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.

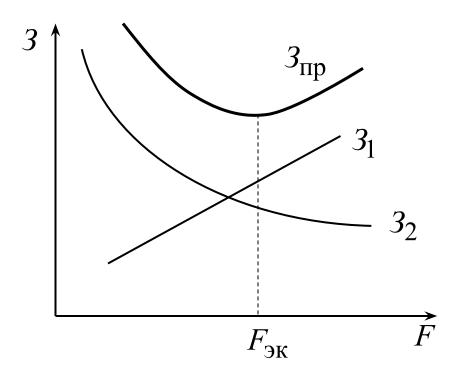
Экономически целесообразное номинальное напряжение зависит от многих факторов:

- 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 оценит 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



$$J_{
m ЭK}=rac{I_{
m Hf f O}}{F_{
m ЭK}}$$
 $J_{
m ЭK}=f\left($ вида проводника, $T_{
m Hf O}
ight)$ $F_{
m ЭK}=rac{I_{
m Hf O}}{J_{
m ЭK}}$

По экономической плотности тока выбирают сечения:

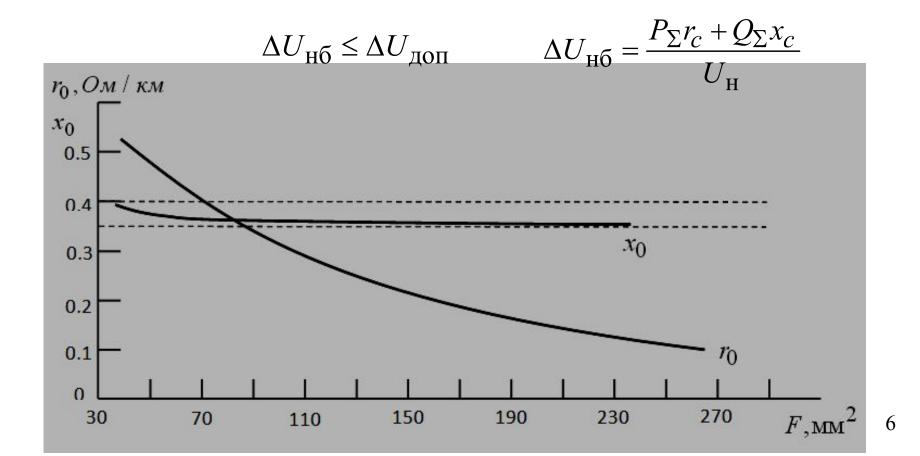
- кабельных линий при $U_{\rm H}^{~>1}$ кВ;
- воздушных линий 6–20 кВ.

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.



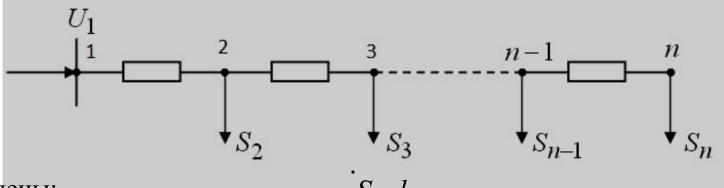
Для сети с несколькими участками нельзя однозначно выбрать сечения участков по $\cdot \! \Delta U_{\text{доп}}$

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, $F_{ki} = Const = F$.

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



Определены:

- конструкция линии;

известны. $S_k, l_{kj}, \Delta U_{\text{ДОП}}.$ Определить: F

- марки проводов.

$$\Delta U_{\rm H\delta} = \sum_{\substack{k=1\\j=2}}^{n} \frac{P_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}}{U_{\rm H}} = \underbrace{\frac{\sum_{k=1}^{n} P_{kj} r_{kj}}{U_{\rm H}}}_{= \underbrace{\frac{j=2}{U_{\rm H}}}_{\downarrow} + \underbrace{\frac{\sum_{k=1}^{n} Q_{kj} x_{kj}}{U_{\rm H}}}_{\Delta U_{\rm ДОП.p}} = \Delta U_{\rm ДОП.p}$$

$$\Delta U_{\rm доп} = \Delta U_{\rm доп.a} + \Delta U_{\rm доп.p}$$

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

$$\Delta U_{\text{доп.p}} = \frac{\sum\limits_{k=1}^{n} Q_{kj} x_0 l_{kj}}{U_{\text{H}}}$$

в) находим $\Delta U_{\text{доп.a}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{доп.p}}$

$$\sum_{k=1}^{n} P_{kj} r_0 l_{kj}$$

$$\Delta U_{\text{доп.a}} = \frac{j=2}{U_{\text{H}}}$$

$$r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{1}{\gamma F}$$

$$\Delta U_{\text{ДОП.a}} = \frac{\sum_{k=1}^{n} P_{kj} l_{kj}}{U_{\text{H}} \gamma F} = \frac{1}{\gamma F} \sum_{\substack{k=1 \ j=2}}^{n} \sqrt{3} I_{kj} l_{kj} \cos \varphi_{kj}$$

г) определяем сечение проводов:

$$F = \frac{\sum\limits_{k=1}^{n} P_{kj} l_{kj}}{\gamma U_{\text{H}} \Delta U_{\text{Доп.a}}} = \frac{\sum\limits_{k=1}^{n} \sqrt{3} I_{kj} l_{kj} \cos \varphi_{kj}}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{Доп.a}}}$$

- д) округляем найденное сечение до ближайшего стандартного;
 - проверяем выполнение условия $\Delta U_{\mathrm{H} \tilde{\mathrm{O}}} \leq \Delta U_{\mathrm{ДО\Pi}};$
 - 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:

 $J_{\Lambda U} = \frac{I_{kj}}{F_{kj}} = Const$ 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 x_0

$$\Delta U_{
m доп.p}$$
 $\Delta U_{
m доп.a}$

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

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

$$\frac{\sqrt{3} \sum_{k=1}^{n} l_{kj} \cos \varphi_{kj}}{\frac{1}{\sqrt{3} \sum_{k=1}^{n} l_{kj} \cos \varphi_{kj}}}$$

- г) определяем расчетные сечения: $F_{kj} = \frac{I_{kj}}{J_{\Lambda U}}$
- 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 $\Delta U_{
 m H \bar 0} \leq \Delta U_{
 m Д O \Pi}$. 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 загрузке, где экономия металла важнее, чем экономия потерь электроэнергии.

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

$$F_{(n-1)n} = \frac{\rho \sqrt{P_{(n-1)n}}}{\Delta U_{\text{ДОП.a}} U_{\text{H}}} \sum_{k=1}^{n} l_{kj} \sqrt{P_{kj}}$$

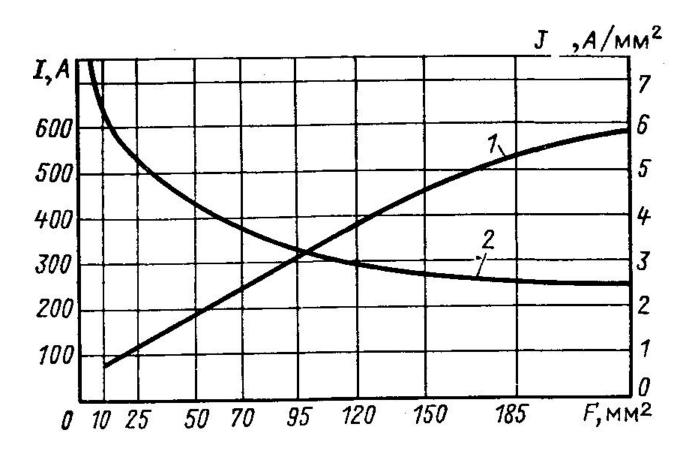
$$\frac{F^{2}_{12}}{P_{12}} = \frac{F^{2}_{23}}{P_{23}} = \mathbb{X} = \frac{F^{2}_{(n-2)(n-1)}}{P_{(n-2)(n-1)}} = \frac{F^{2}_{(n-1)n}}{P_{(n-1)n}}$$

- 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 $\Delta U_{
 m H \bar 0} \leq \Delta U_{
 m Д O \Pi}$.
 - 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_{D} допустимый $I_{\mathrm{ДОП}}$ проводника принятой марки и с учетом условий его прокладки.

При этом должно соблюдаться соотношение

При этом должно соблюдаться соотношение
$$I_p \leq I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.т}} k_{\theta} k_n$$
 $I_p = I$ $I_p = \sum_{i=1}^n K_{\text{с}i} I_{\text{H}i}$ $\theta_{\text{норм.в}} = 25^{\text{∞}} C$ $\theta_{\text{норм.3}} = 15^{\text{∞}} C$

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: $I_{\text{доп}} \ge I_{\text{Ho}}^{\text{где}}$, $I_{\text{но}}$ наибольший из средних за полчаса токов данной линии. По этому условию проверяются ВЛ.

Для кабельных линий до 10 кВ можно превысить $I_{\text{ДОП}}^{\text{при}}$ 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: $k_{aB}I_{\text{доп}}$ где $I_{aB.\ Ho}$, $k_{aB}=1,1...1,5$ коэффициент перегрузки в аварийном режиме, $I_{aB.\ Ho}$ наибольший ток в послеаварийном режиме.

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

$$I_{\text{доп}} \ge 1,25 I_{\text{н.защ.ап}}$$

$$I_{\text{доп}} \ge 0,3I_{\text{н.защ.ап}}$$

§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: $I_{\text{H.3aiji.aii}} \geq I_{\text{paб.лин}} = \sum_{i=1}^{n} k_{\text{c}i} I_{\text{H}i}$
- 2. В пусковом режиме, когда осуществляется пуск одного из n двигателей и в линии протекает наибольший кратковременный ток:

$$I_{\text{H.3ащ.ап.}} \ge I_{\text{Hб.крат}} = \sum_{i=1}^{n-1} k_{\text{с}i} I_{\text{H}i} + I_{\text{пуск}}$$

3. Защищающие аппараты должны работать селективно.