



21-22 марта 2017 г.  
Москва, КВЦ «Сокольники»



**НИУ «МЭИ»**

Кафедра «Электрические станции»,

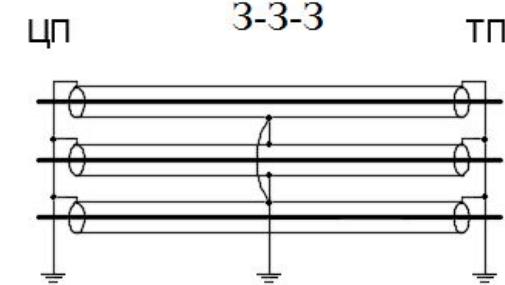
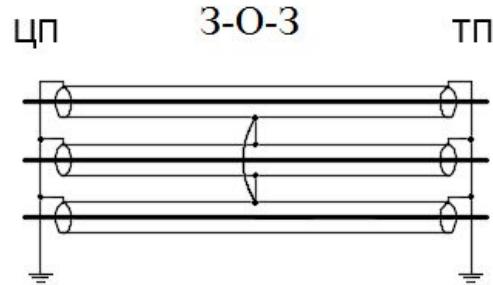
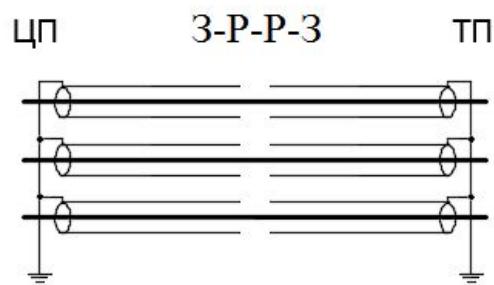
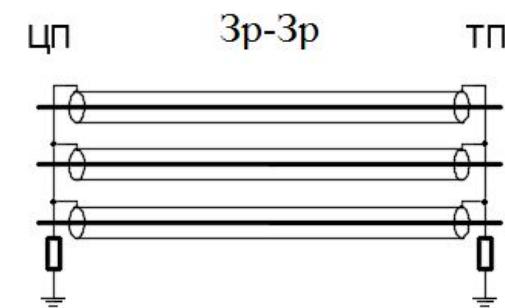
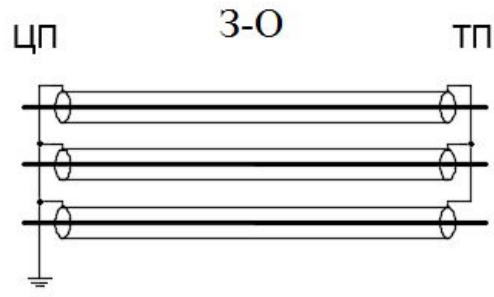
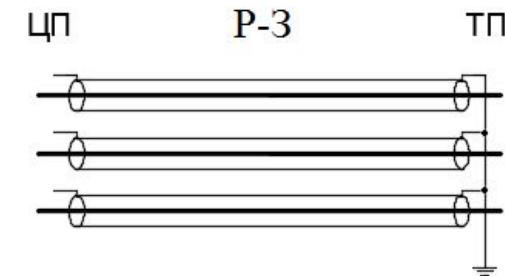
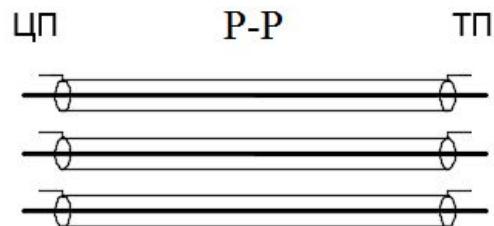
[GusevYP@mpei.ru](mailto:GusevYP@mpei.ru)

# **Способы заземления экранов кабелей**

# Критерии для сопоставления способов заземления экранов (с использованием программы *EMTP-RV*)

1. Электробезопасность: **напряжение повреждения, напряжение прикосновения, шаговое напряжение, сопротивление заземляющих устройств (ЗУ)**
2. **Вынос потенциала ЗУ центра питания (ЦП) на ЗУ трансформаторной подстанции (ТП)**
3. **Термическая стойкость и невозгораемость**
4. **Потери в кабельной линии (КЛ)**
5. Коррозия экранов кабелей
6. Падение напряжения в КЛ
7. Пропускная способность КЛ

# Некоторые варианты заземления экранов кабелей

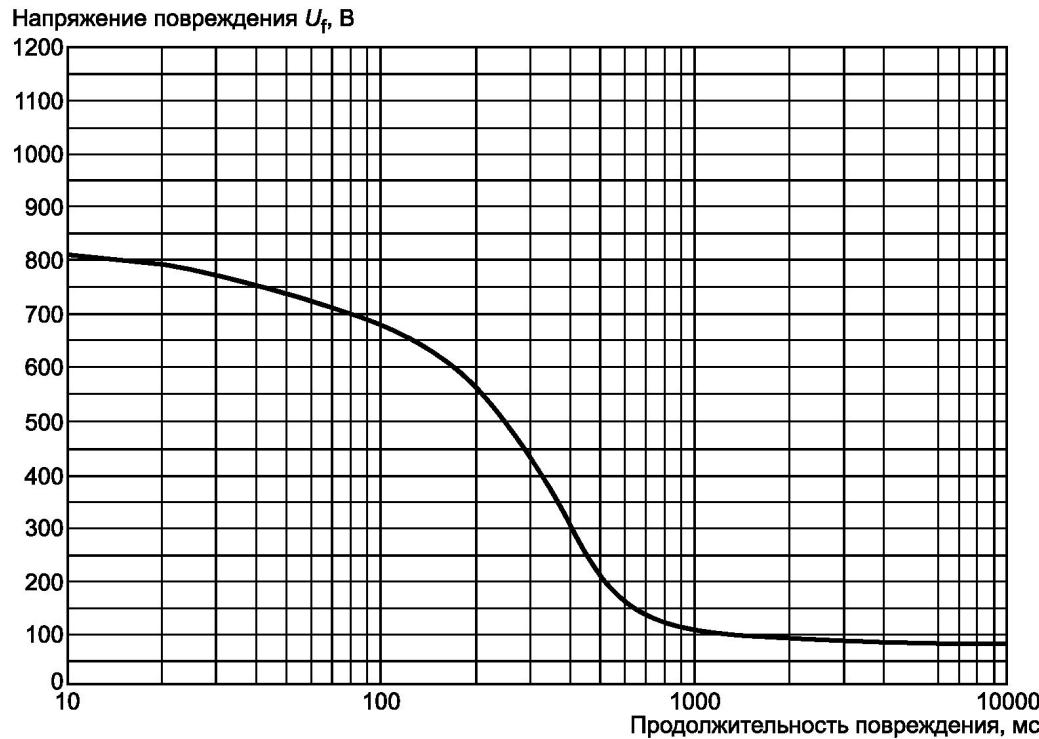


Р – разземлен; З – заземлен; О – объединены; Зр – заземлен через  
резистор.

# Допустимое напряжение повреждения

ГОСТ Р 50571-4-44-2011 Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех

Допустимое напряжение повреждения\*  
при замыкании на землю в сети ВН (*200 В при 0,5 с вместо 105 В*)



*\*Напряжение повреждения - возникает в системе низкого напряжения между открытыми токопроводящими частями и землей во время повреждения на высоковольтной части ЭУ (ГОСТ Р 50571-4-44-2011 )*

# Требования к сопротивлению заземляющих устройств (ЗУ) подстанций

1. По п. 1.7.101 ПУЭ для ЭУ  $> 1$  кВ с изолированной нейтралью  $\leq 250/I$ , но не более 10 Ом (для  $> 1$  с). Факт: 0,3 – 0,5 Ом
2. По СТП 09110.20.187-09 ГП «Белэнерго» (!) для ЭУ  $> 1$  кВ с резистивно-заземленной нейтралью

$$R_{3y} \leq \frac{R_{3y\text{из.н.}} \cdot R_N}{\sqrt{R_N^2 + X_C^2}}$$

$R_{3y\text{из.н.}}$  – сопротивление ЗУ ЭУ  $> 1$  кВ с изолированной нейтралью сети;  
 $R_N$  – сопротивление резистора в цепи заземления нейтрали сети;  
 $X_C$  – емкостное сопротивление сети.

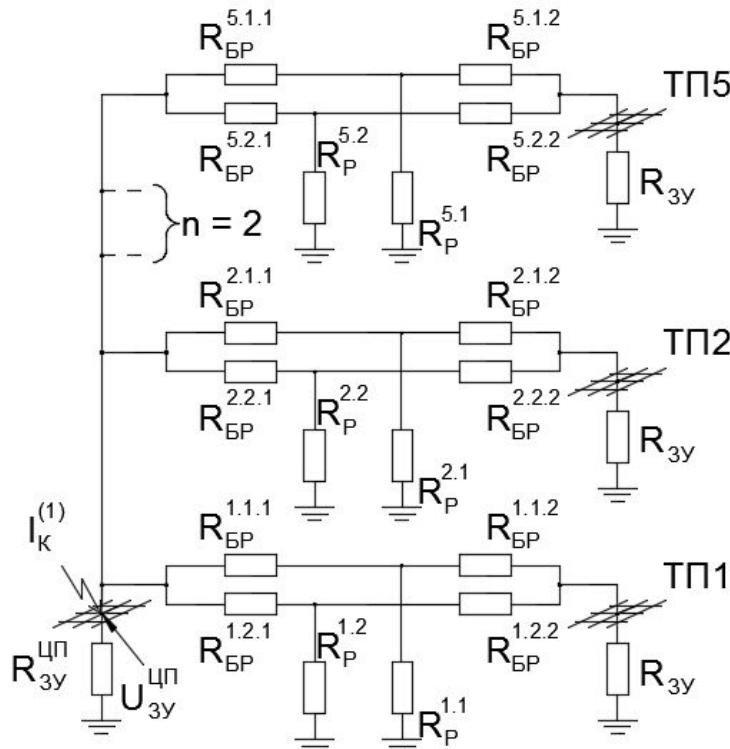
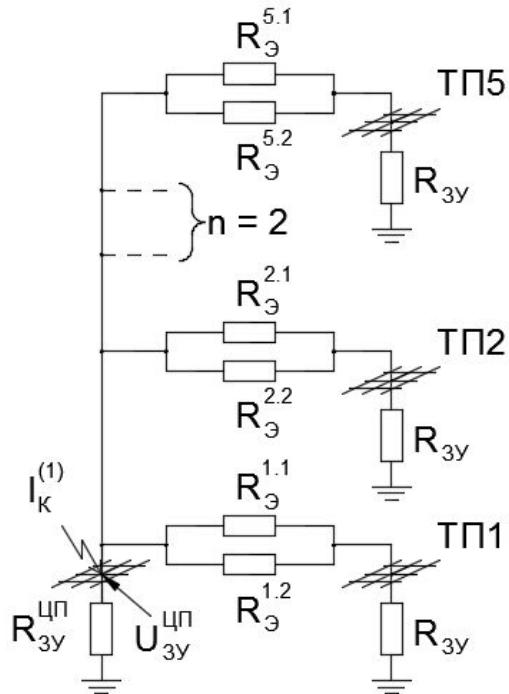
**$R_{3y} \leq 0,58 \cdot R_{3y\text{из.н.}} = 0,12 \text{ Ом} (!)$**  при  $R_N = 12 \text{ Ом}$  и  $X_C = 17 \text{ Ом}$   
(соответствует емкостному току 680 А в сети 160 км)

3. По МЭК не нормируются (растекание тока по броне и экранам?)!

**Требования ПУЭ не корреспондируют с ГОСТ и СТО!**

# Вынос потенциала с ЦП 220/20 кВ на ТП 20/0,4 кВ

При однофазном КЗ с током 30 кА на ОРУ 220 кВ ЦП с ЗУ 0,3 Ом, ЗУ ТП 20 кВ – 4 Ом, сеть 20 кВ состоит из 10 КЛ длиной 4 км с двухсторонним заземлением экранов кабелей:

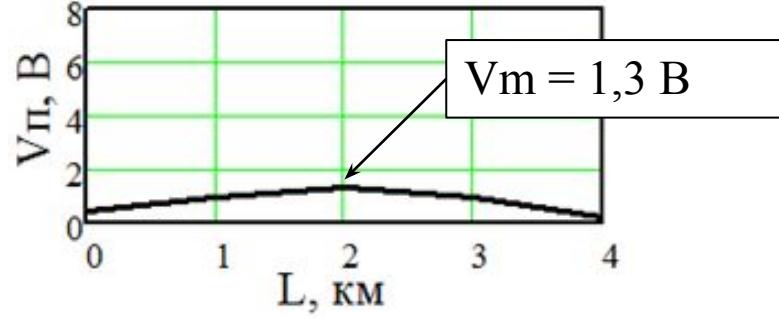
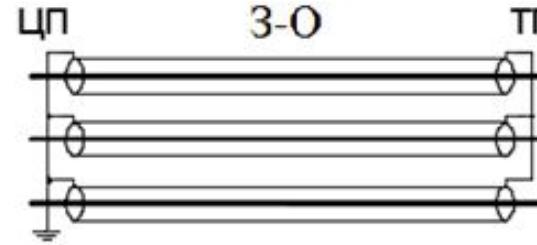
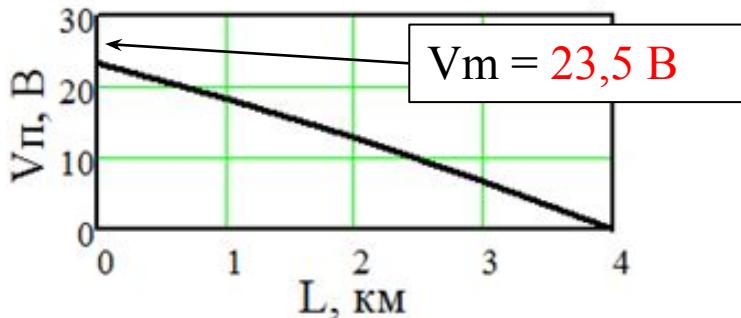
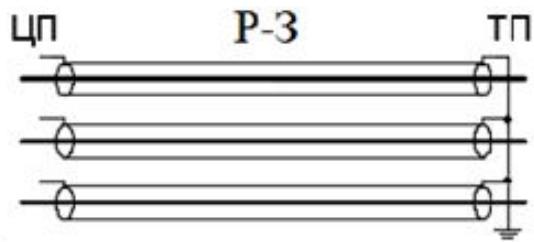
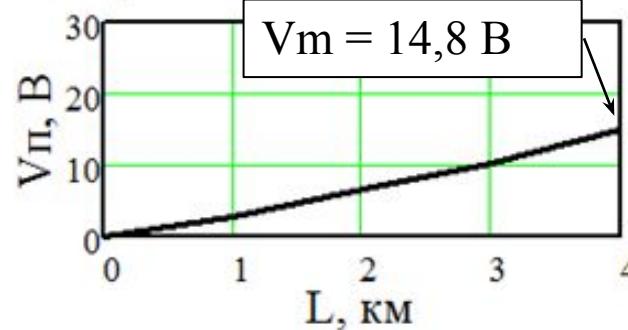
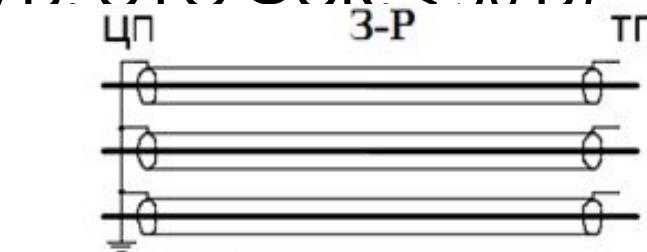
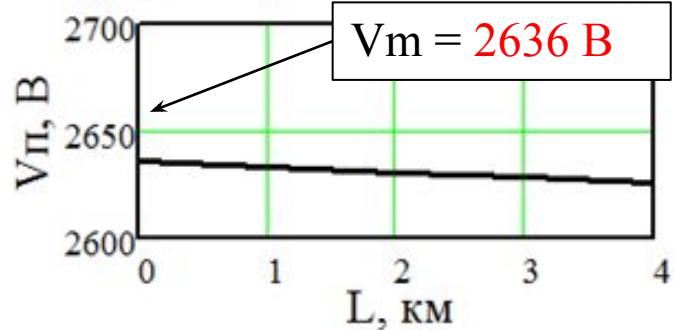
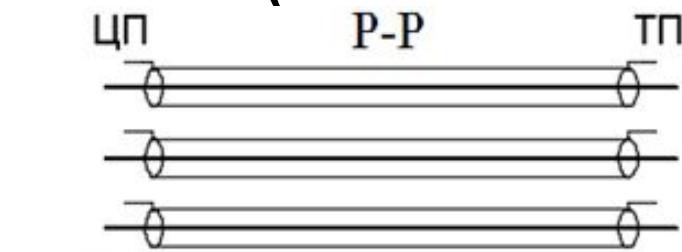


СПЭ: на ЦП 0,22 Ом - 6,6 кВ;  
на ТП 3,5 Ом - **6,1 кВ**.

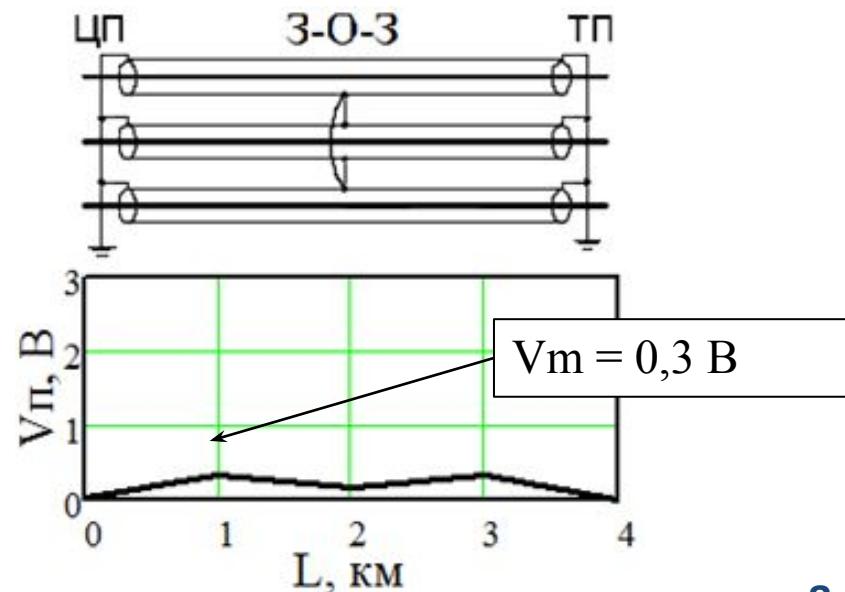
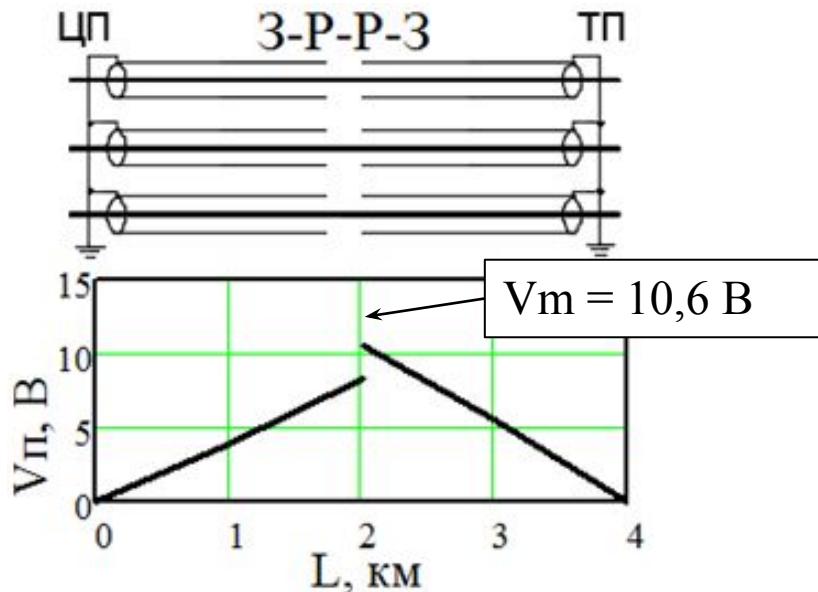
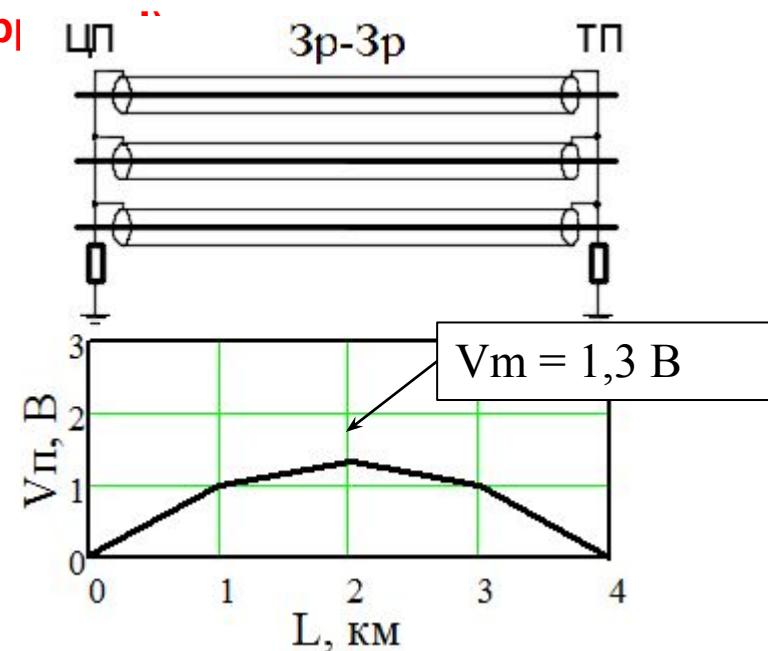
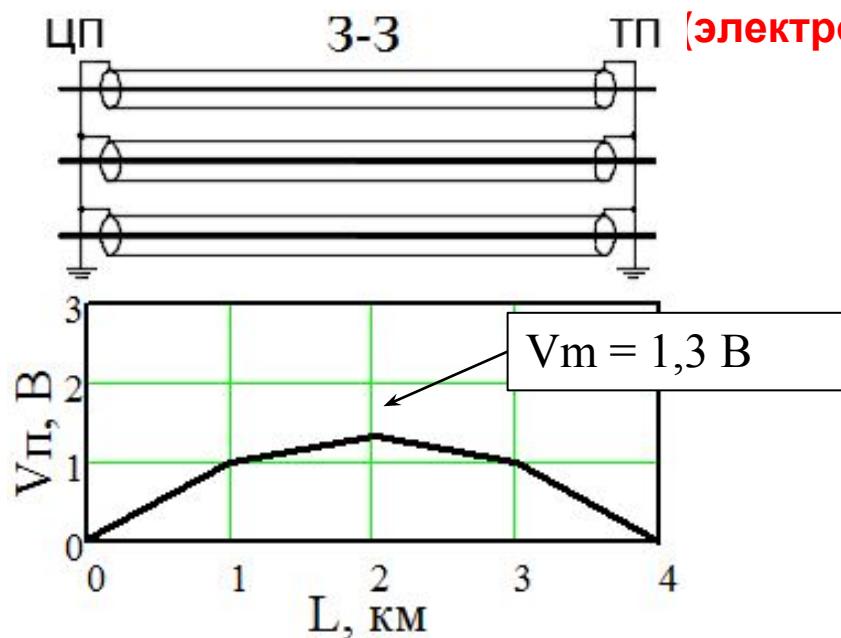
БМИ: на ЦП 0,08 Ом - 2,4 кВ;  
на ТП 1,2 Ом - **0,11 кВ**.

# Напряжения на экранах кабелей при наибольших рабочих токах

(ГОСТ Р 50571-4-44: < 20 В; СТО ФСК: < 36 В)



# Напряжения на экранах кабелей при наибольших рабочих токах



## Потери в КЛ 20 кВ зависят от <sup>\*)</sup>:

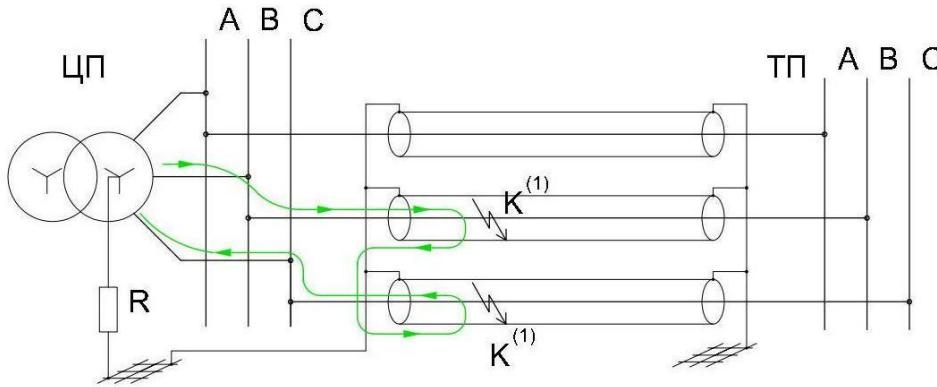
1. Способа прокладки (*треугольником +3%/линейно +8%, без просвета +3% с просветом 70 мм +24%*)
2. Токовой загрузки (*30%<sup>Россия</sup> – 17% ... 100%<sup>Англия</sup> – 100%*)
3. Сечения экранов (*6<sup>Китай</sup> ... 16<sup>Франция</sup> 0% ... 70<sup>Россия</sup> +3%)*  $\text{мм}^2$
4. Способа соединения/ заземления экранов (3-3, 3-0, 0-3, ...) **1%**

<sup>\*)</sup> Для КЛ 3хАПвП2г-1х500/70-20, длиной 4 км, по сравнению с прокладкой треугольником без просвета.

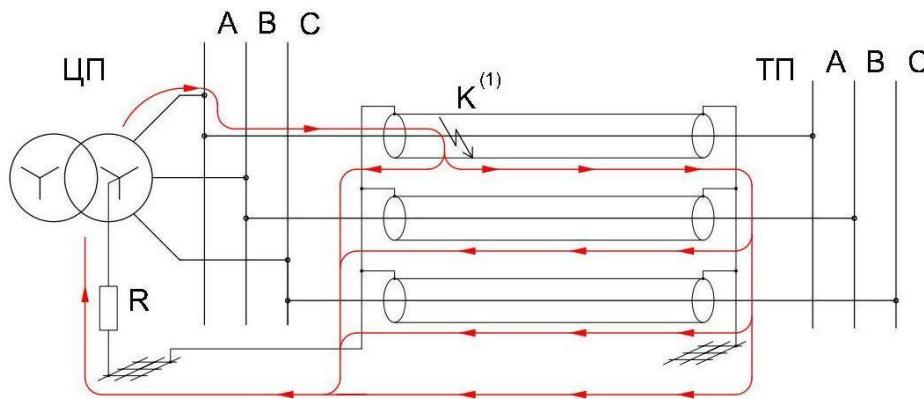
Способ заземления экранов незначительно влияет на потери электроэнергии в КЛ 20 кВ (*в отличие от КЛ 6(10) кВ!*).

# Термическая стойкость экранов КЛ 20 кВ: < 250 °C

## Двойное ОЗЗ в начале КЛ (для комп. N)



## ОЗЗ в начале КЛ (для резист. заземл. N)



## Токи в экранах:

- Двойное ОЗЗ в начале КЛ – **12185 А**
- ОЗЗ в начале КЛ с жилы на экран – **1347 А (резист. заземл. N)**;
- ОЗЗ на шинах ТП 20/0,4 кВ – **374 А**;
- Трехфазное КЗ на шинах ТП 20/0,4 кВ – **329 А**.
- Двухфазное КЗ на землю в начале КЛ K (1,1) – **308 А**;

## Заключение

- Двухстороннее заземление экранов кабелей (3-3) приводит к опасности выноса потенциала на ЗУ ТП
- Заземление экранов кабелей по схеме 3-О может быть использовано вместо двухстороннего заземления
- Мощность потерь в экранах кабелей 20 кВ, в отличие от 10 кВ, незначительна и практически не зависит от способа заземления экранов
- При проверке термической стойкости экранов кабелей в качестве расчетного вида следует использовать однофазное замыкание в кабеле

***Выбор способа заземления экранов кабелей СПЭ должен производиться с учетом параметров электрической сети и параметров КЛ.***

***Необходимо разработать МУ по выбору способа соединения и заземления экранов для КЛ 6(10) и 20 кВ.***

***Спасибо за внимание!***