

# ЗАДАЧА

## по ЭО № 8

## РАЗДЕЛ 6 ПАРАМЕТРЫ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

*Потери активной мощности* на участке ЛЭП обусловлены активными сопротивлениями проводов и кабелей, а также несовершенством их изоляции.

$$\Delta P_{\text{Л}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot R_{\text{Л}} = \frac{S^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot R_{\text{Л}}, \quad (44)$$

где  $P, Q$  – активная и реактивная мощность нагрузки, кВт, квар;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение, кВ;

$R_{\text{Л}}$  – активное сопротивление линии, Ом.

*Потери реактивной мощности* на участке ЛЭП обусловлены индуктивными сопротивлениями проводов и кабелей.:

$$\Delta Q_{\text{Л}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot X_{\text{Л}} = \frac{S^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot X_{\text{Л}}, \quad (45)$$

где  $X_{\text{Л}}$  – индуктивное сопротивление, Ом.

*Потери энергии* в линиях определяются путем умножения потерь мощности в ней на время их действия

$$\Delta A_{\text{Л}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \cdot t_i, \quad (46)$$

где  $\Delta P_i$  – потери мощности за промежуток времени  $t_i$ .

Передача мощности через трансформатор сопровождается потерями мощности в активном и реактивном сопротивлениях обмоток, а также потерями, связанными с намагничиванием стали.

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot R_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{х}} = \Delta P_{\text{к}} \left( \frac{S}{S_{\text{ном.тр}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{х}}; \quad (47)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot X_{\text{тр}} + \Delta Q_{\text{х}} = \frac{u_{\text{к}} \cdot S^2}{100 \cdot S_{\text{ном.тр}}} + \Delta Q_{\text{х}}, \quad (48)$$

где  $P, Q, S$  – активная, реактивная и полная мощность нагрузки, кВт, квар, кВА;  
 $S_{\text{ном.тр}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ · А;  
 $R_{\text{тр}}, X_{\text{тр}}$  – активное и индуктивное сопротивление трансформатора, Ом.

При параллельной работе  $n$  одинаковых трансформаторов их эквивалентное сопротивление уменьшается в  $n$  раз, тогда как потери на намагничивание во столько же раз увеличиваются. При этом

$$\Delta P'_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{n} \left( \frac{S}{S_{\text{ном.тр}}} \right)^2 + n \cdot \Delta P_{\text{х}}; \quad (49)$$

$$\Delta Q'_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{к}} \cdot S^2}{n \cdot 100 \cdot S_{\text{ном.тр}}} + n \cdot \Delta Q_{\text{х}}. \quad (50)$$

*Потери энергии* в трансформаторах состоят из двух частей: 1) не зависящей от нагрузки  $\Delta P_{\text{х}} \cdot T$ ; 2) зависящей от нагрузки  $\Delta P_{\text{к}} \cdot \tau$ :

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{х}} \cdot T + \Delta P_{\text{к}} \cdot \left( \frac{S}{S_{\text{ном.тр}}} \right)^2 \cdot \tau, \quad (51)$$

где  $T$  – время работы (если трансформатор включен весь год, то  $T = 8760$  ч).

$\tau$  – время максимальных потерь, ч.

При параллельной работе  $n$  одинаковых трансформаторов

$$\Delta \mathcal{E}'_{\text{тр}} = n \Delta P_{\text{х}} \cdot T + \Delta P_{\text{к}} \cdot \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{S}{S_{\text{ном.тр}}} \right)^2 \cdot \tau. \quad (52)$$

Падение напряжения в линии можно представить состоящим из продольной и поперечной составляющих.

Продольная составляющая определяется по формуле:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{P \cdot r_0 + Q \cdot x_0}{U_{\text{ном}}} \cdot \ell_{\text{л}}, \quad (53)$$

а поперечная составляющая – по формуле:

$$\delta U_{\text{Л}} = \frac{P \cdot x_0 - Q \cdot r_0}{U_{\text{НОМ}}} \cdot \ell_{\text{Л}}, \quad (54)$$

где  $r_0, x_0$  – погонные активное и индуктивное сопротивления линии, Ом/км;  
 $\ell_{\text{Л}}$  – длина участка линии, км.

Напряжения в начале и в конце линии связаны с продольной и поперечной составляющими падения напряжения в линии соотношениями:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + (\delta U)^2}; \quad (55)$$

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U)^2 + (\delta U)^2}. \quad (56)$$

В ЛЭП местных сетей поперечная составляющая падения напряжения очень мала. Так что

$$U_1 = U_2 + \Delta U; \quad (57)$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U. \quad (58)$$

Потери напряжения в трансформаторе:

$$\Delta U_{\text{тр}} = \frac{P \cdot r_{\text{тр}} + Q \cdot x_{\text{тр}}}{U_{\text{НОМ}}}. \quad (59)$$

где  $r_{\text{тр}}, x_{\text{тр}}$  – активное и индуктивное сопротивления трансформатора, Ом.

### Примеры решения задач

#### Пример 11

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-120. Мощность нагрузки ЛЭП составляет  $S_2 = 25 + j10$  МВ·А.

а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности составят 3% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности составят 5% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Решение:

По таблице Приложения Р определяем каталожные данные воздушной ЛЭП:

$$r_0 = 0,249 \text{ Ом/км}; \quad x_0 = 0,427 \text{ Ом/км}.$$

1. Потери активной мощности на участке ЛЭП определяем по (44)

$$\Delta P_{\text{Л}} = \frac{25^2 + 10^2}{110^2} 0,249 \cdot \ell_1 = 0,015 \cdot \ell_1 \text{ кВт}.$$

Так как  $\Delta P_{л} = 0,03 \cdot S_2$ , тогда  
 $0,015 \cdot \ell_1 = 0,03 \cdot S_2$ ;  $S_2 = 26,9$  МВА;  
 $\ell_1 = \frac{0,03 \cdot 26,9}{0,015} = 54$  км.

2. Потери реактивной мощности определяем по выражению (45)

$$\Delta Q_{л} = \frac{25^2 + 10^2}{110^2} 0,427 \cdot \ell_2 = 0,026 \cdot \ell_2 \text{ квар.}$$

Так как  $\Delta Q_{л} = 0,05 \cdot S_2$ , тогда

$$\ell_2 = \frac{0,05 \cdot 26,9}{0,026} = 52 \text{ км.}$$

### Пример 12

Активная мощность нагрузки трансформатора ТРДН-40000/110, работающего по схеме двухобмоточного трансформатора, составляет  $P_2 = 24$  МВт.

а) При каком коэффициенте мощности нагрузки трансформатора ( $\cos \varphi_2$ ) потери активной мощности в нем составят  $\Delta P_{тр} = 120$  кВт?

б) Для тех же условий определить потери реактивной мощности в трансформаторе.

Решение:

По таблице Приложения Ф определяем каталожные данные трансформатора, которые необходимы для расчетов:

$$S_{ном.тр.} = 40000 \text{ кВ} \cdot \text{А}; U_{ном} = 110 \text{ кВ};$$

$$I_x = 0,65 \%; \Delta P_x = 36 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_k = 172 \text{ кВт}; u_k = 10,5\%.$$

1. Потери активной мощности в трансформаторе определяем по (47)

$$\Delta P_{тр} = 172 \cdot \frac{S^2}{40^2} + 36 = 120.$$

Отсюда  $S_2 = 28$  МВА.

$$\text{Так как } S = \frac{P}{\cos \varphi}, \text{ тогда } \cos \varphi = \frac{24}{28} = 0,86$$

2. Потери реактивной мощности в трансформаторе определяем по (48)

$$\Delta Q_{тр} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{28^2}{40^2} + \frac{0,65}{100} \cdot 40 = 311 \text{ квар.}$$

### Пример 13

Воздушная ЛЭП напряжением 220 кВ протяженностью 80 км выполнена на проводом АС-240 и питает нагрузку  $(72 + j 54)$  МВ·А. Определить напряжение в начале участка линии, если в конце участка напряжение 218 кВ.

Решение:

По таблице Приложения Р определяем каталожные данные воздушной ЛЭП:

$$r_0 = 0,12 \text{ Ом/км}; x_0 = 0,435 \text{ Ом/км}; b_0 = 0,026 \cdot 10^{-4} \text{ См/км}.$$

1. Сопротивления ЛЭП определяем по выражениям (32) и (33), а по (36) - реактивную мощность, генерируемую линией:

$$R_{л} = 0,12 \cdot 80 = 9,6 \text{ Ом}; X_{л} = 0,435 \cdot 80 = 34,8 \text{ Ом};$$

$$Q_c = 220^2 \cdot 0,026 \cdot 10^{-4} \cdot 80 = 10,1 \text{ Мвар}.$$

2. Нагрузка в конце участка линии с учетом реактивной мощности  $(0,5 \cdot jQ_c)$ , генерируемой реактивной проводимостью, включенной в конце схемы замещения линии составляет

$$S'_2 = P'_2 + jQ'_2 - 0,5 \cdot jQ_c = 72 + j 54 - 0,5 \cdot j 10 = 72 + j 49 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

3. Продольную и поперечную составляющие падения напряжения на участке линии определяем по выражению (53) и (54)

$$\Delta U = \frac{72 \cdot 9,6 + 49 \cdot 34,8}{220} = 10,9 \text{ кВ}; \delta U = \frac{72 \cdot 34,8 - 49 \cdot 9,6}{220} = 9,3 \text{ кВ}.$$

4. Напряжение в начале участка линии определяем по выражению (55)

$$U_1 = \sqrt{(218 + 10,6)^2 + 9,3^2} = 229,01 \text{ кВ}.$$

При расчете по упрощенной формуле (57)

$$U_1 = 218 + 10,9 = 228,9 \text{ кВ}.$$

### Пример 14

Трансформатор типа ТМ -1000/10 питает нагрузку, потребляющую мощность  $(720 + j 540)$  кВ·А при  $\cos \varphi = 0,8$ . Определить потери напряжения в трансформаторе, если при максимальной нагрузке напряжение на стороне ВН трансформатора равно 10,6 кВ.

Решение:

1. По таблице Приложения Т определяем каталожные данные трансформатора:

$$S_{\text{ном.тр.}} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}; U_{\text{ном.В}} = 10 \text{ кВ};$$

$$u_k = 5,5\%; \Delta P_k = 12,2 \text{ кВт};$$

$$I_x = 1,4\%; \Delta P_x = 2,1 \text{ кВт}.$$

1. По выражениям (37), (38) определяем сопротивления трансформатора

$$R_{\text{тр}} = \frac{12,2 \cdot 10^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 1,22 \text{ Ом}; X_{\text{тр}} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 1000} \cdot 10^3 = 5,5 \text{ Ом}.$$

2. Поскольку напряжение известно на стороне ВН, а нагрузка - на стороне НН трансформатора, необходимо привести нагрузку к стороне ВН, для чего определяем потери мощности в трансформаторе по (47) и (48):

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{720^2 + 540^2}{10^2} \cdot 1,22 + 2,1 = 12 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \frac{720^2 + 540^2}{10^2} \cdot 5,5 + \frac{1,4 \cdot 1000}{100} = 58,6 \text{ квар}.$$

3. Нагрузка на стороне ВН трансформатора составляет

$$P_{\text{тр}} + jQ_{\text{тр}} = 720 + j540 + 12 + j58,6 = 732 + j598,6 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

4. Потери напряжения в трансформаторе определяем по (59)

$$\Delta U_{\text{тр}} = \frac{732 \cdot 1,22 + 598,6 \cdot 5,5}{10,6} = 395 \text{ В}.$$

или в % от номинального напряжения

$$\Delta U_{\text{тр}} = \frac{\Delta U_{\text{тр}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{395}{10^4} \cdot 100 = 3,95\%.$$

### Контрольное задание № 7

Вариант 1. Воздушная ЛЭП-220 кВ выполнена проводами АС-300. Мощность нагрузки ЛЭП составляет  $S_2 = 100 + j50 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности составят 1% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности составят 5% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Вариант 2. Кабельная ЛЭП-10 кВ выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 150 \text{ мм}^2$ . Мощность нагрузки составляет  $S_2 = 3 + j1,4 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

- а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности в ней составят 5% от активной передаваемой мощности  $P_2$ ?
- б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности в ней составят 1% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Вариант 3. Кабельная ЛЭП-0,38 кВ выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 70 \text{ мм}^2$ . Мощность нагрузки ЛЭП составляет  $S_2 = 0,8 + j0,6 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

- а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности в ней составят 50% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?
- б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности в ней составят 5% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Вариант 4. Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-150. Мощность нагрузки ЛЭП составляет  $S_2 = 24 + j12 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

- а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности составят 3% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?
- б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности составят 5% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Вариант 5. Воздушная ЛЭП-35 кВ, длиной  $\ell = 10 \text{ км}$ , выполнена проводами АС - 70. Коэффициент мощности нагрузки  $\cos\varphi_2 = 0,8$ .

- а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 3% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?
- б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности составят 5% от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?

Вариант 6. Воздушная ЛЭП напряжением 220 кВ протяженностью 100 км выполнена проводом АС-300 и питает нагрузку  $(102 + j88) \text{ МВ} \cdot \text{А}$ . Определить напряжение в начале участка линии, если в конце участка напряжение 218 кВ.

Вариант 7. Кабельная ЛЭП-10 кВ длиной  $\ell = 0,6 \text{ км}$  выполнена алюминиевыми жилами  $3 \times 150 \text{ мм}^2$ . Коэффициент мощности нагрузки ЛЭП  $\cos\varphi_2 = 0,9$ .

- а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 0,5% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?
- б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности в ЛЭП составят 0,1% от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?



Вариант 8. Кабельная ЛЭП-0,38 кВ, длиной  $l = 70$  м выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 95 \text{ мм}^2$ . Коэффициент мощности нагрузки ЛЭП  $\cos\varphi_2 = 0,8$ .

- а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 1% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?
- б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности в ЛЭП составят 0,1% от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?

Вариант 9. Воздушная ЛЭП-110 кВ, длиной  $l = 27$  км, выполнена проводами АС-185,  $\cos\varphi_2 = 0,9$ .

- а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 18% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?
- б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности в ЛЭП составят 15 % от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?

Вариант 10. Кабельная ЛЭП-10 кВ длиной  $l = 1$  км выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 150 \text{ мм}^2$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,85$ .

- а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 1% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?
- б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности в ЛЭП составят 0,2% от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?

Вариант 11. Трансформатор ТРДН-25000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 15$  МВт.

- а) При каком коэффициенте мощности нагрузки трансформатора ( $\cos\varphi_2$ ) потери активной мощности в нем составят  $\Delta P_{\text{пр}} = 90$  кВт?
- б) Для тех же условий определить потери реактивной мощности в трансформаторе.

Вариант 12. Реактивная мощность нагрузки трансформатора ТМ-2500/10/0,4 составляет  $Q_2 = 1000$  квар.

- а) При какой активной мощности нагрузки трансформатора  $P_2$  потери активной мощности в нем составят  $\Delta P_{\Sigma} = 20$  кВт?
- б) Для тех же условий определить потери реактивной мощности в трансформаторе.

Вариант 13. Реактивная мощность нагрузки трансформатора ТРДЦН-63000/110 составляет  $Q_2 = 20$  Мвар.

- а) При какой активной мощности нагрузки трансформатора  $P_2$  потери активной мощности в нем составят  $\Delta P_{\Sigma} = 250$  кВт?

б) Для тех же условий определить потери реактивной мощности в трансформаторе.

Вариант 14. Трансформатор ТРДН-25000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора активная мощность нагрузки  $P_2 = 16$  МВт. При каком коэффициенте мощности нагрузки ( $\cos\varphi_2$ ) потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 5$  кВ?

При той же мощности нагрузки определить длину  $l$  ЛЭП-110 кВ, выполненную проводами АС-120, при которой потери напряжения в ней составят также  $\Delta U = 5$  кВ?

Вариант 15. Трансформатор ТРДЦН-63000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 50$  МВт. При какой реактивной мощности нагрузки  $Q_2$  потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 6$  кВ?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-240, работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $l$  ЛЭП потери напряжения в ней составят  $\Delta U = 6$  кВ?

Вариант 16. Трансформатор ТДН-16000/110/10 работает с коэффициентом мощности нагрузки  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . Определить, при какой мощности нагрузки потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 6$  кВ.

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-95 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $l$  ЛЭП потери напряжения в ней составят  $\Delta U = 6$  кВ?

Вариант 17. Трансформатор типа ТМ -2500/10 питает нагрузку потребляющей мощностью  $(1600 + j 1200)$  кВ·А. Определить потери напряжения в трансформаторе, если при максимальной нагрузке напряжение на стороне ВН трансформатора равно 10,5 кВ.

Вариант 18. Трансформатор ТРДН-40000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 30$  МВт. При какой реактивной мощности нагрузки  $Q_2$  потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 4$  кВ?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-185 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $l$  ЛЭП потери напряжения в ней составят так же  $\Delta U = 5$  кВ?

Вариант 19. Трансформатор ТМ-1000/10/0,4 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Реактивная мощность нагрузки  $Q_2 = 750$  квар.

При каком коэффициенте мощности нагрузки ( $\cos\varphi_2$ ) потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 0,6$  кВ?

Кабельная ЛЭП-10 кВ выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 70$  мм<sup>2</sup> и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней составят  $\Delta U = 0,1$  кВ?

Вариант 20. Трансформатор типа ТМ -1600/10 питает нагрузку потребляющую мощность  $(980 + j 730)$  кВ·А. Определить потери напряжения в трансформаторе, если при максимальной нагрузке напряжение на стороне ВН трансформатора равно 10,5 кВ.

Вариант 21. Трансформатор ТДТН-63000/110/35/10 работает с суммарной активной мощностью нагрузки  $P_\Sigma = 40$  МВт. При какой суммарной реактивной мощности нагрузки  $Q_\Sigma$  потери напряжения в обмотке высокого напряжения составят  $\Delta U = 5$  кВ?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-240 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней составят  $\Delta U = 5$  кВ?

Вариант 22. Трансформатор ТРДН-25000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 16$  МВт. При какой реактивной мощности нагрузки  $Q_2$  продольная составляющая падения напряжения в трансформаторе совпадает с поперечной?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-120 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней будут такие же как и в трансформаторе?

Вариант 23. Воздушная ЛЭП напряжением 110 кВ протяженностью 45 км выполнена проводом АС-120 и питает нагрузку  $(22 + j 16)$  МВ·А. Определить напряжение в начале участка линии, если в конце участка напряжение 109 кВ.

Вариант 24. Трансформатор ТРДЦН-63000/110 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Реактивная мощность нагрузки  $Q_2 = 30$  Мвар. При каком коэффициенте мощности нагрузки ( $\cos\varphi$ ) продольная составляющая падения напряжения в трансформаторе равна поперечной составляющей?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-240 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней равны потерям напряжения в трансформаторе?

Вариант 25. Трансформатор ТРДЦН-63000/220/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 40$  МВт. При какой реактивной мощности нагрузки  $Q_2$  потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 5$  кВ?

Воздушная ЛЭП-220 кВ выполнена проводами АС-240 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $l$  ЛЭП потери напряжения в ней составят так же  $\Delta U = 5$  кВ?