



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

Институт электроэнергетики и электроники

(полное название факультета (института))

Электроэнергетические системы и сети

(полное название кафедры)

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине Подготовка проектов и расчетов
режимов параметров объектов электрических
сетей

Выполнил:

Шелева Анастасия (Ф.И.О.)
студент 4 курса группы ЭС-1-16

(подпись)

Руководитель работы:

Ваминкина Д. М. (И.О. Фамилия)

Работа выполнена и
защита с оценкой 5

Дата защиты 09.01.2020

(подпись руководителя) (дата)

Члены комиссии: доцент
(должность)

ст. преподаватель
(должность)

ст. преподаватель
(должность)

(подпись)

(подпись)

(подпись)

Д. М. Ваминкина
(И.О. Фамилия)

А. Х. Сабитов
(И.О. Фамилия)

Ю. К. Шелева
(И.О. Фамилия)



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

Институт (факультет) ИЭЭ Кафедра ЖиС

З А Д А Н И Е

на выполнение курсовой работы/курсового проекта

Студент Василенко А.Р. курс ЖС-1-16
фамилия и.о. курс группа

Тема курсовой работы/курсового проекта Проектирование
районной электрической сети

Научный руководитель Васильченко Д.В., доцент, к.т.н.
фамилия и.о., должность, ученая степень, ученое звание

Содержание разделов (перечень подлежащих разработке вопросов) Проектирование вари-
антов схемы РЭ. Расчет технико-экон. показателей РЭ. Расчет
режимов сети

Перечень графического/демонстрационного материала Применение
схем замещения РЭ.

Рекомендуемая литература 1. Справочник по проектированию Ж, под редакцией
Д.М. Райбисовича. 2. ГОСТ 14129-97 "Руководство по ма-
ришке силовых трансформаторов".

Контрольные сроки представления отдельных разделов курсовой работы/курсового проекта:

25 % - Проектирование вариантов схем "30" сентября 2019г.

50 % - Выбор типа машин КЭ "28" октября 2019г.

75 % - Расчет техни. экон. показателей "28" ноября 2019г.

100 % - Расчет режимов сети "31" декабря 2019г.

Дата выдачи задания "28" сентября 2019г.

Научный руководитель Васильченко Д.В.
подпись фамилия и.о.

Задание принял(а) к исполнению студент(ка) осной формы обучения 4 курса ЖС-1-16
группы ВЭУ А.Р. Василенко
(личная подпись/инициалы, фамилия)

Зав.кафедрой доцент, к.т.н. В.В. Максимов
должность, ученое звание, ученая степень подпись фамилия и.о.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

Институт электроэнергетики и электроники
(полное название факультета (института))

Электроэнергетические системы и сети
(полное название кафедры)

Отзыв руководителя на курсовую работу/курсовой проект

Студента (ки) Василова Александра Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

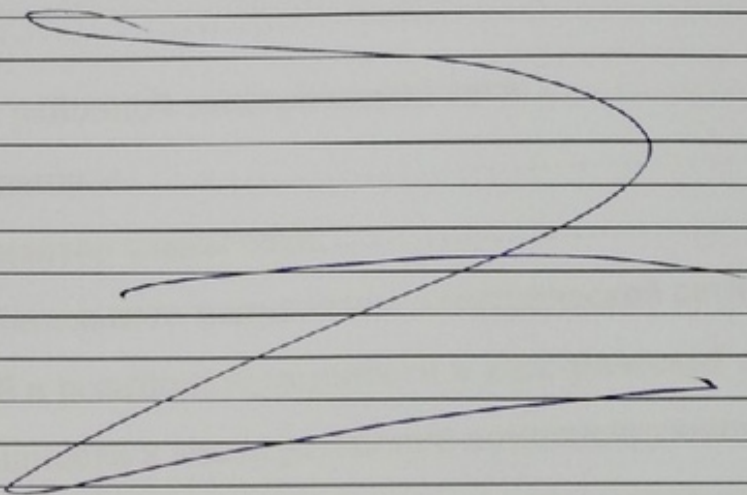
Группа Ж-1-16

На тему: Трассирование районной электрической сети

№ п/п	Критерии оценки	Оценка научного руководителя (по 5-балльной шкале)
1.	Соответствие содержания курсовой работы/курсового проекта утвержденной теме	5
2.	Выполнение поставленных целей и задач	4
3.	Оригинальность и новизна курсовой работы/курсового проекта	5
4.	Самостоятельность при работе над курсовой работой/курсовым проектом	5
5.	Оформление работы	5
	ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА** по курсовой работе/курсовому проекту, выставляемая в зачетную книжку студента и экзаменационно-зачетную ведомость	5

** Итоговая оценка выставляется как средняя арифметическая оценок по пяти критериям оценки курсовой работы/курсового проекта

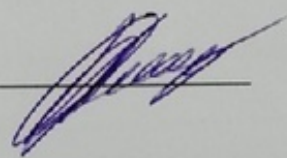
Комментарии к оценкам:



Руководитель Ваничкина Дина Максимовна
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

доцент, к.т.н., доцент

Дата: « 09 » 04 20 20 г.

Подпись 

--

В данном разделе требуется спроектировать районную электрическую сеть, обеспечивающую питание потребителей. Электроснабжение потребителей электроэнергии возможно осуществить от подстанции «А» энергосистемы. Климатические характеристики местности – Средняя Волга. Категория надежности потребителей – I.

$$T_{\max} = 4300\psi / 200\delta.$$
$$U_{HH1} = 10 \kappa B \quad P_1 = 36 MBm \quad \cos \varphi_1 = 0,87 ;$$
$$U_{HH2} = 10 \kappa B \quad P_2 = 25 MBm \quad \cos \varphi_2 = 0.83;$$
$$U_{HH3} = 10 \text{ kV} \quad P_3 = 16 \text{ MW} \quad \cos \varphi_3 = 0.86;$$
$$U_{HH4}=10kB \quad P_4=19MBm \quad \cos \varphi_4=0.84;$$
$$U_{HH5} = 10\kappa B \quad P_5 = 28MBm \quad \cos \varphi_5 = 0.85.$$

Продолжительность перегрузки трансформаторов в течение сеток 2 часа.

Стоимость электроэнергии 3,25 руб./кВт*ч.

Средний коэффициент мощности источника питания «А» $\cos \phi_A = 0.94$,
 располагаемые напряжения источника питания $U_{\max} = 1.1 \cdot U_{\text{ном}}$, $U_{\text{ав}} = 0.98 \cdot U_{\text{ном}}$

Продолжительность перегрузки трансформаторов в течение сеток 2 часа.

Стоимость электроэнергии 3,25 руб./кВт*ч.

В качестве аварийного режима рассмотреть отключение наиболее нагруженной линии (одной цепи).

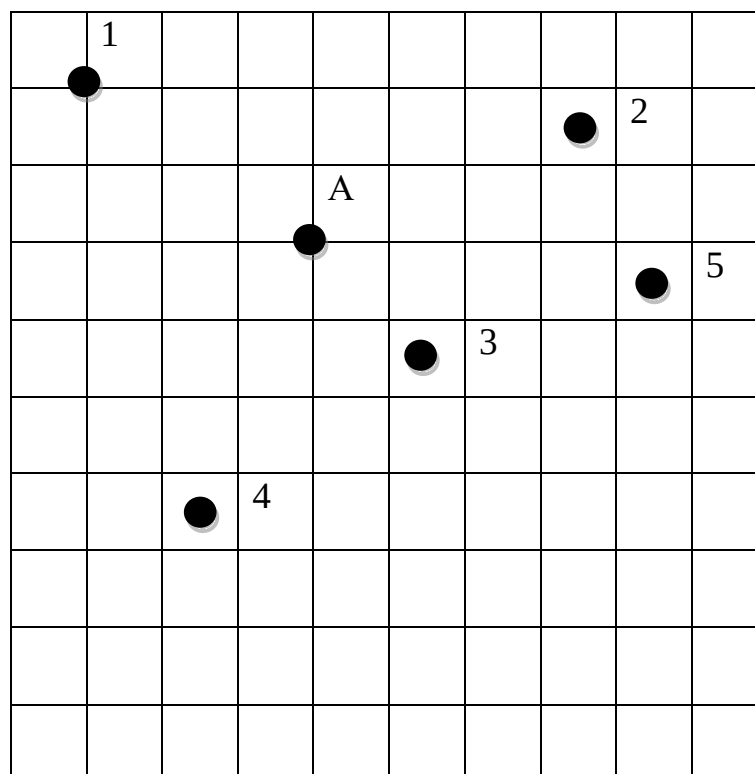
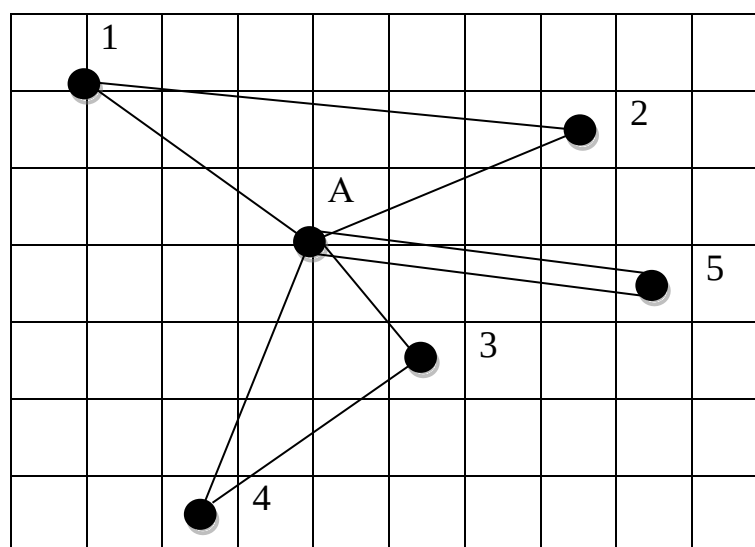


Рис.1. Расположение узлов нагрузок

1.2. Выбор вариантов схемы сети

При выборе схем районной электрической сети ориентируемся на суммарную длину ЛЭП и на надежность схемы для 1 категории потребителей.

Вариант 1



Имя	№
Подпись	Взам

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат.
------	----------	-------	------

Лис
6

Рис.4.

$$L=26,1 \text{ см} \cdot 8=208,8 \text{ км}$$

По надежности схема не удовлетворяет. В кольце для надежности присоединяют не более 2х подстанций.

Вариант 4

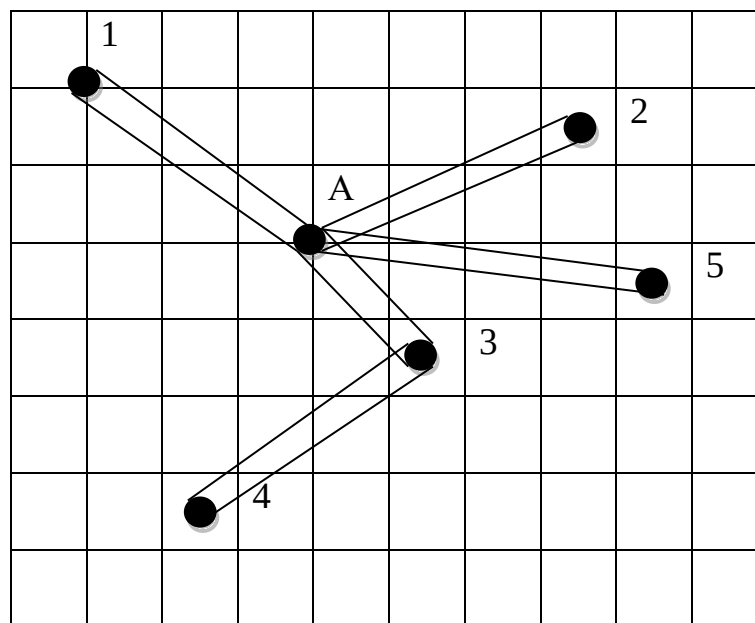


Рис.5.

$$L=34,2 \text{ см} \cdot 8=273,6 \text{ км}$$

По надежности схема удовлетворяет.

Вариант 5

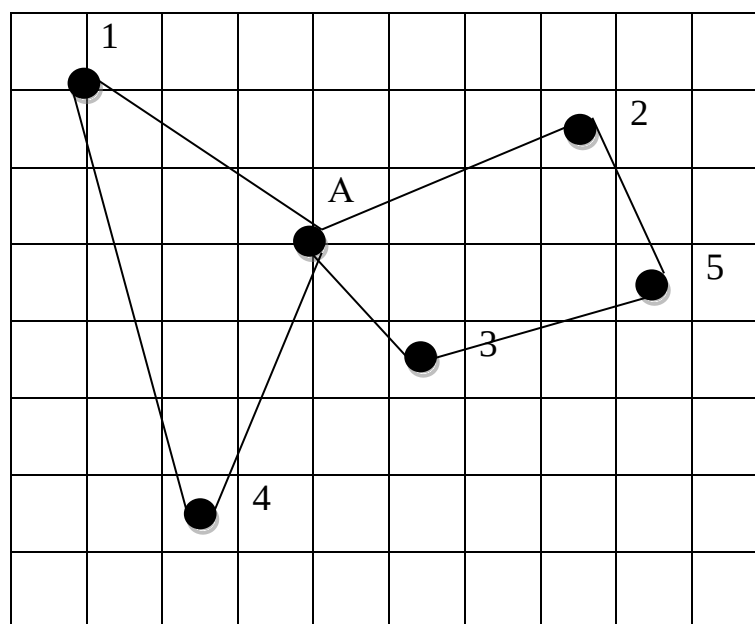


Рис.6.

Имя	№
Подпись	Взам

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
------	----------	-------	-----

$$L = 25,1 \text{ км} \cdot 8 = 200,8 \text{ км}$$

По надежности схема не удовлетворяет. В кольцо для надежности присоединяют не более 2х подстанций.

Вариант 6

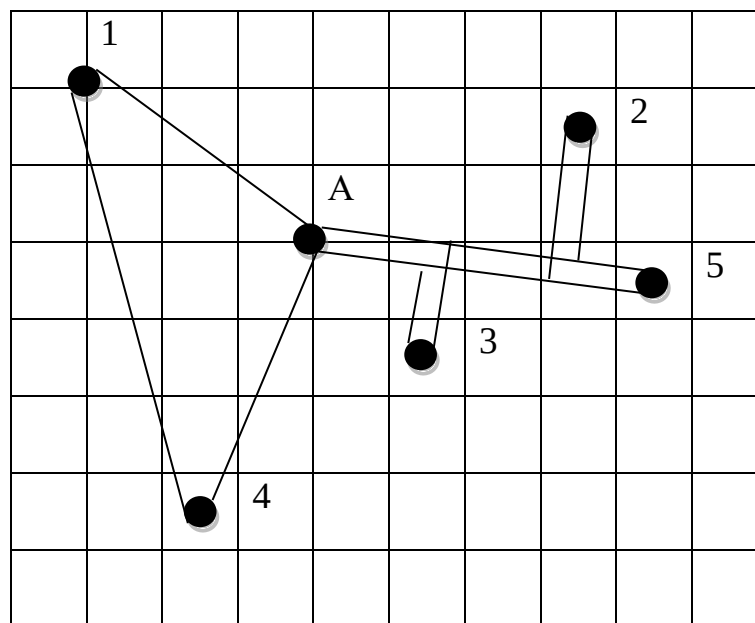


Рис.7.

$$L = 30,7 \text{ см} \cdot 8 = 245,6 \text{ км}$$

По надежности схема не удовлетворяет. Количество отпаяк для надежности не более 1 на линию.

Вариант 7

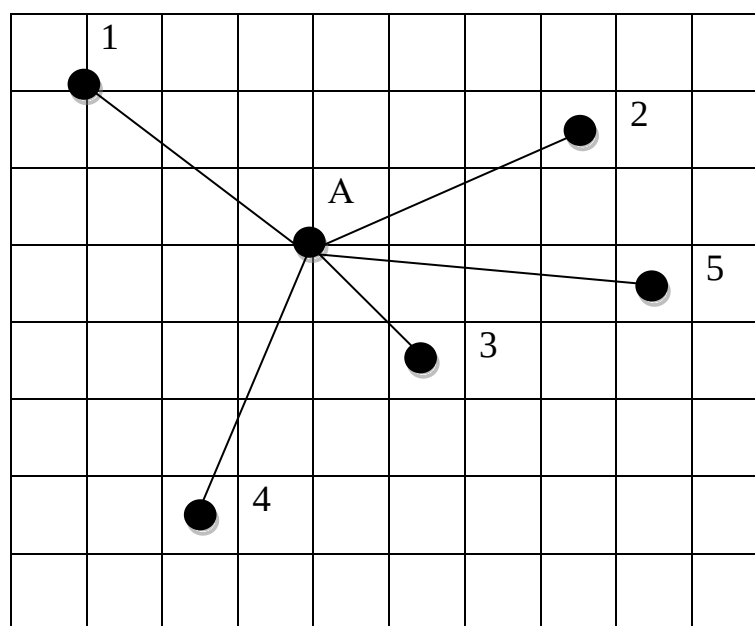


Рис.8.

Имя №	Подпись и	Взам

Изм.		№ докум.	Подп.	Дат

$$L=17,5 \text{ см} \cdot 8=140 \text{ км}$$

По надежности схема удовлетворяет.

По надежности схема не удовлетворяет. Категория потребителей 1, питание должно быть бесперебойным.

Вариант 8

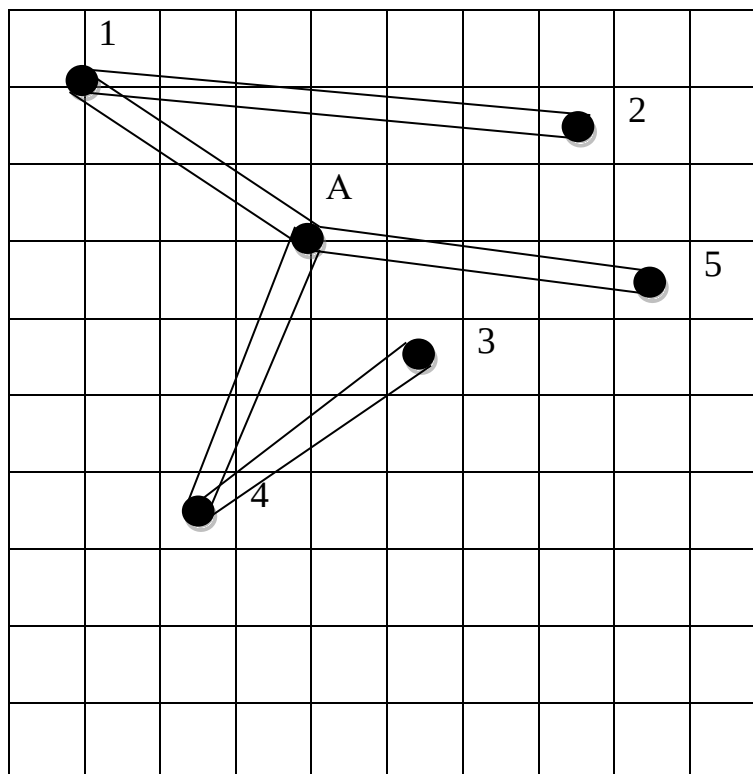


Рис.9.

$$L=43,6 \text{ см} \cdot 8=348,8 \text{ км}$$

По надежности схема удовлетворяет.

Исходя из вышеперечисленных критериев, выбираем вариант 1 и 2.

1.3 Выбор номинального напряжения электрической сети

Предварительный выбор номинального напряжения U_n линий производят совместно с разработкой схем сети, т.к. они взаимно дополняют друг друга. Все элементы электрической сети, а также электроприемники выполняются на определенное номинальное напряжения и могут работать при значениях напряжения, отличающихся от номинального лишь с некоторыми допусками. Все элементы сети обладают определенными сопротивлениями, поэтому токи

Имя	№
Подпись	Взам

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат.
------	----------	-------	------

Лис
10

в них вызывают изменение напряжения, в результате комплексные значения напряжения во всех узлах сети получаются различными.

Величина U_i зависит от передаваемой мощности. Напряжение для выбранного варианта конфигурации электрической сети предварительно определим по формуле Г.А. Илларионова [1]:

$$U_{\text{ном}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}},$$

где L – длина линии, км;

P – передаваемая мощность на одну цепь, МВт.

В отличие от других экспериментальных выражений приведенная формула дает удовлетворительные результаты для всей шкалы номинальных напряжений переменного тока в диапазоне от 35 до 1150 кВ.

Для определения напряжения необходимо сначала определить длину линии и соответствующие передаваемые мощности:

Имя №	Подпись	Взам					Лис
			Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

Вариант I:

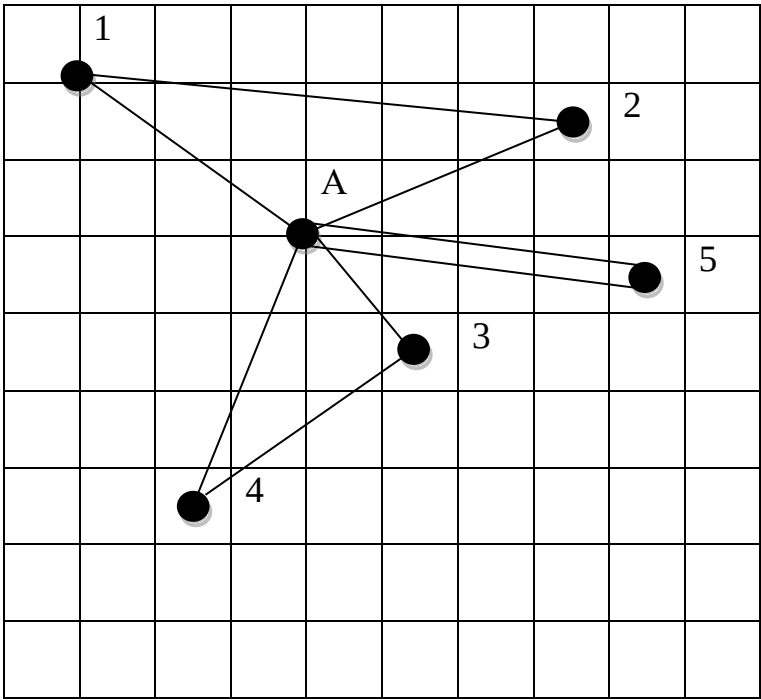


Рис.10.

$L_{A-2} = 29,6 км ; L_{A-1} = 29,6 км ; L_{1-2} = 52 км ; L_{A-3} = 16 км ; L_{A-5} = 33,6 км$

$L_{A-4} = 31,2 км ; L_{4-3} = 28 км$

Рассчитаем перетоки активных мощностей без учета потерь мощности.

$$P_{A-1} = \frac{P_1 \cdot (L_{1-2} + L_{A-2}) + P_2 \cdot L_{A-2}}{L_{A-1} + L_{1-2} + L_{A-2}} = \frac{36 \cdot (52 + 29,6) + 25 \cdot 29,6}{29,6 + 52 + 29,6} = 33,07 MBm,$$

$$P_{A-2} = \frac{P_2 \cdot (L_{1-2} + L_{A-1}) + P_1 \cdot L_{A-1}}{L_{A-1} + L_{1-2} + L_{A-2}} = \frac{25 \cdot (52 + 29,6) + 36 \cdot 29,6}{29,6 + 52 + 29,6} = 27,92 MBm,$$

$$P_{2-1} = P_{A-2} - P_2 = 27,92 - 25 = -2,92 MBm.$$

$$P_{A-5} = \frac{P_5}{2} = \frac{28}{2} = 14 MBm ;$$

$$P_{A-3} = \frac{P_3 \cdot (L_{4-3} + L_{A-4}) + P_4 \cdot L_{A-4}}{L_{A-3} + L_{4-3} + L_{A-4}} = \frac{16 \cdot (28 + 31,2) + 19 \cdot 31,2}{16 + 28 + 31,2} = 20,47 MBm,$$

$$P_{A-4} = \frac{P_4 \cdot (L_{4-3} + L_{A-3}) + P_3 \cdot L_{A-3}}{L_{A-3} + L_{4-3} + L_{A-4}} = \frac{19 \cdot (28 + 16) + 16 \cdot 16}{16 + 28 + 31,2} = 12,6 MBm,$$

$$P_{3-4} = P_{A-3} - P_3 = 20,47 - 16 = 4,47 MBm.$$

Определяем номинальные напряжения для каждой линии:

Имя	Взам
Подпись	
Имя №	

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Лис
				12

$$U_{НОМ, А-2}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-2}} + \frac{2500}{P_{А-2}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{29,6} + \frac{2500}{27,92}}} = 96,9 \text{ кВ} ;$$

$$U_{НОМ, А-1}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-1}} + \frac{2500}{P_{А-1}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{29,6} + \frac{2500}{33,07}}} = 103,98 \text{ кВ} ;$$

$$U_{НОМ, 1-2}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{1-2}} + \frac{2500}{P_{1-2}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{52} + \frac{2500}{2,92}}} = 34,41 \text{ кВ} ;$$

$$U_{НОМ, А-5}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-5}} + \frac{2500}{P_{А-5}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{33,6} + \frac{2500}{14}}} = 71,89 \text{ кВ} ;$$

$$U_{НОМ, А-3}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-3}} + \frac{2500}{P_{А-3}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{16} + \frac{2500}{20,47}}} = 80,75 \text{ кВ}$$

$$U_{НОМ, А-4}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-4}} + \frac{2500}{P_{А-4}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{31,2} + \frac{2500}{14,52}}} = 72,89 \text{ кВ}$$

$$U_{НОМ, 4-3}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{4-3}} + \frac{2500}{P_{4-3}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{28} + \frac{2500}{4,47}}} = 43,01 \text{ кВ}$$

Исходя из полученных результатов видно, что выбранная схема электрической сети будет выполняться на напряжение $U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}$.

Имя №	Подпись и					Взам
Изм		№ докум	Подп	Дат		
					Лис	
					13	

Вариант II

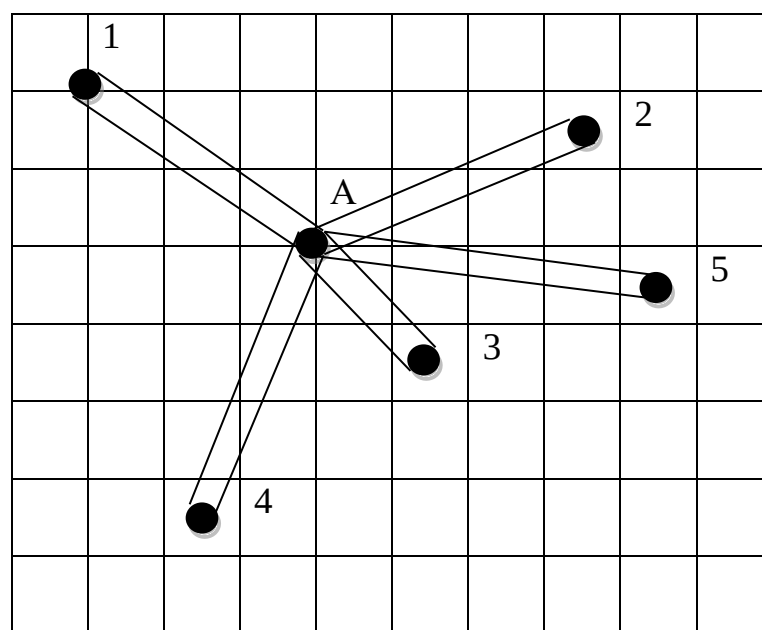


Рис.11.

Длины линий:

$$L_{A-2} = 29,6 \text{ км}; L_{A-1} = 29,6 \text{ км}; L_{A-3} = 16 \text{ км}; L_{A-5} = 33,6 \text{ км}; L_{A-4} = 31,2 \text{ км}$$

Рассчитаем перетоки активных мощностей без учета потерь мощности:

$$P_{A-1} = \frac{P_1}{2} = \frac{36}{2} = 18 \text{ МВт},$$

$$P_{A-2} = \frac{P_2}{2} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ МВт}$$

$$P_{A-3} = \frac{P_3}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ МВт}$$

$$P_{A-4} = \frac{P_4}{2} = \frac{19}{2} = 9,5 \text{ МВт}$$

$$P_{A-5} = \frac{P_5}{2} = \frac{28}{2} = 14 \text{ МВт}$$

Определяем номинальное напряжение сети:

Имя	Взам
Подпись	
Имя	

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Лис
				14

$$U_{НОМ, А-2}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-2}} + \frac{2500}{P_{А-2}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{29,6} + \frac{2500}{12,5}}} = 67,9 \text{ кВ};$$

$$U_{НОМ, А-1}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-1}} + \frac{2500}{P_{А-1}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{29,6} + \frac{2500}{18}}} = 80,12 \text{ кВ};$$

$$U_{НОМ, А-5}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-5}} + \frac{2500}{P_{А-5}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{33,6} + \frac{2500}{14}}} = 71,8 \text{ кВ}.$$

$$U_{НОМ, А-3}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-3}} + \frac{2500}{P_{А-3}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{16} + \frac{2500}{8}}} = 53,93 \text{ кВ}$$

$$U_{НОМ, А-4}^{\vartheta} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{А-4}} + \frac{2500}{P_{А-4}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{31,2} + \frac{2500}{9,5}}} = 59,84 \text{ кВ}$$

Исходя из полученных результатов видно, что выбранная схема электрической сети будет выполняться на напряжение $U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}$.

1.4 Баланс активной и реактивной мощности в электрической сети

Основной целью составления баланса мощности является обеспечение работы электрической системы с допустимыми параметрами во всех режимах в течение года. Баланс составляется отдельно для активной и реактивной мощности. Следует отметить, что реактивная мощность нагрузки электрической системы в большей мере, чем активная, определяется потерями сети. Чем ближе к месту потребления реактивной мощности устанавливаются компенсирующие устройства, тем меньше значения передаваемой по элементам сети реактивной мощности и тем выше уровень напряжения в сети. Все это приводит к уменьшению потерь реактивной мощности в сети и к снижению суммарной установленной мощности компенсирующих устройств.

Имя №	Взам					
		Подпись и				
электрической системы в большей мере, чем активная, определяется потерями сети. Чем ближе к месту потребления реактивной мощности устанавливаются компенсирующие устройства, тем меньше значения передаваемой по элементам сети реактивной мощности и тем выше уровень напряжения в сети. Все это приводит к уменьшению потерь реактивной мощности в сети и к снижению суммарной установленной мощности компенсирующих устройств.						
Изм		№ докум	Подп	Дат	Лис	
					15	

В процессе эксплуатации составление баланса мощности приходится выполнять систематически в целях выяснения условий работы электрической системы и ее отдельных частей с учетом фактического наличия оборудования, его текущего состояния и роста нагрузок.

Определим наибольшую суммарную активную мощность, потребляемую в проектируемой сети согласно формуле:

$$P_{П,нб} = K_{o(P)} \cdot \sum_{i=1}^n P_{нб,i} + \Delta P_c * \sum_{i=1}^n P_{нб,i},$$

где: К-коэффициент наибольшей нагрузки п/ст, равный 0,95;

ΔP_c – суммарные потери мощности в сети в долях от суммарной нагрузки п/ст, принимается равным 0,05.

$$P_{П,нб} = (0,95 + 0,05) \cdot (36 + 25 + 16 + 19 + 28) = 124 \text{ МВт}.$$

Для дальнейших расчетов определим наибольшую реактивную нагрузку i -го узла $Q_{нб,i}$ [Мвар] и наибольшую полную нагрузку i -го узла $S_{нб,i}$ [МВ·А]:

$$Q_{нб,i} = P_{нб,i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i,$$

$$S_{нб,i} = \sqrt{P_{нб,i}^2 + Q_{нб,i}^2},$$

где $P_{нб,i}$ – максимальная активная нагрузка i -ого узла.

$$Q_{нб,1} = P_{нб,1} \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi_1) = 36 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0.87) = 20,41 \text{ Мвар};$$

$$Q_{нб,2} = P_{нб,2} \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi_2) = 25 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0.83) = 16,8 \text{ Мвар};$$

$$Q_{нб,3} = P_{нб,3} \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi_3) = 16 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0.86) = 9,46 \text{ Мвар};$$

$$Q_{нб,4} = P_{нб,4} \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi_4) = 19 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0.84) = 12,25 \text{ Мвар};$$

$$Q_{нб,5} = P_{нб,5} \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi_5) = 28 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0.85) = 17,3 \text{ Мвар}.$$

$$S_{нб,1} = \sqrt{P_{нб,1}^2 + Q_{нб,1}^2} = \sqrt{36^2 + 20,41^2} = 41,38 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{нб,2} = \sqrt{P_{нб,2}^2 + Q_{нб,2}^2} = \sqrt{25^2 + 16,8^2} = 30,12 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{нб,3} = \sqrt{P_{нб,3}^2 + Q_{нб,3}^2} = \sqrt{16^2 + 9,4^2} = 18,58 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

Имя №	Взам	$Q_{н\bar{\sigma},5} = P_{н\bar{\sigma},5} \cdot tg(\arccos \varphi_5) = 28 \cdot tg(\arccos 0.85) = 17,3 Мвар .$				
		$S_{н\bar{\sigma},1} = \sqrt{P_{н\bar{\sigma},1}^2 + Q_{н\bar{\sigma},1}^2} = \sqrt{36^2 + 20,41^2} = 41,38 MB \cdot A ;$				
		$S_{н\bar{\sigma},2} = \sqrt{P_{н\bar{\sigma},2}^2 + Q_{н\bar{\sigma},2}^2} = \sqrt{25^2 + 16,8^2} = 30,12 MB \cdot A ;$				
		$S_{н\bar{\sigma},3} = \sqrt{P_{н\bar{\sigma},3}^2 + Q_{н\bar{\sigma},3}^2} = \sqrt{16^2 + 9,4^2} = 18,58 MB \cdot A ;$				
Изм		№ докум	Подп	Дат		Лис
						16

$$S_{нб,4} = \sqrt{P_{нб,4}^2 + Q_{нб,4}^2} = \sqrt{19^2 + 12,25^2} = 22,6 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{нб,5} = \sqrt{P_{нб,5}^2 + Q_{нб,5}^2} = \sqrt{28^2 + 17,3^2} = 32,91 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Потребителями реактивной мощности в энергосистеме являются электроприемники промышленных предприятий, электрифицированный железнодорожный и городской транспорт, маломощная двигательная нагрузка населенных мест. В последнее время широкое применение бытовых приборов и люминесцентных светильников привело существенному увеличению реактивной мощности. Значительная реактивная мощность теряется при ее передаче. Наибольшие потери имеют место в трансформаторах.

$$\Delta Q_{T,\Sigma} = 0,1 \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_{Ti} \cdot S_{нб,i}$$

Так как мы рассматриваем электрическую сеть 110/10 кВ, то $\alpha_{T,i}$ примем равным 1, выбираем из таблицы 4.9 [1] в соответствии с данными нашей сети.

$$\Delta Q_{T,\Sigma} = 0,1 \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_{Ti} \cdot S_{нб,i} = 0,1 \cdot (20,41 + 16,8 + 9,46 + 12,25 + 17,3) = 7,62 \text{ Мвар}.$$

Суммарную наибольшую реактивную мощность, потребляемую с шин электростанции или районной подстанции, являющихся источниками питания для проектируемой сети, определим по формуле:

$$Q_{П,нб} = K(Q) \cdot \sum Q_{нб,i} + \left(\sum_{i=1}^m \Delta Q_i - \Delta Q_{c,i} \right) + \Delta Q_{T\Sigma}.$$

Для воздушных линий 110 кВ в первом приближении допускается принимать равными потери и генерации реактивной мощности в линиях, т.е. $\Delta Q_i - \Delta Q_{c,i} = 0$.

Отсюда

$$Q_{П,нб} = 0,98(20,41 + 16,8 + 9,45 + 12,25 + 17,3) + 7,62 = 82,33 \text{ Мвар}.$$

Имя №	Подпись	Взам					Лис
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат			17

1.5 Выбор типа, мощности и места установки компенсирующих устройств

В электрических сетях устанавливают так называемые компенсирующие устройства. Компенсирующими устройствами называют установки, предназначенные для компенсации емкостей или индуктивной составляющей переменного тока. Условно их разделяют на:

а) устройства для компенсации реактивной мощности, потребляемой нагрузками и в элементах сети – синхронные двигатели и поперечно включаемые батареи конденсаторов;

б) устройства для компенсации реактивных параметров линии – продольно включаемые батареи конденсаторов, поперечно включаемые реакторы. Компенсирующие устройства, кроме генерации реактивной мощности, потребляют некоторую активную мощность. При расчете рабочего режима мы эти величины учитывать не будем, так как они оказывают сравнительно малое влияние на параметры режима [12].

Итак, полученное значение суммарной потребляемой реактивной мощности $Q_{П,нб} = 82,33 \text{ Мвар}$ сравниваем с указанным на проект значением реактивной мощности Q_c , которую экономически целесообразно получать из системы в проектируемую сеть.

$$Q_c = \sum_{i=1}^n P_{нб,i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_c,$$

где $\cos \varphi = 0,94$ - коэффициент мощности на подстанции “А”.

$$\cos \varphi = 0,94 \Rightarrow \operatorname{tg}(\arccos \varphi) \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi_c = 0,36;$$

$$Q_c = (36 + 25 + 16 + 19 + 28) \cdot 0,36 = 44,64 \text{ Мвар}.$$

При $Q_{П,нб} > Q_c$ в проектируемой сети должны быть установлены компенсирующие устройства, суммарная мощность которых определяется по формуле :

$$Q_{K\Sigma} = Q_{П,нб} - Q_c.$$

Имя №	Взам				Лис
	Подпись и				
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат	18

где $\cos \varphi = 0,94$ - коэффициент мощности на подстанции “А”.
$\cos \varphi = 0,94 \Rightarrow tg(\arccos \varphi) \Rightarrow tg \varphi_c = 0,36;$
$Q_c = (36 + 25 + 16 + 19 + 28) \cdot 0,36 = 44,64 \text{ Мвар}.$
При $Q_{П,нб} > Q_c$ в проектируемой сети должны быть установлены компенсирующие устройства, суммарная мощность которых определяется по формуле :
$Q_{K\Sigma} = Q_{П,нб} - Q_c.$

$$Q_{K\Sigma} = 82,33 - 44,64 = 37,69 \text{ Мвар.}$$

Определим мощность конденсаторных батарей, которые должны быть установлены на каждой подстанции.

$$Q_{k,i} = P_{нб,i} \cdot (tg\varphi_i - tg\varphi_A).$$

$$Q_{k,1} = P_{нб,1} \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_A) = 36 \cdot (0,567 - 0,36) = 7,45 \text{ Мвар,}$$

$$Q_{k,2} = P_{нб,2} \cdot (tg\varphi_2 - tg\varphi_A) = 25 \cdot (0,672 - 0,36) = 7,8 \text{ Мвар,}$$

$$Q_{k,3} = P_{нб,3} \cdot (tg\varphi_3 - tg\varphi_A) = 16 \cdot (0,591 - 0,36) = 3,69 \text{ Мвар,}$$

$$Q_{k,4} = P_{нб,4} \cdot (tg\varphi_4 - tg\varphi_A) = 19 \cdot (0,645 - 0,36) = 5,41 \text{ Мвар,}$$

$$Q_{k,5} = P_{нб,5} \cdot (tg\varphi_5 - tg\varphi_A) = 28 \cdot (0,618 - 0,36) = 7,2 \text{ Мвар.}$$

Так как проектируется сеть 110/10кВ то базовый экономический коэффициент реактивной мощности $tg\varphi_s = 0,3$.

$$Q_{k,i} = P_{нб,i} \cdot (tg\varphi_i - tg\varphi_s).$$

$$Q_{k,1} = P_{нб,1} \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_s) = 36 \cdot (0,567 - 0,3) = 9,612 \text{ Мвар,}$$

$$Q_{k,2} = P_{нб,2} \cdot (tg\varphi_2 - tg\varphi_s) = 25 \cdot (0,672 - 0,3) = 9,3 \text{ Мвар,}$$

$$Q_{k,3} = P_{нб,3} \cdot (tg\varphi_3 - tg\varphi_s) = 16 \cdot (0,591 - 0,3) = 4,66 \text{ Мвар,}$$

$$Q_{k,4} = P_{нб,4} \cdot (tg\varphi_4 - tg\varphi_s) = 19 \cdot (0,645 - 0,3) = 6,55 \text{ Мвар,}$$

$$Q_{k,5} = P_{нб,5} \cdot (tg\varphi_5 - tg\varphi_s) = 28 \cdot (0,618 - 0,3) = 8,9 \text{ Мвар.}$$

Окончательное решение о необходимости конденсаторных батарей на каждой из подстанций принимаются по большей из величин. С помощью таблицы 1 выбирается тип и количество КУ устанавливаемых на каждой подстанции.

Таблица 1.1

№ узла	Количество КУ	Тип КУ
1	4	УКРМ – 10,5 – 2450У3
2	4	УКРМ – 10,5 – 2350У3
3	2	УКРМ – 10,5 – 2400У3
4	4	УКРМ – 10,5 – 1650У3

Имя	№	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат		Лис	
								19

5	4	УКРМ – 10,5 – 2250У3
---	---	----------------------

Для 1-го узла: $4 \times UKPM - 10,5 - 2450УЗ = 9,8 Mвар$;

Для 2-го узла: $4 \times UKPM - 10,5 - 2350УЗ = 9,4 Mвар$;

Для 3-го узла: $2 \times УКРМ - 10,5 - 2400УЗ = 4,8 Мвар$;

Для 4-го узла: $4 \times UKPM - 10,5 - 1650УЗ = 6,6 \text{ Мвар}$;

Для 5-го узла: $4 \times UKPM - 10,5 - 2250Y3 = 9Mвар.$

Определим реактивную мощность, потребляемую в узлах из системы с учетом компенсирующих устройств:

$$Q_j = Q_{H\phi,j} - Q_{k,j},$$

где $Q_{k,i}$ – мощность конденсаторных батарей, которые должны быть установлены на каждой подстанции, Мвар.

$$Q_1 = Q_{\mu\bar{\phi},1} - Q_{k,1} = 20,41 - 9,8 = 10,61 \text{ Mвар} ;$$

$$Q_2 = Q_{\text{н\ddot{o}2}} - Q_{k2} = 16,8 - 9,4 = 4,66 \text{ Мвар} ;$$

$$Q_3 = Q_{y63} - Q_{k3} = 9,46 - 4,9 = 4,6 \text{ Mbar};$$

$$Q_4 = Q_{u\delta_4} - Q_{k_4} = 12,25 - 6,6 = 5,66 \text{ Mvar};$$

$$Q_5 = Q_{u_5} - Q_{k_5} = 17,3 - 9 = 8,3 \text{ Mвар} .$$

Полная мощность в узлах с учетом компенсирующих устройств:

$$S_j = P_{\theta,j} + jQ_j,$$

где Q_i – реактивная мощность, потребляемая в узлах из системы с учетом компенсирующих устройств, Мвар.

$$S_1 = P_{u\delta_1} + jQ_1 = \sqrt{36^2 + 10,61^2} = 37,53 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$S_2 = P_{\text{ср}2} + jQ_2 = \sqrt{25^2 + 7,4^2} = 26,07 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$S_3 = P_{u\delta_3} + jQ_3 = \sqrt{16^2 + 4,66^2} = 16,66 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$S_4 = P_{u\bar{6}_4} + jQ_4 = \sqrt{19^2 + 5,66^2} = 19,82 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$S_5 = P_{u\hat{\rho}_5} + jQ = \sqrt{28^2 + 8,3^2} = 29,2 MB \cdot A.$$

Изм	№ докум	Подп	Лам	Имя №	Подпись	Взам	$S_1 = P_{нб,1} + jQ_1 = \sqrt{36^2 + 10,61^2} = 37,53 MB \cdot A ;$ $S_2 = P_{нб,2} + jQ_2 = \sqrt{25^2 + 7,4^2} = 26,07 MB \cdot A ;$ $S_3 = P_{нб,3} + jQ_3 = \sqrt{16^2 + 4,66^2} = 16,66 MB \cdot A ;$ $S_4 = P_{нб,4} + jQ_4 = \sqrt{19^2 + 5,66^2} = 19,82 MB \cdot A ;$ $S_5 = P_{нб,5} + jQ = \sqrt{28^2 + 8,3^2} = 29,2 MB \cdot A .$
							Лис
							20

1.6 Выбор силовых трансформаторов понизительных подстанций

Количество трансформаторов выбирается с учетом категорий потребителей по степени надежности. Так как по условию, на всех подстанциях имеются потребители 1-ой категории и $P_{\max} \geq 10 \text{ MBt}$, то число устанавливаемых трансформаторов должно быть не менее двух.

В соответствии с существующей практикой проектирования мощность трансформаторов на понижающих подстанциях рекомендуется выбирать из условия допустимой перегрузки в послеаварийных режимах до 30% в течение 2 часов. По [2, табл. П7] выбираем соответствующие типы трансформатора.

$$S_{\text{ном}} \cdot 1,3 \geq S_i,$$

где n_m - количество трансформаторов на ПС

$$\text{Пс.1. } 40 \cdot 1,1 = 44 \triangleright 37,53 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$\text{Пс.2. } 425 \cdot 1,1 = 27,5 \triangleright 26,07 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$\text{Пс.3. } 16 \cdot 1,1 = 17,6 \triangleright 16,66 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$\text{Пс.4. } 25 \cdot 1,1 = 27,5 \triangleright 19,82 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$\text{Пс.5. } 40 \cdot 1,1 = 44 \triangleright 29,2 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

Результаты выбора трансформаторов приведены в таблице 1.2

Таблица 1.2

№ узла	Полная мощность в узле, МВ·А	Тип трансформаторов
1	37,53	2×ТРДН – 40000/110
2	26,07	2×ТРДН – 25000/110
3	16,66	2×ТРДН – 16000/110
4	19,82	2×ТДН – 25000/110
5	29,20	2×ТРДН – 40000/110

Имя №	Подпись	Взам					Лис
			Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

Данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов 110 кВ
приведены в таблице 1.3

Таблица 1.3

Справоч. Данные	ТДН – 16000/110	ТРДН – 25000/110	ТРДН – 40000/110
$S_{ном}, МВ \cdot А$	16	25	40
Пределы регулирования	$\pm 9 \times 1,78\%$	$\pm 9 \times 1,78\%$	$\pm 9 \times 1,78\%$
$U_{номВН}, кВ$	115	115	115
$U_{номНН}, кВ$	6,5	10,5	10,5
$u_k, \%$	10,5	10,5	10,5
$\Delta P_k, кВт$	85	120	172
$\Delta P_x, кВт$	19	27	36
$I_x, \%$	0,7	0,7	0,65
$r_T, Ом$	4,38	2,54	1,4
$x_T, Ом$	86,7	55,9	34,7
$\Delta Q_x, квар$	112	175	260

1.7 Выбор сечения проводников воздушных линий электропередач

Определим распределение полной мощности (без учета потерь в линиях)
в проектируемой сети.

Вариант I:

$$S_{A-1} = \frac{S_1 \cdot (L_{1-2} + L_{2-A}) + S_2 \cdot L_{2-A}}{L_{A-1} + L_{1-2} + L_{A-2}} = \frac{37,53 \cdot (52 + 29,6) + 26,07 \cdot 29,6}{29,6 + 52 + 29,6} = 34,48 МВ \cdot А,$$

$$S_{A-2} = \frac{S_2 \cdot (L_{1-2} + L_{A-1}) + S_1 \cdot L_{A-1}}{L_{A-1} + L_{1-2} + L_{A-2}} = \frac{26,07 \cdot (52 + 29,6) + 37,53 \cdot 29,6}{29,6 + 52 + 29,6} = 29,12 МВм,$$

$$S_{2-1} = S_{A-2} - S_2 = 29,12 - 26,07 = 3,05 МВм.$$

Имя №	Взам					Лис
	Подпись					
	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	22	

$$S_{A-5} = S_5 / 2 = 29,20 / 2 = 14,60 \text{ MB} \cdot A;$$

$$S_{A-4} = \frac{S_4 \cdot (L_{3-4} + L_{3-A}) + S_3 \cdot L_{3-A}}{L_{A-4} + L_{3-4} + L_{A-3}} = \frac{19,82 \cdot (28 + 16) + 16,66 \cdot 16}{31,2 + 28 + 16} = 15,44 \text{ MB} \cdot A,$$

$$S_{A-3} = \frac{S_3 \cdot (L_{3-4} + L_{A-4}) + S_4 \cdot L_{A-4}}{L_{A-4} + L_{3-4} + L_{A-3}} = \frac{16,66 \cdot (28 + 31,2) + 19,82 \cdot 31,2}{31,2 + 28 + 16} = 21,34 \text{ MBm},$$

$$S_{3-4} = S_{A-3} - S_3 = 21,34 - 16,66 = 4,67 \text{ MBm}.$$

Расчетную токовую нагрузку линии определим по выражению:

$$I_P = I_{нб} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t,$$

где α_i – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии, для линий 110 – 220кВ принимается равным 1,05,

что соответствует математическому ожиданию этого коэффициента в зоне наиболее часто встречающихся темпов роста нагрузки;

α_t – коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки линии $T_{\max}$. Выбирается по [табл. 4.9, 1]. $\alpha_t = 1$;

$I_{нб}$ – ток линии на пятый год ее эксплуатации в нормальном режиме, определяемый для линии питающей и распределительной сети из расчета режима соответствующего максимальной нагрузки энергосистемы.

$$I_{нбi} = \frac{S_i}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}.$$

$$I_{pA-2} = \frac{S_{A-2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{29,12 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 160,49 \text{ A};$$

$$I_{pA-1} = \frac{S_{A-1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{34,48 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 190,02 \text{ A};$$

$$I_{p1-2} = \frac{S_{1-2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{3,05 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 16,81 \text{ A};$$

$$I_{pA-5} = \frac{S_{A-5}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{14,60 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 80,47 \text{ A};$$

$$I_{pA-4} = \frac{S_{A-4}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{15,14 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 83,46 \text{ A}$$

Имя №	Изм	№ докум	Подп	Дат		Лис
Подпись	Взам	$I_{pA-1} = \frac{S_{A-1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{54,48 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 190,02 A;$				
		$I_{p1-2} = \frac{S_{1-2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{3,05 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 16,81 A;$				
		$I_{pA-5} = \frac{S_{A-5}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{14,60 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 80,47 A;$				
		$I_{pA-4} = \frac{S_{A-4}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{15,14 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 83,46 A$				

$$I_{pA-3} = \frac{S_{A-3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{21,34 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 117,62 A$$

$$I_{p4-3} = \frac{S_{4-3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{4,67 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110} \cdot 1,05 \cdot 1 = 25,78 A$$

Расчетные сечения по условию экономической плотности тока.

Плотность тока определяется по ПУЭ. Для 4300 часов использования ЛЭП

$$J_{\rho} = 1,1$$

$$F_{A-1} = \frac{I_{pA-1}}{1,1} = 172,75$$

$$F_{A-2} = \frac{I_{pA-2}}{1,1} = 145,9$$

$$F_{1-2} = \frac{I_{p1-2}}{1,1} = 15,28$$

$$F_{A-5} = \frac{I_{pA-5}}{1,1} = 73,16$$

$$F_{A-3} = \frac{I_{pA-3}}{1,1} = 106,92$$

$$F_{A-4} = \frac{I_{pA-4}}{1,1} = 75,87$$

$$F_{3-4} = \frac{I_{p3-4}}{1,1} = 23,44$$

Исходя из напряжения, расчетной токовой нагрузки в нормальном режиме выбираем сечение проводов.

Для а-1: АС-185/29

Для а-2: АС-150/24

Для 1-2: АС-120/19

Для а-5: АС-120/19

Для а-3: АС-120/19

Для а-4: АС-120/19

Для 3-4: АС-120/19

Имя №	Подпись и	Взам	Для а-2: АС-120/19				
			Для а-5: АС-120/19				
			Для а-3: АС-120/19				
			Для а-4: АС-120/19				
			Для 3-4: АС-120/19				

Проверка выбранных сечений по допустимому нагреву осуществляется по формуле:

$$I_p^{авар} \leq I_{дон} ,$$

где $I_p^{авар}$ - наибольший ток в послеаварийном режиме, А;

$I_{дон}$ - допустимый ток по нагреву, А.

Превышение температуры проводника над температурой окружающей среды зависит от количества выделяемого в нем тепла, следовательно от квадрата длительного прохождения по нему тока, а также от условий его охлаждения. Работа проводов и кабелей по условиям их нагрева считается допустимой, если при заданной величине тока температура проводника не превышает допустимого значения. Допустимый ток зависит от удельной электрической проводимости материала и диаметра проводника. В практических расчетах сетей обычно пользуются годовыми таблицами длительно допустимых токов нагрузки на провода и кабели из различных материалов и при различных условиях прокладки. Таким образом, условие проверки выбранного сечения по нагреву [12].

Наибольшая токовая нагрузка в послеаварийном режиме будет иметь место при отключении одной цепи линии.

- обрыв линии А – 2:

$$S_{A-1авар} = S_2 + S_1 = 63.6MB \cdot A ;$$

$$I_{pA-1}^{авар} = \frac{S_{A-1авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{63.6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 350.5A..$$

- обрыв линии А – 1:

$$S_{A-2авар} = S_1 + S_2 = 63.6MB \cdot A ;$$

$$I_{pA-2}^{авар} = \frac{S_{A-2авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{63.6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 350.52A .$$

- обрыв линии 1 – 2:

$$S_{A-2авар} = S_2 = 26.07MB \cdot A ;$$

Имя №	Подпись	Взам	- обрыв линии А – 1: $S_{A-2авар} = S_1 + S_2 = 63.6MB \cdot A;$ $I_{pA-2}^{авар} = \frac{S_{A-2.авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{63.6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 350.52 A.$ - обрыв линии 1 –2: $S_{A-2авар} = S_2 = 26.07MB \cdot A;$					
								Лис
Изм			№ докум	Подп	Дат	25		

$$S_{A-1авар} = S_1 = 37.53 MB \cdot A$$

$$I_{pA-2}^{авар} = \frac{S_{A-2авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{26.07 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 143.68 A.$$

$$I_{pA-1}^{авар} = \frac{S_{A-1авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{37.53 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 206.84 A$$

- обрыв линии А – 5:

$$S_{A-5 авар} = S_5 = 29.2 MB \cdot A;$$

$$I_{pA-5}^{авар} = \frac{S_{A-5 авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{29.2 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 160.95 A.$$

-обрыв А-3

$$S_{A-3 авар} = S_3 + S_4 = 36.48 MB \cdot A;$$

$$I_{pA-3}^{авар} = \frac{S_{A-3 авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{36.48 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 201.08 A$$

- обрыв линии А-4:

$$S_{A-4 авар} = S_3 + S_4 = 36.48 MB \cdot A;$$

$$I_{pA-4}^{авар} = \frac{S_{A-4 авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{36.48 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 201.08 A$$

- обрыв линии 3-4:

$$S_{A'-4 авар} = S_4 = 19.82 MB \cdot A;$$

$$S_{A'-3 авар} = S_3 = 16.6 MB \cdot A$$

$$I_{pA-4}^{авар} = \frac{S_{A-4 авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{19.82 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 109.24 A$$

$$I_{pA-3}^{авар} = \frac{S_{A-3 авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{16.6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 91.83 A$$

Определяем допустимые токи по нагреву и все полученные результаты запишем в таблицу 1.4

Имя №	Подпись и	Взам	$I_{pA-3}^{авар} = \frac{S_{A-3авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{16.6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 1,05 \cdot 1 = 91.83 A$				
			Определяем допустимые токи по нагреву и все полученные результаты				
			запишем в таблицу 1.4				
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат	Лис		
					26		

Таблица 2.4

Линия	A-1	A-2	1-2	A-5	A-3	A-4	3-4
$I_{p,i}, A$	190	160,5	16,8	80,5	117,6	83,5	25,7
Марка проводов	АС-185/ 29	АС-150/ 24	АС-120/ 19	АС-120/ 19	АС-120/ 19	АС-120/ 19	АС-120/ 19
$I_{p,i}^{авар}, A$	350,5	350,5	143,6	160,9	201	201	109
$I_{дон,i}, A$	510	450	390	390	390	390	390

При сравнении наибольшего тока в послеаварийном режиме с длительно допустимым током по нагреву выполняется неравенства $I_p^{авар} \leq I_{дон}$ и, следовательно, выбранные провода удовлетворяют условию допустимого нагрева в послеаварийном режиме

Вариант II

$$S_{A-1} = S_1 / 2 = 37,53 / 2 = 18,56 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{A-2} = S_2 / 2 = 26,07 / 2 = 13,03 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{A-3} = S_3 / 2 = 16,66 / 2 = 8,33 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{A-4} = S_4 / 2 = 19,82 / 2 = 9,91 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{A-5} = S_5 / 2 = 29,20 / 2 = 14,60 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Расчетная токовая нагрузка линии в нормальном режиме:

$$I_{pA-1} = \frac{S_{A-1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{218,76 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 103,4 \text{ А}.$$

$$I_{pA-2} = \frac{S_{A-2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{13,03 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 71,84 \text{ А}.$$

$$I_{pA-5} = \frac{S_{A-5}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{14,6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 80,4 \text{ А}.$$

$$I_{pA-3} = \frac{S_{A-3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{8,33 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 45,9 \text{ А}.$$

Имя №	Взам	Подпись	$I_{pA-1} = \frac{S_{A-1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{218,76 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 103,4A.$				
			$I_{pA-2} = \frac{S_{A-2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{13,03 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 71,84A.$				
			$I_{pA-5} = \frac{S_{A-5}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{14,6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 80,4A.$				
			$I_{pA-3} = \frac{S_{A-3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{8,33 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1.05 \cdot 1 = 45,9A.$				
Изм		№ докум	Подп	Дат			Лис
							27

$$I_{pA-4} = \frac{S_{A-4}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{9,91 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 54,62 \text{ A}.$$

Расчетные сечения по условию экономической плотности тока.

Плотность тока определяется по ПУЭ. Для 4300 часов использования ЛЭП

$$J_g = 1,1$$

$$F_{A-1} = \frac{I_{pA-1}}{1,1} = 94$$

$$F_{A-2} = \frac{I_{pA-2}}{1,1} = 65,3$$

$$F_{A-5} = \frac{I_{pA-5}}{1,1} = 73,1$$

$$F_{A-3} = \frac{I_{pA-3}}{1,1} = 41,7$$

$$F_{A-4} = \frac{I_{pA-4}}{1,1} = 49$$

Исходя из напряжения, расчетной токовой нагрузки в нормальном режиме выбираем сечение проводов.

Для а-1: АС-120/19

Для а-2: АС-120/19

Для а-5: АС-120/19

Для а-3: АС-120/19

Для а-4: АС-120/19

Исходя из напряжения, расчетной токовой нагрузки, района по гололеду, материала опор и количества цепей в линии выбираются сечения сталеалюминевых проводов. Для линии 110кВ наименьшее сечение сталеалюминевых проводов равно 120 мм². Использование проводов сечением 70 мм² и 95 мм² экономически не выгодно и не целесообразно.

- обрыв линии А-2:

$$S_{A-2авар} = S_2 = 26,07 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

Имя №	Подпись И	Взам	материала опор и количества цепей в линии выбираются сечения сталеалюминевых проводов. Для линии 110кВ наименьшее сечение сталеалюминьевого провода равно 120 мм ² . Использование проводов сечением 70 мм ² и 95 мм ² экономически не выгодно и не целесообразно.							
			- обрыв линии А-2:							
			$S_{A-2авар} = S_2 = 26,07 MB \cdot A ;$							
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат						Лис
										28

$$I_{pA-2}^{авар} = \frac{S_{A-2авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{26,07 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 143,68 A.$$

- обрыв линии А-1:

$$S_{A-1авар} = S_1 = 37,53 MB \cdot A;$$

$$I_{pA-1}^{авар} = \frac{S_{A-1авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{37,53 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 206,8 A.$$

- обрыв линии А-5:

$$S_{A-5авар} = S_5 = 29,2 MB \cdot A;$$

$$I_{pA-5}^{авар} = \frac{S_{A-5авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{29,2 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 160,95 A.$$

- обрыв линии А-3:

$$S_{A-3авар} = S_3 = 16,66 MB \cdot A;$$

$$I_{pA-3}^{авар} = \frac{S_{A-3авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{16,66 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 91,83 A.$$

- обрыв линии А-4:

$$S_{A-4авар} = S_4 = 19,82 MB \cdot A$$

$$I_{pA-4}^{авар} = \frac{S_{A-4авар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t = \frac{19,82 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 109,24 A$$

Определяем допустимые токи по нагреву и все полученные результаты запишем в таблицу 2.5

Таблица 1.5

Линия	А-1	А-2	А-5	А-3	А-4
$I_{p,i}, A$	103,4	71,84	80,4	45,91	54,62
Марка проводов	АС— 120/ 19	АС— 120/ 19	АС— 120/ 19	АС- 120/ 19	АС- 120/ 19
$I_{p,i}^{авар}, A$	206,8	143,6	160,9	91,83	109,2
$I_{дон,i}, A$	390	390	390	390	390

Взам	
Подпись и	
Имя №	

Изм.		№ докум.	Подп.	Дат		Лис
						29

1.8. Выбор схем электрических подстанций

Выбор тех или иных схем подстанций зависит от конструктивного выполнения линий и подстанций, протяженности линии и передаваемой по ним мощности нагрузки, характера питаемых по сети потребителей и требований, предъявляемых ими в отношении надежности электроснабжения.

1.8.1. Применение схем распределительных устройств (РУ) на стороне ВН

Электрические подстанции являются одним из наиболее массовых элементов энергосистем; их часто значительно больше числа электростанций. Отсюда следует необходимость упрощения главных схем и удешевления, соответствующих РУ подстанций. Подстанции делятся на тупиковые, ответвительные и узловые:

- Тупиковые станции это станции, питаемые по одной или двум радиальным линиям;
- Ответвительные станции это станции, присоединяемые к одной или двум проходящим линиям на ответвлениях;
- Проходные станции это станции, присоединяемые к сети путем захода одной линии с двусторонним питанием;
- Узловые станции это станции, присоединяемые к сети не менее чем по трем питающим линиям.

Основные требования к главным схемам электрических соединений:

- Схема должна обеспечивать надежное питание присоединенных потребителей в нормальном, ремонтном, послеаварийном режимах в соответствии с категориями нагрузки с учетом наличия или отсутствия независимых резервных источников питания;

Имя №	Взам	Подпись						Лис
								30
			Изм.	№ докум.	Подп.	Дат		

- Схема должна обеспечивать надежность транзита мощности через подстанцию в нормальном, ремонтном и послеаварийном режимах в соответствии с его значением для рассматриваемого участка сети;

- Схема должна быть по возможности простой, наглядной, экономичной и обеспечивать средствами автоматики восстановление питания потребителей в послеаварийной ситуации без вмешательства персонала;

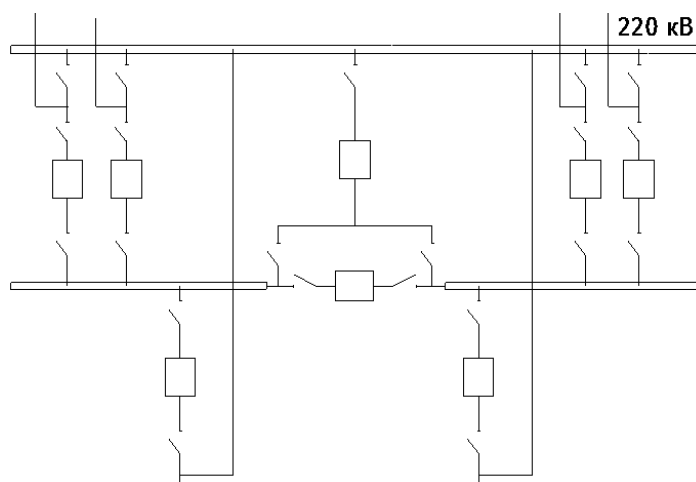
- Схема должна допускать поэтапное развитие РУ с переходом от одного этапа к другому без значительных работ по реконструкции и перерывов в питании потребителей;

- Число одновременно срабатывающих выключателей в пределах одного РУ должно быть не более 2 при повреждении линии и не более четырех при повреждении трансформатора.

В соответствии с рекомендациями в книге [3], мы выбираем необходимые схемы электрических соединений для каждого варианта.

Вариант I

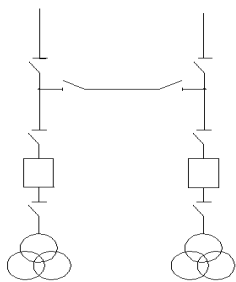
Для центра питания А выбирают схему «одна секционированная система шин с обходной с отдельными секционным и обходным выключателем».



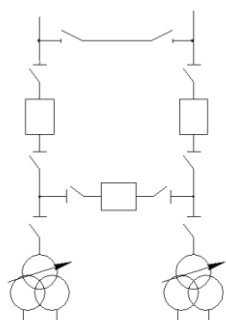
Для ПС № 5 выбирают схему «два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»

Имя	Взам
Подпись	
Имя №	

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Лис
				31

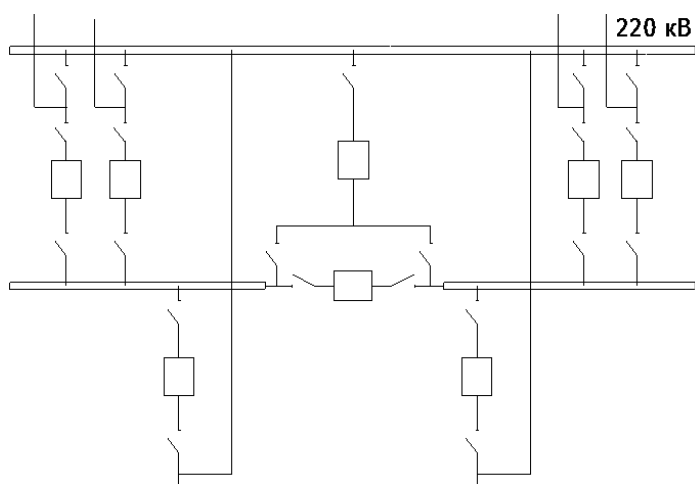


Для ПС №1,2,3,4 выбирают схемы «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий».



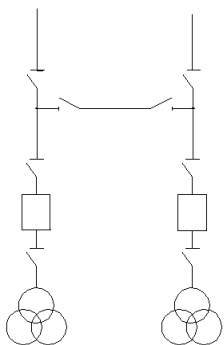
Вариант II

Для центра питания А выбирают схему «одна секционированная система шин с обходной с отдельными секционным и обходным выключателем».



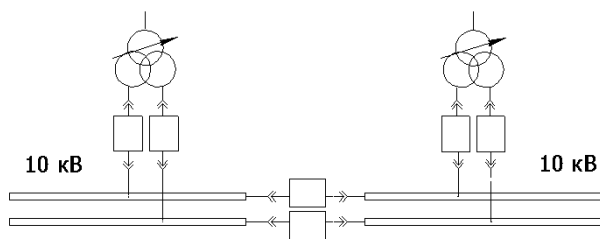
Для ПС № 1,2,3,4,5 выбирают схемы «два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Лист	32



1.8.2. Применение схем РУ 10(6) кВ

На ПС №1, 2, 3, 4, 5, применяют схемы 10(6) – «две одиночные секционированные выключателями системы шин», так как на всех этих подстанциях установлены два трансформатора с расщепленной обмоткой НН.



Имя №	Подпись и					Взам	
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат			Лис
							33

1.9. Технико-экономический расчёт РЭС

Целью технико-экономического расчета является принятие одного из сравниваемых вариантов схемы РЭС, обеспечивающего наиболее эффективное использование капитальных вложений, как в строительстве, так и в последующей эксплуатации объекта.

1.9.1. Расчет капиталовложений в строительство РЭС

Капитальные вложения – это затраты материальных, денежных и трудовых ресурсов на создание новых и реконструкцию старых основных средств. Капитальные вложения – это сумма двух составляющих: стоимости капитального строительства и капитальных приобретений, т. Е. оборудования.

$$K_{РЭС} = K_{ЛЭП} + K_{ПС};$$

где $K_{ЛЭП}$ - капитальные вложения на сооружение линии электропередачи;

$K_{ПС}$ - капитальные вложения на сооружение подстанции.

Укрупненные показатели стоимости сооружения 1 км ВЛ учитывают затраты на оборудование (опоры, провода, тросы, изоляторы, арматуру) и строительно-монтажные работы. Стоимость сооружения линий электропередачи определяется основными её параметрами: напряжением, типом опор, маркой проводов, районом строительства, климатическими условиями т. П. Рассматриваемая сеть проектируется в равнинной местности, вне населенных пунктов, район по гололеду III, поэтому:

$$K_{ЛЭП} = K_{укр.} \cdot L$$

где $K_{укр.}$ - укрупненный показатель стоимости сооружения 1 км ЛЭП;

L - длина линии электропередачи.

Суммарные капиталовложения на сооружение понижающих подстанций $K_{ПС\Sigma}$ определяются как:

Имя №	Взам	Подпись					Лис
			Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

$$K_{\text{ПС}\Sigma} = \sum_{j=1}^t K_{\text{ПС}j}$$

где $j=1, 2, \dots, t$ – номер подстанции; $K_{\text{ПС}j}$ - стоимость сооружения j -й подстанции, определяемая выражением:

$$K_{\text{ПС}j} = K_{\text{ТР}\Sigma} + K_{\text{РУ}} + K_{\text{КУ}} + K_{\text{ПОСТ}}$$

где $K_{\text{КУ}}$ - суммарная стоимость компенсирующих устройств, включающая в себя стоимость компенсирующих и регулирующих устройств, кабелей в пределах ячейки и до панелей в ОПУ, панели управления, защиты, автоматики установленные в ОПУ, но относящиеся к ячейке, а также строительные и монтажные работы.;

$K_{\text{ТР}\Sigma}$ - суммарная стоимость трансформаторного оборудования:

$$K_{\text{ТР}\Sigma} = n_{\text{ТР}} \cdot K_{\text{ТРрасч}}$$

где $K_{\text{ТРрасч}}$ - укрупненный показатель стоимости, включающий помимо стоимости самого трансформатора затраты на строительную часть, монтаж, ошиновку, шинопроводы, грозозащиту, заземление, контрольные кабели и релейную защиту;

$n_{\text{ТР}}$ - количество однотипных трансформаторов на подстанции одинаковой мощности.

$K_{\text{РУ}}$ - укрупненный показатель стоимости ОРУ 110 кВ.

$K_{\text{ПОСТ}}$ - укрупненный показатель постоянной части затрат.

Произведем расчет капиталовложений в строительство РЭС для выбранных вариантов схем электрической сети.

Имя №	Взам				Лис
	Подпись и				
	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	
					35

Вариант №1

Определим капитальные вложения на сооружение трасс воздушных линий электропередачи . Принимаем к установке железобетонные свободностоящие опоры. Т. К. подробная информация об условиях прохождения ВЛ отсутствует, то используем базисные показатели стоимости ВЛ без корректировки. Базисные показатели стоимости ВЛ приведены в ценах 2000г [1, табл.7.4]. Коэффициент индексации цен – 4,27.

$$K_{A-2}^{150} = 29,6 \cdot 4750 = 140600 \text{ тыс.руб.}$$

$$K_{A-1}^{185} = 29,6 \cdot 4750 = 140600 \text{ тыс.руб.}$$

$$K_{1-2}^{120} = 52 \cdot 4250 = 221000 \text{ тыс.руб.}$$

$$K_{A-5}^{120} = 33,6 \cdot 4250 \cdot 2 = 285600 \text{ тыс.руб.}$$

$$K_{A-3}^{120} = 16 \cdot 4250 = 68000 \text{ тыс.руб.}$$

$$K_{4-3}^{120} = 28 \cdot 4250 = 119000 \text{ тыс.руб.}$$

$$K_{A-4}^{120} = 31,2 \cdot 4250 = 132600 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные капиталовложения в воздушные линии:

$$K_{ЛЭП} = 1107400 \text{ тыс.руб.}$$

Определим суммарные капиталовложения в стоимость понижающих подстанций. Для этого найдем стоимость трансформаторов по [1,табл.7.20]. Данные сведём в таблицу 1.6.

Таблица .1.6

Мощность трансформатора, кВ·А	Стоимость 1 шт.,тыс.руб.	Количество, шт.	Итого, тыс.руб.
16000	21500	2	43000
25000	27500	4	55000
40000	36500	4	73000
В сумме: $K_{TP} = 299000 \text{ тыс.руб.}$			

Имя №	Изм	№ докум	Подп	Дат																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
-------	-----	---------	------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Определим суммарные капиталовложения в стоимость компенсирующих устройств. Данные запишем в таблицу 1.7.

Таблица 1.7

Марка	Стоимость, тыс.руб.	Количество	Итоговая стоимость, тыс.руб.
УКРМ-10,5-2450У3	2450	4	9800
УКРМ-10,5-2350У3	2350	4	9400
УКРМ-10,5-2400У3	2400	2	4800
УКРМ-10,5-1650У3	1650	4	6600
УКРМ-10,5-2250У3	2250	4	90000
В сумме: $K_{KV} = 36300 \text{ тыс.руб.}$			

Определим стоимость ОРУ с учетом постоянной части затрат по подстанциям. Данные занесем в таблицу 1.8.

Таблица 1.8

Схема ОРУ на стороне ВН	Стоимос ть, тыс. руб.	Количеств о узлов, шт	Номер узла	Всего, тыс. руб.
Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии (4Н)	76000	1	5	76000
Одна рабочая секционированная выключателем с обходной системой шин (12Н)	300000	1	А	300000
Мостик с выключателями в	150000	4	1,2,3,4	600000

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	Лис
Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	37

цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий (5Н)				
--	--	--	--	--

Суммарные капитальные вложения на сооружение подстанции составляют

$$K_{ПС1} = 1311300 \text{ тыс. руб.}$$

Общая стоимость первого варианта РЭС составляет:

$$K_{РЭС1} = 2418700 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант 2

Определим капитальные вложения на сооружение трасс воздушных линий электропередачи по формуле. Принимаем к установке железобетонные свободностоящие опоры.

$$K_{A-1}^{120} = 29,6 \cdot 4250 \cdot 2 = 251600 \text{ тыс. руб.}$$

$$K_{A-2}^{120} = 29,6 \cdot 4250 \cdot 2 = 251600 \text{ тыс. руб.}$$

$$K_{A-5}^{120} = 33,6 \cdot 4250 \cdot 2 = 285600 \text{ тыс. руб.}$$

$$K_{A-3}^{120} = 16 \cdot 4250 \cdot 2 = 265200 \text{ тыс. руб.}$$

$$K_{A-4}^{120} = 31,2 \cdot 4250 \cdot 2 = 136000 \text{ тыс. руб.}$$

К полученным данным добавим затраты на благоустройство, временные здания и сооружения – 3%, проектно-изыскательские работы и авторский надзор – 8%, прочие работы и затраты – 3%.

Суммарные капиталовложения в воздушные линии:

$$K_{ЛЭП2} = 1190000 \text{ тыс. руб.}$$

Определим суммарные капиталовложения в стоимость понижающих подстанций. Стоимость трансформаторов и компенсирующих устройств будет такой же, как для варианта 1: $K_{ТР} = 299000 \text{ тыс. руб.}$, $K_{KV} = 36300 \text{ тыс. руб.}$

Таблица 1.9.

Имя №	Подпись	Взам					
Изм		№ докум	Подп	Дат			Лис
							38

надзор – 0%, прочие работы и затраты – 0%.

Суммарные капиталовложения в воздушные линии:

$K_{\text{ЛЭП2}} = 1190000 \text{ тыс.руб.}$

Определим суммарные капиталовложения в стоимость понижающих подстанций. Стоимость трансформаторов и компенсирующих устройств будет такой же, как для варианта 1: $K_{\text{ТР}} = 299000 \text{ тыс.руб.}$, $K_{\text{КУ}} = 36300 \text{ тыс.руб.}$

Таблица 1.9.

Схема ОРУ на стороне ВН	Стоимость, тыс. руб.	Количество узлов, шт	Номер узла	Всего, тыс. руб.
Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии (4Н)	76000	5	1,2,3,4 5	380000
Одна рабочая секционированная выключателем с обходной системой шин (12Н)	300000	1	А	300000

Суммарные капитальные вложения на сооружение подстанции составляют $K_{ПС2} = 1015300 \text{ тыс. руб.}$

Общая стоимость второго варианта РЭС составляет:

$$K_{РЭС2} = 2205300 \text{ тыс. руб.}$$

Итоговые капитальные затраты K на строительство электрической сети 110/10 кВ для первого и второго вариантов соответственно:

$$K_{РЭС1} = 2418700 \text{ тыс. руб.},$$

$$K_{РЭС2} = 2205300 \text{ тыс. руб.}$$

Из расчетов видно, что второй вариант проектируемой сети по капитальным вложениям наиболее выгодный.

1.9.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов РЭС

Имя №	Взам				
	Подпись и				
капитальным вложениям наиболее выгодный.					
1.9.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов РЭС					
Изм		№ докум	Подп	Дат	
					Лис
					39

Годовые эксплуатационные расходы $I_{\text{экспл}}$ – ежегодные издержки, необходимые для эксплуатации сооружений и устройств системы передачи и распределения электроэнергии, состоят из следующих затрат:

- 1) I_a – отчисления на амортизацию объектов электрической сети;
- 2) $I_{p.o.}$ – расходы на эксплуатацию (текущий ремонт и обслуживание);
- 3) $I_{\Delta W}$ – стоимость потерянной электроэнергии в элементах сети.

Сущность амортизационных отчислений основывается на том, что каждый объект электрической сети рассчитан на определенный срок службы. Нормы на амортизацию выбирают в долях от первоначальных капитальных затрат.

Определим издержки на амортизацию, ремонт и обслуживание воздушных линий для обоих вариантов по формуле:

$$I_{\text{АРО}}^{\text{ЛЭП}} = K_{\text{ЛЭП}} \cdot \alpha, \text{ где } \alpha = 0,028, \dots$$

$$\text{Где } I_{\text{АРО}} = I_a + I_{p.o.},$$

$$\alpha = p_a + p_{p.o.} = 0,024 + 0,004 = 0,028$$

p_a - норма на амортизацию в долях от капитальных затрат;

$p_{p.o.}$ - норма на текущий ремонт и обслуживание в долях от капитальных затрат.

$$I_{\text{АРО}(1)}^{\text{ЛЭП}} = K_{\text{ЛЭП1}} \cdot \alpha = 1107400 \cdot 0,028 = 31007,2 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\text{АРО}(2)}^{\text{ЛЭП}} = K_{\text{ЛЭП2}} \cdot \alpha = 1190000 \cdot 0,028 = 34148,8 \text{ тыс.руб.}$$

Определим издержки на амортизацию, ремонт и обслуживание электрооборудования и распределительных устройств для обоих вариантов по формуле:

$$I_{\text{АРО}}^{\text{ПС}} = K_{\text{ПС}} \cdot \alpha, \text{ где } \alpha = 0,028, \dots$$

$$\alpha = p_a + p_{p.o.} = 0,064 + 0,03 = 0,094,$$

$$I_{\text{АРО}(1)}^{\text{ПС}} = K_{\text{ПС1}} \cdot \alpha = 1311300 \cdot 0,094 = 123,262,2 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\text{АРО}(2)}^{\text{ПС}} = K_{\text{ПС2}} \cdot \alpha = 1015300 \cdot 0,094 = 95438,2 \text{ тыс.руб.}$$

Имя №	Изм	№ докум	Подп	Дат																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
-------	-----	---------	------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Для учета затрат на потери электрической энергии необходимо определить суммарные годовые потери энергии:

$$И_{\Delta W} = T(\Delta W_{ЛЭП}^{\Sigma} + \Delta W_{ТР}^{\Sigma}), \dots\dots\dots$$

где T - тариф на электроэнергию генерирующей компании. На сегодняшний день стоимость 1 кВт/ч составляет 3,25руб/кВт·ч

$\Delta W_{ЛЭП}^{\Sigma}$, $\Delta W_{ТР}^{\Sigma}$ - соответственно годовые потери энергии в линиях и трансформаторах.

Рассчитаем суммарные годовые потери электроэнергии. По [3, §10.4] потери электрической энергии в трансформаторах определяются формулой:

$$\Delta W_T = n \cdot \Delta P_X \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \cdot \left(\frac{S_{П/СТ}}{S_{НОМ.ТР}} \right)^2 \cdot \tau, \dots\dots$$

где τ - время потерь (час), определяющееся как:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{MAX}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2688,6$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{MAX}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5400}{10000} \right)^2 \cdot 2688,6 = 3862,2ч$$

$$\Delta W_{ТР1} = 2 \cdot 0,036 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,172 \cdot \left(\frac{37,53}{40} \right)^2 \cdot 2688,6 = 630,72 МВт \cdot ч;$$

$$\Delta W_{ТР2} = 2 \cdot 0,027 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{26,07}{25} \right)^2 \cdot 2688,6 = 473,04 МВт \cdot ч;$$

$$\Delta W_{ТР3} = 2 \cdot 0,019 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,085 \cdot \left(\frac{16,66}{16} \right)^2 \cdot 2688,6 = 332,88 МВт \cdot ч;$$

$$\Delta W_{ТР4} = 2 \cdot 0,027 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{19,82}{25} \right)^2 \cdot 2688,6 = 473,04 МВт \cdot ч;$$

$$\Delta W_{ТР5} = 2 \cdot 0,036 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,172 \cdot \left(\frac{29,20}{40} \right)^2 \cdot 2688,6 = 630,72 МВт \cdot ч;$$

Суммарные потери в трансформаторах:

$$\Delta W_{ТР}^{\Sigma} = 2540,4 МВт \cdot ч,$$

Потери электрической энергии в линиях электропередач определяются как

Имя №	Взам					Лис
	Подпись и					
	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	41	

$$\Delta W_{ЛЭП.А-4} = \left(\frac{9,91}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 31,2 \cdot 2688,6 = 166,12 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

Суммарные потери в линиях для второго варианта:

$$\Delta W_{ЛЭП2}^{\Sigma} = 1452,3 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Суммарные годовые потери энергии:

$$I_{\Delta W}^1 = T(\Delta W_{ЛЭП}^{\Sigma} + \Delta W_{ТП}^{\Sigma}) = 3,25 \cdot (4592,6 + 2540,4) \cdot 10^3 = 23182,25 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\Delta W}^2 = T(\Delta W_{ЛЭП}^{\Sigma} + \Delta W_{ТП}^{\Sigma}) = 3,25 \cdot (1452,3 + 2540,4) \cdot 10^3 = 12976,27 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные эксплуатационные расходы рассчитываются по формуле:

$$I_{\text{экспл}} = I_{\text{АРО}}^{\text{ЛЭП}} + I_{\text{АРО}}^{\text{ПС}} + I_{\Delta W} \dots\dots\dots$$

Определим суммарные эксплуатационные расходы для обоих вариантов:

$$I_{\text{экспл}}^1 = I_{\text{АРО}}^{\text{ЛЭП}} + I_{\text{АРО}}^{\text{ПС}} + I_{\Delta W} = 31007,2 + 123262,2 + 23182,25 = 177451,65 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\text{экспл}}^2 = I_{\text{АРО}}^{\text{ЛЭП}} + I_{\text{АРО}}^{\text{ПС}} + I_{\Delta W} = 34148,8 + 95438,2 + 12976,27 = 142563,27 \text{ тыс.руб.}$$

Из этого можно сделать вывод, что суммарные эксплуатационные расходы меньше у второго варианта проектируемой сети. По проведенным расчётам для дальнейшего проектирования выбираем второй вариант.

1.10. Расчет режимов районной электрической сети

1.10.1 Максимальный режим

Целью расчета максимального режима сети обычно является проверка выполнения технических условий, то есть соответствие токов в отдельных элементах и напряжений в узлах сети допустимыми значениями.

1.10.1.1 Определение расчетной нагрузки ПС и расчет потерь в трансформаторах.

Расчетная нагрузка ПС определяется по формуле:

$$S_{\text{расч},i} = S_{n,i} + \Delta S_i - j(Q_{c,as}^H + Q_{c,ad}^K),$$

где $S_{n,i}$ - нагрузка i -ой ПС;

ΔS_i - потери полной мощности в трансформаторе, МВА;

Имя №	Взам	элементах и напряжений в узлах сети допустимыми значениями.			
		1.10.1.1 Определение расчетной нагрузки ПС и расчет потерь в трансформаторах.			
		Расчетная нагрузка ПС определяется по формуле:			
		$S_{расч,i} = S_{н,i} + \Delta S_i - j(Q_{с,ав}^H + Q_{с,ад}^K),$			
		где $S_{н,i}$ - нагрузка i -ой ПС;			
		ΔS_i - потери полной мощности в трансформаторе, МВА;			
Изм		№ докум	Подп	Дат	Лис
					43

$Q_{c,ab}^H, Q_{c,ad}^K$ - реактивные мощности, генерируемые в начале линии ab и конце линии ad , Мвар.

Емкостные мощности линий $Q_{c,ab}^H, Q_{c,ad}^K$ определяются по номинальным напряжениям:

$$Q_{c,ab}^H = \frac{1}{2} U_{ном}^2 b_{ab},$$

где b_{ab}, b_{ad} - емкостные проводимости линий.

Для двухцепных линий емкостная проводимость определяется следующим образом:

$$b_l = 2b_0 L_l,$$

где b_0 - удельная емкостная проводимость линии, см/км;

L_l - длина линии, км.

Определим потери мощности в трансформаторе согласно выражениям:

$$\Delta P_i = k \cdot \Delta P_X + \frac{1}{k} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S_i^2}{S_{ном}^2},$$

$$\Delta Q_i = \frac{k \cdot I_{X\%} \cdot S_{ном}}{100} + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_{K\%} \cdot S_i^2}{100 \cdot S_{ном}},$$

где k – количество одинаковых трансформаторов ПС;

S_i - полная мощность i -ой ПС;

$\Delta P_X, S_{ном}, I_{X\%}, u_{K\%}$ - каталожные данные.

Потери полной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta S_i = \Delta P_i + j\Delta Q_i.$$

Для ПС № 1 ($2 \times ТРДН - 40000/110$):

$$\Delta P_1 = 2 \cdot \Delta P_X + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S_1^2}{S_{ном}^2} = 2 \cdot 36 \cdot 10^3 + \frac{1 \cdot 172 \cdot 10^3 \cdot (29,25 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot (40 \cdot 10^6)^2} = 0,118 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_1 = \frac{k \cdot I_{X\%} \cdot S_{ном}}{100} + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_{K\%} \cdot S_1^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{2 \cdot 0,65 \cdot 40 \cdot 10^6}{100} + \frac{1 \cdot 10,5 \cdot (29,25 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 100 \cdot 40 \cdot 10^6} = 1,6 \text{ Мвар};$$

$$\Delta S_1 = \Delta P_1 + j\Delta Q_1 = 0,118 + j1,6 \text{ МВА}.$$

Для ПС № 2 ($2 \times ТРДН - 40000/110$):

Имя №	Взам				
	Подпись и				
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат	

Для ПС № 1 (2×ТРДН – 40000/110):

$$\Delta P_1 = 2 \cdot \Delta P_x + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S_1^2}{S_{ном}^2} = 2 \cdot 36 \cdot 10^3 + \frac{1 \cdot 172 \cdot 10^3 \cdot (29,25 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot (40 \cdot 10^6)^2} = 0.118 MBm ;$$
$$\Delta Q_1 = \frac{k \cdot I_{x\%} \cdot S_{ном}}{100} + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_{K\%} \cdot S_1^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{2 \cdot 0.65 \cdot 40 \cdot 10^6}{100} + \frac{1 \cdot 10,5 \cdot (29,25 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 100 \cdot 40 \cdot 10^6} = 1,6 Mвар ;$$
$$\Delta S_1 = \Delta P_1 + j \Delta Q_1 = 0.118 + j1,6 MВА .$$

Для ПС № 2 (2×ТРДН – 40000/110):

					Лис
					44

$$\Delta P_2 = 2 \cdot \Delta P_X + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S_2^2}{S_{ном}^2} = 2 \cdot 36 \cdot 10^3 + \frac{1 \cdot 172 \cdot 10^3 \cdot (36,5 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot (40 \cdot 10^6)^2} = 0.143 MBm ;$$

$$\Delta Q_2 = \frac{k \cdot I_{X\%} \cdot S_{ном}}{100} + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_{K\%} \cdot S_2^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{2 \cdot 0,65 \cdot 40 \cdot 10^6}{100} + \frac{1 \cdot 10,5 \cdot (36,5 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 100 \cdot 40 \cdot 10^6} = 2,3 Mвар ;$$

$$\Delta S_2 = \Delta P_2 + j \Delta Q_2 = (0.143 + j 2,3) MBA .$$

Для ПС № 3 (2 × ТДН – 16000/110):

$$\Delta P_3 = 2 \cdot \Delta P_X + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S_3^2}{S_{ном}^2} = 2 \cdot 19 \cdot 10^3 + \frac{1 \cdot 85 \cdot 10^3 \cdot (11,46 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot (16 \cdot 10^6)^2} = 0.06 MBm ;$$

$$\Delta Q_3 = \frac{k \cdot I_{X\%} \cdot S_{ном}}{100} + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_{K\%} \cdot S_3^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 16 \cdot 10^6}{100} + \frac{1 \cdot 10,5 \cdot (11,46 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 100 \cdot 16 \cdot 10^6} = 0,6 Mвар ;$$

$$\Delta S_3 = \Delta P_3 + j \Delta Q_3 = 0.06 + j 0,6 MBA .$$

Для ПС № 4 (2 × ТРДН – 25000/110):

$$\Delta P_4 = 2 \cdot \Delta P_X + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S_4^2}{S_{ном}^2} = 2 \cdot 27 \cdot 10^3 + \frac{1 \cdot 120 \cdot 10^3 \cdot (18,73 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot (25 \cdot 10^6)^2} = 0.09 MBm ;$$

$$\Delta Q_4 = \frac{k \cdot I_{X\%} \cdot S_{ном}}{100} + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_{K\%} \cdot S_4^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 25 \cdot 10^6}{100} + \frac{1 \cdot 10,5 \cdot (18,73 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 1,09 Mвар ;$$

$$\Delta S_4 = \Delta P_4 + j \Delta Q_4 = 0,09 + j 1,09 MBA .$$

Для ПС № 5 (2 × ТРДН – 25000/110):

$$\Delta P_5 = 2 \cdot \Delta P_X + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S_5^2}{S_{ном}^2} = 2 \cdot 27 \cdot 10^3 + \frac{1 \cdot 120 \cdot 10^3 \cdot (22,94 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot (25 \cdot 10^6)^2} = 0.11 MBm ;$$

$$\Delta Q_5 = \frac{k \cdot I_{X\%} \cdot S_{ном}}{100} + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_{K\%} \cdot S_5^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 25 \cdot 10^6}{100} + \frac{1 \cdot 10,5 \cdot (22,94 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 1,5 Mвар ;$$

$$\Delta S_5 = \Delta P_5 + j \Delta Q_5 = 0.11 + j 1,5 MBA .$$

Для ПС № 6 (2 × ТДН – 16000/110):

$$\Delta P_6 = 2 \cdot \Delta P_X + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S_6^2}{S_{ном}^2} = 2 \cdot 19 \cdot 10^3 + \frac{1 \cdot 85 \cdot 10^3 \cdot (10,44 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot (16 \cdot 10^6)^2} = 0,056 MBm ;$$

$$\Delta Q_6 = \frac{k \cdot I_{X\%} \cdot S_{ном}}{100} + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_{K\%} \cdot S_6^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 16 \cdot 10^6}{100} + \frac{1 \cdot 10,5 \cdot (10,44 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 100 \cdot 16 \cdot 10^6} = 0,6 Mвар ;$$

$$\Delta S_6 = \Delta P_6 + j \Delta Q_6 = 0.056 + j 0,6 MBA .$$

Определение расчетных нагрузок соответствующих ПС:

Имя №	Взам					Лис
	Подпись и					
Изм		№ докум	Подп	Дат		

Для ПС № 6(2×ТДН –16000/110):

$$\Delta P_6 = 2 \cdot \Delta P_x + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S_6^2}{S_{ном}^2} = 2 \cdot 19 \cdot 10^3 + \frac{1 \cdot 85 \cdot 10^3 \cdot (10,44 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot (16 \cdot 10^6)^2} = 0,056 MBm ;$$
$$\Delta Q_6 = \frac{k \cdot I_{X \%} \cdot S_{ном}}{100} + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_{K \%} \cdot S_6^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 16 \cdot 10^6}{100} + \frac{1 \cdot 10,5 \cdot (10,44 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 100 \cdot 16 \cdot 10^6} = 0,6 Mвар ;$$
$$\Delta S_6 = \Delta P_6 + j \Delta Q_6 = 0.056 + j0,6 MBA .$$

Определение расчетных нагрузок соответствующих ПС:

$$S_{расч,1} = S_{н,1} + \Delta S_1 - j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2b_{0,1-1'} \cdot L_{1-1'};$$

$$S_{расч,1} = 28 + j8,47 + 0,118 + j1,6 - j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 2(2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 11,7) = (28,118 + j9,69)MBA;$$

$$S_{расч,2} = S_{н,2} + \Delta S_2 - j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2b_{0,A-2} \cdot L_{A-2};$$

$$S_{расч,2} = 35 + j10,4 + 0,143 + j2,3 - j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 2(2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 33,3) = (35,143 + j11,63)MBA;$$

$$S_{расч,3} = S_{н,3} + \Delta S_3 - j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2b_{0,3-3} \cdot L_{3-3};$$

$$S_{расч,3} = 11 + j3,2 + 0,06 + j0,6 - j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 18,9) = (11,06 + j3,19)MBA;$$

$$S_{расч,4} = S_{н,4} + \Delta S_4 - j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2b_{0,3'-4} \cdot L_{3'-4};$$

$$S_{расч,4} = 18 + j5,17 + 0,09 + j1,09 - j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3) = (18,09 + j6,06)MBA;$$

$$S_{расч,5} = S_{н,5} + \Delta S_5 - j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2b_{0,5'-5} \cdot L_{5'-5};$$

$$S_{расч,5} = 22 + j6,5 + 0,11 + j1,5 - j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3) = (22,11 + j7,51)MBA..$$

$$S_{расч,6} = S_{н,6} + \Delta S_6 - j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2b_{0,1'-6} \cdot L_{1'-6};$$

$$S_{расч,6} = 10 + j3 + 0,056 + j0,6 - j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 32,4) = (10,056 + j2,56)MBA.$$

$$S_{расч,1'} = -j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2 \cdot (b_{0,1'-1} \cdot L_{1'-1} + b_{0,A-1'} \cdot L_{A-1'} + b_{0,1'-6} \cdot L_{1'-6});$$

$$S_{расч,1'} = -j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 11,7 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 32,4 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 32,4) = -j2,46MBA ;$$

$$S_{расч,5'} = -j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2 \cdot (b_{0,A-5'} \cdot L_{A-5'} + b_{0,5-5'} \cdot L_{5-5'} + b_{0,5'-3} \cdot L_{5'-3});$$

$$S_{расч,5'} = -j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 33,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3) = -j2,05MBA ;$$

$$S_{расч,3'} = -j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2 \cdot (b_{0,5'-3} \cdot L_{5'-3} + b_{0,3-3} \cdot L_{3-3} + b_{0,3-4} \cdot L_{3-4});$$

$$S_{расч,3'} = -j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 18,9 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3) = -j1,3MBA.$$

Имя №	Взам				
	Подпись и				
	$S_{pac5} = -j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2 \cdot (b_{0,A-5} \cdot L_{A-5} + b_{0,5-5} \cdot L_{5-5} + b_{0,5-3} \cdot L_{5-3});$ $S_{pac5} = -j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 33,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3) = -j 2,05 MVA ;$ $S_{pac3} = -j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot 2 \cdot (b_{0,5-3} \cdot L_{5-3} + b_{0,3-3} \cdot L_{3-3} + b_{0,3-4} \cdot L_{3-4});$ $S_{pac3} = -j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 18,9 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3) = -j 1,3 MVA.$				
Изм		№ докум	Подп	Дат	Лис 46

5.1.2 Расчет перетоков мощностей с учетом потерь в линии

Определение полных сопротивлений линий.

Таблица 5.1

Линия	Марка провода	$z_{\lambda} = \frac{1}{2}(r_0 + jx_0) \cdot L_{\lambda}, Ом$
A-2	АС– 120/19	$z_{A-2} = 0,5(24,9 + j42,7) \cdot 33,3 \cdot 10^{-2} = 4,063 + j7,11$
A-1`	АС– 120/19	$z_{A-1'} = 0,5(24,2 + j42,7) \cdot 32,4 \cdot 10^{-2} = 3,95 + j6,92$
1-1`	АС– 120/19	$z_{1-1'} = 0,5(24,2 + j42,7) \cdot 11,7 \cdot 10^{-2} = 1,43 + j2,5$
1`-6	АС– 120/19	$z_{1'-6} = 0,5(24,2 + j42,7) \cdot 32,4 \cdot 10^{-2} = 3,95 + j6,92$
A-5`	АС– 120/19	$z_{A-5'} = 0,5(24,9 + j42,7) \cdot 33,3 \cdot 10^{-2} = 4,063 + j7,11$
5`-5	АС– 120/19	$z_{5'-5} = 0,5(24,9 + j42,7) \cdot 15,3 \cdot 10^{-2} = 1,87 + j3,3$
5`-3`	АС– 120/19	$z_{5'-3'} = 0,5(24,9 + j42,7) \cdot 15,3 \cdot 10^{-2} = 1,87 + j3,3$
3`-3	АС– 120/19	$z_{3'-3} = 0,5(24,9 + j42,7) \cdot 18,9 \cdot 10^{-2} = 2,31 + j4,04$
3`-4	АС– 120/19	$z_{3'-4} = 0,5(24,9 + j42,7) \cdot 6,3 \cdot 10^{-2} = 0,77 + j1,35$

Для линии А-2:

$$S_{A-2}^K = S_{n2} = 35,143 + j11,63 MB \cdot A;$$

$$\Delta S_{Z,A-2} = \frac{(P_{A-2}^\kappa)^2 + (Q_{A-2}^\kappa)^2}{U_{\text{НОМ}}^2} Z_{A-2} = \frac{(35,143)^2 + (12,16)^2}{110^2} \cdot (4,063 + j7,11) = 0,46 + j0,78 \text{ MVA};$$

$$S_{A-2}^H = S_{A-2}^K + \Delta S_{z, A-2} = 35,143 + j11,63 + 0,46 + j0,78 = 35,603 + j12,41 \text{MVA}.$$

Для линии 1'-6:

$$S_{1-6}^K = S_{p6} = 10,056 + j2,56 MB \cdot A ;$$

$$\Delta S_{z,1^{-6}} = \frac{(P_{1^{-6}}^\kappa)^2 + (Q_{1^{-6}}^\kappa)^2}{U_{НОМ}^2} z_{1^{-6}} = \frac{(10,056)^2 + (2,56)^2}{110^2} \cdot (3,95 + j6,92) = 0,0395 + j0,07 \text{ MBA};$$

$$S_{1'-6}^H = S_{1'-6}^K + \Delta S_{z,1'-6} = 10,1 + j2,63 \text{ MBA.}$$

Для линии 1 – 1':

Изм	№ докум	Подп	Лам	Имя №	Подпись	Взам	$S_{A-2}^H = S_{A-2}^K + \Delta S_{z,A-2} = 35,143 + j11,63 + 0,46 + j0,78 = 35,603 + j12,41 \text{ МВА.}$ Для линии 1`-6: $S_{1'-6}^K = S_{p6} = 10,056 + j2,56 \text{ МВ} \cdot A ;$ $\Delta S_{z,1'-6} = \frac{(P_{1'-6}^K)^2 + (Q_{1'-6}^K)^2}{U_{ном}^2} z_{1'-6} = \frac{(10,056)^2 + (2,56)^2}{110^2} \cdot (3,95 + j6,92) = 0,0395 + j0,07 \text{ МВА} ;$ $S_{1'-6}^H = S_{1'-6}^K + \Delta S_{z,1'-6} = 10,1 + j2,63 \text{ МВА.}$ Для линии 1 – 1`:
							Лис
							47

$$S_{1-1'}^{\kappa} = S_{p1} = 28,118 + j9,69 MB \cdot A;$$

$$\Delta S_{z,1-1'} = \frac{(P_{1-1'}^{\kappa})^2 + (Q_{1-1'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{1-1'} = \frac{(28,118)^2 + (9,69)^2}{110^2} \cdot (1,43 + j2,5) = 0,104 + j0,183 MBA;$$

$$S_{1-1'}^H = S_{1-1'}^{\kappa} + \Delta S_{z,1-1'} = 28,222 + j9,873 MBA.$$

Для линии А-1` :

$$S_{A-1'}^{\kappa} = S_{p1} + S_{p6} + \Delta S_{1'-6} + \Delta S_{1-1'} = 38,32 + j12,51 MB \cdot A;$$

$$\Delta S_{z,A-1'} = \frac{(P_{A-1'}^{\kappa})^2 + (Q_{A-1'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{A-1'} = \frac{(38,32)^2 + (12,51)^2}{110^2} \cdot (3,95 + j6,92) = 0,51 + j0,9 MBA;$$

$$S_{A-1'}^H = S_{A-1'}^{\kappa} + \Delta S_{z,A-1'} = 38,83 + j13,41 MBA.$$

Для линии 3-3`:

$$S_{3-3'}^{\kappa} = S_{p3} = 11,06 + j3,19 MB \cdot A;$$

$$\Delta S_{z,3-3'} = \frac{(P_{3-3'}^{\kappa})^2 + (Q_{3-3'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{3-3'} = \frac{(11,06)^2 + (3,19)^2}{110^2} \cdot (3,31 + j4,04) = 0,025 + j0,044 MBA;$$

$$S_{3-3'}^H = S_{3-3'}^{\kappa} + \Delta S_{z,3-3'} = 11,085 + j3,234 MBA.$$

Для линии 4-3`:

$$S_{4-3'}^{\kappa} = S_{p4} = 18,09 + j6,06 MB \cdot A;$$

$$\Delta S_{z,4-3'} = \frac{(P_{4-3'}^{\kappa})^2 + (Q_{4-3'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{4-3'} = \frac{(18,09)^2 + (6,06)^2}{110^2} \cdot (0,77 + j1,35) = 0,023 + j0,0405 MBA$$

$$S_{4-3'}^H = S_{4-3'}^{\kappa} + \Delta S_{z,4-3'} = 18,113 + j6,101 MBA.$$

Для линии 5'-3':

$$S_{5'-3'}^{\kappa} = S_{p3} + S_{p4} + \Delta S_{3-3'} + \Delta S_{3'-4} = 29,2 + j9,335 MB \cdot A;$$

$$\Delta S_{z,5'-3'} = \frac{(P_{5'-3'}^{\kappa})^2 + (Q_{5'-3'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{5'-3'} = \frac{(29,2)^2 + (9,335)^2}{110^2} \cdot (1,87 + j3,3) = 0,15 + j3,38 MBA;$$

$$S_{5'-3'}^H = S_{5'-3'}^{\kappa} + \Delta S_{z,5'-3'} = 29,35 + j12,715 MBA.$$

Для линии 5`-5:

$$S_{5-5'}^{\kappa} = S_{p5} = 22,11 + j7,51 MB \cdot A;$$

Имя №	Взам				
	Подпись				
	Изм		№ докум	Подп	Дат

$$\Delta S_{z,5'-3'} = \frac{(P_{5'-3'}^\kappa)^2 + (Q_{5'-3'}^\kappa)^2}{U_{ном}^2} z_{5'-3'} = \frac{(29,2)^2 + (9,335)^2}{110^2} \cdot (1,87 + j3,3) = 0,15 + j3,38MBA ;$$

$$S_{5'-3'}^H = S_{5'-3'}^\kappa + \Delta S_{z,5'-3'} = 29,35 + j12,715MBA.$$

Для линии 5`-5:

$$S_{5-5'}^\kappa = S_{P5} = 22,11 + j7,51MB \cdot A ;$$

					Лис
					48

$$\Delta S_{z,5-5'} = \frac{(P_{5-5'}^{\kappa})^2 + (Q_{5-5'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{5-5'} = \frac{(22,11)^2 + (7,51)^2}{110^2} \cdot (1,87 + j3,3) = 0,0935 + j0,169 \text{ МВА} ;$$

$$S_{5-5'}^H = S_{5-5'}^{\kappa} + \Delta S_{z,5-5'} = 22,2 + j7,7 \text{ МВА}.$$

Для линии А-5`:

$$S_{A-5'}^{\kappa} = S_{P4} + S_{P3} + S_{P5} + \Delta S_{3-3'} + \Delta S_{3-4} + \Delta S_{3-5'} + \Delta S_{5'-5} = 51,55 + j20,39 \text{ МВ} \cdot \text{А} ;$$

$$\Delta S_{z,A-5'} = \frac{(P_{A-5'}^{\kappa})^2 + (Q_{A-5'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{A-5'} = \frac{(51,55)^2 + (20,39)^2}{110^2} \cdot (4,063 + j7,11) = 1,02 + j1,8 \text{ МВА} ;$$

$$S_{A-5'}^H = S_{A-5'}^{\kappa} + \Delta S_{z,A-5'} = 52,57 + j22,19 \text{ МВА}.$$

5.1.3 Определение значения напряжения в узловых точках

(в точках на стороне ВН) в максимальном режиме

Для ПС № 2:

$$U_2 = U_{\max} - \frac{P_{A-2}^H \cdot r_0 \cdot L_{A-2} + Q_{A-2}^H \cdot x_0 \cdot L_{A-2}}{U_{\max}} ;$$

$$U_2 = 118 - \frac{35,603 \cdot 4,063 + 12,41 \cdot 7,11}{118} = 115,99 \text{ кВ};$$

Для ПС № 1`:

$$U_{1'} = U_{\max} - \frac{P_{A-1'}^H \cdot r_0 \cdot L_{A-1'} + Q_{A-1'}^H \cdot x_0 \cdot L_{A-1'}}{U_{\max}} ;$$

$$U_{1'} = 118 - \frac{38,83 \cdot 3,95 + 10,95 \cdot 6,92}{118} = 116,1 \text{ кВ};$$

Для ПС № 1:

$$U_1 = U_{1'} - \frac{P_{1-1'}^H \cdot r_0 \cdot L_{1-1'} + Q_{1-1'}^H \cdot x_0 \cdot L_{1-1'}}{U_{1'}} ;$$

$$U_1 = 116,1 - \frac{28,222 \cdot 1,43 + 9,873 \cdot 2,5}{116,1} = 115,54 \text{ кВ};$$

Для ПС № 6:

$$U_6 = U_{1'} - \frac{P_{1'-6}^H \cdot r_0 \cdot L_{1'-6} + Q_{1'-6}^H \cdot x_0 \cdot L_{1'-6}}{U_{1'}} ;$$

Имя №	Взам				Лис
	Подпись				
Изм		№ докум	Подп	Дат	49

Для ПС № 1:

$$U_1 = U_{1'} - \frac{P''_{1-1'} \cdot r_0 \cdot L_{1-1'} + Q''_{1-1'} \cdot x_0 \cdot L_{1-1'}}{U_{1'}};$$
$$U_1 = 116,1 - \frac{28,222 \cdot 1,43 + 9,873 \cdot 2,5}{116,1} = 115,54 \text{кВ};$$

Для ПС № 6:

$$U_6 = U_{1'} - \frac{P''_{1-6} \cdot r_0 \cdot L_{1-6} + Q''_{1-6} \cdot x_0 \cdot L_{1-6}}{U_{1'}};$$

$$U_6 = 116,1 - \frac{10,1 \cdot 3,95 + 2,63 \cdot 6,95}{116,1} = 115,6 \text{ кВ};$$

Для ПС № 5:

$$U_5 = U_{\max} - \frac{P_{A-5}'' \cdot r_0 \cdot L_{A-5} + Q_{A-5}'' \cdot x_0 \cdot L_{A-5}}{U_{\max}};$$

$$U_5 = 118 - \frac{52,57 \cdot 4,063 + 20,14 \cdot 7,11}{118} = 115 \text{ кВ}.$$

Для ПС № 5:

$$U_5 = U_5 - \frac{P_{5-5}'' \cdot r_0 \cdot L_{5-5} + Q_{5-5}'' \cdot x_0 \cdot L_{5-5}}{U_5};$$

$$U_5 = 115 - \frac{22,2 \cdot 1,87 + 7,7 \cdot 3,3}{115} = 114,42 \text{ кВ};$$

Для ПС № 3:

$$U_3 = U_5 - \frac{P_{5-3}'' \cdot r_0 \cdot L_{5-3} + Q_{5-3}'' \cdot x_0 \cdot L_{5-3}}{U_5};$$

$$U_3 = 115 - \frac{29,35 \cdot 1,87 + 11,4 \cdot 3,3}{115} = 114,2 \text{ кВ};$$

Для ПС № 3:

$$U_3 = U_3 - \frac{P_{3-3}'' \cdot r_0 \cdot L_{3-3} + Q_{3-3}'' \cdot x_0 \cdot L_{3-3}}{U_3};$$

$$U_3 = 114,2 - \frac{11,085 \cdot 2,31 + 3,234 \cdot 4,04}{114,2} = 113,86 \text{ кВ};$$

Для ПС № 4:

$$U_4 = U_3 - \frac{P_{3-4}'' \cdot r_0 \cdot L_{3-4} + Q_{3-4}'' \cdot x_0 \cdot L_{3-4}}{U_3};$$

$$U_4 = 114,2 - \frac{18,113 \cdot 0,77 + 6,101 \cdot 1,35}{114,2} = 114 \text{ кВ}.$$

5.1.4 Регулирование напряжения в электрической сети в максимальном режиме

Имя №	Подпись	Взам	$U_4 = 114,2 - \frac{18,113 \cdot 0,77 + 6,101 \cdot 1,35}{114,2} = 114 \text{кВ} .$				
			5.1.4 Регулирование напряжения в электрической сети в максимальном				
			режиме				
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат			Лис
							50

Напряжение на шинах низкого напряжения, приведенное к стороне высшего напряжения для трансформаторов с на подстанциях 1-6 U'_H определяется по формуле:

$$U'_H = \frac{U_B}{2} + \sqrt{\frac{U_B^2}{4} - P_H R_T - Q_H X_T},$$

где P_H, Q_H - активная и реактивная мощности нагрузки в рассматриваемом режиме;

R_T, X_T - активное и реактивное сопротивление трансформаторов, определенные по [2, табл. П 7].

Для ПС № 1 (ТРДН – 40000/110):

$$U'_{H1} = \frac{115,54}{2} + \sqrt{\frac{115,54^2}{4} - \frac{28 \cdot 1,4}{2} - \frac{8,47 \cdot 34,7}{2}} = 114,01 \text{ кВ};$$

Для ПС № 2 (2 × ТРДН – 40000/110):

$$U'_{H2} = \frac{115,99}{2} + \sqrt{\frac{115,42^2}{4} - \frac{35 \cdot 1,4}{2} - \frac{10,4 \cdot 34,7}{2}} = 114,2 \text{ кВ};$$

Для ПС № 3 (2 × ТДН – 16000/110):

$$U'_{H,3} = \frac{113,86}{2} + \sqrt{\frac{113,86^2}{4} - \frac{11 \cdot 4,38}{2} - \frac{3,2 \cdot 86,7}{2}} = 112,43 \text{ кВ};$$

Для ПС № 4 (2 × ТРДН – 25000/110):

$$U'_{H,4} = \frac{114}{2} + \sqrt{\frac{114^2}{4} - \frac{18 \cdot 2,54}{2} - \frac{5,17 \cdot 55,9}{2}} = 112,5 \text{ кВ};$$

Для ПС № 5 (2 × ТРДН – 25000/110):

$$U'_{H,5} = \frac{114,42}{2} + \sqrt{\frac{114,42^2}{4} - \frac{22 \cdot 2,54}{2} - \frac{6,5 \cdot 55,9}{2}} = 112,61 \text{ кВ};$$

Для ПС № 6 (2 × ТДН – 16000/110):

$$U'_{H,6} = \frac{115,6}{2} + \sqrt{\frac{115,6^2}{4} - \frac{10 \cdot 4,38}{2} - \frac{3 \cdot 86,7}{2}} = 114,3 \text{ кВ};$$

Ответвление регулируемой части обмотки, обеспечивающее желаемое напряжение на шинах низшего напряжения $U_{H, \text{жел}}$, определим по выражению:

Имя №	Подпись	Взам					Лис
			Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

$$n_{отв,i}^{жкл} = \left(\frac{U'_{нi} \cdot U_{нн}}{U_{нжкл} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}}.$$

Действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанций определим по формуле:

$$U_{H,i} = \frac{U'_н \cdot U_{нн}}{U_{ВН} \cdot \left(1 + n_{отв,i} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)}.$$

Рассчитаем отклонение напряжения на этих шинах от номинального напряжения ($U_{ном} = 10кВ, \%$):

$$\delta U_i = \frac{U_n - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\%.$$

Для ПС № 1:

$$n_{отв,1}^{жкл} = \left(\frac{U'_{н1} \cdot U_{нн}}{U_{нжкл} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{114,01 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -3,02,$$

округляем $n_{отв,1} = -3$;

$$U_{H,1} = \frac{U'_{н1} \cdot U_{нн}}{U_{ВН} \cdot \left(1 + n_{отв,1} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)} = \frac{114,01 \cdot 10,5}{115 \cdot \left(1 + (-3) \cdot \frac{1,78}{100} \right)} = 11кВ;$$

$$\delta U_1 = \frac{U_{н1} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{11 - 10}{10} \cdot 100 = 10\%;$$

Для ПС № 2:

$$n_{отв,2}^{жкл} = \left(\frac{U'_{н2} \cdot U_{нн}}{U_{нжкл} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{114,2 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -2,93,$$

округляем $n_{отв,2} = -3$;

$$U_{H,2} = \frac{U'_{н2} \cdot U_{нн}}{U_{ВН} \cdot \left(1 + n_{отв,2} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)} = \frac{114,2 \cdot 10,5}{115 \cdot \left(1 + (-3) \cdot \frac{1,78}{100} \right)} = 11,02кВ;$$

$$\delta U_2 = \frac{U_{н2} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{11,02 - 10}{10} \cdot 100 = 10\%;$$

Для ПС № 3:

$$n_{отв,3}^{жкл} = \left(\frac{U'_{н3} \cdot U_{нн}}{U_{нжкл} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{112,43 \cdot 11}{11 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -1,26,$$

Имя №	Взам					Лис
	Подпись					
	Изм					
№ докум						52
Подп						
Дат						

$U_{H,2} = \frac{U'_{H2} \cdot U_{HH}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,2} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100}\right)} = \frac{114,2 \cdot 10,5}{115 \cdot \left(1 + (-3) \cdot \frac{1,78}{100}\right)} = 11,02 \text{кВ};$	
$\delta U_2 = \frac{U_{H2} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{11,02 - 10}{10} \cdot 100 = 10\%;$	
Для ПС № 3:	
$n_{отв,3}^{жел} = \left(\frac{U'_{H3} \cdot U_{HH}}{U_{Hжел} \cdot U_{BH}} - 1\right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{112,43 \cdot 11}{11 \cdot 115} - 1\right) \cdot \frac{100}{1,78} = -1,26,$	

округляем $n_{отв,3} = -1$;

$$U_{H,3} = \frac{U'_{H3} \cdot U_{HH}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,3} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100}\right)} = \frac{112,43 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + (-1) \cdot \frac{1,78}{100}\right)} = 10,95 \text{ кВ};$$

$$\delta U_3 = \frac{U_{H3} - U_{НОМ}}{U_{НОМ}} \cdot 100\% = \frac{10,95 - 10}{10} \cdot 100 = 9,5\%;$$

Для ПС № 4:

$$n_{отв,4}^{жел} = \left(\frac{U'_{H4} \cdot U_{HH}}{U_{Hжел} \cdot U_{BH}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{112,5 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -3,7,$$

округляем $n_{отв,4} = -4$;

$$U_{H,4} = \frac{U'_{H4} \cdot U_{HH}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,4} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100}\right)} = \frac{112,5 \cdot 10,5}{115 \cdot \left(1 + (-4) \cdot \frac{1,78}{100}\right)} = 11,06 \text{ кВ};$$

$$\delta U_4 = \frac{U_{H4} - U_{НОМ}}{U_{НОМ}} \cdot 100\% = \frac{11,06 - 10}{10} \cdot 100 = 10\%;$$

Для ПС № 5:

$$n_{отв,5}^{жел} = \left(\frac{U'_{H5} \cdot U_{HH}}{U_{Hжел} \cdot U_{BH}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{112,61 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -3,67,$$

округляем $n_{отв,5} = -4$;

$$U_{H,5} = \frac{U'_{H5} \cdot U_{HH}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,5} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100}\right)} = \frac{112,4 \cdot 10,5}{115 \cdot \left(1 + (-4) \cdot \frac{1,78}{100}\right)} = 11,07 \text{ кВ};$$

$$\delta U_5 = \frac{U_{H5} - U_{НОМ}}{U_{НОМ}} \cdot 100\% = \frac{11,07 - 10}{10} \cdot 100 = 10\%.$$

Для ПС № 6:

$$n_{отв,6}^{жел} = \left(\frac{U'_{H6} \cdot U_{HH}}{U_{Hжел} \cdot U_{BH}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{114,3 \cdot 11}{11 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -0,3,$$

округляем $n_{отв,6} = 0$;

$$U_{H,6} = \frac{U'_{H6} \cdot U_{HH}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,6} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100}\right)} = \frac{114,3 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + (0) \cdot \frac{1,78}{100}\right)} = 11 \text{ кВ};$$

Имя №	Взам				
	Подпись И				
Изм		№ докум	Подп	Дат	Лис

Для ПС № 6:

$$n_{отв,6} = \left(\frac{U'_{н6} \cdot U_{нн}}{U_{нжел} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{114,3 \cdot 11}{11 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -0,3,$$

округляем $n_{отв,5} = 0;$

$$U_{H,6} = \frac{U'_{н6} \cdot U_{нн}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,6} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)} = \frac{114,3 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + (0) \cdot \frac{1,78}{100} \right)} = 11кВ;$$

53

$$\delta U_6 = \frac{U_{н6} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{11-10}{10} \cdot 100 = 10\%.$$

Результаты расчета запишем в таблицу 5.2.

Таблица 5.2

№ ПС	$U'_H, кВ$	$n_{отв}^{жсл}$	$n_{отв}$	$U_H, кВ$	$\delta U, \%$
1	114,01	-3,02	-3	11	10
2	114,2	-2,93	-3	11,02	10
3	112,43	-1,26	-1	10,95	10
4	112,5	-3,7	-4	11,06	10
5	112,61	-3,67	-4	11,07	10
6	114,3	-0,3	0	11	10

5.2 Послеаварийный режим

Особо тяжелыми для работы сети могут оказаться так называемые послеаварийные режимы, которые возникают после каких-либо отключений, вызванные повреждением оборудования. Рассмотрим послеаварийные режим, возникающий при наибольших нагрузках сети, когда требуется мобилизация всех имеющихся возможностей [1].

5.2.1 Определение расчетных нагрузок соответствующих ПС:

$$S_{расч,1} = S_{н,1} + \Delta S_1 - j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot b_{0,1-1'} \cdot L_{1-1'};$$

$$S_{расч,1} = 28 + j8,47 + 0,118 + j1,6 - j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 11,7) = (28,118 + j9,88) МВА;$$

$$S_{расч,2} = S_{н,2} + \Delta S_2 - j \frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot (b_{0,A-2} \cdot L_{A-2});$$

Имя №	Подпись	Взам					Лис
			Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

$$S_{pac,2} = 35 + j10,4 + 0,143 + j2,3 - j\frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 33,3) = (35,143 + j12,16)MBA;$$

$$S_{pac,3} = S_{н,3} + \Delta S_3 - j\frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot b_{0,3'-3} \cdot L_{3'-3};$$

$$S_{pac,3} = 11 + j3,2 + 0,06 + j0,6 - j\frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 18,9) = (11,06 + j3,495)MBA;$$

$$S_{pac,4} = S_{н,4} + \Delta S_4 - j\frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot b_{0,3'-4} \cdot L_{3'-4};$$

$$S_{pac,4} = 18 + j5,17 + 0,09 + j1,09 - j\frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3) = (18,09 + j6,16)MBA;$$

$$S_{pac,5} = S_{н,5} + \Delta S_5 - j\frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot b_{0,5'-5} \cdot L_{5'-5};$$

$$S_{pac,5} = 22 + j6,5 + 0,11 + j1,5 - j\frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3) = (22,11 + j7,755)MBA..$$

$$S_{pac,6} = S_{н,6} + \Delta S_6 - j\frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot b_{0,6'-6} \cdot L_{6'-6};$$

$$S_{pac,6} = 28 + j8,47 + 0,103 + j1,41 - j\frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 12,1) = (28,103 + j9,69)MBA.$$

$$S_{pac,1'} = -j\frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot (b_{0,1-1'} \cdot L_{1-1'} + b_{0,A-1'} \cdot L_{A-1'} + b_{0,1'-6} \cdot L_{1'-6});$$

$$S_{pac,1'} = -j\frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 11,7 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 32,4 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 32,4) = -j1,23MBA;$$

$$S_{pac,5'} = -j\frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot (b_{0,A-5'} \cdot L_{A-5'} + b_{0,5-5'} \cdot L_{5-5'} + b_{0,5'-3'} \cdot L_{5'-3'});$$

$$S_{pac,5'} = -j\frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 33,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3) = -j1,03MBA;$$

$$S_{pac,3'} = -j\frac{1}{2} \cdot U_{ном}^2 \cdot (b_{0,3'-5'} \cdot L_{3'-5'} + b_{0,3-3'} \cdot L_{3-3'} + b_{0,3'-4} \cdot L_{3'-4});$$

$$S_{pac,3'} = -j\frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 18,9 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3) = -j0,65MBA;$$

5.2.2 Расчет перетоков мощностей с учетом потерь в линии

Определение полных сопротивлений линий.

Таблица 5.3

Имя №	$S_{расчЗ} = -j \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot (2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 15,3 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 18,9 + 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3) = -j0,65MBA;$				
	Взам				
	Подпись и				
5.2.2 Расчет перетоков мощностей с учетом потерь в линии					
Определение полных сопротивлений линий.					
Таблица 5.3					
Изм		№ докум	Подп	Дат	Лис
					55

Линия	Марка провода	$z_{\pi} = (r_0 + jx_0) \cdot L_{\pi}, \text{ Ом}$
A-2	АС – 120/19	$z_{A-2} = (24,9 + j42,7) \cdot 33,3 \cdot 10^{-2} = 8,126 + j14,22$
A-1`	АС – 120/19	$z_{A-1} = (24,2 + j42,7) \cdot 32,4 \cdot 10^{-2} = 7,9 + j13,84$
1-1`	АС – 120/19	$z_{1-1} = (24,2 + j42,7) \cdot 11,7 \cdot 10^{-2} = 2,86 + j5$
1`-6	АС – 120/19	$z_{1'-6} = (24,2 + j42,7) \cdot 32,4 \cdot 10^{-2} = 7,9 + j13,84$
A-5`	АС – 120/19	$z_{A-5} = (24,9 + j42,7) \cdot 33,3 \cdot 10^{-2} = 8,126 + j14,22$
5-5`	АС – 120/19	$z_{5-5} = (24,9 + j42,7) \cdot 15,3 \cdot 10^{-2} = 3,74 + j6,6$
5`-3`	АС – 120/19	$z_{5'-3} = (24,9 + j42,7) \cdot 15,3 \cdot 10^{-2} = 3,74 + j6,6$
3`-3	АС – 120/19	$z_{3-3} = (24,9 + j42,7) \cdot 18,9 \cdot 10^{-2} = 4,62 + j8,08$
3`-4	АС – 120/19	$z_{3-4} = (24,2 + j42,7) \cdot 6,3 \cdot 10^{-2} = 1,54 + j2,7$

Для линии A-2:

$$S_{A-2}^{\kappa} = S_{p2} = 35,143 + j12,16 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$\Delta S_{z, A-2} = \frac{(P_{A-2}^{\kappa})^2 + (Q_{A-2}^{\kappa})^2}{U_{\text{ном}}^2} z_{A-2} = \frac{(35,143)^2 + (12,16)^2}{110^2} \cdot (8,126 + j14,22) = 0,929 + j1,62 \text{ МВА};$$

$$S_{A-2}^H = S_{A-2}^{\kappa} + \Delta S_{z, A-2} = 35,143 + j12,16 + 0,929 + j1,62 = 36,072 + j13,78 \text{ МВА}.$$

Для линии 1`-6:

$$S_{1'-6}^{\kappa} = S_{p6} = 10,056 + j3,08 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$\Delta S_{z, 1'-6} = \frac{(P_{1'-6}^{\kappa})^2 + (Q_{1'-6}^{\kappa})^2}{U_{\text{ном}}^2} z_{1'-6} = \frac{(10,056)^2 + (3,08)^2}{110^2} \cdot (7,9 + j13,84) = 0,079 + j0,1384 \text{ МВА};$$

$$S_{1'-6}^H = S_{1'-6}^{\kappa} + \Delta S_{z, 1'-6} = 10,135 + j3,22 \text{ МВА}.$$

Для линии 1-1`:

$$S_{1-1}^{\kappa} = S_{p1} = 28,118 + j9,88 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат.
Изм.	№ докум.	Подп.	Дат.
Изм.	№ докум.	Подп.	Дат.

Изм.	№ докум.	Подп.	Дат.	Лис
Изм.	№ докум.	Подп.	Дат.	56

$$\Delta S_{z,1-1'} = \frac{(P_{1-1'}^\kappa)^2 + (Q_{1-1'}^\kappa)^2}{U_{ном}^2} z_{1-1'} = \frac{(28,118)^2 + (9,88)^2}{110^2} \cdot (2,86 + j5) = 0,21 + j0,365 MBA ;$$

$$S_{1-1'}^H = S_{1-1'}^\kappa + \Delta S_{z,1-1'} = 28,328 + j10,245 MBA.$$

Для линии А-1` :

$$S_{A-1'}^\kappa = S_{p1} + S_{p6} + \Delta S_{1-6} + \Delta S_{1-1'} = 38,463 + j13,46 MB \cdot A ;$$

$$\Delta S_{z,A-1'} = \frac{(P_{A-1'}^\kappa)^2 + (Q_{A-1'}^\kappa)^2}{U_{ном}^2} z_{A-1'} = \frac{(38,463)^2 + (13,46)^2}{110^2} \cdot (7,9 + j13,84) = 1,106 + j1,94 MBA$$

$$S_{A-1'}^H = S_{A-1'}^\kappa + \Delta S_{z,A-1'} = 39,57 + j15,4 MBA.$$

Для линии 3-3`:

$$S_{3-3'}^\kappa = S_{p3} = 11,06 + j3,495 MB \cdot A ;$$

$$\Delta S_{z,3-3'} = \frac{(P_{3-3'}^\kappa)^2 + (Q_{3-3'}^\kappa)^2}{U_{ном}^2} z_{3-3'} = \frac{(11,06)^2 + (3,495)^2}{110^2} \cdot (4,62 + j8,08) = 0,0462 + j0,0808 MBA ;$$

$$S_{3-3'}^H = S_{3-3'}^\kappa + \Delta S_{z,3-3'} = 11,11 + j3,58 MBA.$$

Для линии 4-3`:

$$S_{4-3'}^\kappa = S_{p4} = 18,09 + j6,16 MB \cdot A ;$$

$$\Delta S_{z,4-3'} = \frac{(P_{4-3'}^\kappa)^2 + (Q_{4-3'}^\kappa)^2}{U_{ном}^2} z_{4-3'} = \frac{(18,09)^2 + (6,16)^2}{110^2} \cdot (1,54 + j2,7) = 0,05 + j0,081 MBA ;$$

$$S_{4-3'}^H = S_{4-3'}^\kappa + \Delta S_{z,4-3'} = 16,1 + j4,44 MBA.$$

Для линии 5`-3`:

$$S_{5'-3'}^\kappa = S_{p3} + S_{p4} + \Delta S_{3-3'} + \Delta S_{3'-4} = 29,25 + j9,821 MB \cdot A ;$$

$$\Delta S_{z,5'-3'} = \frac{(P_{5'-3'}^\kappa)^2 + (Q_{5'-3'}^\kappa)^2}{U_{ном}^2} z_{5'-3'} = \frac{(29,25)^2 + (9,821)^2}{110^2} \cdot (3,74 + j6,6) = 0,3 + j0,528 MBA ;$$

$$S_{5'-3'}^H = S_{5'-3'}^\kappa + \Delta S_{z,5'-3'} = 29,55 + j10,349 MBA.$$

Имя №	Взам					Лис
	Подпись					
Изм		№ докум	Подп	Дат	57	

Для линии 5`-3`:

$$S_{5'-3'}^{\kappa} = S_{p3} + S_{p4} + \Delta S_{3-3'} + \Delta S_{3'-4} = 29,25 + j9,821 MB \cdot A;$$
$$\Delta S_{z,5'-3'} = \frac{(P_{5'-3'}^{\kappa})^2 + (Q_{5'-3'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{5'-3'} = \frac{(29,25)^2 + (9,821)^2}{110^2} \cdot (3,74 + j6,6) = 0,3 + j0,528 MBA ;$$
$$S_{5'-3'}^H = S_{5'-3'}^{\kappa} + \Delta S_{z,5'-3'} = 29,55 + j10,349 MBA.$$

Для линии 5'-5:

$$S_{5-5'}^{\kappa} = S_{P5} = 22,11 + j7,755 MB \cdot A;$$

$$\Delta S_{z,5-5'} = \frac{(P_{5-5'}^{\kappa})^2 + (Q_{5-5'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{5-5'} = \frac{(22,11)^2 + (7,755)^2}{110^2} \cdot (3,74 + j6,6) = 0,17 + j0,297 MVA;$$

$$S_{5-5'}^H = S_{5-5'}^{\kappa} + \Delta S_{z,5-5'} = 22,28 + j8,072 MVA.$$

Для линии А-5':

$$S_{A-5'}^{\kappa} = S_{P4} + S_{P3} + S_{P5} + \Delta S_{3-4} + \Delta S_{3-3} + \Delta S_{3-5'} + \Delta S_{5'-5} = 51,83 + j18,4 MB \cdot A;$$

$$\Delta S_{z,A-5'} = \frac{(P_{A-5'}^{\kappa})^2 + (Q_{A-5'}^{\kappa})^2}{U_{ном}^2} z_{A-5'} = \frac{(51,83)^2 + (18,4)^2}{110^2} \cdot (8,126 + j14,22) = 2,03 + j3,55 MVA;$$

$$S_{A-5'}^H = S_{A-5'}^{\kappa} + \Delta S_{z,A-5'} = 53,86 + j21,95 MVA.$$

5.2.3 Определение значения напряжения в узловых точках в послеаварийном режиме

Для ПС № 2:

$$U_2 = U_{авар} - \frac{P_{A-2}^H \cdot r_{A-2} + Q_{A-2}^H \cdot x_{A-2}}{U_{авар}} ; ;$$

$$U_2 = 112 - \frac{36,072 \cdot 8,126 + 13,78 \cdot 14,22}{112} = 107,6 kV;$$

Для ПС № 1':

$$U_{1'} = U_{авар} - \frac{P_{A-1'}^H \cdot r_{A-1'} + Q_{A-1'}^H \cdot x_{A-1'}}{U_{авар}} ;$$

$$U_{1'} = 112 - \frac{39,57 \cdot 7,9 + 14,17 \cdot 13,84}{112} = 107,5 kV;$$

Для ПС № 1:

$$U_1 = U_{1'} - \frac{P_{1-1'}^H \cdot r_{1-1'} + Q_{1-1'}^H \cdot x_{1-1'}}{U_{1'}} ; ;$$

Имя №	Подпись и	Взам	У авар $U_{1'} = 112 - \frac{39,57 \cdot 7,9 + 14,17 \cdot 13,84}{112} = 107,5 \text{кВ};$ Для ПС № 1: $U_1 = U_{1'} - \frac{P_{1-1'}'' \cdot r_{1-1'} + Q_{1-1'}'' \cdot x_{1-1'}}{U_{1'}};;$					
								Лис
			Изм		№ докум	Подп	Дат	

$$U_1 = 107,5 - \frac{28,328 \cdot 2,86 + 10,245 \cdot 5}{107,5} = 106,3 \text{ кВ};$$

Для ПС № 6:

$$U_6 = U_1 - \frac{P_{1-6}'' \cdot r_{1-6} + Q_{1-6}'' \cdot x_{1-6}}{U_1};$$

$$U_6 = 107,5 - \frac{10,135 \cdot 7,9 + 3,22 \cdot 13,84}{107,5} = 106,3 \text{ кВ};$$

Для ПС № 5`:

$$U_{5'} = U_{авар} - \frac{P_{A-5'}'' \cdot r_{A-5'} + Q_{A-5'}'' \cdot x_{A-5'}}{U_{авар}};$$

$$U_{5'} = 112 - \frac{53,86 \cdot 8,126 + 20,92 \cdot 14,22}{112} = 105,4 \text{ кВ}.$$

Для ПС № 5:

$$U_5 = U_{5'} - \frac{P_{5'-5}'' \cdot r_{5'-5} + Q_{5'-5}'' \cdot x_{5'-5}}{U_{5'}};$$

$$U_5 = 105,4 - \frac{22,28 \cdot 3,74 + 8,072 \cdot 6,6}{105,4} = 104,1 \text{ кВ};$$

Для ПС № 3`:

$$U_{3'} = U_{5'} - \frac{P_{5'-3'}'' \cdot r_{5'-3'} + Q_{5'-3'}'' \cdot x_{5'-3'}}{U_{5'}};$$

$$U_{3'} = 105,4 - \frac{29,55 \cdot 3,74 + 9,6 \cdot 6,6}{105,4} = 103,8 \text{ кВ};$$

Для ПС № 3:

$$U_3 = U_{3'} - \frac{P_{3-3'}'' \cdot r_{3-3'} + Q_{3-3'}'' \cdot x_{3-3'}}{U_{3'}};$$

Имя №	Взам				Лис	
	Подпись					
	Изм		№ докум	Подп		Дат
$U_{3'} = 105,4 - \frac{29,55 \cdot 3,74 + 9,6 \cdot 6,6}{105,4} = 103,8 \text{кВ};$ Для ПС № 3: $U_3 = U_{3'} - \frac{P_{3-3'}^{н} \cdot r_{3-3'} + Q_{3-3'}^{н} \cdot x_{3-3'}}{U_{3'}};$						59

$$U_3 = 103,8 - \frac{11,1 \cdot 4,62 + 3,58 \cdot 8,08}{103,8} = 103,03 \text{ кВ};$$

Для ПС № 4:

$$U_4 = U_3 - \frac{P''_{4-3} \cdot r_{4-3} + Q''_{4-3} \cdot x_{4-3}}{U_3};$$

$$U_4 = 103,8 - \frac{18,14 \cdot 1,54 + 6,241 \cdot 2,7}{103,8} = 103,4 \text{ кВ};$$

5.2.4 Регулирование напряжения в электрической сети в послеаварийном режиме

Напряжение на шинах низкого напряжения, приведенное к стороне высшего напряжения для трансформаторов с на подстанциях 1-6 U'_H определяется по формуле:

$$U'_H = \frac{U_B}{2} + \sqrt{\frac{U_B^2}{4} - P_H R_T - Q_H X_T},$$

где P_H, Q_H - активная и реактивная мощности нагрузки в рассматриваемом режиме;

R_T, X_T - активное и реактивное сопротивление трансформаторов, определенные по [2, табл. П 7].

Для ПС № 1 (ТРДН – 40000/110):

$$U'_{H1} = \frac{106,3}{2} + \sqrt{\frac{106,3^2}{4} - 28 \cdot 1,4 - 8,47 \cdot 34,7} = 103 \text{ кВ}$$

Для ПС № 2 ($2 \times \text{ТРДН} - 40000/110$):

Имя №	Подпись	Взам					Лис
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат			60

$$U'_{H2} = \frac{107,6}{2} + \sqrt{\frac{107,6^2}{4} - 35 \cdot 1,4 - 10,4 \cdot 34,7} = 103,6;$$

Для ПС № 3 ($2 \times TДН - 16000/110$):

$$U'_{H,3} = \frac{103,03}{2} + \sqrt{\frac{103,03^2}{4} - 11 \cdot 4,38 - 3,2 \cdot 86,7} = 100кВ;$$

Для ПС № 4 ($2 \times ТРДН - 25000/110$):

$$U'_{H,4} = \frac{103,4}{2} + \sqrt{\frac{103,4^2}{4} - 18 \cdot 2,54 - 5,17 \cdot 55,9} = 100,1кВ;$$

Для ПС № 5 ($2 \times ТРДН - 25000/110$):

$$U'_{H,5} = \frac{104,1}{2} + \sqrt{\frac{104,1^2}{4} - 22 \cdot 2,54 - 6,5 \cdot 55,9} = 100кВ;$$

Для ПС № 6 ($2 \times ТРДН - 25000/110$):

$$U'_{H,6} = \frac{106,3}{2} + \sqrt{\frac{106,3^2}{4} - 10 \cdot 4,38 - 3 \cdot 86,7} = 103,4кВ;$$

Рассчитаем ответвление регулируемой части обмотки, обеспечивающее желаемое напряжение на шинах низшего напряжения $U_{H,жел}$, действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанций и отклонение напряжения на этих шинах от номинального напряжения ($U_{ном} = 10кВ, \%$):

Для ПС № 1:

Имя №	Взам	Рассчитаем ответвление регулируемой части обмотки, обеспечивающее желаемое напряжение на шинах низшего напряжения $U_{H,жел}$, действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанций и отклонение напряжения на этих шинах от номинального напряжения ($U_{ном} = 10кВ, \%$):				
		Для ПС № 1:				
Изм		№ докум	Подп	Дат	Лис	
					61	

$$n_{отв,1}^{жел} = \left(\frac{U'_{н1} \cdot U_{нн}}{U_{нжел} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{103,1 \cdot 10,5}{10,5 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -5,8,$$

округляем $n_{отв,1} = -6$;

$$U_{н,1} = \frac{U'_{н1} \cdot U_{нн}}{U_{вн} \cdot \left(1 + n_{отв,1} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)} = \frac{103,1 \cdot 10,5}{115 \cdot \left(1 + (-6) \cdot \frac{1,78}{100} \right)} = 10,6 \text{ кВ};$$

$$\delta U_1 = \frac{U_{н1} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{10,6 - 10}{10} \cdot 100 = 5,4\%;$$

Для ПС № 2:

$$n_{отв,2}^{жел} = \left(\frac{U'_{н2} \cdot U_{нн}}{U_{нжел} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{103,6 \cdot 10,5}{10,5 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -5,6,$$

округляем $n_{отв,2} = -6$;

$$U_{н,2} = \frac{U'_{н2} \cdot U_{нн}}{U_{вн} \cdot \left(1 + n_{отв,2} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)} = \frac{103,6 \cdot 10,5}{115 \cdot \left(1 + (-6) \cdot \frac{1,78}{100} \right)} = 10,6 \text{ кВ};$$

$$\delta U_2 = \frac{U_{н2} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{10,6 - 10}{10} \cdot 100 = 6\%;$$

Для ПС № 3:

$$n_{отв,3}^{жел} = \left(\frac{U'_{н3} \cdot U_{нн}}{U_{нжел} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{100 \cdot 11}{10,5 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -5,$$

округляем $n_{отв,3} = -5$;

$$U_{н,3} = \frac{U'_{н3} \cdot U_{нн}}{U_{вн} \cdot \left(1 + n_{отв,3} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)} = \frac{100 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + (-5) \cdot \frac{1,78}{100} \right)} = 10,5 \text{ кВ};$$

$$\delta U_3 = \frac{U_{н3} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{10,5 - 10}{10} \cdot 100 = 5\%;$$

Для ПС № 4:

Имя №	Взам					Лис
	Подпись и					
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат	62	

$$U_{H,3} = \frac{U'_{H3} \cdot U_{HH}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,3} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100}\right)} = \frac{100 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + (-5) \cdot \frac{1,78}{100}\right)} = 10,5 \text{кВ} ;$$
$$\delta U_3 = \frac{U_{H3} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{10,5 - 10}{10} \cdot 100 = 5\% ;$$

Для ПС № 4:

$$n_{отв,4}^{ж\epsilon\lambda} = \left(\frac{U'_{н4} \cdot U_{нн}}{U_{нж\epsilon\lambda} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{100,1 \cdot 10,5}{10,5 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -7,3,$$

округляем $n_{отв,4} = -7$;

$$U_{H,4} = \frac{U'_{н4} \cdot U_{нн}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,4} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)} = \frac{100,1 \cdot 10,5}{115 \cdot \left(1 + (-7) \cdot \frac{1,78}{100} \right)} = 10,4 \text{ кВ};$$

$$\delta U_4 = \frac{U_{н4} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{10,4 - 10}{10} \cdot 100 = 4\%;$$

Для ПС № 5:

$$n_{отв,5}^{ж\epsilon\lambda} = \left(\frac{U'_{н5} \cdot U_{нн}}{U_{нж\epsilon\lambda} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{100 \cdot 10,5}{10,5 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -7,33,$$

округляем $n_{отв,5} = -7$;

$$U_{H,5} = \frac{U'_{н5} \cdot U_{нн}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,5} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)} = \frac{100 \cdot 10,5}{115 \cdot \left(1 + (-7) \cdot \frac{1,78}{100} \right)} = 10,4 \text{ кВ};$$

$$\delta U_5 = \frac{U_{н5} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{10,4 - 10}{10} \cdot 100 = 4\%.$$

Для ПС № 6:

$$n_{отв,6}^{ж\epsilon\lambda} = \left(\frac{U'_{н6} \cdot U_{нн}}{U_{нж\epsilon\lambda} \cdot U_{вн}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}} = \left(\frac{103,4 \cdot 11}{10,5 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \frac{100}{1,78} = -3,3,$$

округляем $n_{отв,6} = -3$;

$$U_{H,6} = \frac{U'_{н6} \cdot U_{нн}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{отв,6} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right)} = \frac{103,4 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + (-3) \cdot \frac{1,78}{100} \right)} = 10,5 \text{ кВ};$$

$$\delta U_6 = \frac{U_{н6} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{10,5 - 10}{10} \cdot 100 = 5\%.$$

Результаты расчета запишем в таблицу 5.4.

Таблица 5.4.

№ ПС	$U'_H, \text{кВ}$	$n_{отв}^{ж\epsilon\lambda}$	$n_{отв}$	$U_H, \text{кВ}$	$\delta U, \%$
------	-------------------	------------------------------	-----------	------------------	----------------

Имя №	Взам				Лис
	Подпись и				
Изм.		№ докум.	Подп.	Дат	63

$$U_{H,6} = \frac{U_{н6} \cdot U_{нн}}{U_{BH} \cdot \left(1 + n_{от6,6} \cdot \frac{\Delta U_{от6}}{100}\right)} = \frac{103,4 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + (-3) \cdot \frac{1,78}{100}\right)} = 10,5 \kappa B ;$$
$$\delta U_6 = \frac{U_{н6} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{10,5 - 10}{10} \cdot 100 = 5\% .$$

Результаты расчета запишем в таблицу 5.4.

Таблица 5.4.

№ ПС	$U'_H, \kappa B$	$n_{от6}^{жел}$	$n_{от6}$	$U_H, \kappa B$	$\delta U, \%$
------	------------------	-----------------	-----------	-----------------	----------------

