

# Глава 9

## Элементы проектирования систем распределения электрической энергии

§1 Выбор номинального напряжения.

§2 Определение сечения проводов и кабелей по экономической плотности тока.

§3 Определение сечения линий в распределительных сетях по допустимой потере напряжения.

§4 Проверка сечения проводов и кабелей по условиям допустимого нагрева.

§5 Выбор аппаратов защищающих сеть от перегрева.

# §1 Выбор номинального напряжения

При повышении номинального напряжения:

- снижаются потери мощности и электроэнергии;
- снижаются эксплуатационные расходы;
- уменьшаются сечения проводов;
- уменьшаются затраты металла на сооружение линий;
- растут предельные мощности, передаваемые по линиям;
- облегчается будущее развитие сети;
- увеличиваются капитальные вложения на сооружение сети.

Сеть меньшего номинального напряжения:

- требует, меньших капитальных затрат;
- приводит к большим эксплуатационным расходам из-за роста потерь мощности и электроэнергии;
- обладает меньшей пропускной способностью.

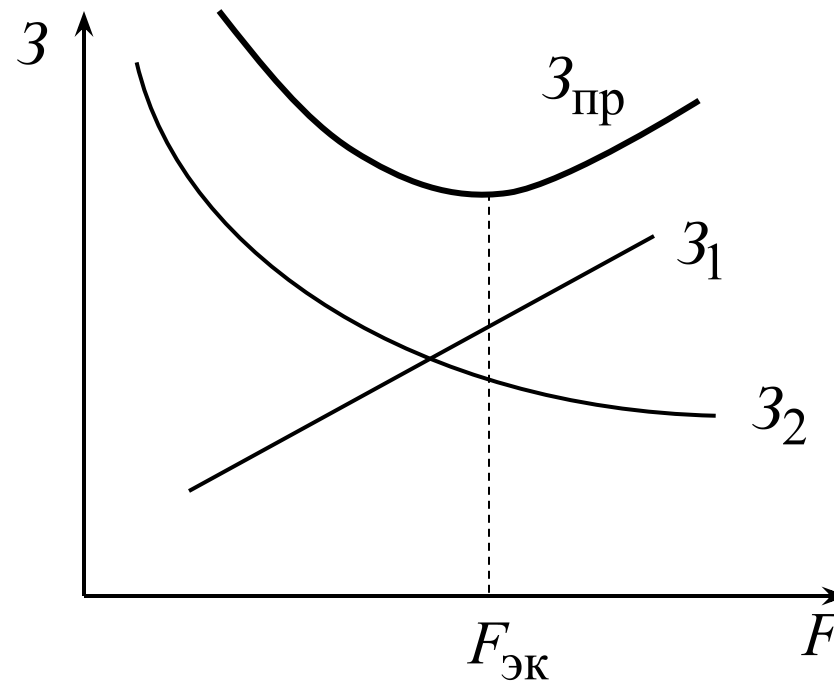
Экономически целесообразное номинальное напряжение зависит от многих факторов:

- мощности нагрузок;
- удаленности потребителей от источников питания;
- расположения электроприемников относительно друг друга;
- выбранной конфигурации электрической сети;
- способов регулирования напряжения и др.

Номинальное напряжение можно приближенно оценить одним из следующих способов:

- по графикам зависимости напряжения от передаваемой активной мощности и длины линии,  $U=f(P,L)$ ;
- по эмпирическим выражениям;
- по таблицам пропускной способности и дальности передачи линии.

## §2 Определение сечения проводов и кабелей по экономической плотности тока



$$J_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{нб}}}{F_{\text{эк}}}$$

$$J_{\text{эк}} = f(\text{вида проводника}, T_{\text{нб}})$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{нб}}}{J_{\text{эк}}}$$

По экономической плотности тока выбирают сечения:

- кабельных линий при  $U_{\text{н}} > 1$  кВ;
- воздушных линий 6–20 кВ.

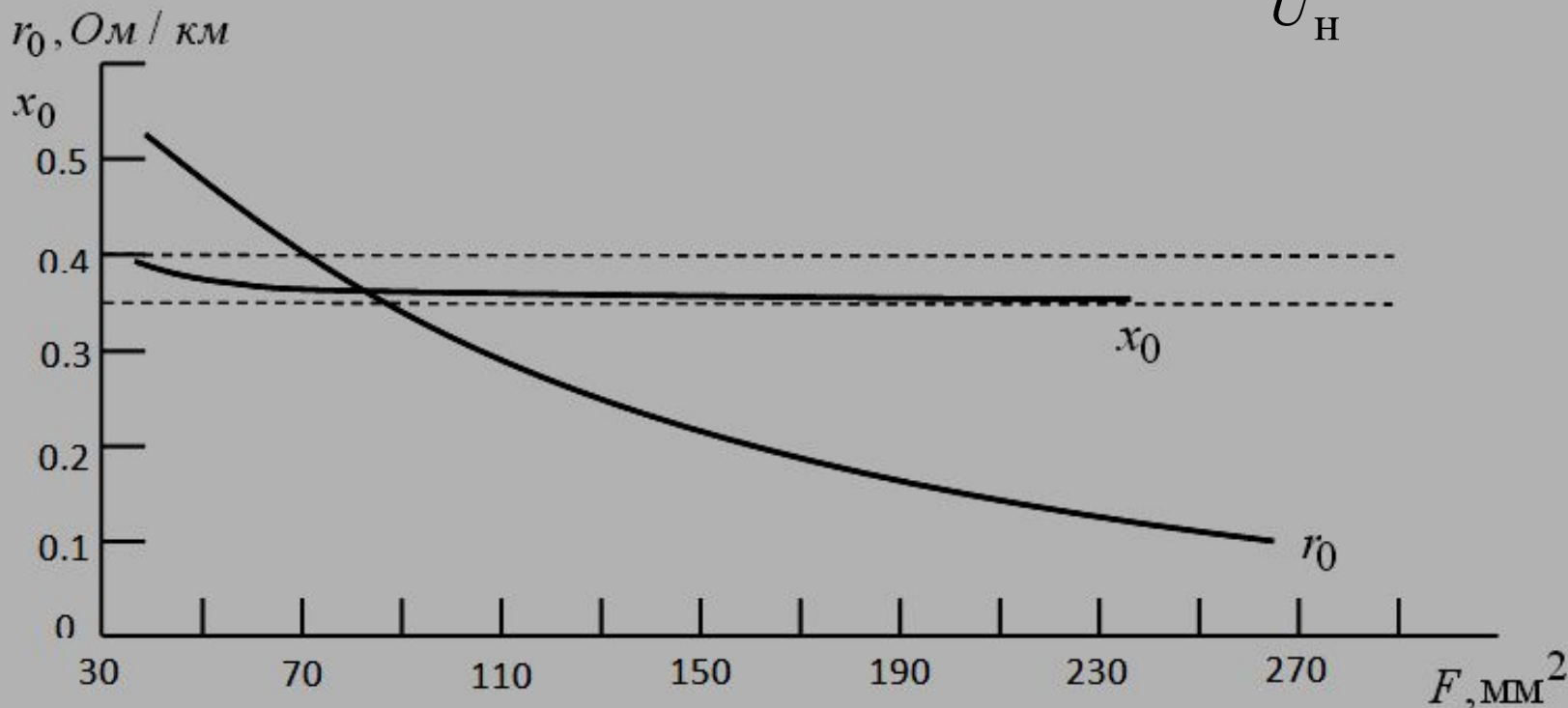
Сечение проводов и кабелей, выбранное по экономической плотности тока, проверяют:

- по нагреву;
- по допустимой потере напряжения;
- по механической прочности.

### §3 Определение сечения проводов и кабелей по допустимой потере напряжения

Допустимые потери напряжения в распределительной сети – это такие потери напряжения, при которых в результате регулирования напряжения отклонения напряжения на зажимах всех ЭП не выходят за пределы предусмотренных ГОСТом технически допустимых значений.

$$\Delta U_{\text{нб}} \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad \Delta U_{\text{нб}} = \frac{P_{\Sigma} r_c + Q_{\Sigma} x_c}{U_{\text{н}}}$$



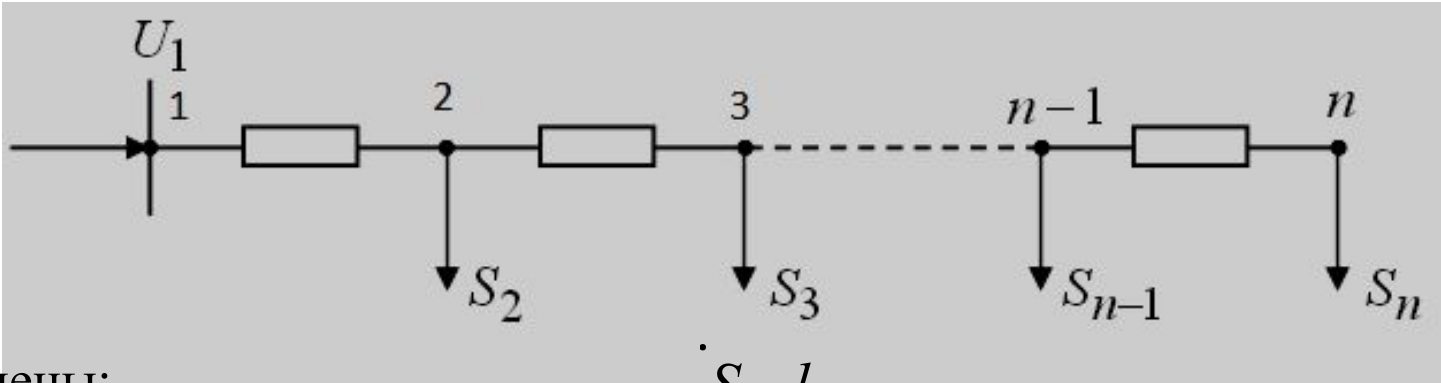
Для сети с несколькими участками нельзя однозначно выбрать сечения участков по  $\Delta U_{\text{доп}}$

Для однозначности выбора накладываются дополнительные условия, косвенно отражающие условия экономичности:

- неизменность сечения по всем участкам;
- плотность тока на всех участках одинакова, что соответствует минимуму потерь мощности в линии.
- минимальный расход проводникового материала.

# 1. Выбор сечения из условия его равенства на всех участках линии, $F_{kj} = Const = F$ .

Это условие используется при выборе сечения проводов и кабелей в городских электрических сетях.



Определены:  $r_{kj}, x_{kj}$  известны.  $S_k, l_{kj}, \Delta U_{доп}$ .  
 - конструкция линии;   
 - марки проводов.   
 Определить:  $F$

$$\Delta U_{нб} = \sum_{k=1}^n \sum_{j=2}^n \frac{P_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}}{U_{н}} = \underbrace{\frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=2}^n P_{kj} r_{kj}}{U_{н}}}_{\Delta U_{доп.а}} + \underbrace{\frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=2}^n Q_{kj} x_{kj}}{U_{н}}}_{\Delta U_{доп.р}} = \Delta U_{доп}$$



$$\Delta U_{\text{доп}} = \Delta U_{\text{доп.а}} + \Delta U_{\text{доп.р}}$$

### Порядок расчета:

а) задаем значение  $x_0$  : для воздушных линий  $x_0 = 0,4$  Ом/км, а для кабельных линий 6–10 кВ и до 1 кВ – 0,09 и 0,06 Ом/км соответственно;

б) находим

$$\Delta U_{\text{доп.р}} = \frac{\sum_{k=1}^n Q_{kj} x_0 l_{kj}}{U_{\text{н}}}$$

в) находим  $\Delta U_{\text{доп.а}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{доп.р}}$

$$\Delta U_{\text{доп.а}} = \frac{\sum_{k=1}^n P_{kj} r_0 l_{kj}}{U_{\text{н}}} \quad r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{1}{\gamma F}$$

$$\Delta U_{\text{доп.а}} = \frac{\sum_{k=1}^n P_{kj} l_{kj}}{U_{\text{н}} \gamma F} = \frac{1}{\gamma F} \sum_{k=1}^n \sum_{j=2}^n \sqrt{3} I_{kj} l_{kj} \cos \varphi_{kj}$$

г) определяем сечение проводов:

$$F = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=2}^n P_{kj} l_{kj}}{\gamma U_{\text{н}} \Delta U_{\text{доп.а}}} = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=2}^n \sqrt{3} I_{kj} l_{kj} \cos \varphi_{kj}}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{доп.а}}}$$

- д) - округляем найденное сечение до ближайшего стандартного;
- проверяем выполнение условия  $\Delta U_{\text{нб}} \leq \Delta U_{\text{доп}}$ ;
  - проверяем выбранное сечение по нагреву и механической прочности.

## 2. Выбор сечения из условия минимума потерь мощности

Минимум потерь мощности в линии соответствует постоянной плотности тока, т. е. при этом плотность тока на всех участках линии одинакова:

$$J_{\Delta U} = \frac{I_{kj}}{F_{kj}} = Const$$

Это дополнительное условие используется при выборе сечений проводов и кабелей в сетях систем электроснабжения промышленных предприятий.

### Порядок расчета:

- а) задаемся значением удельного реактивного сопротивления ;
- б) находим и ;
- в) находим плотность тока по допустимой потере напряжения  $\chi_0$

$$\Delta U_{\text{доп.р}} \quad \Delta U_{\text{доп.а}}$$

$$\Delta U_{\text{доп.а}} = \frac{1}{\gamma F_{kj}} \sum_{\substack{k=1 \\ j=2}}^n \sqrt{3} I_{kj} l_{kj} \cos \varphi_{kj} = \frac{1}{\gamma} J_{\Delta U} \sqrt{3} \sum_{\substack{k=1 \\ j=2}}^n l_{kj} \cos \varphi_{kj}$$

$$J_{\Delta U} = \frac{\Delta U_{\text{доп.а}} \gamma}{\sqrt{3} \sum_{\substack{k=1 \\ j=2}}^n l_{kj} \cos \varphi_{kj}}$$

г) определяем расчетные сечения:  $F_{kj} = \frac{I_{kj}}{J_{\Delta U}}$

д) расчетные сечения округляем до ближайших стандартных. Определяем активное и реактивное сопротивления на участках линии  $r_{kj}, x_{kj}$ .

е) рассчитываем наибольшую потерю напряжения, используя параметры линии, выполненной проводами найденных сечений, и проверяем, удовлетворяют ли выбранные стандартные сечения требованию  $\Delta U_{\text{нб}} \leq \Delta U_{\text{доп.}}$

ж) проверяем выбранные сечения по нагреву и механической прочности.

### 3. Выбор сечения из условия минимального расхода проводникового материала на сооружение линии

Это дополнительное условие используется в сельских сетях при малой их нагрузке, где экономия металла важнее, чем экономия потерь электроэнергии.

В случае  $n$  нагрузок сечение последнего  $(n-1)n$ -го участка линии определяется формулой:

$$F_{(n-1)n} = \frac{\rho \sqrt{P_{(n-1)n}}}{\Delta U_{\text{доп.а}} U_{\text{н}}} \sum_{k=1}^n \sum_{j=2} l_{kj} \sqrt{P_{kj}}$$

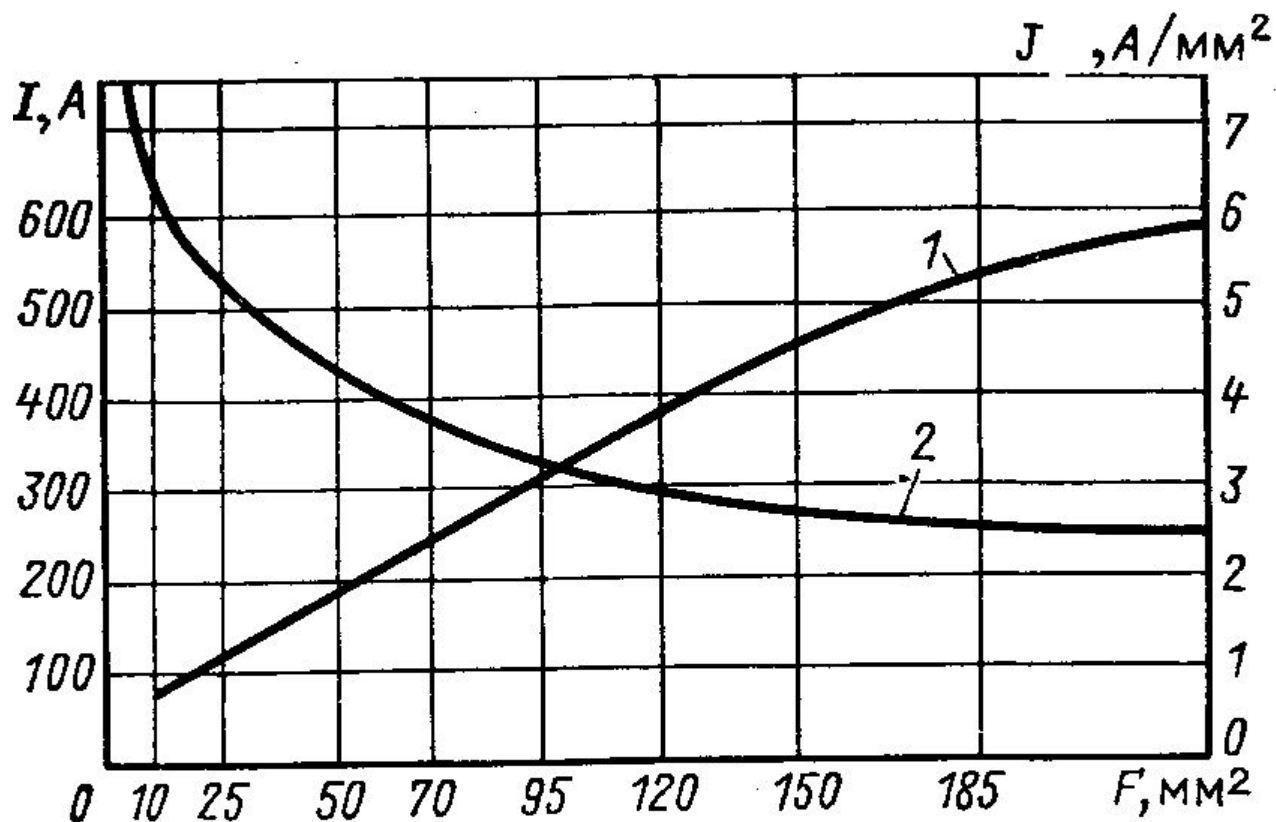
$$\frac{F_{12}^2}{P_{12}} = \frac{F_{23}^2}{P_{23}} = \dots = \frac{F_{(n-2)(n-1)}^2}{P_{(n-2)(n-1)}} = \frac{F_{(n-1)n}^2}{P_{(n-1)n}}$$

- расчетные сечения округляем до ближайших стандартных. Определяем активное и реактивное сопротивления на участках линии  $r_{kj}, x_{kj}$ .
- рассчитываем наибольшую потерю напряжения, используя параметры линии, выполненной проводами найденных сечений, и проверяем, удовлетворяют ли выбранные стандартные сечения требованию  $\Delta U_{\text{нб}} \leq \Delta U_{\text{доп.}}$ .
- проверяем выбранные сечения по нагреву и механической прочности.

## §4 Проверка сечения проводов и кабелей по условиям допустимого нагрева

**Допустимая температура** – это такая наибольшая температура, при которой провод или кабель сохраняет свои электрические и механические свойства.

**Допустимый ток** - это такой ток, при длительном протекании которого проводник нагревается до допустимой температуры.



При практических расчетах определяют значение допустимого тока по таблицам  $I_{\text{доп.т}}$ .

Величина длительно допустимого табличного тока для проводников зависит от:

- его материала;
- сечения;
- изоляции;
- условий охлаждения;
- режима работы линии и т. д.

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева токами нагрузки сравниваются расчетный  $I_p$  допустимый  $I_{\text{доп}}$  токи для проводника принятой марки и с учетом условий его прокладки.

При этом должно соблюдаться соотношение

$$I_p \leq I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.т}} k_{\theta} k_n$$

$$I_{\text{р}} = I \quad I_p = \sum_{i=1}^n K_{ci} I_{ni} \quad \theta_{\text{норм.в}} = 25^{\circ} \text{C} \quad \theta_{\text{норм.з}} = 15^{\circ} \text{C}$$

Для обеспечения нормальных условий работы линии и правильной работы защищающих аппаратов надо выбирать такое сечение провода, для которого допустимый ток удовлетворяет двум условиям:

- **Первое условие:**  $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{нб}}$ , где  $I_{\text{нб}}$  — наибольший из средних за полчаса токов данной линии. По этому условию проверяются ВЛ.

Для кабельных линий до 10 кВ можно превысить  $I_{\text{доп}}$  при перегрузках или авариях, если наибольший ток нагрузки линии в нормальном режиме был не более 80 % допустимого.

В послеаварийных режимах кабельных линий допускается перегрузка, определяемая условием:  $k_{\text{ав}} I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ав. нб}}$ , где  $k_{\text{ав}} = 1,1 \dots 1,5$  коэффициент перегрузки в аварийном режиме,  $I_{\text{ав. нб}}$  — наибольший ток в послеаварийном режиме.

- **Второе условие:**  $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н. защ. ап}} / k$ , где  $I_{\text{н. защ. ап}}$  — номинальный ток, защищающего линию от перегрева аппарата;  $k$  — коэффициент, равный 0,8 для городских сетей и 3 для сетей промышленных предприятий и силовых установок.

$$I_{\text{доп}} \geq 1,25 I_{\text{н.заш.ап}}$$

$$I_{\text{доп}} \geq 0,3 I_{\text{н.заш.ап}}$$



## §5 Выбор аппаратов, защищающих сеть от перегрева

Для защиты сетей напряжением до 1 кВ применяются:

- а) плавкие предохранители;
- б) автоматические выключатели;
- в) тепловые реле, действующие на магнитный пускатель или контакторы.

Для правильной работы защищающего аппарата его номинальный ток должен удовлетворять трем условиям:

1. В нормальном режиме:

$$I_{\text{н.защ.ап}} \geq I_{\text{раб.лин}} = \sum_{i=1}^n k_{ci} I_{\text{ни}}$$

2. В пусковом режиме, когда осуществляется пуск одного из  $n$  двигателей и в линии протекает наибольший кратковременный ток:

$$I_{\text{н.защ.ап}} \geq I_{\text{нб.крат}} = \sum_{i=1}^{n-1} k_{ci} I_{\text{ни}} + I_{\text{пуск}}$$

3. Защищающие аппараты должны работать селективно.