

# Лекционные материалы

## Дисциплина «Электроэнергетические системы и сети»

Разработаны доцентом кафедры «Электроэнергетические системы»  
ВятГУ Вычегжаниным А.В.

## Особенности расчета «местных» сетей

---

- Характеристика «местных» сетей.
- Упрощения, принимаемые при расчетах «местных» сетей.
- Методика расчета сети по допустимой потере напряжения.
- Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой.

## Характеристика «местных» сетей

- Распределительные (**местные**) электрические сети – это сети с воздушными линиями напряжением **35 кВ** и ниже и кабельными линиями **10 кВ** и ниже.
- Они содержат большое количество линий, трансформаторов и узлов нагрузок, что делает расчеты их режимов объемными.
- Вместе с тем такие сети имеют ряд особенностей, учет которых позволяет существенно упростить расчет их режимов.

## Упрощения, принимаемые при расчетах «местных» сетей

**1. Проводимостью линии пренебрегают вообще, так как при небольших длинах сетей и сравнительно невысоких напряжениях ее влияние на результаты расчетов незначительно.**

## Упрощения, принимаемые при расчетах «местных» сетей

**2.** В большинстве случаев напряжение в отдельных точках сети и у потребителей не определяют, **ограничиваясь лишь расчетом потерь напряжения** и сравнением его с допустимой величиной. При необходимости расчет напряжений в узлах ведется по потере напряжения, которую определяют по номинальному напряжению, т.е. пренебрегают поперечной составляющей падения напряжения.

## Упрощения, принимаемые при расчетах «местных» сетей

**3. Сопротивления и проводимости трансформаторов также не учитывают.** При этом полагают, что потери напряжения в трансформаторах уже отражены задаваемыми допустимыми значениями потерь напряжения в сети. Потери холостого хода и потери в обмотках учитываются лишь при подсчете потерь активной мощности и электроэнергии во всей сети.

## Упрощения, принимаемые при расчетах «местных» сетей

**4.** При расчете потоков мощности допустимо не учитывать потери мощности в сопротивлениях линий. При этом считают, что мощность в конце и начале линии одинакова. Данное допущение эквивалентно тому, что величины напряжения во всех узлах сети одного номинального напряжения имеют одинаковые значения. Однако потери мощности в линиях обязательно учитываются при оценке потерь мощности и энергии в сети.

## Упрощения, принимаемые при расчетах «местных» сетей

**5.** В некоторых случаях при расчете кабельных сетей пренебрегают их индуктивными сопротивлениями, так как они малы по сравнению с соответствующими сопротивлениями воздушных линий из-за малых расстояний между фазами. Кроме этого, местные сети выполняются, в основном, проводниками небольших сечений, поэтому в них активное сопротивление значительно превышает индуктивное.



# Методика расчета сети по допустимой потере напряжения

Обычно расчет режима местной электрической сети сводится к определению мощностей (токов) на участках линий и напряжений в узлах.

Из напряжений интерес представляет точка с наиболее низким значением, которое должно быть не меньше допустимого.

Для местных сетей нашел широкое применение **метод расчета сети по допустимой потере напряжения**, которая установлена (с некоторой степенью точности) для различных категорий и видов сетей.

## **Методика расчета сети по допустимой потере напряжения**

Согласно положениям методики, вместо определения самого низкого из напряжений в узлах обычно **находят наибольшую потерю напряжения**, под которой понимают разницу между **напряжениями источника питания и узла с самым низким напряжением**.

**Источниками питания** для «местных» сетей являются либо **шины генераторного напряжения электростанций**, либо **шины вторичного напряжения районных подстанций**.

# Методика расчета сети по допустимой потере напряжения

Условием нормальной работы сети можно считать выполнение условия:

$$\Delta U_{НБ} \leq \Delta U_{ДОП}$$

- $\Delta U_{НБ}$  – величина потери напряжения от источника питания до электрически **наиболее удаленной точки** сети (наибольшая потеря напряжения),
- $\Delta U_{ДОП}$  – **допустимая величина потерь напряжения** в рассматриваемой сети (обычно задается в условиях задачи и составляет  $(0,06 \div 0,08) \times U_{НОМ}$ ).

## **Методика расчета сети по допустимой потере напряжения**

---

Так как при определении мощностей на участках сети **не учитываются потери мощности, то мощность в конце участка равна мощности в начале.**

Мощности, протекающие на участках сети, определяются из уравнения первого закона Кирхгофа.

# Методика расчета сети по допустимой потере напряжения

При необходимости потери мощности в сопротивлениях линии электропередачи можно определить по формуле:

$$\Delta \underline{S}_{ij} = \frac{S_{ij}^2}{U_{НОМ}^2} (r_{ij} + j \cdot x_{ij})$$

а потери напряжения:

$$\Delta U_{ij} = \frac{P_{ij} r_{ij} + Q_{ij} x_{ij}}{U_{НОМ}}$$

## Методика расчета сети по допустимой потере напряжения

Если нагрузки заданы комплексными значениями токов, то формулы будут иметь вид:

$$\Delta \underline{S}_{ij} = 3 \cdot I_{ij}^2 \cdot (r_{ij} + j \cdot x_{ij}),$$

$$\Delta U_{ij} = \sqrt{3} \left( I_{ij} r_{ij} + I_{ij} x_{ij} \right),$$

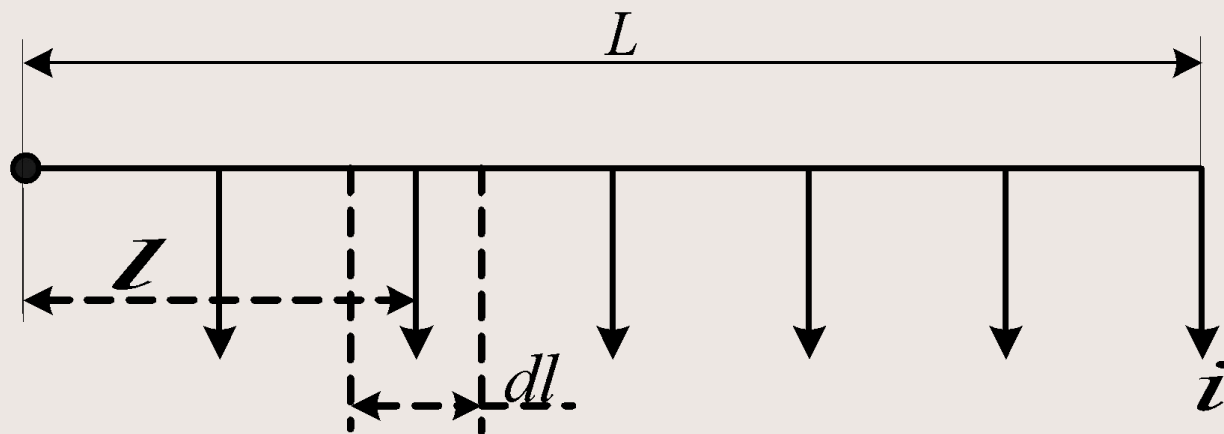
- $I_{a_{ij}}$  - активная составляющая тока  $I_{ij}$ ,
- $I_{r_{ij}}$  – реактивная составляющая тока  $I_{ij}$ .

## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

- При расчете местных сетей, часто встречаются случаи **равномерно распределенной нагрузки**, то есть такой нагрузки, когда приемники с приблизительно одинаковой мощностью расположены на приблизительно одинаковых расстояниях друг от друга.
- В **большинстве** практических **случаев**, приходится иметь дело с чисто **активной равномерно распределенной нагрузкой** (например, осветительной).

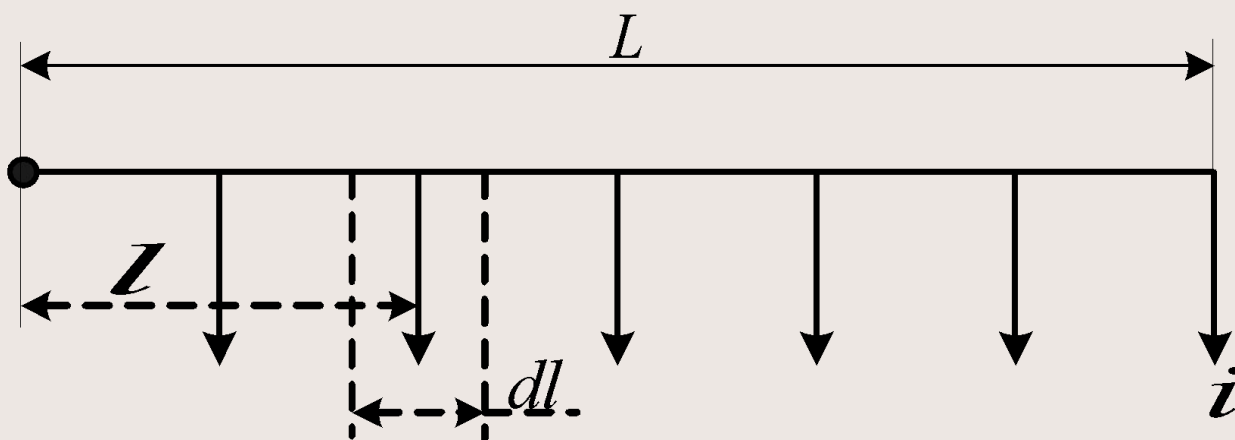
## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

Рассмотрим метод расчета по потере напряжения трехфазной линии, имеющих одинаково сечение проводов по всей длине с чисто активной нагрузкой.





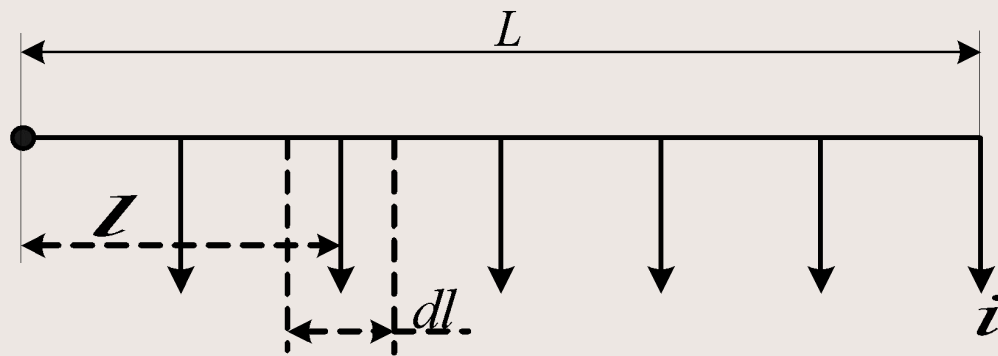
## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой



Нагрузки линии на единицу длины в амперах обозначим через  $i$ . Нагрузка, питающаяся от линии на бесконечно малом отрезке  $dl$ , расположенной на расстоянии  $l$  от начала линии, будет  $i \cdot dl$ .

## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

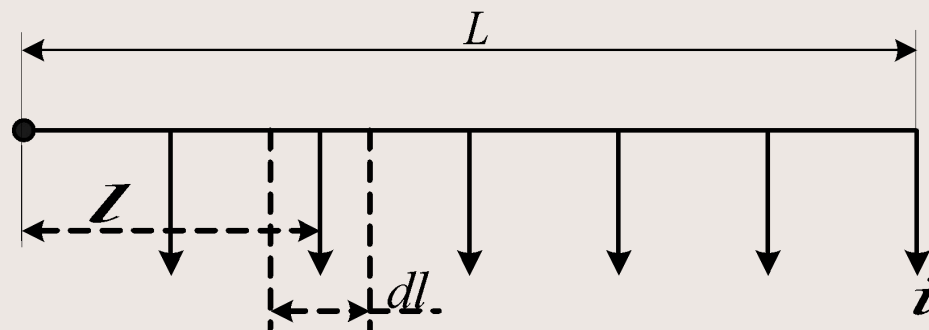
Потеря напряжения, которая создается этим током по длине линии  $l$ , при ее сопротивлении будет:



$$d(\Delta U) = \sqrt{3} \cdot i \cdot (L - l) \cdot r_0 \cdot dl$$

## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

Потеря напряжения на всей длине  $L$ , определяемая выражением:



$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} \cdot r_0 \cdot i \int_0^L (L - l) dl = \\ &= -\sqrt{3} \cdot r_0 \cdot i \frac{(L - l)^2}{2} \Big|_0^L = \sqrt{3} \cdot r_0 \cdot i \frac{L^2}{2}\end{aligned}$$

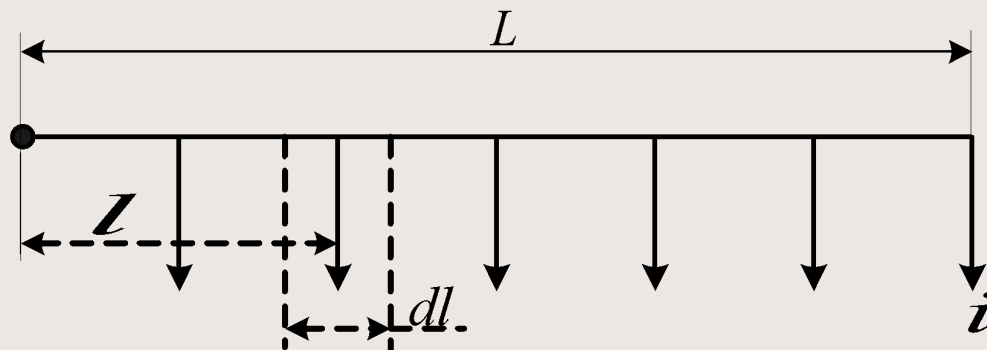
## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

Суммарная нагрузка на всей длине линии длиной  $L$  равна:

$$I = i \cdot L \Rightarrow i = \frac{I}{L}$$

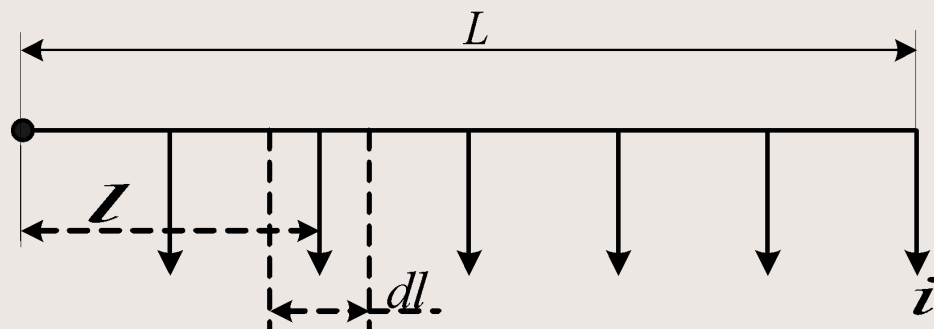
тогда

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot r_0 \cdot I \frac{L}{2}$$



## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

Для сосредоточенной нагрузки величиной  $I$ , приложенной в конце участка, потеря напряжения составит:

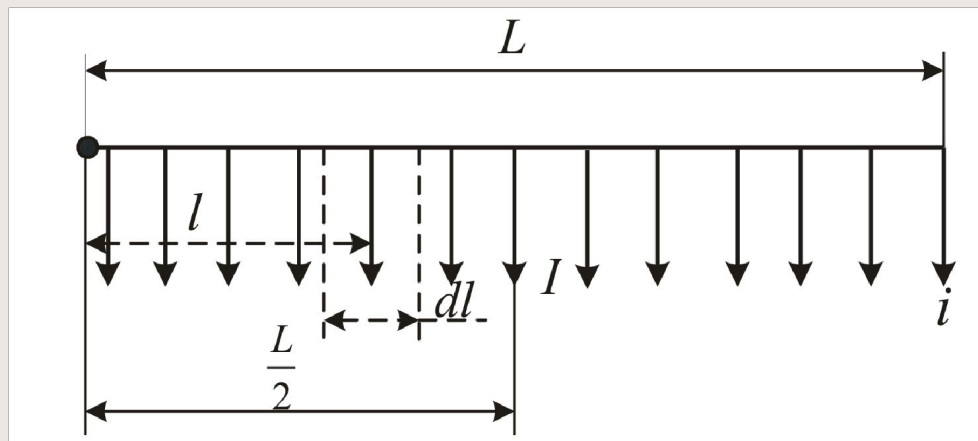


$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot r_0 \cdot I \cdot L$$

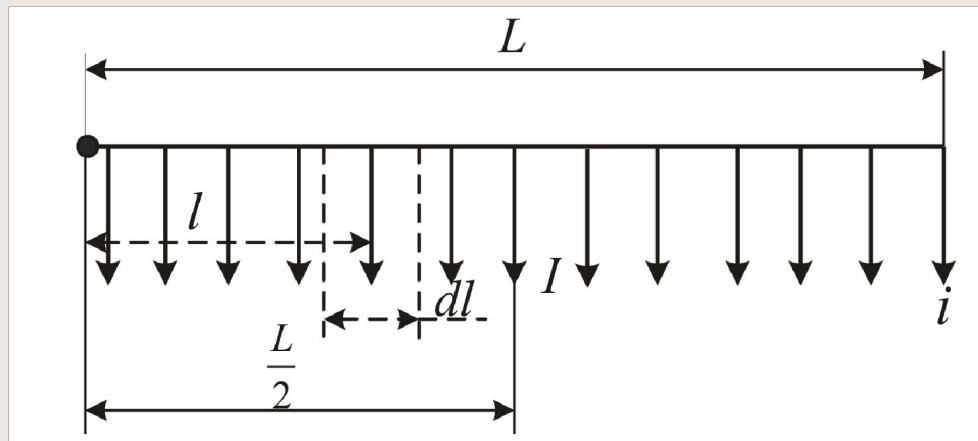
что в два раза больше, чем полученное для распределенной нагрузки.

## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

Следовательно, равномерно распределенную нагрузку **можно заменить эквивалентной сосредоточенной нагрузкой, приложенной в середине рассматриваемой линии.**

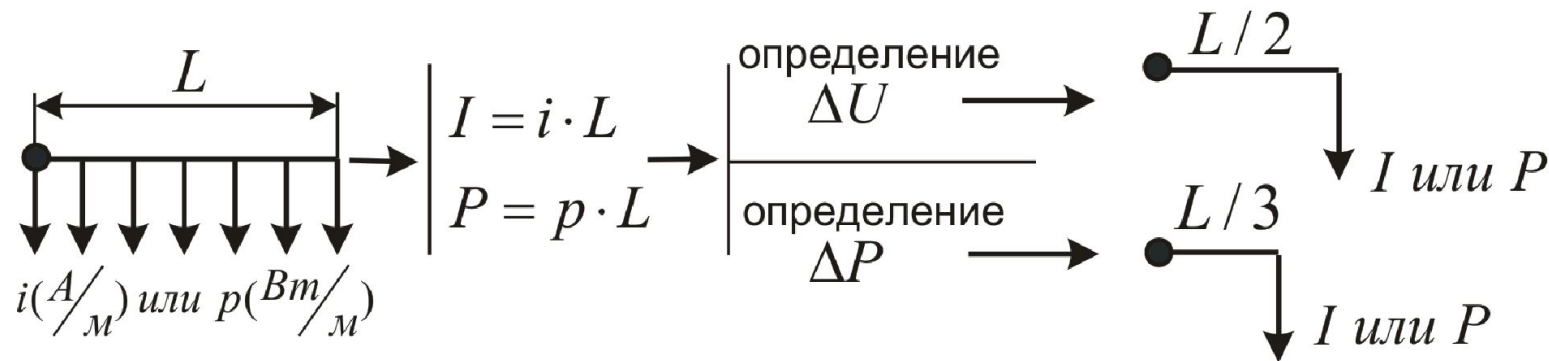


## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой



Это правило справедливо и для более сложных схем сетей, а также может быть применено и для расчета потерь мощности с некоторыми корректировками.

## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

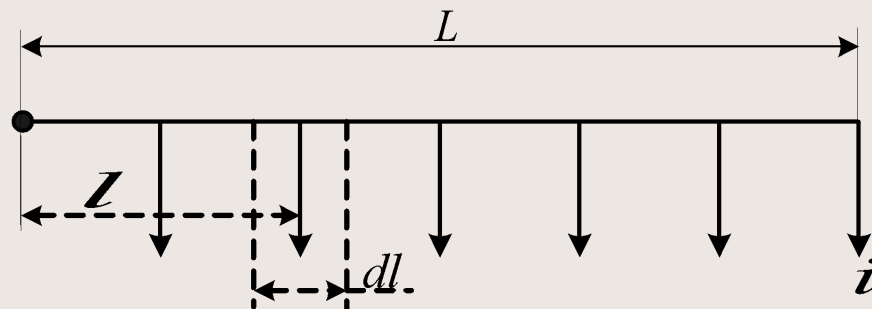


Однако, если в случае **определения потерь напряжения**, эквивалентная сосредоточенная нагрузка прикладывается **к середине участка** с равномерно распределенной нагрузкой, то при **расчете потерь мощности** эквивалентная сосредоточенная нагрузка должна быть приложена **на расстоянии  $L/3$** .



## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

Данное положение легко доказывается. Для случая, когда нагрузка задана единичными токами  $i$ :

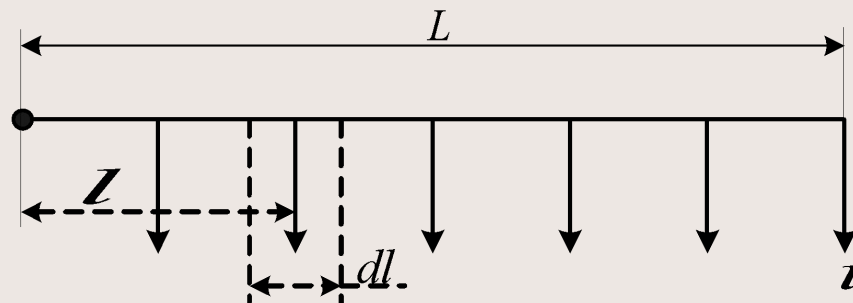


$$d(\Delta P) = 3(i(L-l))^2 r_0 \cdot dl$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= \int_0^L 3 \cdot r_0 (i(L-l))^2 dl = -3 \cdot r_0 \cdot i^2 \frac{(L-l)^3}{3} \Big|_0^L = \\ &= r_0 \cdot i^2 \cdot L^3 = I^2 \cdot r_0 \cdot L \end{aligned}$$

## Особенности расчета сетей с равномерно распределенной нагрузкой

Для сосредоточенной нагрузки, приложенной в конце участка длиной  $L$ :



$$\Delta P' = 3 \cdot I^2 \cdot r_0 \cdot L$$

Следовательно,  $\Delta P'$  отличается от  $\Delta P$  в 3 раза. Поэтому эквивалентную сосредоточенную нагрузку  $I$  прикладывают в точке  $L/3$ . Указанное положение справедливо и для случая, когда нагрузка задана единичными мощностями  $p$ .

## **Источники дополнительных сведений**

- **Идельчик В.И. Электрические системы и сети. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 588 с.**
- **Электрические системы. Т. 2. Электрические сети/ Под ред. В.А. Веникова. - М.: Высшая школа, 1971. - 440 с.**
- **Герасименко А. А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. – изд.2-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 715, [2] с. – (Высшее образование)**
- **Боровиков В.А. и др. Электрические сети энергетических систем. Изд. 3-е, переработанное. Л., «Энергия», 1977.**
- **Черепанова Г.А., Вычегжанин А.В. Установившиеся режимы электрических сетей в примерах и задачах. - Киров: изд. ВятГУ, 2009 - 114 с.**

**Спасибо за внимание!**