8 = 394,6 \text{ В}.$$

До потребителя 4 $\Delta U_{A-4} = 394,6 + 9,8 = 404,4 \text{ В}.$

Напряжения в узлах линий

$$\Delta U_1 = 10000 - 228,8 = 9771,2 \text{ В};$$

$$\Delta U_2 = 10000 - 228,8 - 99,5 = 9671,7 \text{ В};$$

$$\Delta U_3 = 10000 - 228,8 - 99,5 - 66,3 = 9605,4 \text{ В};$$

$$\Delta U_4 = 10000 - 228,8 - 99,5 - 66,3 - 9,8 = 9595,6 \text{ В}.$$

Определяем потери напряжения в послеаварийном режиме при отключении (обрыве провода) на головном участке А-1. Тогда получаем схему сети, изображённую на рисунке 5.5.

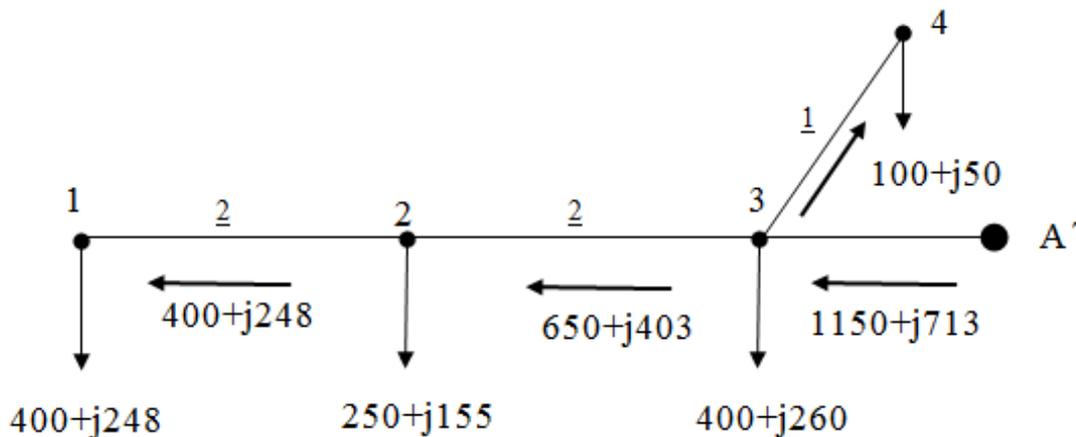


Рисунок 5.5– Схема сети при отключении головного участка А-1

Потоки мощности по сети при отключении участка А-1

$$P_{3-4} = 100 + j50;$$

$$P_{2-1} = 400 + j248;$$

$$P_{3-2} = 400 + j248 + 250 + j155 = 650 + j403;$$

$$P_{A'-3} = 650 + j403 + 400 + j260 + 100 + j50 = 1150 + j713.$$

Потери напряжения на участках линии

$$\Delta U_{2-1} = \frac{(400 \cdot 0,42 + 248 \cdot 0,392) \cdot 2}{10} = 53 \text{ В};$$

$$\Delta U_{3-2} = \frac{(650 \cdot 0,42 + 403 \cdot 0,392) \cdot 2}{10} = 86,2 \text{ В};$$

$$\Delta U_{A'-3} = \frac{(1150 \cdot 0,42 + 713 \cdot 0,392) \cdot 3}{10} = 228,8 \text{ В}.$$

Суммарные потери на участке А-3

$$\Delta U_{A-3} = 228,8 + 86,2 + 53 = 368 \text{ В}.$$

Напряжения в узлах

$$\Delta U_1 = 10000 - 228,8 - 86,2 - 53 = 9632 \text{ В};$$

$$\Delta U_2 = 10000 - 228,8 - 86,2 = 9685 \text{ В};$$

$$\Delta U_3 = 10000 - 228,8 = 9771,2 \text{ В};$$

$$\Delta U_4 = 10000 - 228,8 - 9,8 = 9761,4 \text{ В}.$$

8. Строим график распределения напряжений в магистральной линии (рисунок 5.6).

Видим, что напряжения в узловых точках в режимах отключения одного из головных участков значительно ниже, чем в нормальном. Наибольшие потери напряжения возникают при отключении головного участка А' – 3. Обычно считается, что при отключении одного из головных участков допускается снижение напряжения на 5 % по сравнению с нормальным режимом работы сети. Определим снижение напряжения в узлах при отключении головного участка А' – 3 по сравнению с нормальным режимом.

$$\Delta U_1 \% = \frac{9889,6 - 9771,2}{9889,6} \cdot 100 \% = 1,2 \%;$$

$$\Delta U_2 \% = \frac{9869 - 9671,7}{9869} \cdot 100 \% = 2 \%;$$

$$\Delta U_3 \% = \frac{9881,6 - 9605,4}{9881,6} \cdot 100 \% = 2,79 \%;$$

$$\Delta U_4 \% = \frac{9871,8 - 9595,6}{9871,8} \cdot 100 \% = 2,8 \%$$

Дополнительное снижение напряжения составляет не более 5 % во всех точках сети, следовательно, провода выбраны правильно по условию потерь напряжения в нормальном и в аварийном режимах.

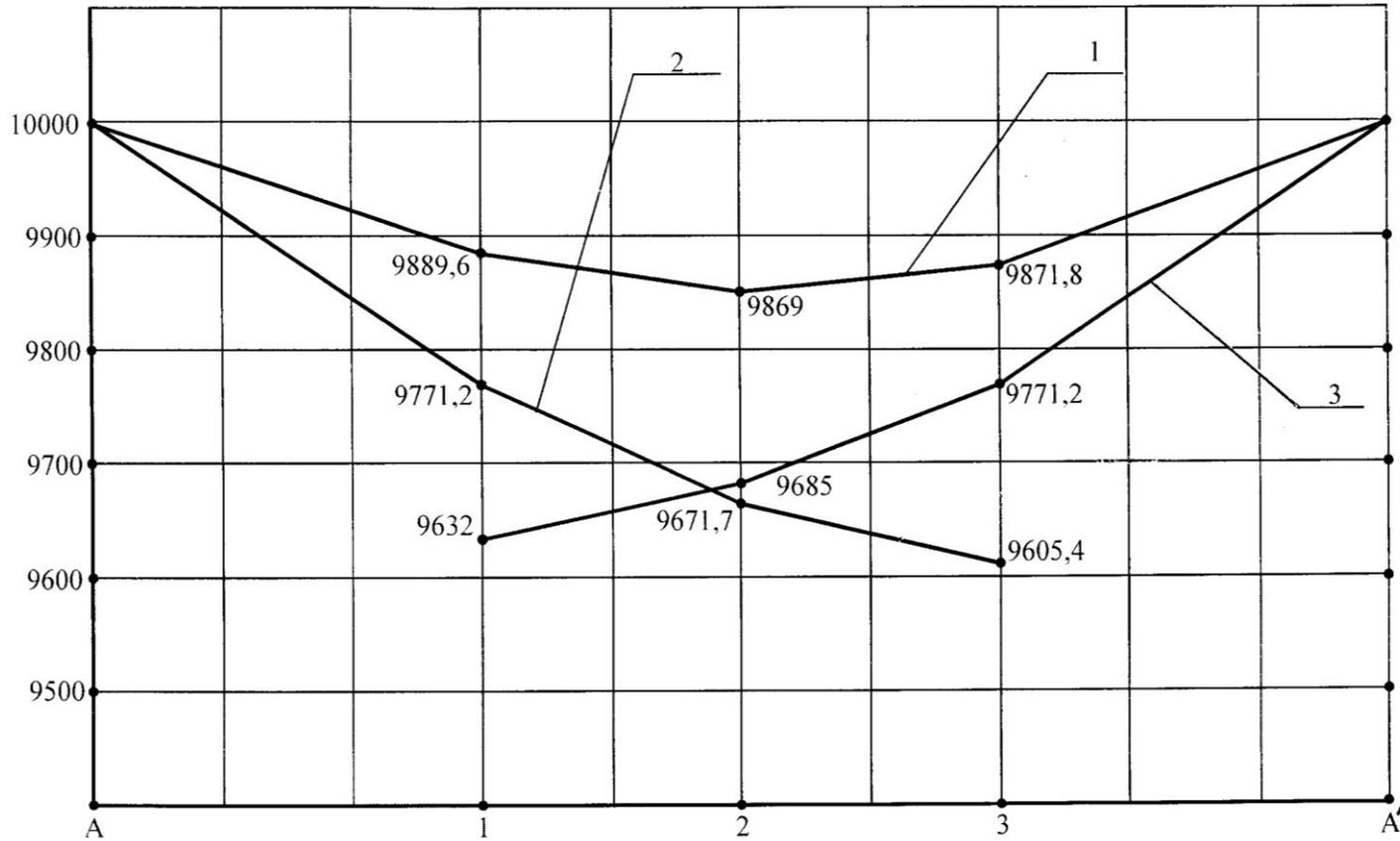


Рисунок – 5.6 График распределения напряжения в магистральной линии 10 кВ

1 – нормальный режим;

2 – отключение головного участка A'-3;

3 – отключение головного участка A-1.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ И ПРОВЕРКИ КОМПЕТЕНЦИЙ

1. Технологический процесс производства электроэнергии на электростанциях различного типа.
2. Схемы выдачи мощности электростанций.
3. Категории потребителей по надежности электроснабжения.
4. Основные показатели качества электрической энергии.
5. Задачи и перспективы развития электроснабжения. Значимость вопросов экономии электроэнергии в современных условиях.
6. Принципы построения схем электроснабжения предприятий АПК.
7. Принципиальные схемы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.
8. Графики нагрузок сельскохозяйственных потребителей.
9. Устройство сельских электрических сетей.
10. Области применения, маркировка, достоинства и недостатки проводов СИП.
11. Методы определения потерь энергии в сельских электрических сетях.
12. Способы выбора площади сечения проводов линий электропередачи.
13. Определение потерь напряжения в сельских электрических сетях 0,4 и 10 кВ.
14. Векторная диаграмма линии с одной нагрузкой на конце.
15. Понятие падения и потери напряжения.
16. Электрический расчет трехфазных сетей при равномерной нагрузке по фазам.
17. Электрический расчет замкнутых электрических сетей.
18. Расчет четырехпроводных сетей при неравномерной нагрузке по фазам.
19. Способы регулирования напряжения в сельских электрических сетях.
20. Регулирование напряжения на приемном (питающем) конце линии.
21. Регулирование напряжения изменением потерь напряжения в сети.
22. Определение допустимой потери напряжения в сети.
23. Регулирование напряжения с помощью ПАРН.

24. Механический расчет воздушных линий электропередачи.
25. Выбор режима нейтрали в установках ниже 1000 В.
26. Выбор режима нейтрали в установках выше 1000 В.
27. Трехфазные сети с изолированными нейтралями. Преимущества и недостатки.
28. Трехфазное короткое замыкание в сети, питающейся от источника бесконечной мощности.
29. Методы расчета симметричных токов короткого замыкания.
30. Расчетная сема и схема замещения установки.
31. Особенности расчета токов короткого замыкания в сетях ниже 1000 В.
32. Несимметричные короткие замыкания.
33. Виды повреждений и защита от них в сетях до 1000 В.
34. Защита сельских электрических сетей от перенапряжений.
35. Защита от перенапряжений трансформаторных подстанций.
36. Искровые промежутки.
37. Трубчатые разрядники.
38. Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений.
39. Способы гашения дуги в электрических цепях.
40. Выключатели высокого напряжения (масляные мало - и многообъемные).
41. Выключатели высокого напряжения (воздушные, вакуумные, элегазовые).
42. Выключатели нагрузки.
43. Разъединители, отделители, короткозамыкатели.
44. Измерительные трансформаторы тока и напряжения.
45. Выбор высоковольтной аппаратуры.
46. Релейная защита сельских электрических сетей с помощью МТЗ.
47. МТЗ на постоянном оперативном токе с независимой выдержкой времени.
48. МТЗ с зависимой выдержкой времени.
49. МТЗ на переменном оперативном токе.
50. Источники оперативного тока.
51. Токовые отсечки.
52. Защита сетей с изолированными нейтралями.
53. Реле прямого и косвенного действия.
54. Токовые отсечки.
55. Максимальная токовая направленная защита.

56. Защита сложных замкнутых сетей.
57. АПВ линий электропередачи (однократное, двукратное)
58. АВР
59. Регулирование возбуждения генераторов.
60. АГП генераторов.
61. Сельские трансформаторные подстанции 110-35/10 кВ.
62. Потребительские трансформаторные подстанции 35-10/0,4 кВ.
63. Определение места расположения подстанции.
64. Определение мощности трансформаторов подстанции.
65. Типы сельских электростанций.
66. Способы повышения надежности электроснабжения.
67. Секционирование линий с помощью реклоузеров.
68. Техничко-экономические расчеты в системах электроснабжения.
69. Определение места расположения и количества трансформаторных подстанций.
70. Выбор схем электрических соединений линий и трансформаторных подстанций.
71. Тупиковые , проходные и узловые трансформаторные подстанции.
72. Конструктивное исполнение трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и 35/0,4 кВ.
73. Проектирование электропроводок в жилых и производственных помещениях.
74. Монтаж воздушных линий электропередачи, прокладка кабелей.
75. Монтаж трансформаторных подстанций.
76. Оценка технического состояния электрических сетей.
77. Эксплуатация электрооборудования трансформаторных подстанций.
78. Эксплуатация воздушных и кабельных линий электропередачи.
79. Основные виды работ по техническому обслуживанию.
80. Эксплуатация оборудования распределительных устройств.
81. Измерение сопротивления заземления опор.
82. Измерение габаритов линии.
83. Измерение сопротивления петли «фаза–нуль» на линиях напряжением до 1 кВ.
84. Плавка гололеда на проводах линий электропередачи.
85. Ремонт воздушных линий электропередачи под напряжением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лещинская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: КолосС. – 2006. – 368с. – (Учебники и учеб.пособия для студентов средних специальных учеб. заведений).
2. Костюченко Л.П., Чебодаев А.В. Электроснабжение: учеб.пособие: Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – 347с.
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб.пособие для сред. проф. образования / Е.А. Конюхова.– 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 320с.
4. Макаров Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей: Учебник для нач. проф. образования М.: ИР-ПО: Издательский центр «Академия», 2003. – 448с.
5. Костюченко Л.П., Чебодаев А.В. Электроснабжение [Электронный ресурс]: Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2005. – 695с.
6. Костюченко Л.П., Чебодаев А.В. Проектирование систем сельского электроснабжения: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп.:Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2005. – 184 с.
7. Зубова Р.А., Костюченко Л.П. Перенапряжения и защита от них: учеб.-метод пособие для самостоятельной работы, курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Электроснабжение»: Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2008. – 75с
8. Макаров, Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 110 –1150. – М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2006. – 624 с.
9. Рожкова Л.Д. электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для сред.проф. Образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Киреева, Т.В. Чиркова. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «академия», 2006. – 448 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Справочные данные для расчета электрических нагрузок

Таблица А 1 – Электрические нагрузки сельскохозяйственных потребителей

Шифр	Наименование объекта	Р _{мд}	Р _{мв}
Животноводство и птицеводство			
102	Коровник с электроводонагревателем на 200 коров	10	10
118	Телятник с доильным отделением на 120 телят	5	8
131	Летний лагерь молодняка КРС на 400-500 голов	1	5
132	Кормоцех фермы КРС на 800-1000 голов	50	50
133	Молочный блок при коровнике на 6 т/сут.	15	15
144	Свинарник-откормочник на 1000-1200 голов	2	6
149	Кормоцех на 12 тыс. откорма свиней	65	20
150	Птичник на 6-9 тыс. цыплят	25	25
163	Цех для выращивания индюшат на 14 тыс. голов	70	30
172	Конюшня	3	3
181	Агрегат для приготовления травяной муки АВМ-0,65	80	80
194	Комбикормовый цех производительностью 10-15 т/смену	65	65
199	Ветеринарно-фельдшерский пункт	3	3
Растениеводство			
300	Зерноочистительный агрегат ЗАВ-20	25	26
311	Зернохранилище емкостью 500 т	10	5
314	Овощекартофелехранилище на 300-600 тонн	5	2
318	Холодильник для хранения фруктов емкостью 250 т	35	35
Подсобное хозяйство			
337	Цех по переработке 50 т солений и 130 т капусты	40	40
339	Кузница	5	1
342	Лесопильный цех с пилорамой ЛРМ-79	16	2
345	Мельница с жерновым поставом 25 т/сут	35	2
350	Крупорушка	12	1
353	Маслобойка	10	1
356	Хлебопекарня производительностью 3 т/сут	5	5
368	Кирпичный завод на 1-1,5 млн. кирпича в год	20	6
370	Теплая стоянка для тракторов	5	2
371	Пункт ТО машин и оборудования на фермах	10	5
375	Гараж с профилакторием на 10 автомашин	20	10
384	Котельная с 2 котлами «Универсал-6» для отопления	15	15
Общественные учреждения и коммунально-бытовые потребители			
503	Общеобразовательная школа на 320 учащихся	20	40
512	Детские ясли-сад на 25 мест	4	3
518	Административное здание на 15-20 рабочих мест	15	8
527	Дом культуры со зрительным залом на 150-200 мест	5	14
534	Сельская участковая больница на 50 коек	50	50
536	Фельдшерско-акушерский пункт	4	4

Таблица А 2 – Электрические нагрузки сельских многоквартирных жилых домов без кондиционеров (квартир в многоквартирных домах)

шифр	Способ приготовления пищи и нагрева воды в доме (квартире)	$P_{\text{мд}}$	$P_{\text{мв}}$
601	Плита на газе, жидком или твердом топливе	0,3	1,0
602		0,5	1,5
603		0,7	2,0
604		0,9	2,5
605		1,1	3,0
606		1,3	3,5
607		1,5	4,0
608		2,0	5,0
609	Электроплита	3,5	6,0
610	Электроплита и электроводо-нагреватель	4,5	7,5
700	Электрообогрев (7 кВт)	8,7	14,5
701	Электрообогрев с УОМ	8,7	12,0

Таблица А 3 – Электрические нагрузки сельских многоквартирных жилых домов с кондиционерами (квартир в многоквартирных домах)

Шифр	Способ приготовления пищи и нагрева воды в доме (квартире)	$P_{\text{мд}}$	$P_{\text{мв}}$
611	Плита на газе, жидком или твердом топливе	0,9	2,0
612		1,1	2,5
613		1,3	3,0
614		1,5	3,5
615		1,7	4,0
616		1,9	4,5
617		2,1	5,0
618		2,6	6,0
619	Электроплита	4,1	7,0
620	Электроплита и электроводо-нагреватель	5,1	8,5
700	Электрообогрев (12 кВт)	11,7	19,5
701	Электрообогрев с УОМ	11,7	12,0

Таблица А 4 – Коэффициенты одновременности для электрических нагрузок в сетях напряжением 0,38 кВ

Количество потребителей	Наименование потребителей			
	Жилые дома с удельной нагрузкой на вводе		Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	Производственные потребители
	до 2 кВт/дом	свыше 2 кВт/дом		
2	0,76	0,75	0,73	0,85
3	0,66	0,64	0,62	0,80
5	0,55	0,56	0,50	0,75
7	0,49	0,47	0,43	0,70
10	0,44	0,42	0,38	0,65
15	0,40	0,37	0,32	0,60
20	0,37	0,34	0,29	0,55
50	0,30	0,27	0,22	0,47
100	0,26	0,24	0,17	0,40
200	0,24	0,20	0,15	0,35
500	0,22	0,17	0,12	0,30

Таблица А 5 – Коэффициенты одновременности для электрических нагрузок в сетях напряжением 6–20 кВ

Количество ТП	2	3	5	10	20	25 и более
Коэффициент одновременности K_o	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65

Таблица А 6 – Коэффициенты одновременности для электрических нагрузок в сетях напряжением 35–110 кВ

Количество подстанций 110–35/10 кВ или линий 35–110 кВ	2	3	4 и более
Коэффициент одновременности K_o	0,97	0,95	0,90

Таблица А 6 – Коэффициенты мощности ($\cos\varphi$) и реактивной мощности ($\operatorname{tg}\varphi$) сельскохозяйственных потребителей и трансформаторных подстанций напряжением 10/0,38 кВ в максимум нагрузки

Потребители, трансформаторные подстанции	Максимум нагрузки			
	Дневной		Вечерней	
	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
Животноводческие и птицеводческие помещения	0,75	0,88	0,85	0,62
то же с электрообогревом	0,92	0,43	0,96	0,29
Отопление и вентиляция животноводческих помещений	0,99	0,15	0,99	0,15
Кормоцеха	0,75	0,88	0,78	0,8
Зерноочистительные тока, зернохранилища	0,7	1,02	0,75	0,88
Установки орошения и дренажа почвы	0,8	0,75	0,8	0,75
Парники и теплицы на электрообогреве	0,92	0,43	0,96	0,29
Мастерские, тракторные станы, гаражи для машин	0,7	1,02	0,75	0,88
Мельницы и маслобойки	0,8	0,75	0,85	0,62
Цеха по переработке сельскохозяйственной продукции	0,75	0,88	0,8	0,75
Общественные учреждения и коммунальные предприятия	0,85	0,62	0,9	0,48
Жилые дома без электроплит	0,9	0,48	0,93	0,4
Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	0,92	0,43	0,96	0,29
Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВс производственной нагрузкой	0,7	1,02	0,75	0,88
с коммунально-бытовой нагрузкой	0,9	0,48	0,92	0,43
со смешанной нагрузкой	0,8	0,75	0,83	0,67

Таблица А 8 – Суммирование нагрузок в сетях напряжением 6–35 кВ

Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР
1	0,6	34	23,6	84	62	250	194	580	465	910	749
2	1,2	35	24,4	86	64	260	204	590	474	920	758
3	1,8	36	25,2	88	65	270	212	600	483	930	767
4	2,5	37	26,0	90	67	280	220	610	492	940	776
5	3,1	38	26,8	92	68	290	228	620	500	950	785
6	3,7	39	27,6	94	70	300	235	630	508	960	794
7	4,3	40	28,4	96	71	310	243	640	517	970	803
8	5,0	41	29,2	98	73	320	251	650	525	980	812
9	5,6	42	30,0	100	74	330	259	660	534	990	821
10	6,3	43	30,8	105	78	340	267	670	543	1000	830
11	7,0	44	31,6	110	82	350	275	680	552	1020	847
12	7,7	45	32,4	115	86	360	283	690	561	1040	865
13	8,4	46	33,2	120	90	370	291	700	570	1060	882
14	9,0	47	34,0	125	94	380	299	710	578	1080	900
15	9,7	48	34,8	130	98	390	307	720	586	1100	918
16	10,4	49	35,6	135	102	400	315	730	594	1120	935
17	11,0	50	36,5	140	106	410	323	740	602	1140	953
18	11,6	52	38,0	145	110	420	332	750	610	1160	970
19	12,3	54	39,5	150	115	430	340	760	618	1180	987
20	13,0	56	41,0	155	119	440	348	770	626	1200	1005
21	13,7	58	42,5	160	123	450	357	780	634	1220	1022
22	14,4	60	44,0	165	127	460	365	790	642	1240	1040
23	15,1	62	45,6	170	131	470	374	800	650	1260	1057
24	15,8	64	47,2	175	135	480	382	810	659	1280	1075
25	16,5	66	48,8	180	139	490	391	820	668	1300	1093
26	17,2	68	50,4	185	143	500	400	830	677	1320	1110
27	18,0	70	52,0	190	147	510	408	840	686	1340	1128
28	18,8	72	53,5	195	151	520	416	850	695	1360	1146
29	19,6	74	55,0	200	155	530	424	860	704	1380	1164
30	20,4	76	56,5	210	162	540	432	870	713	1400	1182
31	21,2	78	58,0	220	170	550	440	880	722	1420	1200
32	22,0	80	59,5	230	178	560	448	890	731	1440	1218
33	22,8	82	61,0	240	186	570	456	900	740	1460	1235
										1480	1252
										1500	1270

Основные технические данные трехфазных двухобмоточных силовых трансформаторов

Тип	Номинальная мощность кВ·А	Сочетание напряжений, кВ		Схема и группа соединений обмоток	Потери, кВт		Напряжение короткого замыкания $u_k, \% U_H$	Ток холостого хода $I_x, \% I_H$
		ВН	НН		Холодного хода	Короткого замыкания		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТМ	25	6 или 10	0,4	Y/Y _H ⁻⁰ Y/Z _H -11	0,13	0,6 0,690	4,5 4,7	3,2
ТМ	40	6 или 10	0,4	Y/Y _H ⁻⁰ Y/Z _H -11	0,175	0,880 1	4,5 4,7	3,0
ТМ	63	6 или 10	0,4	Y/Y _H ⁻⁰ Y/Z _H -11	0,24	1,28 1,47	4,5 4,7	2,8
ТМ	100	6 или 10	0,4	Y/Y _H ⁻⁰ Y/Z _H -11	0,33	1,97 2,27	4,5 4,7	2,6
ТМ	100	35	0,4	Y/Y _H ⁻⁰ Y/Z _H -11	0,42	1,97 2,27	6,5 6,8	2,6
ТМ ТМФ	160	6 или 10	0,4	Y/Y _H ⁻⁰	0,51	2,65	4,5	2,4
ТМ	160	35	0,4 0,69 0,4	Y/Y _H ⁻⁰ Д/Y _H ⁻¹¹ Y/Z _H -11	0,62	2,65 3,1 3,1	6,5 6,8 6,8	2,4
ТМ ТМФ	250	6 или 10	0,4 0,4	Y/Y _H ⁻⁰ Y/Z _H -11	0,74	3,7 4,2	4,5 4,7	2,3
ТМ	250	35	0,4 0,69 0,4	Y/Y _H ⁻⁰ Д/Y _H ⁻¹¹ Y/Z _H -11	0,9	3,7 4,2 4,2	6,5 6,5 6,8	2,3
ТМ ТМФ ТМН	400	6 или 10	0,4	Y/Y _H ⁻⁰	0,95	5,5	4,5	2,1
ТМ ТМН	400	35	0,4	Y/Y _H ⁻⁰	1,2	5,5	6,5	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТМ ТМФ ТМН	630	6 или 10	0,4	Y/Y _H ⁻⁰	1,31	7,6	5,5	2,0
ТМ ТМН	630	35	0,4 0,69	Y/Y _H ⁻⁰ Д/Y _H -11	1,600	7,6 8,5	6,5	2,0
ТМН	630	35	6,3 11	Y/Д-11	1.600	7,6 7,6	6,5	2,0
ТМ ТМН	1000	35	0,69 11	Y/Y _H ⁻⁰	2,35	12,2 11,6	6,5	1,5
ТМ ТМН	1600	35	0,69 11	Y/Y _H ⁻⁰	3,1	18,0 16,5	6,5	1,4
ТМ ТМН	2500	35	0,69 11	Y/Y _H ⁻⁰	4,35	25,0 25,5	6,5	1,1
ТМ ТМН	4000	35	11	Y _H /Д-11	5,7	33,5	7,5	1,0
ТМ ТМН	6300	35	11	Y _H /Д-11	8,00	46,5	7,5	0,9
ТД	10000	38,5	10,5	Y/Д ⁻¹¹	12,3	65,0	7,5	0,8
ТМН	2500	110	6,6; 11	Y _H /Д-11	6,5	22	10,5	1,5
ТМН	6300	115	6,6; 11	Y _H /Д-11	11	44	10,5	1
ТДН	10000	115	6,6; 11	Y _H /Д-11	15	58	10,5	0,75
ТДГ	10000	121	38,5	Y _H /Y-0	38,5	97,5	10,5	3,5
ТДН	16000	115	6,6; 11	Y _H /Д-11	19	85	10,5	0,7
ТД	16000	121	6,3; 10,5	Y _H /Д-11	58	104	10,5	2,8
ТДН	25000	113	38,5	Y _H /Д-11	27	120	10,5	0,65
ТДН	40000	115	38,5	Y _H /Д-11	36	170	10,5	0,55
ТДЦН	63000	115	38,5	Y _H /Д-11	51	245	10,5	0,5
ТДНЦ	80000	115	38,5	Y _H /Д-11	60	310	10,5	0,45

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТДЦ	125000	121	10,5; 13,8	У _{Н/Д} - 11	120	400	10,5	0,5
ТДЦ	250000	165	13,8; 15,75	У _{Н/Д} - 11	200	640	11	0,55
ТДЦ	80000	242	6,3; 10,5; 13,8	У _{Н/Д} - 11	255	320	11	0,6
ТДЦ (ТЦ)	125000	242	10,5; 13,8	У _{Н/Д} - 11	115	380	11	0,5
ТДЦ	200000	242	13,8; 15,75; 18	У _{Н/Д} - 11	170	580	11	0,45
ТДЦ (ТЦ)	250000	242	13,8; 15,75	У _{Н/Д} - 11	210	650	11	0,45
ТДЦ (ТЦ)	400000	242	13,8; 15,75	У _{Н/Д} - 11	280	880	11	0,4
ТДН	63000	330	38,5	У _{Н/Д} - 11	103	265	11	0,7
ТДЦ	125000	347	10,5; 13,8	У _{Н/Д} - 11	125	360	11	0,5
ТДЦ	400000	347	15,75; 20	У _{Н/Д} - 11	310	810	11	0,4
ТЦ	630000	347	15,75; 20	У _{Н/Д} - 11	345	1380	11	0,3
ТДЦ	206000	525	15,75; 20	У _{Н/Д} - 11	145	700	13	0,35
ТДЦ	250000	525	13,8; 15,75	У _{Н/Д} - 11	205	600	13	0,45
ТДЦ	400000	525	13,8; 15,75; 20	У _{Н/Д} - 11	320	800	13	0,4
ТЦ	630000	525	13,8; 15,75; 20	У _{Н/Д} - 11	420	1300	14	0,35

Технические характеристики электрических сетей

Таблица В 1 – Марки голых алюминиевых проводов

Марка провода 1	Конструкция провода 2	Преимущественная область применения 3
А	Провод, скрученный из алюминиевых проволок марки АТ	В атмосфере воздуха типов I и II при условии содержания в атмосфере сернистого газа не более $150 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ($1,5 \text{ мг}/\text{м}^3$) на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69*, кроме ТВ и ТС.
Ап	То же, но из алюминиевых проволок марки АТп.	То же.
АКП	Провод марки А, но междупроволочное пространство всего провода, за исключением наружной поверхности, заполнено нейтральной смазкой, повышенной теплостойкости.	На побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и районах засоленных песков, а также в прилегающих к ним районах с атмосферой воздуха типов I и II на суше и море всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69*.
АпКП	То же, но провод марки Ап.	То же.
АС	Провод, состоящий из стального сердечника и алюминиевых проволок марки АТ.	В атмосфере воздуха типов I и II при условии содержания в атмосфере сернистого газа не более $150 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ($1,5 \text{ мг}/\text{м}^3$) на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69*, кроме ТС и ТВ.
АпС	То же, но из алюминиевых проволок марки АТп.	То же.
АСКС	Провод марки АС, но межпроволочное пространство стального сердечника, включая его наружную поверхность, заполнено нейтральной смазкой повышенной теплостойкости.	На побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и районах засоленных песков, а также в прилегающих к ним районах с атмосферой воздуха типов II и III при условии содержания в атмосфере сернистого газа не более $150 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ($1,5 \text{ мг}/\text{м}^3$) и хлористых солей не более $200 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69*, кроме ТВ.

Окончание табл. В.1

1	2	3
АпСКС	То же, но провод марки АпС.	То же.
АСКП	Провод марки АС, но межпроволочное пространство всего провода, за исключением наружной поверхности, заполнено нейтральной смазкой, повышенной теплостойкости.	На побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и районах засоленных песков, а также в прилегающих к ним районах с атмосферой воздуха типов II и III на суше и море всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69*.
АпСКП	То же, но провод марки АпС.	То же.
АСК	Провод марки АС, но стальной сердечник изолирован двумя лентами полиэтилентерефталатной пленки. Многопроволочный стальной сердечник под полиэтилентерефталатными лентами должен быть покрыт нейтральной смазкой повышенной теплостойкости.	На побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и районах засоленных песков, а также в прилегающих к ним районах с атмосферой воздуха типов II и III при условии содержания в атмосфере сернистого газа не более $150 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ($1,5 \text{ мг}/\text{м}^3$) и хлористых солей не более $200 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69*, кроме ТВ.
АпСК	То же, но провод марки АпС.	То же.
АН	Провод, скрученный из проволок нетермообработанного алюминиевого сплава марки АВЕ.	В атмосфере воздуха типов I и II при условии содержания в атмосфере сернистого газа не более $150 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ($1,5 \text{ мг}/\text{м}^3$) на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69*, кроме ТВ и ТС.
АНКП	Провод марки АН, но межпроволочное пространство всего провода, за исключением наружной поверхности, заполнено нейтральной смазкой, повышенной теплостойкости.	На побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и районах засоленных песков, а также в прилегающих к ним районах с атмосферой воздуха типов II и III на суше и море всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69*.
АЖ	Провод, скрученный из проволок термообработанного алюминиевого сплава марки АВЕ.	В атмосфере воздуха типов I и II при условии содержания в атмосфере сернистого газа не более $150 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ($1,5 \text{ мг}/\text{м}^3$) на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69*, кроме ТВ и ТС

Таблица В 2 – Марки проводов СИП

Изготовитель	Тип провода	Страна
Nexans	«Торсада»	Франция
PirelliCablesandSystem	«АМКА»	Финляндия
ОАО «Севкабель»	«Аврора»	Россия
ОАО «Иркутскабель»	«СИП - 1(2)»	Россия
ЗАО «Мокабельмет»	«СИП - 1(2)»	Россия
ОАО «Камккабель»	«СИП - 1(2)»	Россия
ОАО «Белсельэлектросетьстрой»	«САСПш (САПш)»	Республика Беларусь

Таблица В 3 – Характеристики алюминиевых проводов марок А и АКП

Номинальное сечение, мм ²	Сечение провода, мм ²	Диаметр провода, мм	Сопротивление постоянному току при 20 ⁰ С, Ом/км, не боле	Допустимый длительный ток для неизолированных проводов		Масса провода, кг/км
				Вне помещений	Внутри помещений	
16	15,9	5,1	1,80	105	75	43
25	24,9	6,4	1,140	136	106	68
35	34,3	7,5	0,830	170	130	94
50	49,5	9,0	0,576	215	165	135
70	69,2	10,7	0,412	265	210	189
95	92,4	12,3	0,308	320	255	252
120	117,0	14,0	0,246	375	300	321
150	148,0	15,8	0,194	440	355	406
185	183,0	17,5	0,157	500	410	502
240	239,0	20,0	0,120	590	490	655

Таблица В 4 – Характеристики алюминиевых проводов марок АС, АСКС, АСКП и АСК

Номинальное сечение(алюминий/сталь), мм ²	Сечение, мм ²		Диаметр, мм		Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км, не более	Допустимый длительный ток для неизолированных проводов		Масса, кг/км				
	алюминия	стали	провода	стали		Вне помещений	Внутри помещений	алюминия	стали	провода (без смазки)	смазки	
											провод АСКС	провод АСКП
10/1,8	10,6	1,77	4,5	1,5	2,695	84	53	28,9	13,8	42,7	1,0	1,0
16/2,7	16,1	2,69	5,6	1,9	1,772	111	79	44,0	20,9	65	1,0	1,0
25/4,2	24,9	4,15	6,9	2,3	1,146	142	109	67,9	32,4	100	1,5	1,5
35/6,2	36,9	6,15	8,4	2,8	0,773	175	135	100	48,0	149	2,5	2,5
50/8,0	48,2	8,04	9,6	3,2	0,592	210	165	132	63,0	194	3,0	3,0
70/11	68,0	11,3	11,4	3,8	0,420	265	210	188	88,0	274	4,5	4,5
70/72	68,4	72,2	15,4	11,0	0,420	-	-	188	567	755	38	38
95/16	95,4	15,9	13,5	4,5	0,299	330	260	261	124	384	6,0	6,0
95/15	91,7	15,0	13,5	5,0	0,314	-	-	253	117	370	8,5	31
95/141	91,2	141,0	19,8	15,4	0,316	-	-	251	1106	1357	69	69
120/19	118	18,8	15,2	5,6	0,245	390	313	324	147	471	11	35
120/27	116	26,6	15,5	6,6	0,249	375	-	320	208	528	14	37
150/19	148	18,8	16,8	5,5	0,195	450	365	407	147	554	12	42
150/24	149	24,2	17,1	6,3	0,194	450	365	409	190	600	14	44
150/34	147	34,3	17,5	7,5	0,196	450	-	406	269	675	18	48
185/24	187	24,2	18,9	6,3	0,154	520	430	515	190	705	14	51
185/29	181	29,0	18,8	6,9	0,159	510	425	500	228	728	16	52
185/43	185	43,1	19,6	8,4	0,156	515	-	509	337	846	23	61
185/128	187	128	23,1	14,7	0,155	-	-	517	1008	1525	63	101
240/27	205	26,6	19,8	6,6	0,140	-	-	566	208	774	15	57
240/32	244	31,7	21,6	7,2	0,118	605	505	673	248	921	17	66
240/39	236	38,6	21,6	8,0	0,122	610	505	650	902	952	22	71
240/56	241	56,3	22,4	9,6	0,120	610	-	665	441	1106	30	78

Таблица В 5 – Приближенные значения внешних индуктивных сопротивлений для воздушных линий с проводами из меди, алюминия и стали

Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм	Индуктивное сопротивление (Ом / км) провода при диаметре или сечении, мм или мм ²															
	Ø 4	Ø 5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
400	0,332	0,318	0,385	0,371	0,355	0,333	0,319	0,308	0,297	0,283	0,274	-	-	-	-	-
600	0,359	0,345	0,411	0,397	0,381	0,358	0,345	0,336	0,325	0,309	0,300	0,292	0,287	0,280	-	-
800	0,375	0,361	0,429	0,415	0,399	0,377	0,363	0,352	0,341	0,327	0,318	0,310	0,305	0,298	-	-
1000	0,389	0,375	-	0,429	0,413	0,391	0,377	0,366	0,355	0,341	0,332	0,324	0,319	0,313	0,305	0,298
1250	0,403	0,389	-	0,443	0,427	0,405	0,391	0,380	0,369	0,355	0,346	0,338	0,333	0,327	0,319	0,312
1500	0,414	0,400	-	-	0,438	0,416	0,402	0,391	0,380	0,366	0,357	0,349	0,344	0,338	0,330	0,323
2000	-	-	-	-	0,457	0,435	0,421	0,410	0,398	0,385	0,376	0,368	0,363	0,357	0,349	0,342
2500	-	-	-	-	-	0,449	0,435	0,424	0,413	0,399	0,390	0,382	0,377	0,371	0,363	0,356
3000	-	-	-	-	-	0,460	0,446	0,435	0,423	0,410	0,401	0,393	0,388	0,382	0,374	0,367
3500	-	-	-	-	-	0,470	0,456	0,445	0,433	0,420	0,411	0,403	0,398	0,392	0,384	0,377
4000	-	-	-	-	-	0,478	0,464	0,453	0,441	0,428	0,419	0,411	0,406	0,400	0,392	0,385
4500	-	-	-	-	-	-	0,471	0,460	0,448	0,435	0,426	0,418	0,413	0,407	0,399	0,392
5000	-	-	-	-	-	-	-	0,467	0,456	0,442	0,433	0,425	0,420	0,414	0,406	0,399
5500	-	-	-	-	-	-	-	-	0,462	0,443	0,439	0,434	0,426	0,420	0,412	0,405
6000	-	-	-	-	-	-	-	-	0,468	0,454	0,445	0,437	0,432	0,426	0,418	0,411

Таблица В 6 – Приближенные значения внешних индуктивных сопротивлений воздушных линий со сталеалюминиевыми проводами

Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм	Внешние индуктивные сопротивления (Ом/км) для линии с проводами сечением, мм ²							
	35	50	70	95	120	150	185	240
2000	0,403	0,382	0,392	0,371	0,365	0,358	-	-
2500	0,417	0,406	0,396	0,385	0,379	0,372	0,365	0,357
3000	0,429	0,418	0,408	0,397	0,391	0,384	0,377	0,369
3500	0,438	0,427	0,417	0,406	0,400	0,398	0,386	0,378
4000	0,446	0,435	0,425	0,414	0,408	0,401	0,394	0,386
4500	-	-	0,433	0,422	0,416	0,409	0,402	0,394
5000	-	-	0,440	0,429	0,423	0,416	0,409	0,401
5500	-	-	0,446	0,435	0,429	0,442	0,415	0,407
6000	-	-	-	-	-	-	-	0,413

Таблица В 7 – Марки проводов СИП, их наименование и область применения

Марка провода	Характеристика	Область применения
СИП-1	Провод самонесущий с алюминиевыми жилами, изоляцией из светостабилизированного сшитого полиэтилена (ПЭ), с нулевой несущей неизолированной жилой из алюминиевого сплава	Для магистралей воздушных линий электропередачи (ВЛ) и ответвлений от ВЛ
СИП-2	То же, с нулевой несущей жилой из алюминиевого сплава, изолированной светостабилизированным сшитым ПЭ	Для магистралей ВЛ и ответвлений от ВЛ
СИП-3	Провод самонесущий защищенный с токопроводящей жилой из алюминиевого сплава, с защитной изоляцией из светостабилизированного сшитого ПЭ	Для ВЛ на номинальное напряжение 10 – 35 кВ
СИП-4	Провод самонесущий изолированный без несущего элемента, с алюминиевыми токопроводящими жилами, с изоляцией из светостабилизированного сшитого ПЭ	Для ответвлений от ВЛ к вводу и для прокладки по стенам зданий и инженерных сооружений

Таблица В 8 – Параметры проводов СИП в соответствии с техническими условиями ТУ 16-705.500-2006

Марка и номинальное напряжение провода	Число и номинальное сечение фазных и нулевой несущей жил, шт. × мм ²	Расчетный наружный диаметр провода, мм	Расчетная масса 1 км провода
СИП-1-0,6/1 кВ	1 × 16 + 1 × 25	15	135
	3 × 16 + 1 × 25	22	270
	3 × 25 + 1 × 35	26	390
	3 × 35 + 1 × 50	30	530
	3 × 50 + 1 × 50	32	685
	3 × 50 + 1 × 70	35	740
	3 × 70 + 1 × 70	37	930
	3 × 70 + 1 × 95	41	990
	3 × 95 + 1 × 70	41	1190
	3 × 95 + 1 × 95	43	1255
	3 × 120 + 1 × 95	46	1430
	3 × 150 + 1 × 95	48	1715
	3 × 185 + 1 × 95	55	2330
	3 × 240 + 1 × 95	60	2895
СИП-2-0,6/1 кВ	3 × 16 + 1 × 25	24	308
	3 × 25 + 1 × 35	27	424
	3 × 35 + 1 × 50	31	571
	3 × 50 + 1 × 50	34	727
	3 × 50 + 1 × 70	36	798
	3 × 70 + 1 × 70	40	1010
	3 × 70 + 1 × 95	41	1087
	3 × 95 + 1 × 70	43	1240
	3 × 95 + 1 × 95	45	1319
	3 × 120 + 1 × 95	48	1553
	3 × 150 + 1 × 95	50	1787
	3 × 185 + 1 × 95	55	2403
СИП-3-20 кВ	1 × 35	12	165
	1 × 50	13	215
	1 × 70	15	282
	1 × 95	16	364
	1 × 120	18	445
	1 × 150	19	540
	1 × 185	21	722
	1 × 240	24	950

Окончание табл. В 8

СИП-3-35 кВ	1 × 35	14	209
	1 × 50	16	263
	1 × 70	17	334
	1 × 95	19	421
	1 × 120	20	518
	1 × 150	22	618
	1 × 185	24	808
	1 × 240	26	1045
СИП-4-0,6/1 кВ	2 × 16	15	139
	4 × 16	18	278
	2 × 25	17	196
	4 × 25	21	392

Таблица В 9 – Минимально допустимое сечение несущей жилы по условиям механической прочности для проводов ВЛИ

Расчетная толщина стенки го- лоледа, мм ²	Сечение жилы, мм ² , не менее			
	на магистралях ВЛИ		на ответвлениях от магистралей ВЛИ к вводам	
	Материал несущей жилы			
	термоупроч- ненный алю- миниевый сплав	сталеалю- миниевый провод	термоупроч- ненный алюми- ниевый сплав	сталеалю- миниевый про- вод
До 10	25	25	16	10
15 и более	35	25	16	16

Таблица В 10 – Наружный расчетный диаметр провода СИП типа СИП-1(2,4) и электрическое сопротивление жил

Количество и номинальное сечение фазных жил, мм ²	Номинальное сечение фазной жилы, мм ²	Номинальное сечение нулевой жилы, мм ²	Сопротивление постоянному току, Ом/км	
			фазной жилы	нулевой жилы
1x25	16	25	1,20	1,38
1x35	16	25	0,87	1,38
3x16	-	25	1,91	1,38
3x25	-	35	1,20	0,986
3x35	-	50	0,87	0,72
3x50	-	70	0,64	0,493
3x70	-	95	0,44	0,363
3x95	-	95	0,32	0,363
3x120	-	95	0,25	0,288
3x25	25	35	1,20	0,986
3x35	25	50	0,87	0,72
3x50	25	70	0,64	0,493
3x70	25	95	0,44	0,363
3x95	25	95	0,32	0,363
3x120	25	95	0,25	0,363
3x35	35	50	0,87	0,72
3x50	35	70	0,64	0,493
3x70	35	95	0,44	0,363
3x95	35	95	0,32	0,363
3x120	35	95	0,25	0,363
3x150	35	95	0,206	0,363
3x185	35	95	0,164	0,363
3x240	35	95	0,125	0,363

Таблица В 11 – Расчетные значения индуктивного сопротивления изолированных проводов на напряжение 0,6/1 кВ

Марка провода	Расчетное значение индуктивного сопротивления провода, Ом/км	
	Фазных жил	Нулевой несущей жилы
СИП-1		
3 × 16 + 1 × 25	0,0853	0,0634
3 × 25 + 1 × 35	0,0816	0,0615
3 × 35 + 1 × 50	0,0791	0,06
3 × 50 + 1 × 50	0,0782	0,0604
3 × 50 + 1 × 70	0,079	0,0599
3 × 70 + 1 × 70	0,0774	0,06
3 × 70 + 1 × 95	0,0781	0,0595
3 × 95 + 1 × 70	0,0746	0,0595
3 × 95 + 1 × 95	0,0753	0,0587
3 × 120 + 1 × 95	0,0735	0,0584
3 × 150 + 1 × 95	0,0719	0,0582
3 × 185 + 1 × 95	0,0711	0,059
3 × 240 + 1 × 95	0,0692	0,0593
СИП-2		
3 × 16 + 1 × 25	0,0865	0,0739
3 × 25 + 1 × 35	0,0827	0,0703
3 × 35 + 1 × 50	0,0802	0,0691
3 × 50 + 1 × 50	0,0794	0,0687
3 × 50 + 1 × 70	0,0799	0,0685
3 × 70 + 1 × 70	0,0785	0,0679
3 × 70 + 1 × 95	0,0789	0,0669
3 × 95 + 1 × 70	0,0746	0,0669
3 × 95 + 1 × 95	0,0758	0,0656
3 × 120 + 1 × 95	0,0762	0,0650
3 × 150 + 1 × 95	0,0730	0,0647
3 × 185 + 1 × 95	0,0723	0,0649
3 × 240 + 1 × 95	0,0705	0,0647
СИП-4		
2 × 16	0,0754	-
2 × 25	0,0717	-
4 × 16	0,0821	0,0643
4 × 25	0,0784	0,0621

Таблица В 12 – Технические характеристики проводов СИП-3

Площадь сечения, мм ²	Диаметр, мм	Длительно Допустимый ток, А	Ток термической стойкости при односекундном КЗ, кА	Удельное активное сопротивление, Ом/км
35	11,5	200	3,2	0,986
50	12,6	245	4,3	0,720
70	14,6	310	6,4	0,493
95	16,0	370	8,6	0,363
120	17,4	430	11,0	0,288
150	18,8	485	13,5	0,263
185				
240				

Таблица В 13 – Допустимые значения токов нагрузки и короткого замыкания для проводов СИП

Номинальное сечение фазных жил	Допустимый ток нагрузки, А			Допустимый ток односекундного КЗ, кА	
	СИП-1; СИП-2; СИП-4	СИП-3		СИП-1; СИП-2; СИП-4	СИП-3
		20 кВ	35 кВ		
16	100	-	-	1,5	-
25	130	-	-	2,3	-
35	160	200	220	3,2	3,0
50	195	245	270	4,6	4,3
70	240	310	340	6,5	6,0
95	300	370	400	8,8	8,2
120	340	430	460	10,9	10,3
150	380	485	520	13,2	12,9
185	436	560	600	16,5	15,9
240	515	600	670	22,0	20,6

Таблица В 14 – Наружный расчетный диаметр провода
и электрическое сопротивление фазных жил проводов СИП
типа «САСПш, (САПш)»

Количество и номинальное сечение фазных жил, мм ²	Номинальное сечение фазной жилы, мм ²	Номинальное сечение нулевой жилы, мм ²	Наружный расчетный диаметр провода, мм	Сопротивление фазной жилы постоянному току, Ом/км
2x10	-	-	9,2	3,08
1x10+ 1x16	-	-	10,4	3,08
1x25	16	25	15,2	1,20
1x35	16	25	16,4	0,87
3x16	-	25	15,3	1,91
3x25	-	35	18,9	1,20
3x35	-	50	22,2	0,87
3x50	-	70	25,7	0,64
3x70	-	95	30,2	0,44
3x95	-	95	32,6	0,32
3x120	-	95	34,7	0,25
3x25	25	35	24,2	1,20
3x35	25	50	25,6	0,87
3x50	25	70	28,6	0,64
3x70	25	95	33,7	0,44
3x95	25	95	36,2	0,32
3x120	25	95	38,7	0,25
3x35	35	50	26,3	0,87
3x50	35	70	29,5	0,64
3x70	35	95	34,1	0,44
3x95	35	95	37,1	0,32
3x120	35	95	39,8	0,25

Таблица В 15 – Допустимый длительный ток для проводов СИП
типа «САСПш, (САПш)»

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Допустимый длительный ток, А			
	Для проводов марок САПш и САСПш		Для проводов марок САПт и САСПт	
	При температуре окружающего воздуха, °С		При температуре окружающего воздуха, °С	
	25	40	25	40
10	80	65	60	40
16	95	80	70	45
25	125	105	95	60
35	150	120	110	65
50	195	160	140	85
70	240	190	170	95
95	280	225	200	110
120	330	265	230	120

Таблица В 16 – Допустимый ток короткого замыкания для проводов СИП типа «САСПш, (САПш)»

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток короткого замыкания, кА			
	Для проводов марок САПш и САСПш		Для проводов марок САПт и САСПт	
	При длительности КЗ, с		При длительности КЗ, с	
	1	3	1	3
10	0,9	0,5	0,6	0,3
16	1,4	0,8	1,0	0,5
25	2,3	1,3	1,5	0,8
35	3,2	1,8	2,0	1,2
50	4,6	2,6	3,0	1,7
70	4	3,7	4,0	2,4
95	7,6	4,4	5,0	2,9
120	7,7	4,4	5,0	2,9

Таблица В 17 – Минимально допустимые сечения проводов по условиям коронирования и механической прочности

Напряжение, кВ		0,38	10	35	110	220
Сечение провода, мм ²	марка А (АН)	25	35	70	–	–
	марка АС (АЖ)	16	25	70	70	240

Таблица В 18 – Средние значения реактивных сопротивлений, емкостных проводимостей и мощностей, генерируемых линиями

Тип линии и напряжение, кВ		X_0 , Ом/км	b_0 , Ом/км	$Q_{0с}$, квар/км
Кабельные	1	0,06	–	–
	6	0,07	3,19	–
	10	0,08	3,35	–
	20	0,11	–	–
	35	0,125	–	–
Воздушные	1	0,31	–	–
	6 – 10	0,35	–	–
	20 – 35	0,4	2,8	–
	110	0,41	2,7	36
	220			
	Один провод в фазе	0,4	2,8	140
	Два провода в фазе	0,30	2,7	190

Таблица В 19 – Примерные расстояния между соседними проводами на опорах воздушных линий различных напряжений

Напряжение, кВ	До 1	10	35	110	220	500
Расстояния, м	0,4-0,6	1,0-2,0	2,5-3	4	7	12

Таблица В20 – Характерные длины пролетов воздушных линий

Номинальное напряжение, кВ	Материалы опор	Длины пролетов, м
До 1	Дерево	40
	Железобетон	50
10	Дерево	60 - 80
	Железобетон	80 – 150
35	Дерево	180 - 220
	Железобетон	220 - 260
	Сталь	220 - 260
110	Дерево	180 – 220
	Железобетон	220 – 270
	Сталь	250 - 350

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
1 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	5
1.1 Графики электрических нагрузок и их характеристики.....	5
1.2 Практические методы расчета электрических нагрузок	7
2 УСТРОЙСТВО НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ИХ РАСЧЕТ	10
2.1 Конструктивное исполнение сельских электрических сетей	10
2.2 Потери и отклонения напряжения в электрических сетях.....	12
2.3 Выбор площади сечений проводов.....	16
2.4 Расчет потерь мощности и энергии	19
2.5 Расчет замкнутых электрических сетей	21
3 ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	23
4 РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.....	26
5 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	29
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ И ПРОВЕРКИ КОМПЕТЕНЦИЙ	39
ЛИТЕРАТУРА	42
ПРИЛОЖЕНИЯ	43