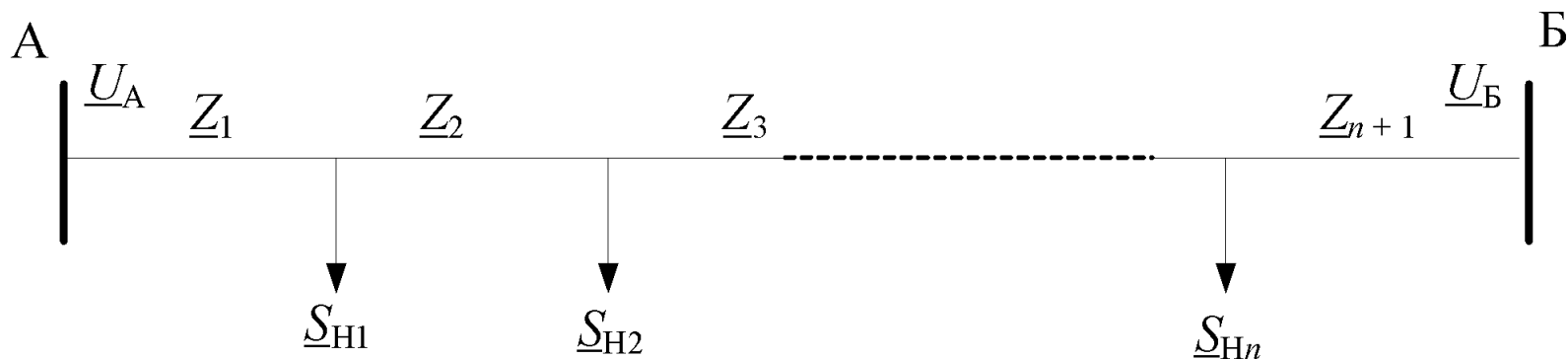


Лекция 7

ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ РАСЧЕТА ЛИНИИ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ



1. $\underline{U}_A = \underline{U}_B$

$$\underline{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_{Hi} \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}^*},$$

где n – число нагрузок

2. Сеть однородна

Однородной сетью называют сети, у которых: $\frac{X_i}{R_i} = \text{const}$
для $i = 1, \dots, n$ (n – число участков сети).

$$\begin{aligned} \underline{S}_1 &= \frac{\underline{S}_{\text{H1}}(\underline{Z}_2^* + \underline{Z}_3^*) + \underline{S}_{\text{H2}}\underline{Z}_3^*}{\underline{Z}_1^* + \underline{Z}_2^* + \underline{Z}_3^*} = \\ &= \frac{\underline{S}_{\text{H1}}((r_{02} - jx_{02})l_2 + (r_{03} - jx_{03})l_3) + \underline{S}_{\text{H2}}(r_{03} - jx_{03})l_3}{(r_{01} - jx_{01})l_1 + (r_{02} - jx_{02})l_2 + (r_{03} - jx_{03})l_3} = \\ &= \frac{\underline{S}_{\text{H1}}\left(r_{02}\left(1 - j\frac{x_{02}}{r_{02}}\right)l_2 + r_{03}\left(1 - j\frac{x_{03}}{r_{03}}\right)l_3\right) + \underline{S}_{\text{H2}}r_{03}\left(1 - j\frac{x_{03}}{r_{03}}\right)l_3}{r_{01}\left(1 - j\frac{x_{01}}{r_{01}}\right)l_1 + r_{02}\left(1 - j\frac{x_{02}}{r_{02}}\right)l_2 + r_{03}\left(1 - j\frac{x_{03}}{r_{03}}\right)l_3} = \\ &= \frac{\underline{S}_{\text{H1}}(R_2 + R_3) + \underline{S}_{\text{H2}}R_3}{R_1 + R_2 + R_3}. \end{aligned}$$

3. $F_i = \text{const}$

$$\begin{aligned}\underline{S}_1 &= \frac{\underline{S}_{H1}(\underline{Z}_2^* + \underline{Z}_3^*) + \underline{S}_{H2}\underline{Z}_3^*}{\underline{Z}_1^* + \underline{Z}_2^* + \underline{Z}_3^*} = \\ &= \frac{\underline{S}_{H1}((r_0 - jx_0)l_2 + (r_0 - jx_0)l_3) + \underline{S}_{H2}(r_0 - jx_0)l_3}{(r_0 - jx_0)l_1 + (r_0 - jx_0)l_2 + (r_0 - jx_0)l_3} = \\ &= \frac{\underline{S}_{H1}(l_2 + l_3) + \underline{S}_{H2}l_3}{l_1 + l_2 + l_3}.\end{aligned}$$

Этой формулой для линий с двусторонним питанием можно пользоваться и в случае, когда сечения проводов линий еще не выбраны.

В курсовой работе !

$$\underline{S}_{\text{ур}} = \frac{(\underline{U}_A^* - \underline{U}_B^*) \underline{U}_H}{\underline{Z}_{AB}^*} \quad \sqrt{3} \underline{U}_H \underline{I}_{\text{ур}}^* = \frac{(\underline{U}_A^* - \underline{U}_B^*) \underline{U}_H}{\underline{Z}_{AB}^*}$$

$$\underline{I}_{\text{ур}} = \frac{(\underline{U}_A - \underline{U}_B)}{\sqrt{3} \underline{Z}_{AB}} = \frac{\Delta \underline{U}_\phi}{\underline{Z}_{AB}} = \frac{\Delta U_\phi + j \delta U_\phi}{R_{AB} + j X_{AB}}$$

При $X_{AB} \gg R_{AB}$

$$I_{\text{ур(a)}} - j I_{\text{ур(p)}} = \frac{\Delta U_\phi + j \delta U_\phi}{j X_{AB}} = -j \frac{\Delta U_\phi}{X_{AB}} + \frac{\delta U_\phi}{X_{AB}}$$

$$I_{\text{ур(a)}} = \frac{\delta U_\phi}{X_{AB}} \quad I_{\text{ур(p)}} = \frac{\Delta U_\phi}{X_{AB}}$$

4. Основы проектирования электрических сетей

При проектировании электрических сетей должно быть задано:

1. Максимальные мощности нагрузок (P_{max})
2. Типы нагрузок (график нагрузок, категории потребителей, T_{max} , K_{max})
3. Возможные расположения новых понижающих подстанций
4. Расположение источников мощности (электрических станций, районных подстанций)

При проектировании электрических сетей выбираются:

1. **Конфигурация электрической сети**
2. **Номинальные напряжения ЛЭП**
3. **Сечения проводов**
4. **Количество, тип и мощность трансформаторов**
5. **Средства обеспечения баланса Q**
6. **Средства регулирования напряжения**
7. **Коммутационные схемы подстанций (типовые)**

4.1 Выбор конфигурации сети

Выбираемые схемы должны удовлетворять требованиям:

- 1. Надежности электроснабжения (число цепей, трансформаторов)**
- 2. Качеству электроснабжения**
- 3. Максимального охвата территории**
- 4. Экономичности (минимум затрат)**

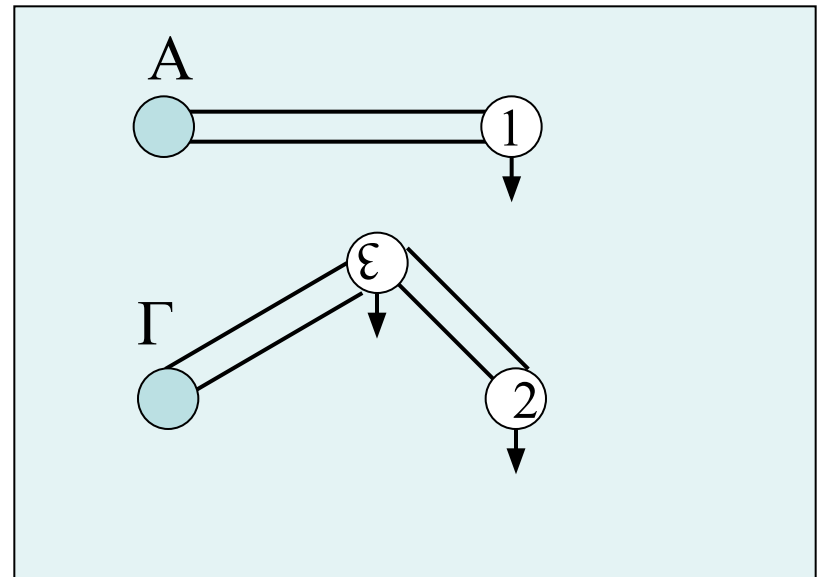
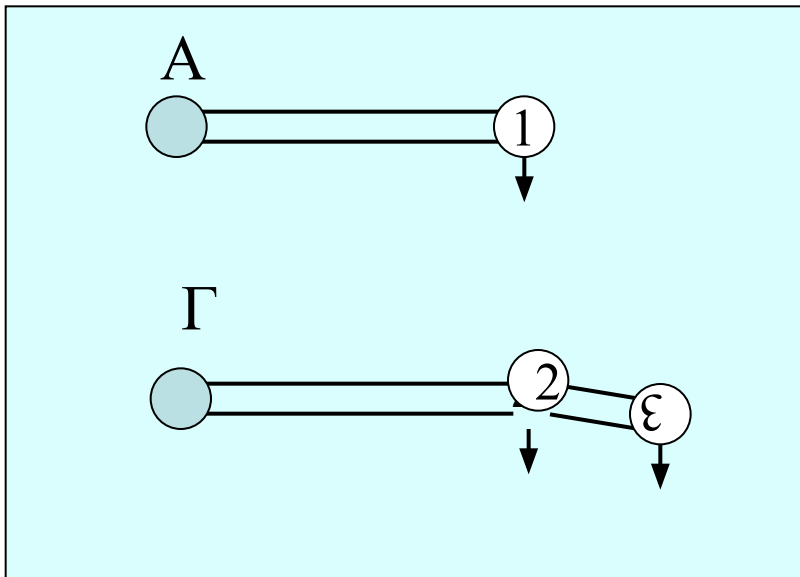
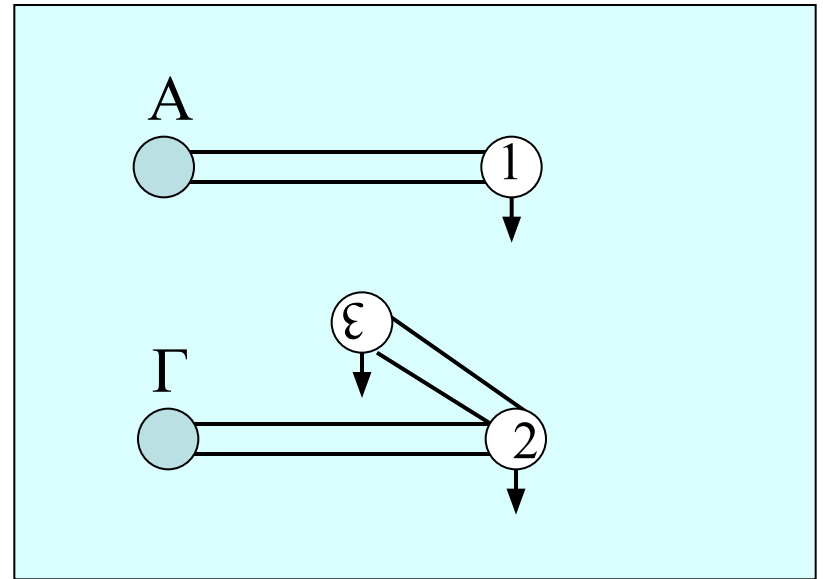
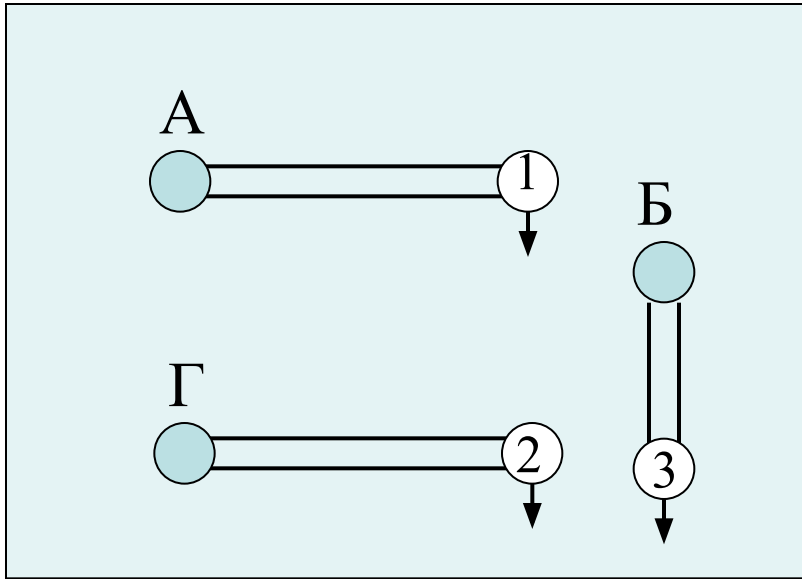
На этапе выбора вариантов схем к рассмотрению берутся схемы, имеющие минимальную суммарную длину ЛЭП

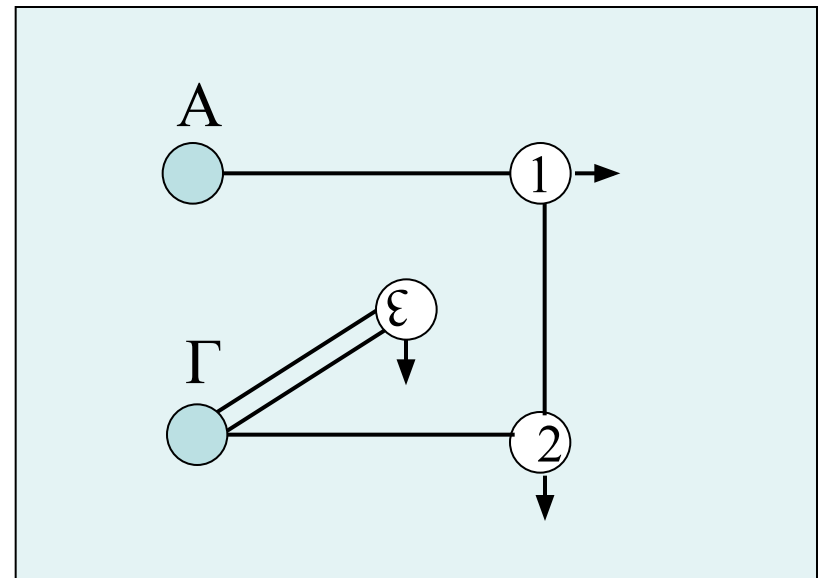
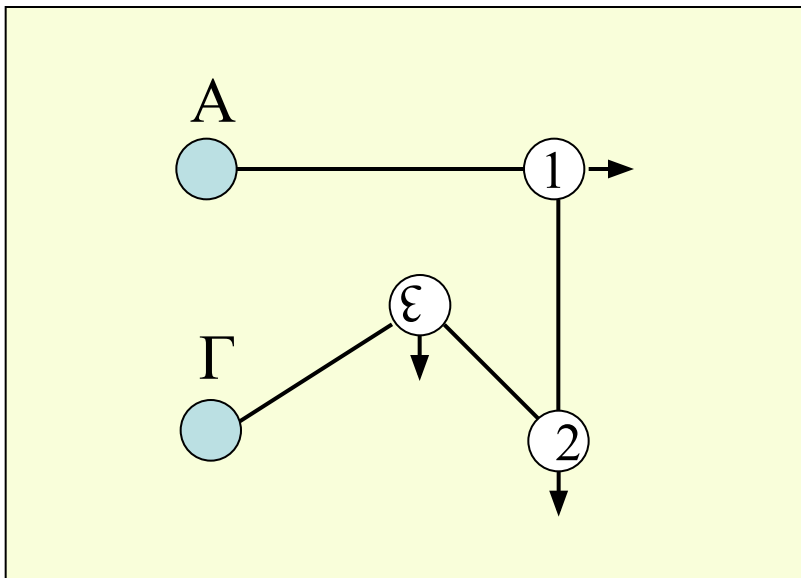
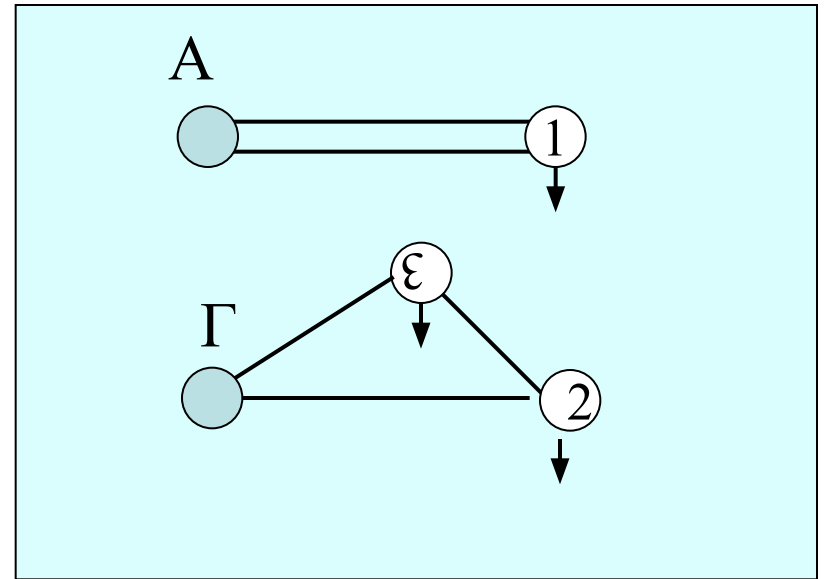
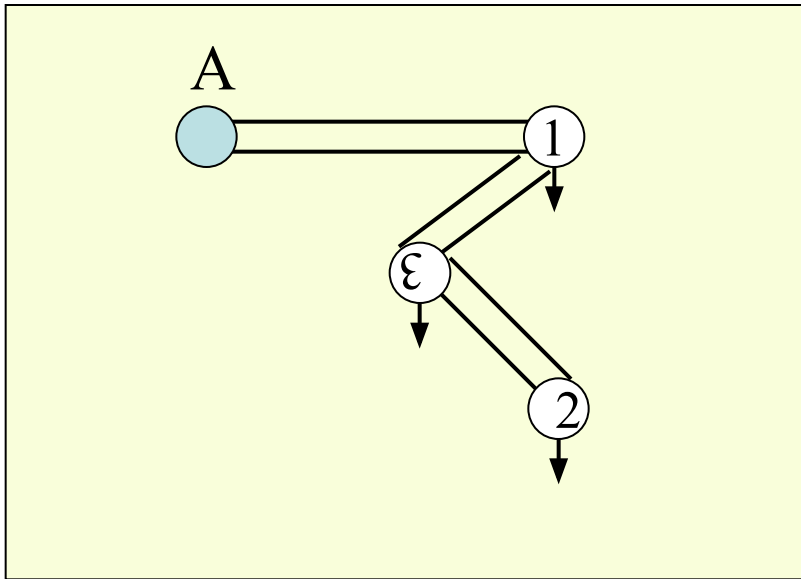
- **По типу присоединения к сети подстанции могут быть тупиковые или проходные.**
- **Отвечительные подстанции применять не следует.**

При выборе вариантов следует руководствоваться следующими соображениями:

- 1) передача электроэнергии от источника питания к пунктам ее потребления должна производиться, по возможности, по наикратчайшему пути, что предполагает снижение потерь мощности в сети;**
- 2) суммарная стоимость сооружаемых ЛЭП должна быть наименьшей, что приблизительно можно оценить по суммарной протяженности сооружаемых ЛЭП (протяженность двухцепных ЛЭП следует включать в сумму с весовым коэффициентом 1,5).**

Выбор вариантов схем соединения ЛЭП





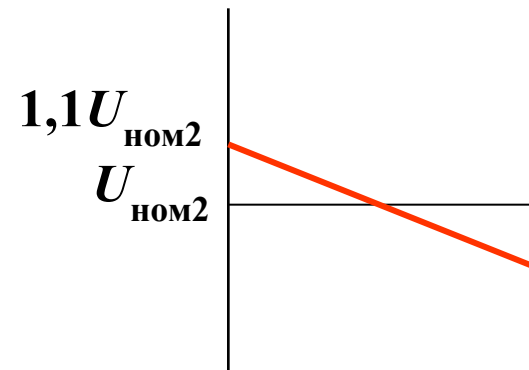
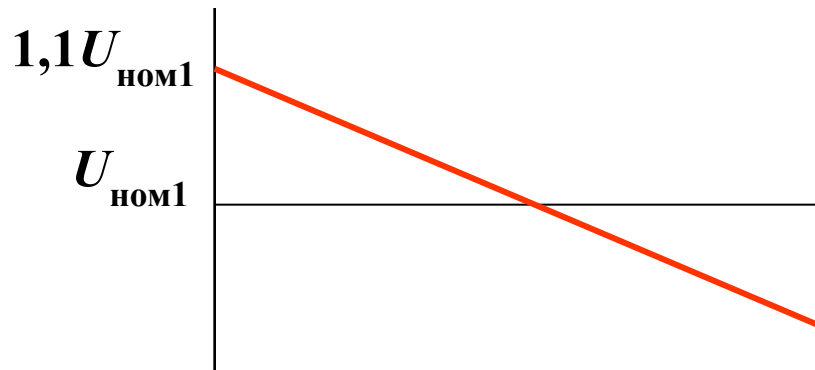
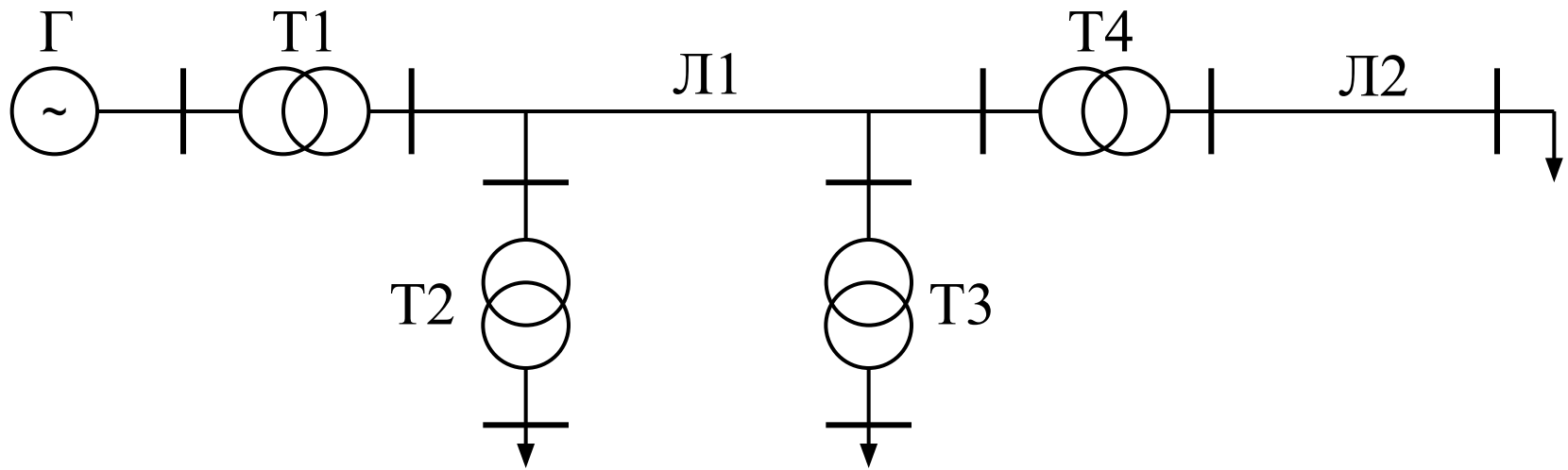
4.2 Выбор номинальных напряжений сооружаемых ЛЭП

$$U = 16 \cdot \sqrt[4]{P \cdot l} \quad \begin{array}{l} P - \text{на одну цепь (МВт)}, \\ l - \text{в км} \end{array}$$

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l} + \frac{2500}{P}}}$$

В кольцевой части сети преимущественно берут одинаковое номинальное напряжение ЛЭП.

Соотношение номинальных напряжений элементов сети



$$U_{\text{ном.потреб.}} = U_{\text{ном.сети}}$$

Первичные обмотки трансформаторов:

$$U_{\text{ном.Т1}} = U_{\text{ном.ген.}} = 1,05 U_{\text{ном.сети}}$$

$$U_{\text{ном.Т2,Т3,Т4}} = U_{\text{ном.сети}}$$

Вторичные обмотки трансформаторов:

$$U_{\text{ном.Т1,Т2,Т3,Т4}} = 1,1 U_{\text{ном.сети}} (1,05 U_{\text{ном.сети}})$$

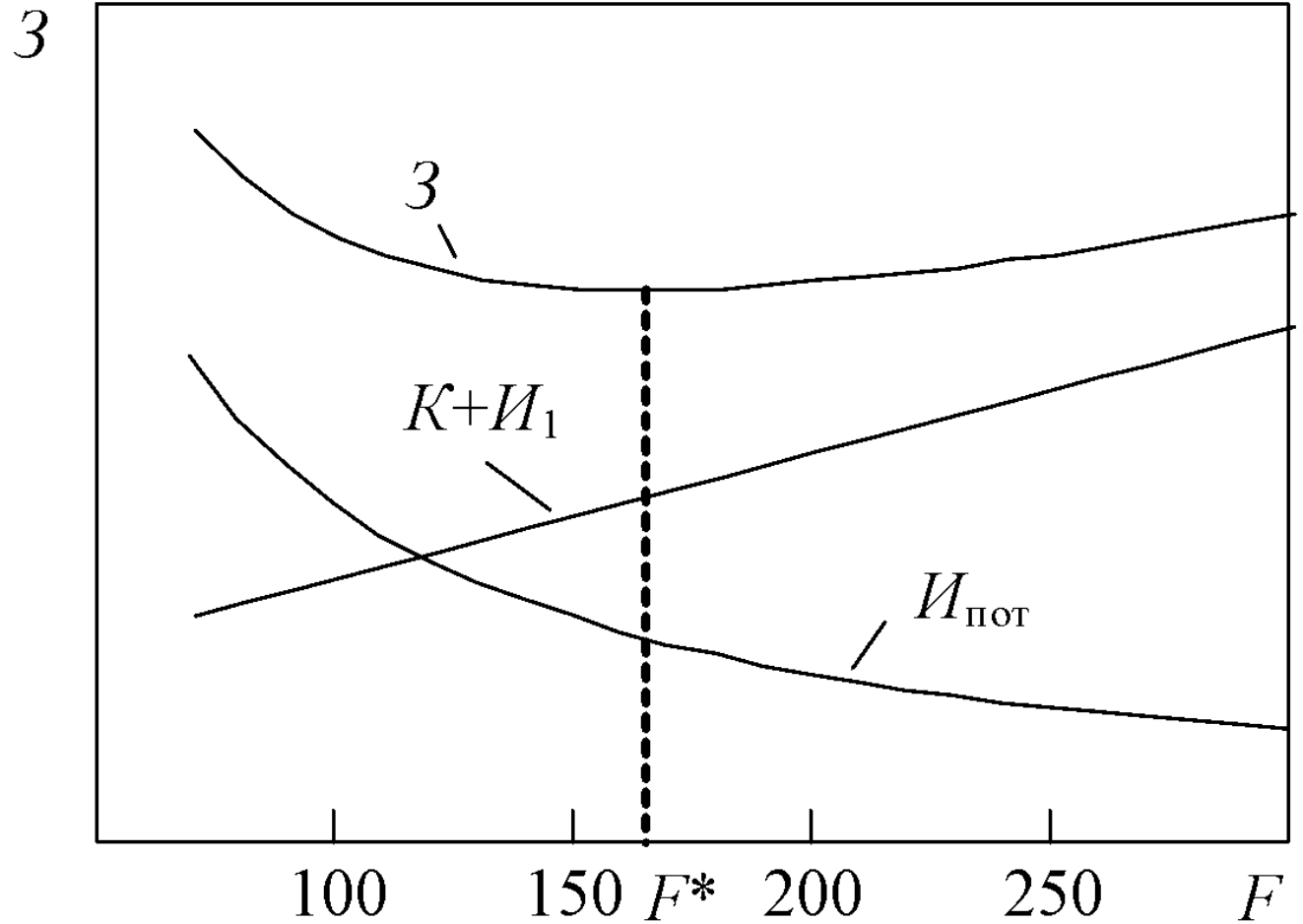
4.3 Выбор сечений проводов сооружаемых ЛЭП

- 1. Выбор сечений проводов производится из условия нормального максимального режима электрической сети.**
- 2. Расчетная нагрузка потребителей берется на пятый год эксплуатации.**
- 3. При проектировании ВЛ напряжением до 500 кВ включительно выбор сечения проводов производится по нормированным обобщенным показателям.**

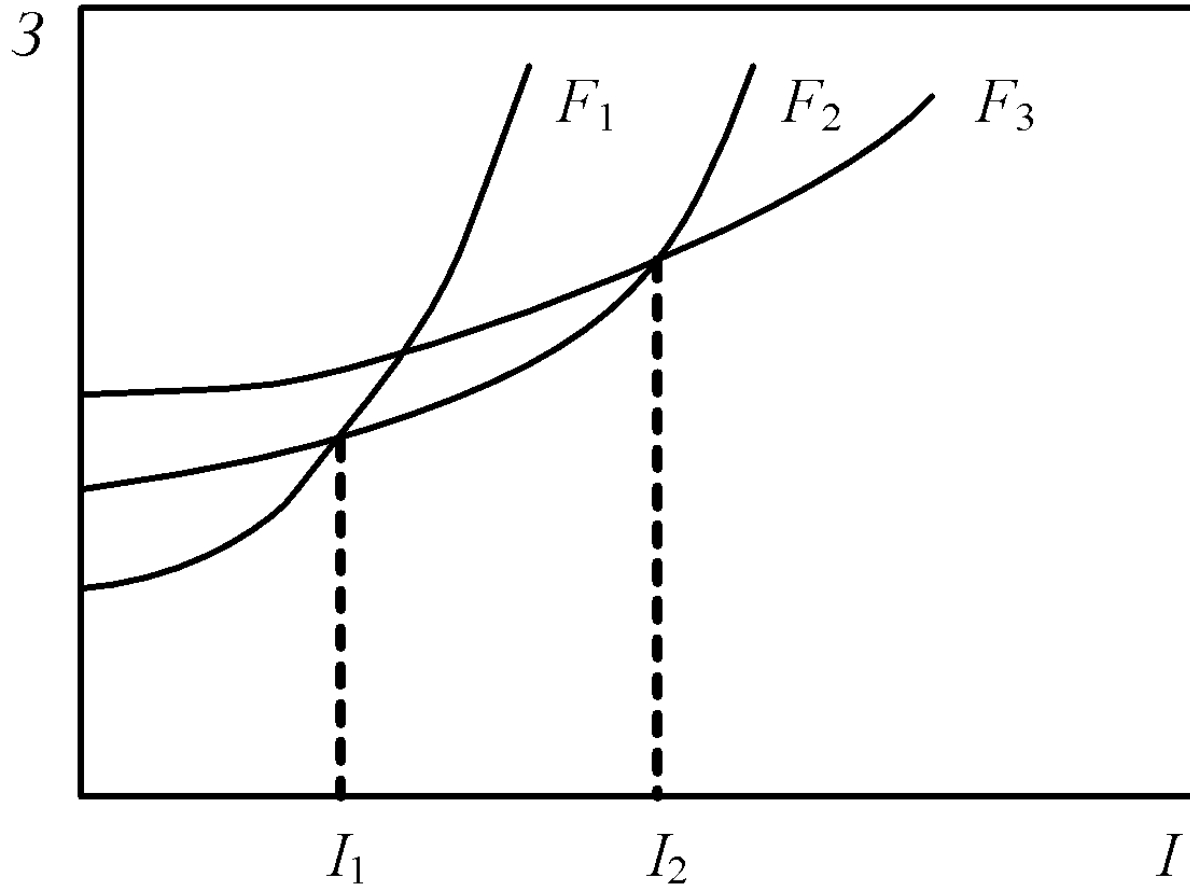
В качестве таких показателей используются нормированные значения экономической плотности тока

$$3(F) = K(F) + \mathcal{I}_1(F) + \mathcal{I}_{\text{ПOT}}(F) = 3_K + 3_{\Delta\mathcal{E}}$$

$$R = \rho \frac{l}{F}$$



Экономические токовые интервалы



Каждая кривая построена для одного конкретного значения сечения провода: $F_1 < F_2 < F_3$

Методика выбора сечений проводников по нормированным значениям экономической плотности тока

$$F = \frac{I_p}{j_H}$$

где I_p – расчетный ток, А;
 j_H – нормированная плотность тока,
А/мм².

$$I_p = I_5 \alpha_i \alpha_T$$

где I_5 – ток линии на пятый год ее эксплуатации в нормальном режиме, определяемый по расчетным потокам мощности.

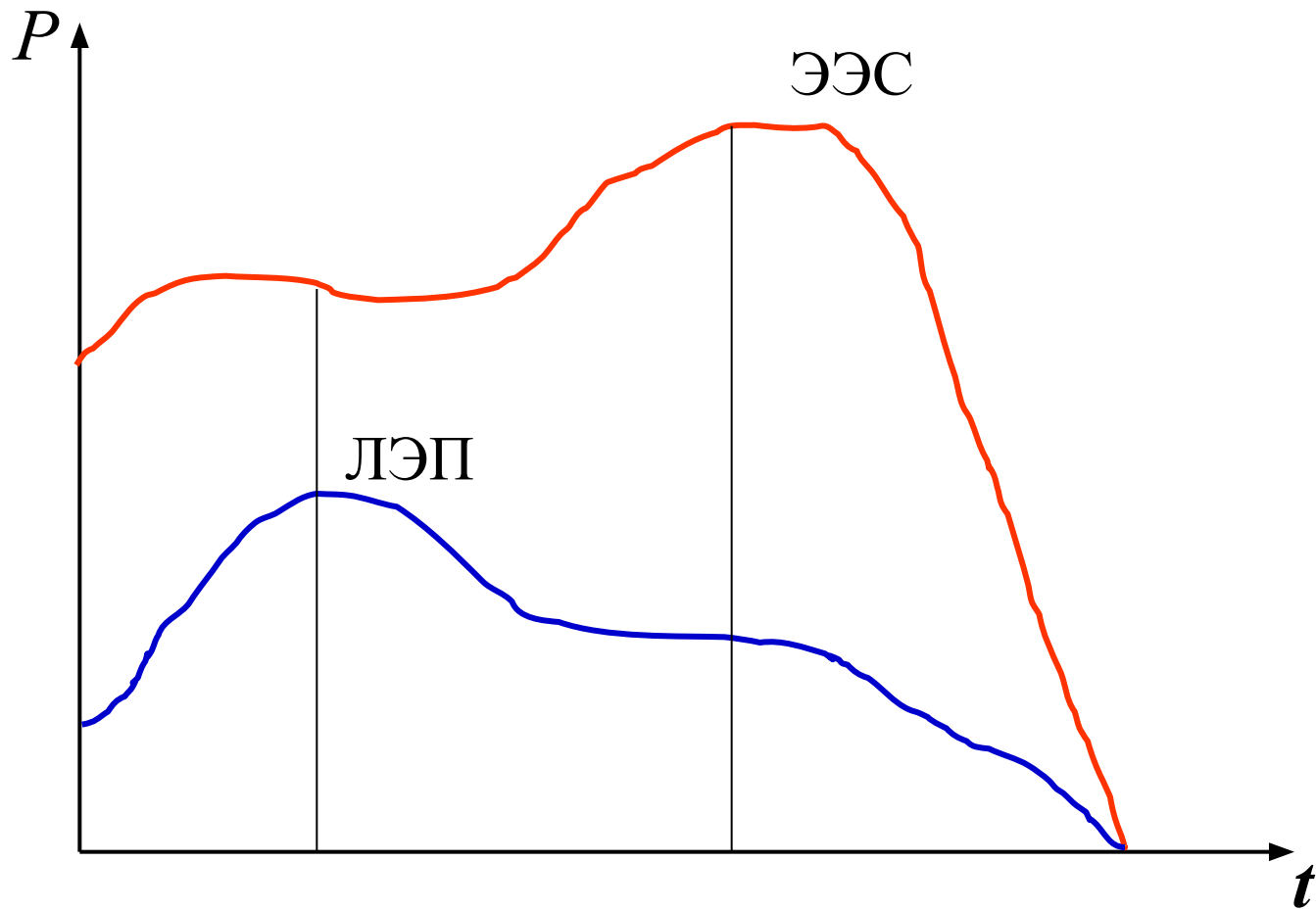
$$I_5 = \frac{S_5}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}$$

Потоки мощности на пятый год эксплуатации - S_5 определяются расчетом приближенного потокораспределения в линиях.

α_i – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии. Для линий 110...220 кВ значение α_i может быть принято 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 ВЛ (T_{\max}) и коэффициент K_M , который отражает участие нагрузки ВЛ в максимуме энергосистемы

Пояснение K_M



Усредненные значения коэффициента α_T

Напряжение ВЛ, кВ	Коэффициент участия в максимуме энергосистемы, K_m	Значение коэффициента при числе часов использования максимума нагрузки, T_{max} , ч/год		
		до 4000	4000-6000	более 6000
35...330	1,0	0,8	1,0	1,3
	0,8	0,9	1,2	1,6
	0,6	1,1	1,5	2,2

Состав нагрузки сооружаемых подстанций, %

(для всех вариантов одинаковы)

Подстанция	Максимальная активная мощность, МВт	Состав нагрузки					
		Осветительная нагрузка	Промышленная 1-сменная	Промышленная 2-сменная	Промышленная 3-сменная	электрифицированный транспорт	Сельскохозяйственное производство
1	до 40	15	15	20	-	40	10
	с 41 до 50	15	10	10	15	40	10
	свыше 50	20	10	20	20	30	-
2	до 40	20	20	30	10	-	20
	с 41 до 50	20	30	20	20	-	10
	свыше 50	15	20	15	30	-	20
3	до 10	40	-	-	-	-	60
	свыше 10	40	15	-	-	-	45

Потребители электроэнергии	Коэффициент K_{Mi}
Осветительно-бытовая нагрузка	1,0
Промышленные предприятия:	
трехсменные	0,85
двухсменные	0,7 - 0,75
односменные	0,1 - 0,15
Электрифицированный транспорт	1,0
Сельскохозяйственное производство	0,7 - 0.75

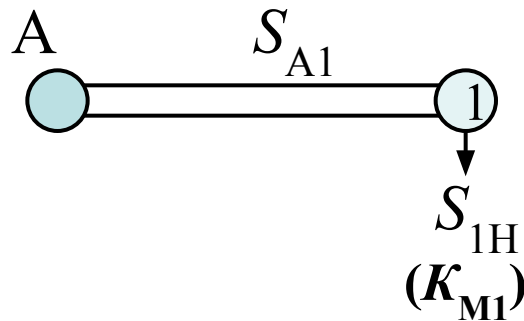
Пример расчета K_M

Пусть мощность подстанции 1 равна 45 МВт

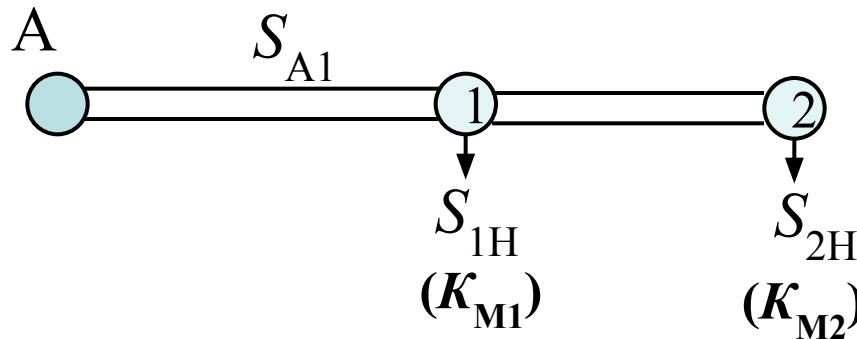
$$K_M = \frac{15 \cdot 1 + 15 \cdot 0,85 + 10 \cdot 0,75 + 10 \cdot 0,15 + 40 \cdot 1 + 10 \cdot 0,75}{100}$$

Результат $K_M = 0,843$

Определение K_M для ЛЭП

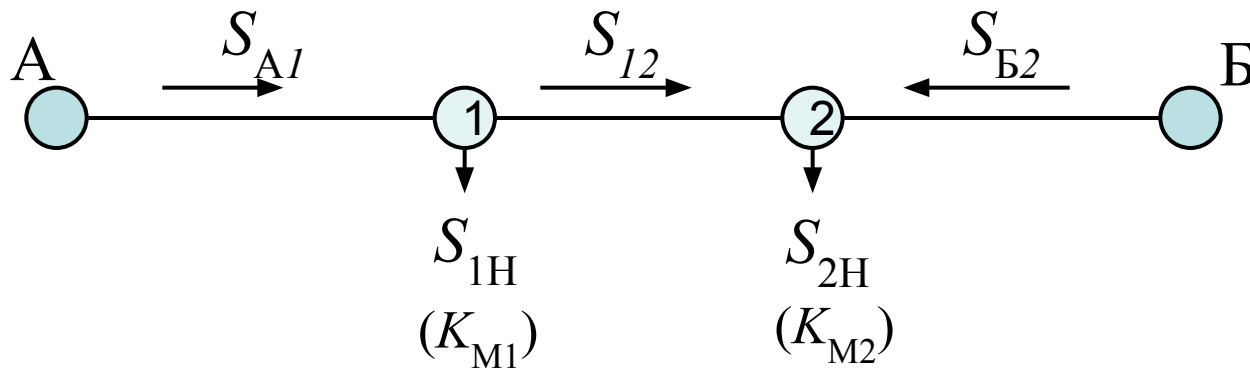


$$K_{MA1} = K_{M1}$$



$$K_{MA1} = \frac{S_{1H} K_{M1} + S_{2H} K_{M2}}{S_{1H} + S_{2H}}$$

Определение K_M для ЛЭП



$$K_{MB2} = K_{M2}$$

$$K_{M12} = K_{M2}$$

$$K_{MA1} = \frac{S_{12}K_{M2} + S_{1H}K_{M1}}{S_{A1}}$$

Нормированные значения плотности тока для ВЛ

 j_n

Проводники	Плотность тока, А/мм ² , при числе часов использования максимума нагрузки, T _{max} , ч/год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины: медные алюминиевые	2,0 1,0	1,7 0,9	1,4 0.8

Методика выбора сечений проводников по нормированным значениям экономической плотности тока

$$F = \frac{I_p}{j_H}$$

где I_p – расчетный ток, А;
 j_H – нормированная плотность тока,
А/мм².

$$I_p = I_5 \alpha_i \alpha_T$$

Сечение, полученное в результате указанного расчета, округляется до ближайшего стандартного сечения.

Выбранное сечение провода линии подлежит обязательной проверке:

- **по нагреву в послеаварийном режиме;**
- **по условию снижения потерь на корону;**
- **по механической прочности провода и опор ВЛ.**

Выбранное сечение провода должно быть проверено по допустимой токовой нагрузке по нагреву $I_{\text{доп}}$:

$$I_{\text{р.н.}} \leq I_{\text{доп}}$$

где $I_{\text{р.н.}}$ – расчетный ток для проверки проводов по нагреву (при этом расчетными режимами могут являться нормальные или послеаварийные режимы)

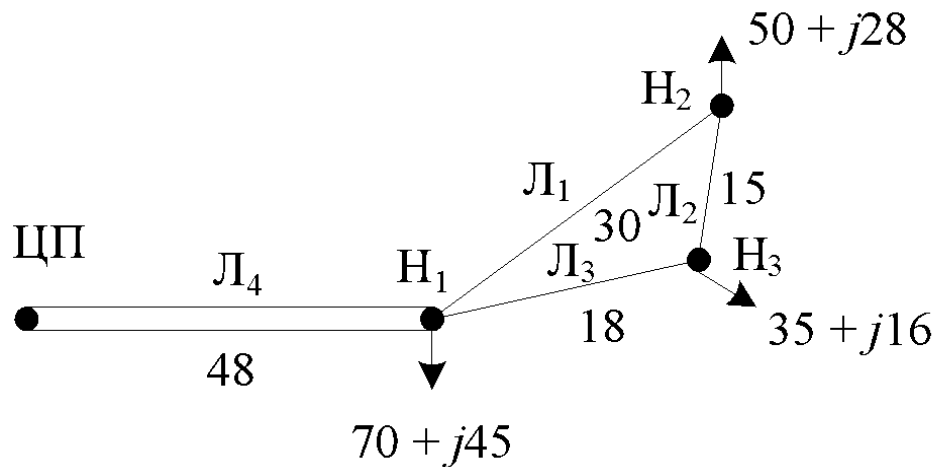
**Допустимые длительные токи для
неизолированных проводов марок АС и АСК,
применяемых на ВЛ 35...220 кВ (допустимая
температура нагрева +70° С
при температуре воздуха +25° С)**

Сечение, (алюминий/сталь) мм ²	35/6,2	50/8	70/11	95/16	120/19	150/24	185/29	240/39	300/48	330/27
Ток, А	175	210	265	330	390	450	510	610	690	730

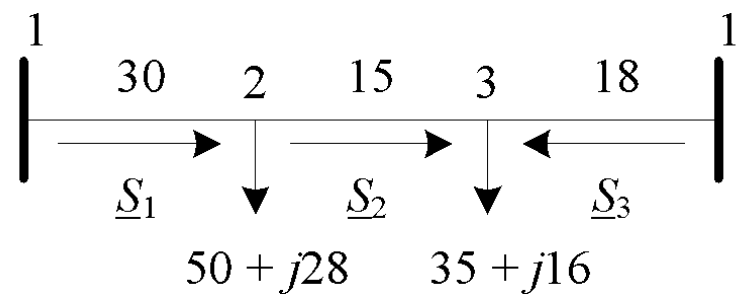
Сечение, (алюминий/сталь) мм ²	400/18	400/51	400/69	500/26	500/64
Ток, А	830	825	860	330	945

Расчетная температура воздуха, С°	Нормированная температура провода, С°	Поправочные коэффициенты при фактической температуре воздуха, С°											
		-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
25	70	1,29	1,24	1,2	1,15	1,11	1,05	1,0	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67

Определение максимального послеаварийного тока



a



б

$$I_{ав1} = I_{ав3} = \frac{|\underline{S}_{H2} + \underline{S}_{H3}|}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}};$$

$$I_{ав3} = \frac{\max(|\underline{S}_{H2}|, |\underline{S}_{H3}|)}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}};$$

$$I_{ав4} = 2I_{5max}$$

Минимальный диаметр проводов ВЛ по условиям короны, мм

Напряжение ВЛ, кВ	Фаза с проводами	
	одинокими	расщепленными
110	11,4 (АС 70/11)	-
150	15,2 (АС 120/19)	-
220	21,6 (АС 240/39)	-
330	33,2 (АС 600/72)	3x17,1 (3xАС 150/24) 2x21,6 (2xАС 240/39)
500	-	3x24,5 (3xАС 300/66) 2x36,2 (2xАС 700/86)

Минимально допустимые сечения неизолированных проводов по условиям механической прочности для ВЛ свыше 1 кВ

Характеристика ВЛ	Сечение проводов, мм ²			
	алюминиевых и нетермообра- ботанного алюминиевого сплава	из термообра- ботанного алюминиевого сплава	сталеалю- миниевых	стальные Х
ВЛ без пересечений в районах по гололеду:				
до II	70	50	35/6,2	35
в III-IV	95	50	50/8	35
в V и более	-	-	70/11	35
Пересечения ВЛ с судоходными реками и инженерными сооружениями в районах по гололеду:				
до II	70	50	50/8	35
в III-IV	95	70	50/8	50
в V и более	-	-	70/11	50
ВЛ, сооружаемые на двухцепных или многоцепных опорах:				
до 20 кВ	-	-	70/11	-
35 кВ и выше	-	-	120/19	-

Максимально возможные сечения проводов из условия механической прочности унифицированных опор составляют:

- **для ВЛ-35 кВ – 150 мм²;**
- **для ВЛ-110 кВ – 240 мм²;**
- **для ВЛ-220 кВ – 500 мм².**