

Расчётно-пояснительная записка к курсовому проекту
РАСЧЕТ СХЕМ РАЙОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ



2010 г.

Исходные данные:

- Масштаб: в 1 клетке -9 км;
- Средний коэффициент мощности на подстанции "А", отн.ед. 0,93;
- Напряжение на шинах подстанции "А", кВ: $U_{\text{макс}} = 117$, $U_{\text{авар}} = 108$;
- Число часов использования максимальной нагрузки $T_{\text{макс}} = 4900 \text{ ч/год}$;
- Максимальная активная нагрузка на подстанции, МВт: $D_{\text{и\u0430\u0435\u043d},1} = 30$,
 $D_{\text{и\u0430\u0435\u043d},2} = 22$, $D_{\text{и\u0430\u0435\u043d},3} = 17$, $D_{\text{и\u0430\u0435\u043d},4} = 14$, $D_{\text{и\u0430\u0435\u043d},5} = 28$;
- Коэффициенты мощности нагрузки на подстанциях имеют следующие значения: $\cos \varphi_1 = 0,8$, $\cos \varphi_2 = 0,8$, $\cos \varphi_3 = 0,79$, $\cos \varphi_4 = 0,79$,
 $\cos \varphi_5 = 0,81$.

Выбор номинального напряжения электрической сети

Для выбранного варианта конфигурации электрической сети предварительно определим экономически целесообразное напряжение по формуле.

Для этого необходимо определить длину линии и соответствующие передаваемые мощности:

$$L_{\hat{A}-1} = 37,8 \hat{\text{км}}$$

$$L_{A-2} = 26,1 \hat{\text{км}} ;$$

$$L_{A-3} = 37,8 \hat{\text{км}} ;$$

$$L_{\hat{A}-4} = 32,4 \hat{\text{км}} ;$$

$$L_{\hat{A}-5} = 29,7 \hat{\text{км}} ;$$

$$L_{5-5'} = 22,5 \hat{\text{км}} ;$$

$$L_{3-2} = 33,3 \hat{\text{км}} ;$$

Рассчитаем перетоки активных мощностей без учета потерь мощности.

$$D_{\hat{A}-3} = \frac{P_3 \cdot (L_{3-2} + L_{\hat{A}-2}) + P_2 \cdot L_{\hat{A}-2}}{L_{A-3} + L_{3-2} + L_{\hat{A}-2}} = \frac{17(33,3 + 26,1) + 22 \cdot 26,1}{37,8 + 33,3 + 26,1} = 16,3 \text{ МВ} \hat{\text{а}}$$

$$D_{\hat{A}-2} = \frac{P_2 \cdot (L_{3-2} + L_{A-3}) + P_3 \cdot L_{A-3}}{L_{A-3} + L_{3-2} + L_{\hat{A}-2}} = \frac{22(33,3 + 37,8) + 17 \cdot 37,8}{37,8 + 33,3 + 26,1} = 22,7 \text{ МВ} \hat{\text{а}}$$

По первому закону Кирхгофа определим распределение мощности D_{2-3} :

$$D_{2-3} = D_{A-2} - D_2 = 22,7 - 22 = 0,7 \hat{\text{А}} \hat{\text{а}}$$

Определим мощности, передаваемые по двухцепным линиям:

$$D_{A-5'} = \frac{P_1 + P_5}{2} = \frac{28 + 30}{2} = 29 \hat{A} \delta ,$$

$$D_{5-5'} = \frac{P_5}{2} = \frac{28}{2} = 14 \hat{A} \delta ,$$

$$D_{\hat{A}-1} = \frac{P_1}{2} = \frac{30}{2} = 15 \hat{A} \delta ,$$

$$D_{\hat{A}-4} = \frac{P_4}{2} = \frac{14}{2} = 7 \hat{A} \delta .$$

Экономически целесообразными напряжениями для соответствующих линий являются:

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \text{ , } A-1 = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{\hat{A}-1}} + \frac{2500}{P_{A-1}}}} = \frac{1000}{\sqrt{37,8 + \frac{2500}{15}}} = 74,57 \hat{A} ,$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \text{ , } \hat{A}-3 = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{\hat{A}-3}} + \frac{2500}{P_{\hat{A}-3}}}} = \frac{1000}{\sqrt{37,8 + \frac{2500}{16,3}}} = 77,46 \hat{A} ,$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \text{ , } \hat{A}-2 = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{\hat{A}-2}} + \frac{2500}{P_{\hat{A}-2}}}} = \frac{1000}{\sqrt{26,1 + \frac{2500}{22,7}}} = 87,95 \hat{A} ,$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \text{ , } \hat{A}-5' = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{\hat{A}-5'}} + \frac{2500}{P_{\hat{A}-5'}}}} = \frac{1000}{\sqrt{29,7 + \frac{2500}{29}}} = 98,52 \hat{A} ,$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \text{ , } 5-5' = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{5-5'}} + \frac{2500}{P_{5-5'}}}} = \frac{1000}{\sqrt{22,5 + \frac{2500}{14}}} = 70,57 \hat{A} ,$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \text{ , } \hat{A}-4 = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{\hat{A}-4}} + \frac{2500}{P_{\hat{A}-4}}}} = \frac{1000}{\sqrt{32,4 + \frac{2500}{7}}} = 51,81 \hat{A} ,$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \text{ , } 2-3 = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{2-3}} + \frac{2500}{P_{2-3}}}} = \frac{1000}{\sqrt{33,3 + \frac{2500}{0,7}}} = 16,7 \hat{A} .$$

Исходя из полученных результатов, видно, что выбранная схема

электрической сети будет выполняться на напряжении $U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}$.

Длина линий

$$L_{A-1} = 37,8 \text{ км} ;$$

$$L_{A-2} = 26,1 \text{ км} ;$$

$$L_{A-3} = 37,8 \text{ км} ;$$

$$L_{A-4} = 32,4 \text{ км} ;$$

$$L_{A-5} = 32,4 \text{ км} ;$$

$$L_{2-3} = 33,3 \text{ км} ;$$

$$L_{1-4} = 28,8 \text{ км} ;$$

Определяем перетоки мощности:

$$D_{A-5} = \frac{P_5}{2} = \frac{28}{2} = 14 \text{ МВ} \cdot \text{ч} ,$$

$$D_{A-1} = \frac{P_1 \cdot (L_{1-4} + L_{A-4}) + P_4 \cdot L_{A-4}}{L_{A-4} + L_{4-1} + L_{A-1}} = \frac{30(28,8 + 32,4) + 14 \cdot 32,4}{32,4 + 28,8 + 37,8} = 23,13 \text{ МВ} \cdot \text{ч} ,$$

$$D_{A-4} = \frac{P_4 \cdot (L_{1-4} + L_{A-4}) + P_1 \cdot L_{A-1}}{L_{A-4} + L_{4-1} + L_{A-1}} = \frac{14(28,8 + 37,8) + 30 \cdot 37,8}{32,4 + 28,8 + 37,8} = 20,87 \text{ МВ} \cdot \text{ч} ,$$

$$D_{1-4} = D_{A-4} - D_4 = 20,87 - 14 = 6,87 \text{ МВ} \cdot \text{ч} .$$

$$D_{A-2} = \frac{P_2 \cdot (L_{2-3} + L_{A-3}) + P_3 \cdot L_{A-2}}{L_{A-3} + L_{2-3} + L_{A-2}} = \frac{22 \cdot (33,3 + 37,8) + 17 \cdot 37,8}{37,8 + 33,3 + 26,1} = 22,7 \text{ МВ} \cdot \text{ч} ,$$

$$D_{A-3} = \frac{P_3 \cdot (L_{2-3} + L_{A-2}) + P_2 \cdot L_{A-2}}{L_{A-3} + L_{2-3} + L_{A-2}} = \frac{17(33,3 + 26,1) + 22 \cdot 26,1}{37,8 + 33,3 + 26,1} = 16,3 \text{ МВ} \cdot \text{ч} ,$$

$$D_{2-3} = D_{A-2} - D_2 = 22,7 - 22 = 0,7 \text{ МВ} \cdot \text{ч} .$$

Экономически целесообразными напряжениями для соответствующих линий являются:

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \dots_{A-5} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{A-5}} + \frac{2500}{P_{A-5}}}} = \frac{1000}{\sqrt{32,4 + \frac{2500}{14}}} = 71,79 \hat{A},$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \dots_{\hat{A}-1} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{\hat{A}-1}} + \frac{2500}{P_{\hat{A}-1}}}} = \frac{1000}{\sqrt{37,8 + \frac{2500}{15}}} = 74,57 \hat{A},$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \dots_{1-4} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{1-4}} + \frac{2500}{P_{1-4}}}} = \frac{1000}{\sqrt{28,8 + \frac{2500}{6,87}}} = 51,2 \hat{A},$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \dots_{\hat{A}-2} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{\hat{A}-2}} + \frac{2500}{P_{\hat{A}-2}}}} = \frac{1000}{\sqrt{26,1 + \frac{2500}{22,7}}} = 87,95 \hat{A},$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \dots_{A-3} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{A-3}} + \frac{2500}{P_{A-3}}}} = \frac{1000}{\sqrt{37,8 + \frac{2500}{16,3}}} = 77,46 \hat{A},$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \dots_{2-3} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{2-3}} + \frac{2500}{P_{2-3}}}} = \frac{1000}{\sqrt{33,3 + \frac{2500}{0,7}}} = 16,7 \hat{A},$$

$$U_{\hat{m}}^{\hat{y}} \dots_{A-4} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{A-4}} + \frac{2500}{P_{A-4}}}} = \frac{1000}{\sqrt{32,4 + \frac{2500}{7}}} = 51,81 \hat{A}.$$

Баланс активной и реактивной мощности в электрической сети

Определим наибольшую суммарную активную мощность, потребляемую в проектируемой сети $k_0 = 0,95$, $\Delta_* P_c = 0,05$:

$$P_{i, \hat{a}} = (0,95 + 0,05)(30 + 22 + 17 + 14 + 28) = 1 \cdot 111 = 111 \hat{A} \delta$$

Для дальнейших расчетов определим наибольшую реактивную нагрузку i -го узла $Q_{\hat{нб}, i}$ [Мвар] и наибольшую полную нагрузку i -го узла $S_{\hat{нб}, i}$ [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.

$$Q_{ía,1} = P_{ía,1} \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi_1) = 30 \cdot 0,75 = 22,5 \text{ кВт} ,$$

$$Q_{ía,2} = P_{ía,2} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 = 22 \cdot 0,75 = 16,5 \text{ кВт} ,$$

$$Q_{ía,3} = P_{ía,3} \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 = 17 \cdot 0,78 = 13,19 \text{ кВт} ,$$

$$Q_{ía,4} = P_{ía,4} \cdot \operatorname{tg} \varphi_4 = 14 \cdot 0,8 = 10,87 \text{ кВт} ,$$

$$Q_{ía,5} = P_{ía,5} \cdot \operatorname{tg} \varphi_5 = 28 \cdot 0,72 = 20,27 \text{ кВт} .$$

$$S_{ía,1} = \sqrt{P_{ía,1}^2 + Q_{ía,1}^2} = \sqrt{30^2 + 22,5^2} = 37,5 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{ía,2} = \sqrt{P_{ía,2}^2 + Q_{ía,2}^2} = \sqrt{22^2 + 16,5^2} = 27,5 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$S_{ía,3} = \sqrt{P_{ía,3}^2 + Q_{ía,3}^2} = \sqrt{17^2 + 13,19^2} = 21,5 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$S_{ía,4} = \sqrt{P_{ía,4}^2 + Q_{ía,4}^2} = \sqrt{14^2 + 10,87^2} = 17,7 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$S_{ía,5} = \sqrt{P_{ía,5}^2 + Q_{ía,5}^2} = \sqrt{28^2 + 20,27^2} = 34,6 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

Так как мы рассматриваем электрическую сеть 110/10 кВ, то $\alpha_{T,i}$ примем равным 1.

$$\Delta Q_{T,\Sigma} = 0,1(1(37,5 + 27,5 + 21,5 + 17,7 + 34,6)) = 13,82 \text{ кВт} .$$

Суммарную наибольшую реактивную мощность, потребляемую с шин электростанции или районной подстанции, являющихся источниками питания для проектируемой сети, определим по формуле (2.3). 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

$$Q_{i, \text{ид}} = 0,98(22,5 + 16,5 + 13,19 + 10,87 + 20,27) = 81,6634 \text{ \u043a\u0432\u0430\u0440} .$$

Выбор типа, мощности и места установки компенсирующих устройств

Полученное значение суммарной потребляемой реактивной мощности $Q_{\text{П,нб}} = 111,26 \text{ Мвар}$ сравниваем с указанным на проект значением реактивной мощности Q_c , которую экономически целесообразно получать из системы в проектируемую сеть.

$$Q_c = \sum_{i=1}^n P_{\text{нб},i} \cdot \text{tg} \varphi_c, \quad (8.3)$$

где $\cos \varphi = 0,93$ - коэффициент мощности на подстанции "А".

$$\cos \varphi = 0,93 \Rightarrow \text{tg}(\arccos \varphi) \Rightarrow \text{tg} \varphi_c = 0,395$$

$$Q_c = (30 + 22 + 17 + 14 + 28) \cdot 0,395 = 43,87 \text{ \u043a\u0432\u0430\u0440} .$$

При $Q_{\text{П,нб}} > Q_c$ в проектируемой сети должны быть установлены компенсирующие устройства, суммарная мощность которых определяется по формуле (2.5).

$$Q_{\text{к}\Sigma} = 81,66 - 43,87 = 37,79 \text{ \u043a\u0432\u0430\u0440} .$$

Определим мощность конденсаторных батарей, которые должны быть установлены на каждой подстанции по формулам (2.7) и (2.8).

Так как проектируется сеть 110/10кВ, то базовый экономический коэффициент реактивной мощности $\text{tg} \varphi_y = 0,3$

$$Q_{k,1} = P_{\dot{a},1} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_y)$$

$$Q_{k,1} = 30 \cdot (0,75 - 0,3) = 13,5 \text{ кВт} ,$$

$$Q_{k,2} = 22 \cdot (0,724 - 0,3) = 9,9 \text{ кВт} ,$$

$$Q_{k,3} = 17 \cdot (0,78 - 0,3) = 8,16 \text{ кВт} ,$$

$$Q_{k,4} = 14 \cdot (0,78 - 0,3) = 6,72 \text{ кВт} ,$$

$$Q_{k,5} = 28 \cdot (0,72 - 0,3) = 11,76 \text{ кВт} .$$

Таблица 1

№ узла	Количество КУ	Тип КУ
1	4	УКРМ – 10,5 – 3400 УЗ
2	4	УКРМ – 10,5 – 2500 УЗ
3	4	УКРМ – 10,5 – 2050 УЗ
4	4	УКРМ – 10,5 – 1700 УЗ
5	4	УКРМ – 10,5 – 2950 УЗ

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

$$Q_i = Q_{\dot{a},i} - Q_{k,i} , \quad (8.4)$$

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

Для 1-го узла:

$$Q_1 = 22,5 - 13,5 = 9 \text{ кВт} ,$$

$$Q_2 = 16,5 - 9,9 = 6,6 \text{ кВт} ,$$

$$Q_3 = 13,19 - 8,16 = 5,03 \text{ кВт} ,$$

$$Q_4 = 10,87 - 6,72 = 4,15 \text{ кВт} ,$$

$$Q_5 = 20,27 - 11,76 = 8,51 \text{ кВт} .$$

Полная мощность в узлах с учетом компенсирующих устройств:

$$S_i = P_{нб,i} + jQ_i, \quad (8.5)$$

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

$$S_1 = 30 + j9 = \sqrt{30^2 + 9^2} = 31,32 \text{ МВ} \cdot \text{А},$$

$$S_2 = 22 + j6,6 = 22,97 \text{ МВ} \cdot \text{А},$$

$$S_3 = 17 + j5,03 = 17,73 \text{ МВ} \cdot \text{А},$$

$$S_4 = 14 + j4,15 = 14,6 \text{ МВ} \cdot \text{А},$$

$$S_5 = 28 + j8,51 = 29,26 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Выбор силовых трансформаторов понизительных подстанций

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

В соответствии с существующей практикой проектирования и согласно ПУЭ, 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. Полная мощность

ПС № 1 $S_1 = 24,09 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, поэтому на ПС № 1 необходимо установить два трансформатора мощностью $S_{\text{т}} = 31,32 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.

Для ПС № 1: $25 \cdot 1,3 = 32,5 > 31,32 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Для ПС № 2: $25 \cdot 1,3 = 32,5 > 22,97 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Для ПС № 3: $16 \cdot 1,3 = 20,8 > 17,73 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Для ПС № 4: $16 \cdot 1,3 = 20,8 > 14,6 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Для ПС № 5: $25 \cdot 1,3 = 32,5 > 29,26 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Результаты выбора трансформаторов приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ узла	Полная мощность в узле, МВ·А	Тип трансформаторов
1	31,32	$2 \times \text{ОД\AA} \text{I} - 25000/110$
2	22,97	$2 \times \text{ТРДН} - 25000/110$
3	17,73	$2 \times \text{ОД\AA} \text{I} - 16000/110$
4	14,6	$2 \times \text{ТРДН} - 16000/110$
5	29,26	$2 \times \text{ОД\AA} \text{I} - 25000/110$

Данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов 110 кВ приведены в таблице 3.

Таблица 3

Справочные данные	$\text{ТРДН} - 25000/110$	$2 \times \text{ТРДН} - 16000/110$
$S_{\text{ном}}, \text{МВ} \cdot \text{А}$	25	16
Пределы регулирования	$\pm 9 \times 1,78\%$	$\pm 9 \times 1,78\%$
$U_{\text{номВН}}, \text{кВ}$	115	115
$U_{\text{номНН}}, \text{кВ}$	10,5	11
$u_k, \%$	10,5	10,5
$\Delta P_k, \text{кВт}$	120	86
$\Delta P_x, \text{кВт}$	27	21
$I_x, \%$	0,7	0,85
$r_T, \text{Ом}$	2,54	4,4
$x_T, \text{Ом}$	55,9	86,8
$\Delta Q_x, \text{квар}$	175	112

Выбор сечения проводников воздушных линий электропередачи

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

$$I \quad S_{\dot{A}-3} = \frac{S_3(L_{3-2} + L_{A-2}) + S_5 L_{A-2}}{L_{A-3} + L_{\dot{A}-2} + L_{3-2}} = \frac{17,73(33,3 + 26,1) + 22,97 \cdot 26,1}{37,8 + 33,3 + 26,1} = 17 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{\dot{A}-2} = \frac{S_2(L_{3-2} + L_{\dot{A}-3}) + S_3 L_{\dot{A}-3}}{L_{3-2} + L_{\dot{A}-3} + L_{A-2}} = \frac{22,97(33,3 + 37,8) + 17,73 \cdot 37,8}{37,8 + 33,3 + 26,1} = 23,697 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{\dot{A}-4} = S_4 = 14,6 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{2-3} = S_{\dot{A}-2} - S_2 = 23,697 - 22,97 = 0,727 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{\dot{A}-1} = S_1 = 31,32 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{\dot{A}-5} = S_5 + S_1 = 29,26 + 31,32 = 60,58 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{5-5} = S_5 = 29,26 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$II \quad S_{\dot{A}-1} = \frac{S_1(L_{1-4} + L_{A-4}) + S_4 L_{A-4}}{L_{A-4} + L_{1-4} + L_{A-1}} = \frac{31,32(28,8 + 32,4) + 14,6 \cdot 32,4}{32,4 + 28,8 + 37,8} = 24,14 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{\dot{A}-2} = \frac{S_2(L_{3-2} + L_{A-3}) + S_3 L_{A-3}}{L_{A-3} + L_{3-2} + L_{A-2}} = \frac{22,97(33,3 + 37,8) + 17,73 \cdot 37,8}{37,8 + 33,3 + 26,1} = 23,697 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{1-4} = S_{A-4} - S_4 = 21,78 - 14,6 = 7,18 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{\dot{A}-3} = \frac{S_3(L_{2-3} + L_{A-2}) + S_2 L_{A-2}}{L_{A-3} + L_{2-3} + L_{A-2}} = \frac{17,73(33,3 + 26,1) + 22,97 \cdot 26,1}{37,8 + 33,3 + 26,1} = 17 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{\dot{A}-4} = \frac{S_4(L_{1-4} + L_{A-1}) + S_1 L_{A-1}}{L_{A-4} + L_{1-4} + L_{A-1}} = \frac{14,6(28,8 + 37,8) + 31,32 \cdot 37,8}{32,4 + 28,8 + 37,8} = 21,78 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{2-3} = S_{A-2} - S_2 = 23,697 - 22,97 = 0,727 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$S_{A-5} = S_5 = 29,26 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

Расчетную токовую нагрузку определим по формуле:

$$I_p = I_{нб} \alpha_i \alpha_t, \quad (8.6)$$

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

α_t - коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки линии T_{max} , $\alpha_t = 1,0$

В нормальном режиме работы сети наибольший ток в одноцепной линии равен:

$$I_{нб} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{ном}}$$

В двухцепной линии:

$$I_{нб} = \frac{S}{2\sqrt{3}U_{ном}}$$

$$I_{pA-1} = \frac{31,32 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 86,3 A$$

$$I_{pA-3} = \frac{17 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 46,84 A$$

$$I_{pA-4} = \frac{14,6 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 40,23 A$$

$$I_{pA-5} = \frac{60,58 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 166,93 A$$

$$I_{p2-3} = \frac{0,727 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 2 A$$

$$I_{p5-5} = \frac{29,26 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 80,63 A$$

$$I_{pA-2} = \frac{23,697 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 65,298 A$$

$$\text{II } I_{pA-3} = \frac{17 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 46,84 \text{ A}$$

$$I_{pA-1} = \frac{24,14 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 66,52 \text{ A}$$

$$I_{pA-5} = \frac{29,26 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 80,63 \text{ A}$$

$$I_{p1-4} = \frac{7,18 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 19,78 \text{ A}$$

$$I_{pA-2} = \frac{23,697 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 65,298 \text{ A}$$

$$I_{pA-4} = \frac{21,78 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 60 \text{ A}$$

$$I_{p2-3} = \frac{0,727 \cdot 10^6}{2\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,05 \cdot 1 = 2 \text{ A}$$

$$F = \frac{I_P}{J_{\vartheta}}, \quad J_{\vartheta} = 0,9$$

$$\text{I } F_{\lambda-5'} = \frac{I_{p\lambda-5'}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{166,93}{0,9} = 185,48 \text{ ù}^2$$

$$F_{\lambda-3} = \frac{I_{p\lambda-3}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{46,83}{0,9} = 52,04 \text{ ù}^2$$

$$F_{\lambda-1} = \frac{I_{p\lambda-1}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{86,3}{0,9} = 95,89 \text{ ù}^2$$

$$F_{\lambda-2} = \frac{I_{p\lambda-2}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{65,298}{0,9} = 72,55 \text{ ù}^2$$

$$F_{\lambda-4} = \frac{I_{p\lambda-4}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{40,23}{0,9} = 44,7 \text{ ù}^2$$

$$F_{5-5'} = \frac{I_{p5-5'}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{80,63}{0,9} = 89,58 \text{ ù}^2$$

$$F_{2-3} = \frac{I_{p2-3}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{2}{0,9} = 2,22 \text{ ù}^2$$

Для А – 1: АС – 120;

Для А – 2: АС – 120;

Для А – 3: АС – 120;

Для А - 5': АС – 120;

Для 5 – 5': АС – 120;

Для А - 4: АС – 120;

Для 2 – 3: АС – 120;

$$\text{II} \quad F_{A-1} = \frac{I_{PA-1}}{J_{\Sigma}} = \frac{105,11}{0,9} = 116,78 \text{ мм}^2$$

$$F_{\dot{\lambda}-5} = \frac{I_{P\dot{\lambda}-5}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{80,63}{0,9} = 89,59 \text{ ù}^2$$

$$F_{1-4} = \frac{I_{P1-4}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{19,78}{0,9} = 21,98 \text{ ù}^2$$

$$F_{\dot{\lambda}-3} = \frac{I_{P\dot{\lambda}-3}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{46,84}{0,9} = 52,04 \text{ ù}^2$$

$$F_{\dot{\lambda}-2} = \frac{I_{P\dot{\lambda}-2}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{65,298}{0,9} = 72,55 \text{ ù}^2$$

$$F_{\dot{\lambda}-4} = \frac{I_{P\dot{\lambda}-4}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{60}{0,9} = 66,67 \text{ ù}^2$$

$$F_{2-3} = \frac{I_{P2-3}}{J_{\dot{Y}}} = \frac{2}{0,9} = 2,22 \text{ ù}^2$$

Для А – 1: АС – 120;

Для А – 5: АС – 120;

Для 1 – 4: АС – 120;

Для А – 3: АС – 120;

Для А – 2: АС – 120;

Для А – 4: АС – 120;

Для 2 – 3: АС – 120.

Проверка выбранных сечений по допустимому нагреву осуществляется по формуле: $I_p^{авар} \leq I_{доп}$ где $I_p^{авар}$ - наибольший ток в послеаварийном режиме, А; $I_{доп}$ - допустимый ток по нагреву, А.

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

$$I S_{A-1\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = S_{\dot{A}-1} = 31,32 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_p^{авар} = \frac{S_{авар}}{\sqrt{3}U_{ном}} \alpha_i \alpha_t$$

$$I_{\dot{\delta}\dot{A}-5}^{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = \frac{31,32 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 172,6 \dot{A}$$

$$S_{\dot{A}-3\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = S_3 + S_2 = 17,73 + 22,97 = 40,7 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\dot{\delta}\dot{A}-3}^{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = \frac{40,7 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 224,3 \dot{A}$$

$$S_{A-5'\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = S_{A-5'} = 60,58 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\dot{\delta}\dot{A}-5'}^{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = \frac{60,58 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 333,86 \dot{A}$$

$$S_{5-5'\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = S_{5-5'} = 29,26 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\dot{\delta}5-5'}^{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = \frac{29,26 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 161,25 \dot{A}$$

$$S_{\dot{A}-2\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = S_3 + S_2 = 17,73 + 22,97 = 40,7 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\dot{\delta}\dot{A}-2}^{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = \frac{40,7 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 224,3 \dot{A}$$

$$S_{2-3\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = S_3 = 17,73 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\dot{\delta}2-3}^{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = \frac{17,73 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 97,7 \dot{A}$$

$$II S_{A-5\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = S_{\dot{A}-5} = 29,26 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\dot{\delta}\dot{A}-5}^{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = \frac{29,26 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 133,04 \dot{A}$$

$$S_{1-4\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = S_1 = 31,32 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\dot{\delta}1-4}^{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = \frac{31,32 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 172,6 \dot{A}$$

$$S_{A-4\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = S_1 + S_4 = 31,32 + 14,6 = 45,92 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\partial\dot{A}-4}^{\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = \frac{45,92 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 253,07 \dot{A}.$$

$$S_{2-3\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = S_3 = 17,73 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\partial 2-3}^{\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = \frac{17,73 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 97,7 \dot{A}.$$

$$S_{A-3\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = S_3 + S_2 = 17,73 + 22,97 = 40,7 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\partial A-3}^{\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = \frac{40,7 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 224,3 \dot{A},$$

$$S_{A-1\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = S_1 + S_4 = 31,32 + 14,6 = 45,92 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\partial \dot{A}-1}^{\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = \frac{45,92 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 253,07 \dot{A}.$$

$$S_{\dot{A}-2\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = S_3 + S_2 = 40,7 \dot{A} \cdot \dot{A}$$

$$I_{\partial \dot{A}-2}^{\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = \frac{40,7 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} 1,05 \cdot 1 = 224,3 \dot{A}.$$

Определяем допустимые токи по нагреву и все полученные результаты запишем в таблицу 4 и 5

I Таблица 4

Линия	A – 1	A – 2	A – 3	A – 4	3 – 2	A – 5'	5 – 5'
$I_{p,i}, A$	86,3	65,298	46,84	40,23	2	166,93	80,63
Марка провода	AC – 120						
$I_{p,i}^{авар}, A$	172,6	224,3	224,3	80,46	97,7	333,86	161,25
$I_{дон,i}, A$	390	390	390	390	390	390	390

II Таблица 5

Линия	A – 1	A – 2	A – 3	A – 4	A – 5	3 – 2	1 – 4
$I_{p,i}, A$	66,52	65,298	46,84	60	80,63	2	19,78
Марка провода	AC – 120						
$I_{p,i}^{авар}, A$	253,07	224,3	224,3	253,07	133,04	97,7	172,6
$I_{дон,i}, A$	390	390	390	390	390	390	390

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

Выбор схем электрических подстанций

Применение схем распределительных устройств (РУ) на стороне ВН

Для центра питания А выбираем схему «одна рабочая секционированная выключателем система шин».

I Для ПС №3 и №5 выбираем схемы «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий».

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

II Для ПС №1, №2, №4 и №5 выбираем схемы «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий».

Для ПС №3 выбираем схемы «два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»

Применение схем РУ 10(6) кВ

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

Расчет технико-экономических показателей районной электрической сети

Технико-экономический расчет проведем по методу СНД.

Метод среднегодового необходимого дохода, применим для поиска и оценки вариантов электрических схем соединения подстанций нагрузок в единую распределительную электрическую сеть 110 кВ. Данный метод применяется многими регулируемыми энергетическими компаниями России; является достаточным критерием оценки экономической эффективности для

выбора электрической сети.

Определим капитальные вложения на сооружение трасс воздушных линий электропередачи.

$$K = K_0 \cdot l$$

I Радиальные цепи:

$$\hat{E}_{\dot{A}-1}^{120} = 1150 \cdot 37,8 = 43470 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

$$\hat{E}_{\dot{A}-4}^{120} = 1150 \cdot 32,4 = 37260 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

$$\hat{E}_{\dot{A}-5'}^{120} = 1150 \cdot 29,7 = 34155 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

$$\hat{E}_{5-5'}^{120} = 1150 \cdot 22,5 = 25,875 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

Кольцевая схема А-3-5-А:

$$\hat{E}_{\dot{A}-2}^{120} = 850 \cdot 26,1 = 30015 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

$$\hat{E}_{\dot{A}-3}^{120} = 850 \cdot 37,8 = 32130 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

$$\hat{E}_{2-3}^{120} = 850 \cdot 33,3 = 28305 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

II Радиальные цепи:

$$\hat{E}_{\dot{A}-5}^{120} = 1150 \cdot 32,4 = 37260 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

Кольцевые схемы А-1-4-А:

$$\hat{E}_{\dot{A}-1}^{120} = 850 \cdot 37,8 = 32130 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

$$\hat{E}_{1-4}^{120} = 850 \cdot 28,8 = 24480 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

$$\hat{E}_{\dot{A}-4}^{120} = 850 \cdot 32,4 = 27540 \text{ } \delta\hat{u}\hat{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

A-2-3-A:

$$\hat{E}_{\dot{A}-2}^{150} = 850 \cdot 26,1 = 22185 \text{ òûñ } .\text{đóá.}$$

$$\hat{E}_{2-3}^{120} = 850 \cdot 33,3 = 28305 \text{ òûñ } .\text{đóá.}$$

$$\hat{E}_{\dot{A}-3}^{120} = 850 \cdot 37,8 = 32130 \text{ òûñ } .\text{đóá.}$$

Суммарные капиталовложения на сооружение линий для двух вариантов:

$$\hat{E}_{\dot{EY}1} = 231210 \text{ òûñ } .\text{đóá.}$$

$$\hat{E}_{\dot{EY}2} = 204030 \text{ òûñ } .\text{đóá.}$$

Расчет суммарных годовых потерь электроэнергии

$$\Delta W_{TP} = n \cdot \Delta P_x \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \cdot \left(\frac{S_i}{S_{TP}} \right)^2 \cdot \tau,$$

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

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{MAX}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3302,48 \text{ ÷}$$

$$\Delta W_{TP1} = 2 \cdot 0,027 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{31,32}{25} \right)^2 \cdot 3302,48 = 784,1 \text{ ÌÁò } \cdot \text{÷};$$

$$\Delta W_{TP2} = 2 \cdot 0,027 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{22,97}{25} \right)^2 \cdot 3302,48 = 640,3 \text{ ÌÁò } \cdot \text{÷};$$

$$\Delta W_{TP3} = 2 \cdot 0,021 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,086 \cdot \left(\frac{17,73}{16} \right)^2 \cdot 3302,48 = 542,3 \text{ ÌÁò } \cdot \text{÷};$$

$$\Delta W_{TP4} = 2 \cdot 0,021 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,086 \cdot \left(\frac{14,6}{16} \right)^2 \cdot 3302,48 = 486,2 \text{ ÌÁò } \cdot \text{÷};$$

$$\Delta W_{TP5} = 2 \cdot 0,027 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{29,26}{25} \right)^2 \cdot 3302,48 = 744,5 \text{ ÌÁò } \cdot \text{÷};$$

Потери мощности в линиях электропередач:

$$\Delta W_{ЛЭП} = \left(\frac{S_{ЛЭП}}{U_{НОМ}} \right)^2 \cdot r_{ЛЭП} \cdot \tau.$$

$$\text{I} \quad \Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-1}} = \left(\frac{31,32}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 65,33 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-2}} = \left(\frac{23,697}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 37,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-3}} = \left(\frac{17}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 19,25 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-4}} = \left(\frac{14,6}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 14,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-5}} = \left(\frac{60,58}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 57,02 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-5}} = \left(\frac{29,26}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 57,02 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-3}} = \left(\frac{0,727}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 0,035 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\text{II} \quad \Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-1}} = \left(\frac{24,14}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 38,81 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-2}} = \left(\frac{213,269}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 37,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-3}} = \left(\frac{17}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 19,25 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-4}} = \left(\frac{21,78}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 31,59 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-5}} = \left(\frac{29,26}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 57,02 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-3}} = \left(\frac{0,727}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 0,035 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}}_{\text{ЛЭП-4}} = \left(\frac{7,18}{110} \right)^2 \cdot 0,244 \cdot 3302,48 = 3,43 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

Стоимость электроэнергии на сегодняшний день составляет $b = 2,20 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$.

Стоимость потерь электроэнергии для двух вариантов определим по

формуле:

$$I_{\Delta W} = b(\Delta W_{\text{ЛЭП}} + \Delta W_{\text{ТС}}).$$

$$\dot{E}_{\Delta W1} = 2,20 \cdot (3197,3 + 437,635) = 7996,857 \text{ \textit{òûñ . ðóá/ ãîä}};$$

$$\dot{E}_{\Delta W2} = 2,20 \cdot (3197,3 + 117,535) = 7446,637 \text{ \textit{òûñ . ðóá/ ãîä}}.$$

$$\dot{E}_{\text{ãîä .}\Delta W} = 7996,857 - 7446,637 = 550,22 \text{ \textit{òûñ . ðóá/ ãîä}}.$$

Капитальные вложения в строительство распределительных устройств 110/10кВ

Стоимость трансформаторов по с учетом коэффициента пересчета:

Таблица 6

Мощность, кВ·А	Стоимость 1 шт., тыс.руб.	Количество, шт.	Итого, тыс.руб.
25000	19000	6	114000
16000	14000	4	84000

В сумме: 198000 тыс.руб.

Стоимость компенсирующих устройств с выключателями:

Таблица 7

Марка	Стоимость, тыс.руб.	Количество	Итоговая стоимость, тыс.руб.
УКРМ-10,5-3400У3	750	4	3000
УКРМ-10,5-2500У3	600	4	2400
УКРМ-10,5-2050У3	490	4	1960
УКРМ-10,5-1700У3	450	4	1800
УКРМ-10,5-2950У3	710	4	2840

В сумме: 12000 тыс.руб.

Открытые распределительные устройства 110 кВ

Вариант №1

Таблица 8

Наименование ОРУ	Стоимость тыс.руб.	Постоянная часть затрат, тыс.руб.	Узел	Всего, тыс.руб.
Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии	9063	11970	1,4,5	63099
Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	11150	11970	2,3	46240
Итого, тыс.руб.	-	-	-	109339

Вариант №2

Таблица 9

Наименование ОРУ	Стоимость тыс.руб.	Постоянная часть затрат, тыс.руб.	Узел	Всего, тыс.руб.
Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии	9063	11970	5	21033
Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	11150	11970	1,2,3,4	92480
Итого, тыс.руб.	-	-	-	113513

Подстанция А является, по своей электрической схеме, одинаковой для двух вариантов. Ее стоимость:

Таблица 10

Наименование РУ	Стоимость, тыс.руб.	Постоянная часть затрат, тыс.руб.	Номер узла	Всего, тыс.руб.
Две рабочие и обходная система шин	38800	25000	А	63800

Итоговые капитальные затраты на строительство распределительных устройств по вариантам:

вариант 1

КРУ 1=173139 тыс.руб.;

вариант 2

КРУ 2=177313 тыс.руб.

Капитальные вложения в строительство распределительной электрической сети 110/10 кВ определяем по формуле:

$$K=KЛЭП+КТ+КРУ+ККУ.$$

Для варианта 1:

$$K1=231210+198000+12000+173139=614349 \text{ тыс.руб.}$$

Для варианта 2:

$$K2=204030+198000+12000+177313=591343 \text{ тыс.руб.}$$

Объем реализованной продукции

$$O_p = T_{\max} \sum_{i=1}^N P_i \cdot b,$$

где b –тариф отпускаемой электроэнергии($b=1,63$ кВт/ч);

T_{\max} - число часов использования максимальной нагрузки ($T_{\max}= 4900$ ч/год);

N – число подстанций.

$$\hat{I}_D = 4900 \cdot (30 + 22 + 17 + 14 + 28) \cdot 2,20 = 1196580 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Издержки на амортизацию, ремонт и обслуживание оборудования по

$$I_{APO} = K \cdot \alpha,$$

где $\alpha=2,8\%$.

$$\dot{E}_{\Delta D1} = \frac{2,8}{100} \cdot 614349 = 17201,772 \text{ руб.}$$

$$\dot{E}_{\Delta D2} = \frac{2,8}{100} \cdot 591343 = 16557,604 \text{ руб.}$$

Суммарные издержки определяются по формуле:

$$I_{\Sigma} = I_{APO} + I_{\Delta W}.$$

$$\dot{E}_{\Sigma 1} = 17201,772 + 7996,857 = 25198,629 \text{ руб./год};$$

$$\dot{E}_{\Sigma 2} = 16557,604 + 7446,637 = 24004,241 \text{ руб./год}.$$

Определяем прибыль

$$P = O_p - I_{APO}.$$

$$\dot{I}_1 = 1196580 - 25198,629 = 1171381,371 \text{ руб./год};$$

$$\dot{I}_2 = 1196580 - 24004,241 = 1172575,759 \text{ руб./год}.$$

Налог на прибыль. Принимаем 20%:

$$H=0,2 \cdot P.$$

$$H1=0,2 \cdot P1=0,2 \cdot 1171381,371=234276,2742 \text{ руб./год}.$$

$$H2=0,2 \cdot P2=0,2 \cdot 1172575,759=234515,1518 \text{ руб./год}.$$

Рентабельность сети:

$$P = \frac{O_p - I_{\Sigma} - H}{K}.$$

$$D1 = \frac{1196580 - 25198,629 - 234276,2742}{614349} = 1,53.$$

$$D_2 = \frac{1196580 - 24004,241 - 234515,1518}{591343} = 1,57.$$

Получаем перспективность 1-го варианта: $P_1 < P_2$.

По методу СНД:

K_p – поправочный коэффициент для нормативной рентабельности.

$$K_p = 1 - \frac{1}{E_g \cdot T_{СЛ}} + \frac{1}{(1 + E_g)^{T_{СЛ}} - 1}.$$

$T_{СЛ}$ – срок службы воздушных линий (50 лет) и распределительных устройств (28,8 лет).

$E_g = 0,15$ – коэффициент дисконтирования (означает, что окупаемость проекта не более 10 лет).

$$K_{p,ВЛ} = 1 - \frac{1}{0,15 \cdot 50} + \frac{1}{(1 + 0,15)^{50} - 1} = 0,87.$$

$$K_{p,РУ} = 1 - \frac{1}{0,15 \cdot 28,5} + \frac{1}{(1 + 0,15)^{28,5} - 1} = 0,79.$$

$$СНД = K \cdot (\alpha_{АРО} + P \cdot K_p).$$

$$\tilde{N}\ddot{A}_{\hat{A}\hat{E}1} = 614349 \cdot (0,028 + 1,53 \cdot 0,87) = 834961,7259 \text{ } \delta\hat{u}\tilde{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a} / \tilde{a}\hat{i}\ddot{u}.$$

$$\tilde{N}\ddot{A}_{\hat{A}\hat{E}2} = 591343 \cdot (0,028 + 1,57 \cdot 0,87) = 824273,0077 \text{ } \delta\hat{u}\tilde{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a} / \tilde{a}\hat{i}\ddot{u}.$$

$$\tilde{N}\ddot{A}_{\hat{D}\acute{O}1} = 614349 \cdot (0,094 + 1,53 \cdot 0,79) = 800312,4423 \text{ } \delta\hat{u}\tilde{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a} / \tilde{a}\hat{i}\ddot{u}.$$

$$\tilde{N}\ddot{A}_{\hat{D}\acute{O}2} = 591343 \cdot (0,094 + 1,57 \cdot 0,79) = 789028,9649 \text{ } \delta\hat{u}\tilde{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a} / \tilde{a}\hat{i}\ddot{u}.$$

Итоговый среднегодовой необходимый доход подсчитывается по формуле, где необходимо учесть издержки на дополнительные потери в линиях (т.к. для разных вариантов потери в ЛЭП оказываются не одинаковыми).

$$\tilde{N}\ddot{A}_1 = \tilde{N}\ddot{A}_{\hat{A}\hat{E}} + \tilde{N}\ddot{A}_{\hat{D}\acute{O}} + \dot{E}_{\hat{a}\hat{i}\hat{u}.\hat{m}\hat{o}} = 834961,7259 + 800312,4423 + 550,22 = 1635824,388 \text{ } \delta\hat{u}\tilde{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

$$\tilde{N}\ddot{A}_2 = \tilde{N}\ddot{A}_{\hat{A}\hat{E}} + \tilde{N}\ddot{A}_{\hat{D}\acute{O}} = 824273,0077 + 789028,9649 = 1613301,973 \text{ } \delta\hat{u}\tilde{n} \text{ } .\delta\acute{o}\acute{a}.$$

По методу СНД второй вариант является экономически более целесообразным. По данному технико-экономическому расчету для дальнейшего проектирования выбираем второй вариант.

Бизнес-план

Дано:

величина кредита: $K=591343$ тыс.руб.

численность персонала: $N=30$ человек.

покупной тариф электроэнергии: $T_{\text{покуп}}=1,63$ руб./кВт·ч.

средняя зарплата: $ЗП=15000$ руб.

число часов работы сети в нормальном режиме $T_{\text{уст}}=4900$ ч.

РЭС получает определенное количество электроэнергии по цене:

$$\dot{I}_{\text{идея}} = \dot{O}_{\text{пэот}} \cdot \dot{O}_{\text{онд}} \cdot \sum \dot{D}_{\text{онд.ДYN}} = 1,63 \cdot 4900 \cdot 111 = 886557 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Отчисления на фонд оплаты труда и на социальные нужды:

$$\text{ФОТ} = 12 \cdot \text{ЗП} \cdot N = 12 \cdot 15 \cdot 30 = 5400 \text{ тыс.руб.}$$

$$\text{Qсоц.нужд.} = 0,365 \cdot 5400 = 1971 \text{ тыс.руб.}$$

Отчисления на амортизацию (издержки, по технико-экономическому расчету):

$$\dot{E}_{\text{адг}} = 16557,604 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Затраты на эксплуатационные расходы на ЛЭП и силовое оборудование:

$$ЗЛЭП=0,004 \cdot КЛЭП=0,004 \cdot 204030=816,12 \text{ тыс.руб.}$$

$$ЗПС=0,003 \cdot КПС=0,003 \cdot (198000+12000+177313)=1161,939 \text{ тыс.руб.}$$

Итого затрат:

$$З=ЗЛЭП+ЗПС=816,12+1161,939=1978,059 \text{ тыс.руб.}$$

Тариф на электроэнергию для потребителей:

$$\text{Треал}=2,20 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч.}$$

Реализованная энергия:

$$\dot{I}_{\text{дддд}} = \dot{Q}_{\text{дддд}} \cdot \dot{Q}_{\text{онд}} \cdot \sum \dot{E}_{\text{онд.ддд}} = 2,20 \cdot 4900 \cdot 111 = 1196580 \text{ дддд. дддд.}$$

Прочие расходы:

$$\dot{I}_{\text{ид}} = 0,01 \cdot (\dot{I}_{\text{иддд}} + \dot{O}\dot{I}\dot{O} + Q_{\text{ддд.дддд}} + \dot{E}_{\text{ддд}} + \zeta) = 0,01 \cdot (886557 + 5400 + 1971 + 16557,604 + 1978,059) = 9124,63663 \text{ дддд. дддд.}$$

Налоги (относимые на себестоимость за год):

а) транспортный налог

$$\text{Нтр}=0,01 \cdot \text{Преал}=0,01 \cdot 1196580=11965,8 \text{ тыс.руб.}$$

б) подоходный налог

$$\text{НФОТ}=0,13 \cdot \text{ФОТ}=0,13 \cdot 5400=702 \text{ тыс.руб.}$$

в) налог на землю

$$Нз=0,01 \cdot \text{Преал}=0,01 \cdot 1196580=11965,8 \text{ тыс.руб.}$$

Итого:

$$НСБС=Нтр+НФОТ+Нз=1196580+702+11965,8=24633,6 \text{ тыс.руб.}$$

Налоги (относимые на финансовые результаты):

а) на содержание жилого фонда

$$НЖ/\Phi=0,015 \cdot \text{Преал}=0,015 \cdot 1196580=17948,7 \text{ тыс.руб.}$$

б) целевой сбор на нужды муниципальной милиции

$$\text{ЦСМ}/\text{М}=0,03 \cdot \text{МОТ}=0,03 \cdot 4,33 \cdot 15 \cdot 30=58,455 \text{ тыс.руб.}$$

в) на уборку территории

$$\text{ЦУ}/\text{Т}=0,01 \cdot \text{ПБ}=0,01 \cdot 252352,91=2523,5291 \text{ тыс.руб.}$$

г) налог на имущество

$$\text{НИМ}=0,02 \cdot \text{К}=0,02 \cdot 591343=11826,86 \text{ тыс.руб.}$$

Балансовая прибыль

$$\begin{aligned} \text{ПБ} &= \text{Преал} - (\text{Пприоб} + \text{ФОТ} + \text{QСоц.нудж} + \text{ИАРО} + \text{З} + \text{ППР} + \text{НСБС}) = \\ &= 1196580 - (886,557 + } + 5400 + 1971 + 16557,604 + 1978,059 \\ &+ 9124,63663 + 24663,6) = 250328,1004 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Налогооблагаемая прибыль

$\text{Прасч} = \text{ПБ} - \text{НФ} = 250328,1004 - 32357,5541 = 217970,5463$ тыс.руб.,

где

$\text{НФ} = \text{НЖ/Ф} + \text{ЦСМ/М} + \text{ЦСУ/Т} + \text{НИМ} = 17948,7 + 58,455 + 2523,5291 + 11826,86 = 32357,5541$ тыс.руб.

Налог на прибыль

$\text{НПР} = 0,2 \cdot \text{Прасч} = 0,2 \cdot 217970,5463 = 43594,10925$ тыс.руб.

Чистая прибыль

$\text{Пчист} = \text{Прасч} - \text{НПР} = 217970,5463 - 43594,10925 = 174376,437$ тыс.руб.

Определение срока окупаемости

Таблица 11

Год	Ежегодная чистая прибыль, тыс.руб.	Выплата процентов за кредит, тыс.руб.	Остаток непогашенного долга, тыс.руб.
1	174376,437	591343+59134,3	476100,863
2	174376,437	476100,863+47610,0863	254114,336
3	174376,437	254114,336+25411,4336	105149,33
4	174376,437	105149,33+10514,933	-58712,1714

Таким образом, срок окупаемости предприятия составляет 4 года.

Расчет режимов сети

Максимальный режим

Определение расчетной нагрузки ПС и расчет потерь в трансформаторах

Расчетная нагрузка ПС определяется по формуле:

$$S_{расч,i} = S_{н,i} + \Delta S_i - j(Q_{c,ab}^H + Q_{c,da}^K),$$

где $S_{н,i}$ – нагрузка i-ой ПС;

ΔS_i – потери полной мощности в трансформаторе, МВА;

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

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

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

где b_{ab}, b_{da} – емкостные проводимости линий.

Для одноцепных линий емкостная проводимость определяется следующим образом:

$$b_l = b_0 L_l,$$

где b_0 – удельная емкостная проводимость линии (выбирается по [4, табл. 7.5], исходя из марки провода), см/км;

L_l – длина линии, км.

Для двухцепных линий:

$$b_{\Delta} = 2b_0L_{\Delta}$$

Определим потери мощности в трансформаторе согласно выражениям:

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

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

где k – количество одинаковых трансформаторов ПС;

S_i – полная мощность i -ой ПС;

ΔP_X , $S_{ном}$, $I_{X\%}$, $u_{K\%}$ – справочные данные.

Потери полной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

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

Для ПС № 1 ($2 \times \text{ОД} \dot{\text{А}} \dot{\text{И}} - 25000/110$):

$$\Delta P_1 = 2 \cdot 27 \cdot 10^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{120 \cdot 10^3 \cdot (31,32 \cdot 10^6)^2}{(25 \cdot 10^6)^2} = 0,148 \dot{\text{А}} \dot{\text{В}} ;$$

$$\Delta Q_1 = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 25 \cdot 10^6}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5(31,32 \cdot 10^6)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 2,41 \dot{\text{А}} \dot{\text{В}} ; \quad \Delta S_1 = (0,148 + j2,41) \dot{\text{А}} \cdot \dot{\text{В}} .$$

Для ПС № 2 ($2 \times \text{ТРДН} - 25000/110$):

$$\Delta P_2 = 2 \cdot 27 \cdot 10^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{120 \cdot 10^3 \cdot (22,97 \cdot 10^6)^2}{(25 \cdot 10^6)^2} = 0,105 \dot{\text{А}} \dot{\text{В}} ;$$

$$\Delta Q_2 = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 25 \cdot 10^6}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5(22,97 \cdot 10^6)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 1,46 \dot{\text{А}} \dot{\text{В}} ;$$

$$\Delta S_2 = (0,105 + j1,46) \dot{\text{А}} \cdot \dot{\text{В}} .$$

Для ПС № 3 ($2 \times \text{ОД} \dot{\text{А}} \dot{\text{И}} - 16000/110$):

$$\Delta P_3 = 2 \cdot 21 \cdot 10^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{86 \cdot 10^3 \cdot (17,73 \cdot 10^6)^2}{(16 \cdot 10^6)^2} = 0,095 \dot{\text{А}} \dot{\text{В}} ;$$

$$\Delta Q_3 = \frac{2 \cdot 0,85 \cdot 16 \cdot 10^6}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5(17,73 \cdot 10^6)^2}{100 \cdot 16 \cdot 10^6} = 1,31 \text{ ààä } ;$$

$$\Delta S_3 = (0,095 + j1,3) \text{ à } \cdot \text{À} .$$

Для ПС № 4 ($2 \times TДН - 16000/110$):

$$\Delta P_4 = 2 \cdot 21 \cdot 10^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{86 \cdot 10^3 \cdot (14,6 \cdot 10^6)^2}{(16 \cdot 10^6)^2} = 0,078 \text{ à } \cdot \text{À} ;$$

$$\Delta Q_4 = \frac{2 \cdot 0,85 \cdot 16 \cdot 10^6}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5(14,6 \cdot 10^6)^2}{100 \cdot 16 \cdot 10^6} = 0,97 \text{ ààä } ;$$

$$\Delta S_4 = (0,078 + j0,97) \text{ à } \cdot \text{À} .$$

Для ПС № 5 ($2 \times \text{òÄÍ} - 25000/110$):

$$\Delta P_5 = 2 \cdot 27 \cdot 10^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{120 \cdot 10^3 \cdot (29,26 \cdot 10^6)^2}{(25 \cdot 10^6)^2} = 0,136 \text{ à } \cdot \text{À} ;$$

$$\Delta Q_5 = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 25 \cdot 10^6}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5(29,26 \cdot 10^6)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 2,15 \text{ ààä } ;$$

$$\Delta S_5 = (0,136 + j2,15) \text{ à } \cdot \text{À} .$$

Определим расчетные нагрузки соответствующих ПС:

$$S_{расч,i} = S_{н,i} + \Delta S_i - jQ_{с,j}^H = S_{н,i} + \Delta S_i - j \frac{1}{2} U_{ном}^2 \cdot 2b_{0ji} L_{ji} ;$$

$$S_{\text{ààñ}=\text{,1}} = 30 + j9 + j2,41 + 0,148 - j \frac{1}{2} 110^2 \cdot 2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot (28,8 + 37,8) = (32,41 + j10,34) \text{ à } \cdot \text{À} .$$

$$S_{\text{ààñ}=\text{,2}} = 22 + j6,6 + j1,46 + 0,105 - j \frac{1}{2} 110^2 \cdot 2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot (33,3 + 26,1) = (22,105 + j7,1) \text{ à } \cdot \text{À} .$$

$$S_{\text{ààñ}=\text{,3}} = 17 + j5,03 + 0,095 + j1,3 - j \frac{1}{2} 110^2 \cdot 2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot (33,3 + 37,8) = (17,095 + j5,19) \text{ à } \cdot \text{À} .$$

$$S_{\text{ààñ}=\text{,4}} = 14 + j4,15 + 0,078 + j0,97 - j \frac{1}{2} 110^2 \cdot 2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot (28,8 + 32,4) = (14,078 + j4,14) \text{ à } \cdot \text{À} .$$

$$S_{\text{ààñ}=\text{,5}} = 28 + j8,51 + 0,136 + j2,15 - j \frac{1}{2} 110^2 \cdot 2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 32,4 = (28,136 + j10,14) \text{ à } \cdot \text{À} .$$

Расчет перетоков мощностей с учетом потерь в линии

Рассмотрим кольцо А-3-2-А. Определим полные сопротивления линий.

Таблица 12

Линия	Марка провода	$z_{\lambda} = (r_0 + jx_0)L_{\lambda}, Ом$
А-3	АС-120/19	$z_{A-3} = 9,22 + j16,14$
А-2	АС-120/19	$z_{A-2} = 6,37 + j11,14$
2-3	АС-120/19	$z_{2-3} = 8,13 + j14,22$

Рассмотрим кольцо А-4-1-А. Определим полные сопротивления линий.

Таблица 12

Линия	Марка провода	$z_{\lambda} = (r_0 + jx_0)L_{\lambda}, Ом$
А-4	АС-120/19	$z_{A-4} = 7,91 + j13,83$
А-1	АС-120/19	$z_{A-1} = 9,22 + j16,14$
1-4	АС-120/19	$z_{1-4} = 7,03 + j12,298$

С помощью выражения:

$$S_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} S_k z_{1k}^*}{z_{n-1}^*}$$

определим приближенное потокораспределение в кольце А-3-2-А (без учета потерь мощности), для соответствующих линий:

$$S_{A-3}^e = \frac{S_{p3} (z_{3-2}^* + z_{A-2}^*) + S_{p2} z_{A-2}^*}{z_{A-3}^* + z_{3-2}^* + z_{A-2}^*};$$

$$S_{A-3}^e = \frac{(17,095 + j5,19)(8,13 - j14,22 + 6,37 - j11,14) + (22,105 + j7,1)(6,37 - j11,14)}{8,13 - j14,22 + 6,37 - j11,14 + 9,22 - j16,14} =$$

$$= (16,75 + j5) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A};$$

$$S_{A-2}^e = \frac{S_{p2}(z_{3-2}^* + z_{A-3}^*) + S_{p3}z_{A-3}^*}{z_{A-3}^* + z_{3-2}^* + z_{A-2}^*};$$

$$S_{A-2}^e = \frac{(22,105 + j7,1)(8,13 - j14,22 + 9,22 - j16,14) + (17,095 + j5,19)(9,22 - j16,14)}{8,13 - j14,22 + 6,37 - j11,14 + 9,22 - j16,14} =$$

$$= (22,788 + j7,207) \hat{A} \cdot \hat{A};$$

По первому закону Кирхгофа определим распределение полной мощности в линии 2-3:

$$S_{2-3}^e = S_{A-2}^e - S_{p2};$$

$$S_{2-3}^e = 22,788 + j7,207 - 22,105 - j7,1 = (0,738 - j0,107) \hat{A} \cdot \hat{A}.$$

Потери мощности в линии А – 3:

$$\Delta S_{z,A-3} = \frac{(P_{A-3}^K)^2 + (Q_{A-3}^K)^2}{U_{\max}^2} z_{A-3};$$

$$\Delta S_{z,A-3} = \frac{16,75^2 + 5^2}{117^2} (9,22 + j16,14) = (0,206 + j0,36) \hat{A} \cdot \hat{A}.$$

Мощность в начале линии А – 3:

$$S_{A-3}^i = S_{A-3}^e + \Delta S_{z,A-3} = 16,75 + j5 + 0,206 + j0,36 = (16,956 + j5,36) \hat{A} \cdot \hat{A}.$$

Для линии А – 2:

$$S_{A-2}^i = S_{A-2}^e + \Delta S_{z,A-2};$$

$$\Delta S_{z,A-2} = \frac{22,788^2 + 7,207^2}{117^2} (6,37 + j11,14) = (0,266 + j0,465) \hat{A} \cdot \hat{A};$$

$$S_{A-2}^i = 22,788 + j7,207 + 0,266 + j0,465 = (23,054 + j7,672) \hat{A} \cdot \hat{A}.$$

Для линии 2 – 3:

$$S_{2-3}^i = S_{2-3}^e + \Delta S_{z,2-3};$$

$$\Delta S_{z,2-3} = \frac{0,738^2 + 0,107^2}{117^2} (8,13 + j14,22) = (0,0003 + j0,0005) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A};$$

$$S_{2-3}^i = 0,738 - j0,107 + 0,0003 + j0,0005 = (0,7385 - j0,1065) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A}.$$

определим приближенное потокораспределение в кольце А-4-1-А(без учета потерь мощности), для соответствующих линий:

$$S_{A-4}^e = \frac{S_{p4} (z_{4-1}^* + z_{A-1}^*) + S_{p1} z_{A-1}^*}{z_{A-4}^* + z_{4-1}^* + z_{A-1}^*};$$

$$S_{A-4}^e = \frac{(14,078 + j4,14)(7,03 - j12,298 + 9,22 - j16,14) + (32,41 + j10,34)(9,22 - j16,14)}{7,91 - j13,83 + 7,03 - j12,298 + 9,22 - j16,14} =$$

$$= (21,83 + j6,78) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A};$$

$$S_{A-1}^e = \frac{S_{p1} (z_{4-1}^* + z_{A-4}^*) + S_{p4} z_{A-4}^*}{z_{A-4}^* + z_{4-1}^* + z_{A-1}^*};$$

$$S_{A-1}^e = \frac{(32,41 + j10,34)(7,03 - j12,298 + 7,91 - j13,83) + (14,078 + j4,14)(7,91 - j13,83)}{7,91 - j13,83 + 7,03 - j12,298 + 9,22 - j16,14} =$$

$$= (22,25 + j12,87) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A};$$

По первому закону Кирхгофа определим распределение полной мощности в линии 1-4:

$$S_{1-4}^e = S_{A-4}^e - S_{p4};$$

$$S_{1-4}^e = 21,83 + j6,78 - 14,078 - j4,14 = (7,752 + j2,64) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A}.$$

Потери мощности в линии А – 4:

$$\Delta S_{z,A-4} = \frac{(P_{A-4}^e)^2 + (Q_{A-4}^e)^2}{U_{\max}^2} z_{A-4};$$

$$\Delta S_{z,A-4} = \frac{21,83^2 + 6,78^2}{117^2} (7,91 + j13,83) = (0,302 + j0,528) \hat{A} \cdot \hat{A}$$

Мощность в начале линии А – 4:

$$S_{A-4}^i = S_{A-4}^e + \Delta S_{z,A-4} = 21,83 + j6,78 + 0,302 + j0,528 = (22,132 + j7,308) \hat{A} \cdot \hat{A}$$

Для линии А – 1:

$$S_{A-1}^i = S_{A-1}^e + \Delta S_{z,A-1};$$

$$\Delta S_{z,A-1} = \frac{22,25^2 + 12,87^2}{117^2} (9,22 + j16,14) = (0,445 + j0,779) \hat{A} \cdot \hat{A};$$

$$S_{A-1}^i = 22,25 + j12,87 + 0,445 + j0,779 = (22,695 + j13,649) \hat{A} \cdot \hat{A}$$

Для линии 1 – 4:

$$S_{1-4}^i = S_{1-4}^e + \Delta S_{z,1-4};$$

$$\Delta S_{z,1-4} = \frac{7,752^2 + 2,64^2}{117^2} (7,03 + j12,298) = (0,034 + j0,0602) \hat{A} \cdot \hat{A};$$

$$S_{1-4}^i = 7,752 + j2,64 + 0,034 + j0,0602 = (7,786 + j2,7002) \hat{A} \cdot \hat{A}$$

Рассмотрим двухцепные линии:

$$S_{A-5}^e = S_{p5} = (28,136 + j10,14) \hat{A} \cdot \hat{A};$$

$$\Delta S_{z,\hat{A}-5} = \frac{28,136^2 + 10,14^2}{117^2} (3,95 + j6,9) = (0,258 + j0,45) \hat{A} \cdot \hat{A}$$

$$S_{A-5}^i = 28,136 + j10,14 + 0,258 + j0,45 = (28,4 + j2,10,6) \hat{A} \cdot \hat{A}$$

Определение значения напряжения в узловых точках (в точках на стороне ВН) в максимальном режиме

Для ПС № 1:

$$U_1 = U_{\max} - \frac{P_{A-1}^{\hat{e}} \frac{r_0 L_{A-1}}{2} + Q_{A-1}^{\hat{e}} \frac{x_0 L_{A-1}}{2}}{U_2} - j \frac{P_{A-1}^{\hat{e}} \frac{r_{A-1}}{2} + Q_{A-1}^{\hat{e}} \frac{x_{A-1}}{2}}{U_2} ;$$

$$U_1 = 117 - \frac{32,41 \cdot \frac{2,44 \cdot 37,8}{2} + 10,34 \cdot \frac{4,27 \cdot 37,8}{2}}{117} - j \frac{32,41 \cdot \frac{2,44 \cdot 37,8}{2} + 10,34 \cdot \frac{4,27 \cdot 37,8}{2}}{117} =$$

$$= 97,09 - j19,906 = 99 \cdot e^{-j11,59} \hat{e}\hat{A}.$$

Для ПС № 2:

$$U_2 = 117 - \frac{22,105 \cdot \frac{2,44 \cdot 26,1}{2} + 7,1 \cdot \frac{4,27 \cdot 26,1}{2}}{117} - j \frac{22,105 \cdot \frac{2,44 \cdot 26,1}{2} + 7,1 \cdot \frac{4,27 \cdot 26,1}{2}}{114,39} =$$

$$= 107,6 - j9,39 = 108 \cdot e^{-j4,987} \hat{e}\hat{A}.$$

Для ПС № 3:

$$U_3 = U_{\max} - \frac{P_{A-3}^{\kappa} r_{A-3} + Q_{A-3}^{\kappa} x_{A-3}}{U_{\max}} - j \frac{P_{A-3}^{\kappa} r_{A-3} + Q_{A-3}^{\kappa} x_{A-3}}{U_{\max}} ;$$

$$U_3 = 117 - \frac{17,095 \cdot \frac{2,44 \cdot 37,8}{2} + 5,19 \cdot \frac{4,27 \cdot 37,8}{2}}{117} - j \frac{17,095 \cdot \frac{2,44 \cdot 37,8}{2} + 5,19 \cdot \frac{4,27 \cdot 37,8}{2}}{117} =$$

$$= 106,69 - j10,32 = 107,19 \cdot e^{-j5,52} \hat{e}\hat{A}.$$

Для ПС № 4:

$$U_4 = 117 - \frac{14,078 \cdot \frac{2,44 \cdot 32,4}{2} + 4,14 \cdot \frac{4,27 \cdot 32,4}{2}}{117} - j \frac{14,078 \cdot \frac{2,44 \cdot 32,4}{2} + 4,14 \cdot \frac{4,27 \cdot 32,4}{2}}{117} =$$

$$= 109,796 - j7,2 = 110 \cdot e^{-j3,75} \hat{e}\hat{A}.$$

Для ПС № 5:

$$U_5 = 117 - \frac{28,136 \cdot \frac{2,44 \cdot 32,4}{2} + 10,14 \cdot \frac{4,27 \cdot 32,4}{2}}{117} - j \frac{28,136 \cdot \frac{2,44 \cdot 32,4}{2} + 10,14 \cdot \frac{4,27 \cdot 32,4}{2}}{117} =$$

$$= 106,25 - j10,75 = 106,79 \cdot e^{-j5,78} \hat{e}\hat{A}.$$

Регулирование напряжения в электрической сети в максимальном режиме

Напряжение на шинах низкого напряжения, приведенное к стороне высшего напряжения для трансформаторов с не расщепленными обмотками типа ТДН (на подстанциях 1, 4 и 5) 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.

На подстанциях 3 и 4 установлены трансформаторы с расщепленными обмотками, поэтому U'_H определяется по формуле:

$$U'_H = \frac{U_B}{2} + \sqrt{\frac{U_B^2}{4} - \left[\left(P_H R_{TB} + \frac{P_H}{2} R_{TH} \right) + \left(Q_H X_{TB} + \frac{Q_H}{2} X_{TH} \right) \right]},$$

где

$$P_H = \frac{P_H \Delta P_T}{2} - \Delta P_{XX};$$

$$Q_H = \frac{Q_H \Delta Q_T}{2} - \Delta Q_{XX};$$

$$R_{TB} = \frac{\Delta R_{К,ВН-НН} U_{ном}^2}{2 S_{ном}^2};$$

$$R_{TH1} = R_{TH2} = 2 R_{TB};$$

$$X_{ТВ} = \frac{u_{К,ВН-НН} U_{ном}^2}{100S_{ном}} \left(1 - \frac{K_p}{4} \right),$$

где

$$K_p = 4 \left(\frac{u_{К,ВН-НН1}}{u_{К,ВН-НН}} - 1 \right);$$

$$X_{ТН} = \frac{u_{К,ВН-НН} U_{ном}^2}{100S_{ном}} \frac{K_p}{2}.$$

Используя вышеприведенные формулы, определим соответствующие показатели для всех подстанций.

Для ПС № 3 и 4 ($2 \times ТДН - 16000/110$):

$$P_{Н,3} = \frac{17 - 0,095}{2} - 0,021 = 8,4315 \text{ МВт};$$

$$Q_{Н,3} = \frac{5,03 - 1,3}{2} - 0,112 = 1,753 \text{ Мвар};$$

$$U'_{Н3} = \frac{107,19}{2} + \sqrt{\frac{107,19^2}{4} - 8,4315 \cdot 4,38 - 1,753 \cdot 86,7} = 105,398 \text{ кВ}$$

$$P_{Н,4} = \frac{14 - 0,078}{2} - 0,021 = 6,94 \text{ МВт};$$

$$Q_{Н,4} = \frac{4,15 - 0,97}{2} - 0,112 = 1,478 \text{ Мвар};$$

$$U'_{Н4} = \frac{110}{2} + \sqrt{\frac{110^2}{4} - 6,94 \cdot 4,38 - 1,478 \cdot 86,7} = 108,539 \text{ кВ}$$

Для ПС № 1,2 и 5 ($2 \times ТРДН - 25000/110$):

$$P_{Н,1} = \frac{30 - 0,148}{2} - 0,027 = 14,899 \text{ МВт};$$

$$Q_{Н,1} = \frac{9 - 2,41}{2} - 0,175 = 3,12 \text{ Мвар};$$

$$P_{Н,2} = \frac{22 - 0,105}{2} - 0,027 = 10,9205 \text{ МВт};$$

$$Q_{H,3} = \frac{6,6 - 1,3}{2} - 0,175 = 2,475 \text{ лА} ;$$

$$P_{H,5} = \frac{28 - 0,136}{2} - 0,027 = 13,905 \text{ лА} ;$$

$$Q_{H,5} = \frac{8,51 - 2,15}{2} - 0,175 = 1,945 \text{ лА} ;$$

$$R_{TB} = \frac{120 \cdot 10^3 (115 \cdot 10^3)^2}{2(25 \cdot 10^6)^2} = 1,3 \text{ Ом} ;$$

$$R_{TH1} = R_{TH2} = 2 \cdot 1,3 = 2,6 \text{ Ом} ;$$

$$X_{TB} = \frac{10,5 (115 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} \left(1 - \frac{1,71}{4}\right) = 31,8 \text{ Ом} ;$$

$$K_p = 4 \left(\frac{15}{10,5} - 1 \right) = 1,71 ;$$

$$X_{TH1} = X_{TH2} = \frac{10,5 (115 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} \cdot \frac{1,71}{2} = 47,5 \text{ Ом} ;$$

$$U'_{H,1} = \frac{99}{2} + \sqrt{\frac{99^2}{4} - \left[\left(14,899 \cdot 1,3 + \frac{14,899}{2} \cdot 2,6 \right) + \left(3,12 \cdot 31,8 + \frac{3,12}{2} \cdot 47,5 \right) \right]} = 96,81 \text{ лА} ;$$

$$U'_{H,2} = \frac{108}{2} + \sqrt{\frac{108^2}{4} - \left[\left(10,9205 \cdot 1,3 + \frac{10,9205}{2} \cdot 2,6 \right) + \left(2,475 \cdot 31,8 + \frac{2,475}{2} \cdot 47,5 \right) \right]} = 106,44 \text{ лА} .$$

$$U'_{H,5} = \frac{106,79}{2} + \sqrt{\frac{106,79^2}{4} - \left[\left(13,905 \cdot 1,3 + \frac{13,905}{2} \cdot 2,6 \right) + \left(1,945 \cdot 31,8 + \frac{1,945}{2} \cdot 47,5 \right) \right]} = 104,045 \text{ лА} .$$

Ответвление регулируемой части обмотки, обеспечивающее желаемое напряжение на шинах низшего напряжения $U_{H,жел}$

Для ПС № 1:

$$n_{\text{лА},1}^{\text{лА}} = \left(\frac{96,81 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -11,036 , \text{ округляем } n_{\text{лА},1} = -11 .$$

Действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанций определим по формуле (5.3):

$$U_{H,1} = \frac{96,81 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-11) \frac{1,78}{100} \right)} = 10,99 \hat{A}$$

По выражению (5.4) рассчитаем отклонение напряжения на этих шинах от номинального напряжения ($U_{ном} = 10 \text{кВ}, \%$):

$$\delta U_1 = \frac{10,99 - 10}{10} \cdot 100\% = 9,9\%$$

Для ПС № 2:

$$n_{\text{ид}\hat{a},2}^{\alpha\hat{a}\hat{e}} = \left(\frac{106,44 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -6,55, \text{ округляем } n_{\text{ид}\hat{a},2} = -7.$$

$$U_{H,2} = \frac{106,44 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-7) \frac{1,78}{100} \right)} = 11,1 \hat{A}$$

$$\delta U_2 = \frac{11,1 - 10}{10} \cdot 100\% = 11\%$$

Для ПС № 3:

$$n_{\text{ид}\hat{a},3}^{\alpha\hat{a}\hat{e}} = \left(\frac{105,398 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -7,03, \text{ округляем } n_{\text{ид}\hat{a},3} = -7.$$

$$U_{H,3} = \frac{105,398 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-7) \frac{1,78}{100} \right)} = 10,99 \hat{A}$$

$$\delta U_3 = \frac{10,99 - 10}{10} \cdot 100\% = 9,9\%$$

Для ПС № 4:

$$n_{\text{ид}\hat{a},4}^{\alpha\hat{a}\hat{e}} = \left(\frac{108,539 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -5,57, \text{ округляем } n_{\text{ид}\hat{a},4} = -6.$$

$$U_{H,4} = \frac{108,539 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-6) \frac{1,78}{100} \right)} = 11,095 \text{ кВ}$$

$$\delta U_4 = \frac{11,095 - 10}{10} \cdot 100\% = 10,95\%$$

Для ПС № 5:

$$n_{\text{ид} \hat{a},5}^{\text{вд} \hat{a}} = \left(\frac{104,045 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -7,66, \text{ округляем } n_{\text{ид} \hat{a},5} = -8.$$

$$U_{H,5} = \frac{104,045 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-8) \frac{1,78}{100} \right)} = 11,077 \text{ кВ}$$

$$\delta U_5 = \frac{11,077 - 10}{10} \cdot 100\% = 10,77\%$$

Результаты расчета запишем в таблицу 13.

Таблица 13

№ ПС	$U'_H, \text{кВ}$	$n_{\text{отв}}^{\text{жесл}}$	$n_{\text{отв}}$	$U_H, \text{кВ}$	$\delta U, \%$
1	96,81	-3,52	-9	10,99	9,9
2	106,44	-4,58	-7	11,1	11
3	105,398	-4,54	-7	10,99	9,9
4	108,539	-3,66	-6	11,095	10,95
5	104,045	-3,56	-8	11,077	10,77

Послеаварийный режим

Определим расчетную мощность подстанции №3:

$$S_{p,3} = S_{i,3} + \Delta S_3 - jQ_{c,3-2}^i = S_{i,3} + \Delta S_3 - j \frac{1}{2} U_{\text{м}}^2 b_{0,3-2} L_{3-2};$$

$$S_{p,3} = S_{2-3}^{\hat{e}} = (17,095 + j5,19) \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Потери мощности в линии 2 – 3 при обрыве линии А – 3:

$$\Delta S_{Z,2-3} = \frac{17,095^2 + 5,19^2}{108^2} (8,13 + j14,22) = (0,222 + j0,389) \dot{I}\hat{A} \cdot \dot{A} ;$$

$$S_{2-3}^i = 17,095 + j5,19 + 0,222 + j0,389 = (17,317 + j5,579) \dot{I}\hat{A} \cdot \dot{A} .$$

Для линии А – 2:

$$S_{A-2} = S_{p,3} + S_{p,2} = S_{A-2}^e ;$$

$$S_{A-2}^e = 17,095 + j5,19 + 22,105 + j7,1 = (39,2 + j12,29) \dot{I}\hat{A} \cdot \dot{A} ;$$

$$\Delta S_{Z,\hat{A}-2} = \frac{(P_{A-2}^e)^2 + (Q_{A-2}^e)^2}{U_{\hat{A}-2}^2} Z_{\hat{A}-2} ;$$

$$\Delta S_{Z,\hat{A}-2} = \frac{39,2^2 + 12,29^2}{108^2} (6,37 + j11,14) = (0,922 + j1,612) \dot{I}\hat{A} \cdot \dot{A} ;$$

$$S_{\hat{A}-2}^i = S_{A-2}^e + \Delta S_{Z,\hat{A}-2} ;$$

$$S_{\hat{A}-2}^i = 39,2 + j12,29 + 0,922 + j1,612 = (40,122 + j13,902) \dot{I}\hat{A} \cdot \dot{A} .$$

Определим расчетную мощность подстанции №1:

$$S_{p,1} = S_{i,1} + \Delta S_1 - jQ_{c,1-4}^i = S_{i,1} + \Delta S_1 - j\frac{1}{2}U_{\hat{m}}^2 b_{0,1-4} L_{1-4} ;$$

$$S_{p,1} = S_{1-4}^e = (7,786 + j2,7002) \dot{I}\hat{A} \cdot \dot{A} .$$

Потери мощности в линии 1 – 4 при обрыве линии А – 1:

$$\Delta S_{Z,1-4} = \frac{7,786^2 + 2,7002^2}{108^2} (7,03 + j12,298) = (0,041 + j0,072) \dot{I}\hat{A} \cdot \dot{A} ;$$

$$S_{1-4}^i = 7,786 + j2,7002 + 0,041 + j0,072 = (7,827 + j2,7722) \dot{I}\hat{A} \cdot \dot{A} .$$

Для линии А – 4:

$$S_{A-4} = S_{p,1} + S_{p,4} = S_{A-4}^e ;$$

$$S_{A-4}^{\hat{e}} = 7,786 + j2,7002 + 14,078 + j4,14 = (21,864 + j6,8402) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A} ;$$

$$\Delta S_{Z, \hat{A}-4} = \frac{(P_{A-4}^{\hat{e}})^2 + (Q_{A-4}^{\hat{e}})^2}{U_{\hat{a}\hat{a}\hat{d}\hat{d}}^2} z_{\hat{A}-4} ;$$

$$\Delta S_{Z, \hat{A}-4} = \frac{21,864^2 + 6,8402^2}{108^2} (7,81 + j13,83) = (0,35 + j1,622) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A} ;$$

$$S_{A-4}^{\hat{i}} = S_{A-4}^{\hat{e}} + \Delta S_{Z, \hat{A}-4} ;$$

$$S_{A-4}^{\hat{i}} = 21,864 + j6,8402 + 0,35 + j1,622 = (22,214 + j8,46) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A} .$$

Рассмотрим двухцепные линии:

$$S_{A-5}^{\hat{e}} = S_{p5} = (28,136 + j10,14) \hat{I} \hat{A} \cdot \hat{A} ;$$

Определение значения напряжения в узловых точках
в послеаварийном режиме

$$U_1 = U_{\hat{a}\hat{a}\hat{d}\hat{d}} - \frac{P_{A-1}^{\hat{e}} \frac{r_0 L_{A-1}}{2} + Q_{A-1}^{\hat{e}} \frac{x_0 L_{A-1}}{2}}{U_{\hat{a}\hat{a}\hat{d}\hat{d}}} - j \frac{P_{A-1}^{\hat{e}} \frac{r_0 L_{A-1}}{2} + Q_{A-1}^{\hat{e}} \frac{x_0 L_{A-1}}{2}}{U_{\hat{a}\hat{a}\hat{d}\hat{d}}} ;$$

$$U_1 = 108 - \frac{32,41 \cdot \frac{0,244 \cdot 37,8}{2} + 10,34 \cdot \frac{0,427 \cdot 37,8}{2}}{108} - j \frac{32,41 \cdot \frac{0,244 \cdot 37,8}{2} + 10,34 \cdot \frac{0,427 \cdot 37,8}{2}}{108} =$$

$$= 105,82 \cdot e^{-j1,17} \hat{e} \hat{A} .$$

Напряжение в точках 2, 3, 4 и 5 определяется подобным образом, с учетом соответствующих линий:

$$U_1 = 105,82 \cdot e^{-j1,2} \hat{e} \hat{A}$$

$$U_2 = 106,98 \cdot e^{-j0,55} \hat{e} \hat{A}$$

$$U_3 = 106,89 \cdot e^{-j0,6} \hat{e} \hat{A}$$

$$U_4 = 107,22 \cdot e^{-j0,4} \hat{e} \hat{A}$$

$$U_5 = 106,33 \cdot e^{-j0,9} \hat{e} \hat{A}$$

Регулирование напряжения в электрической сети в послеаварийном режиме

$$U'_{H,1} = \frac{105,82}{2} + \sqrt{\frac{105,82^2}{4} - \left[\left(14,899 \cdot 1,3 + \frac{14,899}{2} \cdot 2,6 \right) + \left(3,12 \cdot 31,8 + \frac{3,12}{2} \cdot 47,5 \right) \right]} = 103,78 \text{êÁ};$$

$$U'_{H,2} = \frac{106,98}{2} + \sqrt{\frac{106,98^2}{4} - \left[\left(10,9205 \cdot 1,3 + \frac{10,9205}{2} \cdot 2,6 \right) + \left(2,475 \cdot 31,8 + \frac{2,475}{2} \cdot 47,5 \right) \right]} = 105,4 \text{êÁ}.$$

$$U'_{H,3} = \frac{106,89}{2} + \sqrt{\frac{106,89^2}{4} - 8,4315 \cdot 4,38 - 1,753 \cdot 86,7} = 103,738 \text{êÁ}$$

$$U'_{H,4} = \frac{107,22}{2} + \sqrt{\frac{107,22^2}{4} - 6,94 \cdot 4,38 - 1,478 \cdot 86,7} = 105,17 \text{êÁ}$$

$$U'_{H,5} = \frac{106,33}{2} + \sqrt{\frac{106,33^2}{4} - \left[\left(13,905 \cdot 1,3 + \frac{13,905}{2} \cdot 2,6 \right) + \left(1,945 \cdot 31,8 + \frac{1,945}{2} \cdot 47,5 \right) \right]} = 104,96 \text{êÁ}.$$

Для ПС № 1:

$$n_{\text{дд},1}^{\text{вдд}} = \left(\frac{103,78 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -7,79, \text{ округляем } n_{\text{отв},1} = -8.$$

$$U_{H,1} = \frac{103,78 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-8) \frac{1,78}{100} \right)} = 11,05 \text{êÁ}$$

$$\delta U_1 = \frac{11,05 - 10}{10} \cdot 100\% = 10,5\%$$

Для ПС № 2:

$$n_{\text{дд},2}^{\text{вдд}} = \left(\frac{105,4 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -7,03, \text{ округляем } n_{\text{дд},2} = -7.$$

$$U_{H,2} = \frac{105,4 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-7) \frac{1,78}{100} \right)} = 10,99 \text{êÁ}$$

$$\delta U_2 = \frac{10,99 - 10}{10} \cdot 100\% = 9,9\%$$

Для ПС № 3:

$$n_{\text{ид}\hat{a},3}^{\text{сд}\hat{e}} = \left(\frac{103,738 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -7,81, \text{ округляем } n_{\text{ид}\hat{a},3} = -8.$$

$$U_{H,3} = \frac{103,738 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-8) \frac{1,78}{100} \right)} = 11,04 \hat{A}$$

$$\delta U_3 = \frac{11,04 - 10}{10} \cdot 100\% = 10,4\%$$

Для ПС № 4:

$$n_{\text{ид}\hat{a},4}^{\text{сд}\hat{e}} = \left(\frac{105,17 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -7,14, \text{ округляем } n_{\text{ид}\hat{a},4} = -7.$$

$$U_{H,4} = \frac{105,17 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-7) \frac{1,78}{100} \right)} = 10,97 \hat{A}$$

$$\delta U_4 = \frac{10,97 - 10}{10} \cdot 100 = 9,7\%$$

Для ПС №5

$$n_{\text{ид}\hat{a},5}^{\text{сд}\hat{e}} = \left(\frac{104,96 \cdot 10,5}{11 \cdot 115} - 1 \right) \frac{100}{1,78} = -7,24, \text{ округляем } n_{\text{ид}\hat{a},5} = -7.$$

$$U_{H,5} = \frac{104,96 \cdot 10,5}{115 \left(1 + (-7) \frac{1,78}{100} \right)} = 10,95 \hat{A}$$

$$\delta U_5 = \frac{10,95 - 10}{10} \cdot 100\% = 9,5\%$$

Результаты расчета запишем в таблицу 14.

Таблица 14

№ ПС	$U'_H, кВ$	$n_{отб}^{жс.л}$	$n_{отб}$	$U_H, кВ$	$\delta U, \%$
1	103,78	-7,79	-8	11,05	10,5
2	105,4	-7,03	-7	10,99	9,9
3	103,378	-7,81	-8	11,04	10,4
4	105,17	-7,14	-7	10,97	9,7
5	104,96	-7,24	-7	10,95	9,5