

Рассмотрим алгоритм расчета электроснабжения:

1. Расчет мощности потребителей цеха

1.1. Рассмотрим расчет освещения по следующим заданным параметрам:

A = 50 м, длина помещения,

B=67 м, ширина помещения,

H =3м, высота помещения,

hp = 0,7 м, расчетная высота над полом,

hc = 0,3 м, расстояние светильников от перекрытия (свес).

Определим индекс помещения, пользуясь геометрическими размерами помещения и расчётной высотой h (расстоянием от светильника до расчетной поверхности):

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} \quad (1)$$

Рассчитаем высоту h:

$$h = H - h_c - h_p = 3 - 0.7 - 0,3 = 2\text{м}$$

Далее определим i:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{50 \times 67}{2(50 + 67)} = 14,32$$

Для определенного пространства общее световое излучение всех ламп, необходимое для достижения нормативного уровня освещенности, определяется с помощью метода коэффициента использования.

Рассчитаем световой поток для всех ламп:

$$\Phi = \frac{E_h * K_{зап} * S * Z}{\eta} \quad (2)$$

где: Φ – световой поток ламп,

E_h =400 лк, нормированная минимальная освещенность,

$K_{зап}$ =1,4, коэффициент запаса

S – площадь помещения,

$Z=1,3$, коэффициент минимальной освещенности для светодиодных ламп

Зная коэффициенты отражения для светлого потолка, стен, окрашенных в светлых тонах и темного пола (расчётной поверхности), а именно $\rho_{\text{п}}=50\%$, $\rho_{\text{с}}=30\%$, $\rho_{\text{п}}=10\%$, определим коэффициент использования светового потока $\eta=16\%$

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_{347} \cdot S \cdot Z}{\eta} = \frac{400 \cdot 1,4 \cdot 50 \cdot 67 \cdot 1,3}{16} = 152425 \text{ лм}$$

Определим количество светильников ряду и количество рядов светильников:

Количество светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} \quad (3)$$

Количество рядов светильников:

$$N_b = \frac{B}{L} \quad (4)$$

где: $L = 2,25\text{м}$ относительное расстояние между светильниками

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{50}{2,25} = 22 \text{ светильников}$$

$$N_b = \frac{B}{L} = \frac{67}{2,25} = 30 \text{ рядов}$$

$$\text{Количество светильников } n = N_a * N_b = 22 * 30 = 660 \quad (5)$$

Световой поток одной лампы:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{\Phi}{n} = \frac{152425}{660} \approx 231 \text{ лм}, \quad (6)$$

Определив световой поток, используя справочные материалы или интернет, выбираем светильник с одной светодиодной лампой мощностью 2-3 Вт со световым потоком 250 лм.

Определим:

1) осветительную нагрузку в целом :

$$P_{\text{п.осв.}} = \sum P_{\text{ном.осв.}} = n \cdot P_{\text{л}} \quad (7)$$

где: $\sum P_{\text{ном.осв.}}$ – сумма мощностей выбранных светодиодных ламп ,

$P_{\text{л}}=3 \text{ Вт}$ – мощность светодиодной лампы

$$\sum P_{\text{ном.осв.}} = 3 \cdot 660 = 1980 \text{ Вт}$$

2) реактивную мощность:

$$Q_{\text{п.осв.}} = P_{\text{п.осв.}} * \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ определяем по таблице Брадиса, зная, что $\cos \varphi = 0,95$, тогда

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,2381$$

$$Q_{\text{п.осв.}} = 1980 \cdot 0,2381 = 649,6 \text{ Вар}$$

3) полную мощность:

$$S_{\text{п.осв.}} = \sqrt{P_{\text{п.осв.}}^2 + Q_{\text{п.осв.}}^2}, \quad (9)$$

$$S_{\text{п.осв.}} = \sqrt{1980^2 + 649,6^2} = 2084 \text{ ВА}$$

4) силу тока:

$$I_{\text{п.осв.}} = \frac{S_{\text{п.осв.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}} \cdot \cos \varphi} \quad (10)$$

где: $U_{\text{ном.}} = 380 \text{ В}$, номинальное напряжение,

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности, равен 0,95.

$$I_{\text{п.осв.}} = \frac{2084}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 3,34 \text{ А}$$

1.2. Расчет аварийного освещения

Аварийное освещение должно составлять 5% от рабочего. Поэтому при умножении нормируемой наименьшей освещенности рабочего освещения на 5%, получится минимальная нормируемая освещенность для аварийного освещения:

$$E_{\text{ав.}} = E_{\text{раб.}} \cdot 0,05 \quad (11)$$

$$E_{h.a} = 400 \cdot 0,05 = 20 \text{ лк},$$

Лампы и светильники для аварийного освещения можно использовать той же марки, что и для обычного (светодиодные лампы типа LED, мощностью 3 Вт, рабочим напряжением $U_{раб}=220\text{-}240\text{В}$, светильники одноламповые). Количество аварийных светильников рассчитываются по формуле:

$$n_a = \frac{E_{h.a} * K_{зап} * S * Z}{\eta * \Phi_L} \quad (12)$$

$$n = \frac{20 \cdot 1,4 \cdot 50 \cdot 67 \cdot 1,3}{16 \cdot 231} = 33 \text{ шт}$$

Согласно рекомендациям необходимо хотя бы 1 светильник над выходом из помещения. Таким образом, общее число светильников аварийного освещения будет равномерно среди ламп рабочего освещения $n=34$.

2. Расчет мощности розеточной сети.

Определим:

1) расчетную нагрузку розеточной сети определяется по формуле:

$$P_{P.P.} = P_{уст.} * n_P * K_c. \quad (13)$$

где: $P_{уст.} = 1,2 \text{ кВт}$, удельная мощность на одну розетку,

$n_P = 10$, число розеток.

$K_c = 0,8$, коэффициент спроса для сети розеток, принимаемый в зависимости от числа розеток (из справочной таблицы).

$$P_{P.P.} = 10 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ кВт}$$

Зная, что $\cos\varphi = 0,9$, определим по таблице Брадиса, \tg

2) реактивную мощность розеточной сети:

$$Q_{P.P.} = P_{P.P.} \cdot \tg\varphi_p$$

где $\tg\varphi$ определяем по таблице Брадиса, зная, что $\cos\varphi = 0,9$, тогда $\tg = 0,484$

$$Q_{P,P} = 9,6 \cdot 0,484 = 4,65 \text{ kVar}$$

3) полную мощность розеточной сети:

$$S_{p,p} = \sqrt{P_{p,p}^2 + Q_{p,p}^2}, \quad (14)$$

$$S_{P,p} = \sqrt{9,6^2 + 4,65^2} = 10,67 \text{ kVA}$$

4) силу тока:

$$I_{p,ocb} = \frac{S_{p,p}}{U_{nom} * \cos\varphi} \quad (15)$$

где: $U_{nom} = 380$ В, номинальное напряжение,

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности, равен 0,9.

$$I_{p,p} = \frac{10670}{380 \cdot 0,9} = 32 \text{ A}$$

3. Расчет мощности электроприемников (ЭП) цеха

Определим:

1) активную расчетную мощность для каждого отдельного электроприемника (кВт):

$$P_p = K_c \times P_{nom} \quad (16)$$

где: P_{nom} – номинальная мощность электроустановки (20 ЭП).

$K_c = 0,8$, коэффициент спроса

Далее определяем реактивную расчетную мощность для каждого электроприемника (кВАр):

$$Q_p = P_p \times \operatorname{tg}\varphi \quad (17)$$

$$S_p = K_{pm} \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (18)$$

где: – K_{pm} – коэффициент разновременности максимумов, зависит от числа групп ЭП, принять равным 0,95.

Рассчитаем силу тока (напряжение $U_{ном}$ принимаем 380 В)

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} \quad (19)$$

Результаты расчетов мощности ЭП представлены в таблице

| Номер ЭП | Активная мощность | | Реактивная мощность | | Полная расчетная мощность S_p , кВА | Расчетный ток I_p , А |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | Номинальная мощность $P_{ном}$, кВт | Расчетная мощность P_p , кВт | Номинальная мощность $Q_{ном}$, кВАр | Расчетная мощность Q_p , кВАр | | |
| 1. | 1,2 | 0,96 | 0,9 | 0,72 | 1,14 | 1,734 |
| 2. | 5,2 | 4,16 | 3,84 | 3,12 | 4,94 | 7,514 |
| 3. | 3,7 | 2,96 | 2,76 | 2,22 | 3,515 | 5,347 |
| 4. | 6,2 | 4,96 | 4,65 | 3,72 | 5,89 | 8,96 |
| 5. | 6,8 | 5,44 | 5,1 | 4,08 | 6,46 | 9,827 |
| 6. - | 3,4 | 2,72 | 2,55 | 2,04 | 3,23 | 4,913 |
| 7. | 7,2 | 5,76 | 5,4 | 4,32 | 6,84 | 10,405 |
| 8. | 2,7 | 2,16 | 2,03 | 1,62 | 2,565 | 3,902 |
| 9. | 4,9 | 3,92 | 3,68 | 2,94 | 4,655 | 7,081 |
| 10. | 1,9 | 1,52 | 1,43 | 1,14 | 1,805 | 2,746 |
| 11. | 7,6 | 6,08 | 5,7 | 4,56 | 7,22 | 10,98 |
| 12. | 5,2 | 4,16 | 3,9 | 3,12 | 4,94 | 7,514 |
| 13. | 1,4 | 1,12 | 1,05 | 0,84 | 1,33 | 2,023 |
| 14. | 2,8 | 2,24 | 2,1 | 1,68 | 2,66 | 4,046 |
| 15. | 6,7 | 5,36 | 5,03 | 4,02 | 6,365 | 9,682 |
| 16. | 3,4 | 2,72 | 2,55 | 2,04 | 3,23 | 4,913 |
| 17. | 4,9 | 3,92 | 3,68 | 2,94 | 4,655 | 7,078 |
| 18. | 4,5 | 3,6 | 3,38 | 2,7 | 4,275 | 6,503 |
| 19. | 4,6 | 3,68 | 3,45 | 2,76 | 4,37 | 6,647 |
| 20. | 1,4 | 1,12 | 1,05 | 0,84 | 1,33 | 2,023 |
| | 85,7 | 68,56 | 64,23 | 51,42 | 81,415 | 123,838 |

4. Расчет и выбор трансформатора

Выбор номинальной мощности силовых трансформаторов (кВА) осуществляется по условию:

$$S_T \geq \frac{\Sigma S}{N_T * K_3} \quad (20)$$

Где: N_t - число трансформаторов (зависит от категории электроснабжения, указанной в исходных данных);

K_3 - коэффициент загрузки, при двух трансформаторах принимается в пределах от 0,7 до 0,8, при одном - 0,85.

Количество трансформаторов определяется в зависимости от категории снабжения объекта, указанной в исходных данных.

$$\Sigma S = \Sigma S_{p.osv.} + \Sigma S_{p.p.} + \Sigma S_p. \quad (21)$$

где $S_{p.osv.}=2084$ ВА, $S_{p.p.}=13330$ ВА, $\Sigma S_p=81415$ ВА,

получаем $\Sigma S=2084+13330+81415=94169$ ВА

На основе рассчитанной мощности $S_{nom}=94169$ ВА трансформатора и заданного напряжения $U_{bx}=10$ кВ на высокой стороне и напряжения $U_{nn}=0,4$ кВ низкой стороны, из справочной таблицы выбираем трансформатор ТМ- 100/10 с ближайшей большей номинальной мощностью и соответствующей маркой.

5. Расчет и выбор проводов и кабелей

Целью данного задания является необходимость расчета провода для линий освещения, для питания розеточной сети, а также для питания всего цеха.

Составляем схему осветительной сети (рис. 1) и план расположения светильников (рис. 2).

Количество рядов светильников $N_b=30$, количество светильников в ряду $N_a=22$, мощность одного светильника $P_{свет}=3$ Вт, мощность ряда светильников $P=66$ Вт

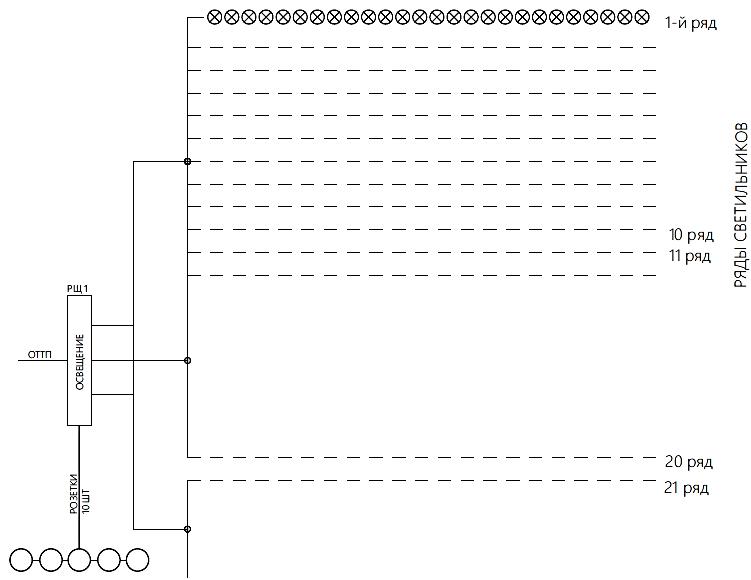


Рисунок 1. Схема осветительной сети.

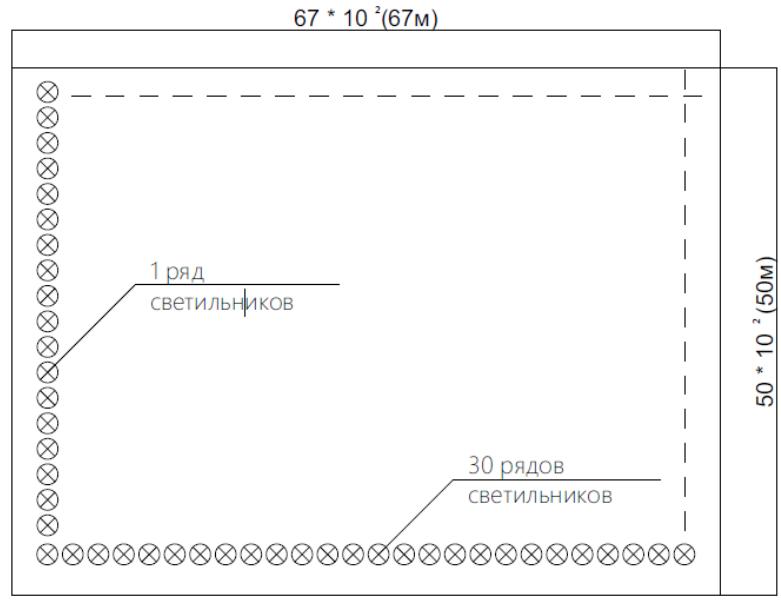


Рисунок 2. План расположения светильников.

Определяем момент нагрузки для каждого ряда светильников (при расчете мощность брать в кВт), кВт×м:

$$m = P_{\text{ряд}} \times L_{\text{ряда}} \quad (22)$$

Определяем $L_{\text{ряда}}$ – длина соответствующей линии освещения (от ввода в ЩО до последнего светильника в ряду).

Расстояние от щита освещения до первого светильника равно 1 м, расстояние между светильниками в ряду -2,25 м

$$L_{\text{ряда}} = 1 + 2,25 \cdot (22 - 1) = 48,25 \text{ м}$$

$$m = 66 \cdot 48,25 = 3185 \text{ Вт} \cdot \text{м}$$

Момент нагрузки питающей линии:

$$M_1 = \sum P_{\text{ряд } 1-n} \times L_1 \quad (23)$$

где: $L_1 = 0,5$ м, длина питающей линии до ввода в распределительный щиток освещения.

$\Sigma P_{\text{ряд } 1-n}$ -суммарная мощность всех рядов светильников

$$\Sigma P_{\text{ряд } 1-n} = P_{\text{ряд}} \cdot N_b = 66 \cdot 30 = 1980 \text{ Вт} \cdot \text{м}$$

$$M_1 = 0,5 \cdot 1980 = 990 \text{ Вт} \cdot \text{м}$$

Определяем сечение питающей линии, мм^2 :

$$S_0 = \frac{M_0 + \alpha_{\text{пр}} * \sum m}{C * \Delta U_{\text{доп}}} \quad (24)$$

Где: $\alpha_{\text{пр}}$ – коэффициент приведения моментов, выбираем из таблицы для трехфазной линии с нулем; однофазное ответвление $\alpha_{\text{пр}}=1,85$
 C – коэффициент, учитывающий количество и материал проводов;
 $C=72,4$ - для напряжения 380/220 В трехфазная с нулем система цепи переменного тока для медных проводов

$\Delta U_{\text{доп}} = 5,5$ – допустимая потеря напряжения в линии (%).

$$S_0 = \frac{990 + 1,85 \cdot 66 \cdot 30}{72,4 \cdot 5,5} = 11,7 \text{ мм}^2$$

Из таблицы справочных материалов выбираем номинальное значение сечения провода ВВГ, медного с числом жил 4, сечение 16 мм^2 .

По найденному значению S_0 определяем ближайшее $S_0 = S_{0\text{ном}} = 11,7 \text{ мм}^2$ допустимый ток $I_{\text{доп}}$ для выбранного провода равен $I_{\text{доп}} = 94,4 \text{ А}$

Проверим выбранное сечение по длительному допустимому току нагрузки, А:

$$I_0 = \frac{\sum P_{\text{ряд}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}} * \cos \varphi} \quad (25)$$

$$I_0 = \frac{1980}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 3,17 \text{ А}$$

Находим действительную потерю напряжения в питающей линии, %:

$$\Delta U_0 = \frac{M_1}{C * S_{0\text{ном}}} \quad (26)$$

$$\Delta U_0 = \frac{990}{72,4 * 11,7} = 1,17\%$$

Ток питающей линии освещения, чтобы проверить выбранный проводник, А:

$$I_{\text{num.}} = \frac{\sum P_{\text{ряд}}}{U_{\phi} * \cos \varphi} < I_{\text{don}} \quad (27)$$

$$I_{\text{num.}} = \frac{1980}{220 \cdot 0,95} = 9,47 \text{ А} < I_{\text{don}},$$

Для отходящих на ряды участков линии располагаемая потеря напряжения для линии, %:

$$\Delta U' = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_0 \quad (28)$$

$$\Delta U' = 5,5 - 1,17 = 4,33\%$$

Определяем сечение проводов на каждый ряд освещения. Сечение участков, мм^2 :

$$S_1 = \frac{m_n}{\Delta U * C} \quad (29)$$

$$S_1 = \frac{3185}{4,33 \cdot 72,4} = 10,2 \text{мм}^2$$

Для провода на освещение необходимо выбираем марку проводов ВВГ сечением 10 мм^2 для каждого ряда светильников с числом жил 3 и максимально допустимым током $I_{\text{доп}} = 79 \text{ А}$

Рассчитаем проводники для подключения ЭП.

Основное условие: $I_p * K_3 \leq I_{\text{доп}}$

где: I_p -расчетный ток, потребляемый электроприемником;

K_3 - коэффициент запаса, принимается равным 1,25 (25%);

$I_{\text{доп}}$ - номинальный допустимый ток провода (берем из таблицы справочных материалов).

Сечение провода питающей линии, идущей от ЭП до распределительных щитков, мм^2 :

$$S_{\text{пит.л.}} = \frac{I_p}{J_3} \quad (30)$$

где: I_p - расчётный ток нормального режима;

J_3 - экономическая плотность тока, зависящая от вида проводника и его изоляции, и продолжительности использования максимальной нагрузки T_{max} , определяем $J_3 = 2 \text{ А/мм}^2$ по таблице справочных материалов для кабеля с ПВХ изоляцией медными жилами при $T_{\text{max}} = 5000 \text{ ч.}$

Определяем расчётный ток для питающего кабеля от 0,4 ТП до ВРУ

$$I_p = \frac{\sum S}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}} \quad (31)$$

где: $\sum S$ - расчётная мощность, текущая по питающей линии 0,4 кВ,

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение;

$$I_P = \frac{97000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 147,6 \text{ А}$$

Определяем $S_{\text{пит.л.}}$ номинальное сечение питающей линии.

$$S_{\text{пит.л.}} = \frac{147,6}{2} = 73,8 \text{ мм}^2$$

Делаем вывод: для обеспечения питания потребителей электроэнергии необходимо использовать несколько кабелей типа ВВГС с числом жил 5 медных с сечением 25 мм^2 и максимально допустимым током $I_{\text{доп}} = 123 \text{ А}$. Количество питающих линий равно 4, прокладываемых от ТП-0,4 кВ до распределительных щитков в помещении цеха. При определении сечения жил проводов (кабелей) принимается значение $J_s = 2 \text{ А/мм}^2$, данные по выбранным проводникам представлены в таблице В.

Таблица В

| № ЭП | Расчетный ток I_P , А | Марка провода (кабеля) | Допустимый ток провода, $I_{\text{доп}}$, А |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| Питающая линия 1 | 40 | ВВГ5*25,мм ² | 123 |
| Питающая линия 2 | 40 | ВВГ5*25,мм ² | 123 |
| Питающая линия 3 | 40 | ВВГ5*25,мм ² | 123 |
| Питающая линия 4 | 40 | ВВГ5*25,мм ² | 123 |
| РЩ 1 (освещение) | 9,47 | ВВГ4*16,мм ² | 94 |
| Освещение на ряды | 3,34 | ВВГ3*10,мм ² | 79 |
| Розетки | 32 | ВВГ3*10,мм ² | 79 |
| РЩ2 (электроприемники) | 40 | ВВГ5*25,мм ² | 123 |
| РЩ3 (электроприемники) | 40 | ВВГ5*25,мм ² | 123 |
| РЩ4 (электроприемники) | 40 | ВВГ5*25,мм ² | 123 |
| ЭП1 | 1,734 | ВВГ3*1,5,мм ² | 27 |
| ЭП2 | 7,514 | ВВГ3*4,мм ² | 47 |
| ЭП3 | 5,347 | ВВГ3*4,мм ² | 47 |
| ЭП4 | 8,96 | ВВГ3*6,мм ² | 59 |
| ЭП5 | 9,827 | ВВГ3*6,мм ² | 59 |
| ЭП6 | 4,913 | ВВГ3*2,5,мм ² | 36 |
| ЭП7 | 10,405 | ВВГ3*6,мм ² | 59 |
| ЭП8 | 3,902 | ВВГ3*2,5,мм ² | 36 |
| ЭП9 | 7,081 | ВВГ3*4,мм ² | 47 |
| ЭП10 | 2,746 | ВВГ3*1,5,мм ² | 27 |
| ЭП11 | 10,98 | ВВГ3*6,мм ² | 59 |
| ЭП12 | 7,514 | ВВГ3*4,мм ² | 47 |
| ЭП13 | 2,023 | ВВГ3*1,5,мм ² | 27 |

| | | | |
|------|-------|--------------------------|----|
| ЭП14 | 4,046 | ВВГ3*2,5,мм ² | 36 |
| ЭП15 | 9,682 | ВВГ3*6,мм ² | 59 |
| ЭП16 | 4,913 | ВВГ3*2,5,мм ² | 36 |
| ЭП17 | 7,078 | ВВГ3*4,мм ² | 47 |
| ЭП18 | 6,503 | ВВГ3*4,мм ² | 47 |
| ЭП19 | 6,647 | ВВГ3*4,мм ² | 47 |
| ЭП20 | 2,023 | ВВГ3*1,5,мм ² | 27 |

5. Расчет аппаратов защиты

В качестве аппаратов защиты на всех участках сети принимаем автоматические выключатели. Автомат выбирается с учетом коэффициента 1,45 (45%) для ЭП, и 1,3 (13%) для освещения

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{ном.АВ}} \geq I_p \times 1,45 \quad (32)$$

где: $I_{\text{доп}}$ - допустимый ток провода;

$I_{\text{ном.АВ}}$ - ток расцепителя автоматического выключателя;

I_p - расчетный ток, потребляемый ЭП.

Из справочных материалов (интернет) выбираем автоматические выключатели трехполюсные или однополюсные в зависимости от потребителя электроэнергии серии S200, ГОСТ Р50345. Распределение подключения ЭП к щитам РЩ2, РЩ3 и РЩ4 с учетом потребляемых ими токов. Перечень выбранных автоматических выключателей представлены в таблице Г.

Таблица Г.

| № ЭП | $I_p \times 1,45$ | $I_{\text{ном.АВ}}, \text{А}$ | Отключающая способность | Наименование выбран. АВ |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ввод 1 (в РЩ1) | 58 | 63 | 4500, А | S203N/AC63 |
| Ввод 2 (в РЩ2) | 58 | 63 | 4500, А | S203N/AC63 |
| Ввод 3 (в РЩ3) | 58 | 63 | 4500, А | S203N/AC63 |
| Ввод 4 (в РЩ4) | 58 | 63 | 4500, А | S203N/AC63 |
| РЩ1- Освещение, ряды №N1/10 | 1,61 | 6 | 4500, А | S201N/AC6 |

| | | | | |
|------------------------------------|------|-------|---------|------------|
| РЩ1- Освещение, ряды №N11/20 | 1,61 | 6 | 4500, A | S201N/AC6 |
| РЩ1- Освещение, ряды №N21/30 | 1,61 | 6 | 4500, A | S201N/AC6 |
| РЩ 1 – розеточная линия | 46,4 | 50 | 4500, A | S202N/AC50 |
| РЩ2 | ЭП1 | 2,51 | 6 | 4500, A |
| | ЭП2 | 10,9 | 16 | 4500, A |
| | ЭП3 | 7,75 | 10 | 4500, A |
| | ЭП4 | 13 | 16 | 4500, A |
| | ЭП5 | 14,2 | 16 | 4500, A |
| | ЭП6 | 7,12 | 10 | 4500, A |
| | ЭП20 | 2,93 | 6 | 4500, A |
| РЩ3 | ЭП7 | 15,1 | 16 | 4500, A |
| | ЭП8 | 5,66 | 6 | 4500, A |
| | ЭП9 | 10,3 | 16 | 4500, A |
| | ЭП10 | 4 | 6 | 4500, A |
| | ЭП11 | 15,9 | 16 | 4500, A |
| | ЭП12 | 10,9 | 16 | 4500, A |
| РЩ4 | ЭП13 | 2,93 | 6 | 4500, A |
| | ЭП14 | 5,87 | 6 | 4500, A |
| | ЭП15 | 14,04 | 16 | 4500, A |
| | ЭП16 | 7,12 | 10 | 4500, A |
| | ЭП17 | 10,26 | 16 | 4500, A |
| | ЭП18 | 9,43 | 10 | 4500, A |
| | ЭП19 | 9,64 | 10 | 4500, A |

6. Расчет токов короткого замыкания.

Токи короткого замыкания определяются с целью проверки выбранных проводников и аппаратов защиты.

Схема замещения для линии электроснабжения при коротком замыкании в точке «1»

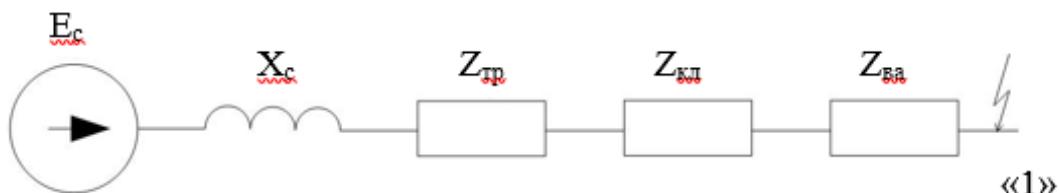


Рисунок 3 – Схема замещения в точке 1

Сопротивление системы, приведённое к напряжению 0,4 кВ:

$$X_C = \frac{U_{\text{номВН}}}{\sqrt{3} \times I_{\text{откл}}} \times \left(\frac{U_{\text{номНН}}}{U_{\text{номВН}}} \right)^2 * 1000 \quad (33)$$

где: $I_{\text{откл}}$ – значение тока отключения выключателя нагрузки, стоящего на стороне ВН трансформаторной подстанции 10/6/0,4 кВ. Принять $I_{\text{окл}}=12,5$ кА,

$$X_C = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 12500} \times \left(\frac{400}{10000} \right)^2 * 1000 = 0,74 \text{ Ом}$$

$r_{\text{tp}} = 22,7$ Ом, $X_{\text{tp}} = 40,8$ Ом - активное и реактивное сопротивление трансформатора, приведённое к стороне 0,4 кВ.

Активное и реактивное сопротивления автоматического выключателя выбираем из таблиц справочного материала

$$X_{\text{ва}} = 2,15 \text{ Ом}, R_{\text{ва}} = 1,2 \text{ Ом}$$

Активное и реактивное сопротивления кабельной линии:

$$X_{\text{К.Л.}} = x_0 \times L \quad (34)$$

$$X_{\text{К.Л.}} = 0,0662 \cdot 1,25 = 0,08275 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{К.Л.}} = r_0 \times L \quad (35)$$

$$R_{\text{К.Л.}} = 0,7 \cdot 1,25 = 0,875 \text{ Ом}$$

где: x_0 – удельное реактивное сопротивление кабельной линии (справочное значение);

r_0 – удельное активное сопротивление кабельной линии (справочное значение);

L – длина линии (взять в исходных данных).

Сопротивление автоматического выключателя находится по справочной таблице

Результирующее сопротивление при КЗ на шинах ТП:

$$Z_{\text{тп}} = \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2} \quad (36)$$

$$\sum R = r_{\text{tp}} + R_{\text{к.л.}} + R_{\text{ва}} = 22,7 + 0,875 + 2,15 = 25,725 \text{ Ом}$$

$$\sum X = X_{\text{tp}} + X_{\text{к.л.}} + X_{\text{ва}} + X_c = 40,8 + 0,083 + 1,2 + 0,74 = 42,83 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{тп}} = \sqrt{\sum 25,725^2 + \sum 42,83^2} = 49,96 \text{ ОМ}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ на шинах ТП, кА:

$$I_{\text{п0 ТП}} = \frac{U_{\text{номин}}}{\sqrt{3} * Z_{\text{тп}}} \quad (37)$$

$$I_{\text{п0 ТП}} = \frac{400}{\sqrt{3} * 49,96} = 4,63 \text{ А}$$

Ударный ток находится по формуле:

$$I_{\text{уд}} = \sqrt{2} * I_{\text{п0 ТП}} * K_{\text{уд}} \quad (38)$$

где: $K_{\text{уд}}=1,9$ - ударный коэффициент (из справочного материала)

$$I_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 4,63 \cdot 1,9 = 12,4 \text{ А}$$

Тепловой импульс при коротком замыкании на шинах ТП, т.е. точке «1»

$$B_K = (I_{\text{п0}}^{(3)})^2 * t_{\text{откл}} \quad (39)$$

где: $I_{\text{п0}}^{(3)}$ – периодическая составляющая тока трехфазного короткого замыкания (КЗ) в начальный момент времени;

$t_{\text{откл}}$ – время отключения КЗ, принять равным 0,5 с.

$$B_K = 4,63^2 \cdot 0,5 = 10,72 \text{ А} \cdot \text{с}$$

Минимальное сечение кабеля по условию термической стойкости при коротком замыкании на шинах ТП:

$$F \geq F_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{90} * 10^3 \quad (40)$$

где: F_{min} – минимальное сечение кабеля по условию термической стойкости

$$F \geq F_{min} = \frac{\sqrt{10,72}}{90} * 10^3 = 36,4 \text{ мм}^2$$

Учитывая, что от ТП до РЩ в цеху питающая линия разделена на четыре нитки, т.е. четыре кабеля осуществляют электроснабжение потребителей в цеху, полученное значение $F_{min}=36,4 \text{ мм}^2$ соответствовало бы одному питающему кабелю, а линия, состоящая из четырех кабелей к разным щитам, вполне подходит для электроснабжения указанных в задании потребителей.

Аналогично находим ток короткого замыкания в точке «2». Допустим, что точкой «2» обозначается электроприемник ЭП2, где происходит замыкание в питающей его кабельной линии.

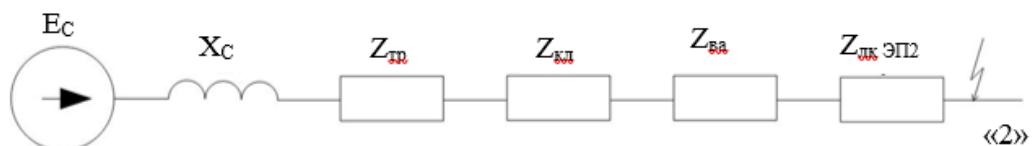


Рисунок 4 – Схема замещения в точке 2

В этом случае в схеме замещения добавляется сопротивление кабеля, питающего электропотребитель 2, а именно кабель ВВГ 3Х4 мм^2 , имеющего соответствующие активное и реактивное сопротивления.

$$R_{\text{расп}}=4,65 \text{ Ом/км}, X_{\text{расп}}=0,095 \text{ Ом/км}$$

Результирующее сопротивление на схеме рис 2:

$$Z_{k32} = \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2} \quad (41)$$

$$\sum R = r_{tp} + R_{k.l.} + R_{ba} + r_{расп} = 22,7 + 0,875 + 2,15 + 4,65 = 30,375 \text{ Ом}$$

$$\begin{aligned} \sum X &= X_{tp} + X_{k.l.} + X_{ba} + X_c + X_{расп} = 40,8 + 0,083 + 1,2 + 0,74 + 0,095 \\ &= 42,92 \text{ Ом} \end{aligned}$$

$$Z_{k32} = \sqrt{\sum 30,375^2 + \sum 42,923^2} = 52,6 \text{ ОМ}$$

Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания на линии к ЭП2

$$I_{\pi0 \text{ расп}} = \frac{U_{\text{номHH}}}{\sqrt{3} * Z_{\text{TP}}} \quad (42)$$

$$I_{\pi0 \text{ расп}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 52,6} = 4,4 \text{ А}$$

Значение ударного тока при коротком замыкании на линии к ЭП2:

$$I_{уд} = \sqrt{2} * I_{\pi0 \text{ расп}} * K_{уд} \quad (43)$$

где: $K_{уд}=1,1$ - ударный коэффициент (из справочного материала)

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot 4,4 \cdot 1,1 = 6,82 \text{ А}$$

Тепловой импульс при коротком замыкании на шинах ТП, т.е. точке «2»

$$B_K = (I_{\pi0 \text{расп}}^{(3)})^2 * t_{\text{откл}} \quad (44)$$

$$B_K = 6,82^2 \cdot 0,5 = 23,24 \text{ А} \cdot \text{с}$$

Минимальное значение сечения кабеля питающего ЭП2:

$$F \geq F_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{90} * 10^3 \quad (45)$$

$$F \geq F_{min} = \frac{\sqrt{0,02324}}{90} * 10^3 = 1,7 \text{ мм}^2$$

Очевидно, что сечение кабеля для электропитания ЭП2, составляющего $3 \times 4 \text{ мм}^2$, вполне удовлетворяет своим сечением заданное условие термической устойчивости при возникновении короткого замыкания в этом кабеле, т.е.

$$4 \text{ мм}^2 > F_{min} = 1,7 \text{ мм}^2$$

7. Расчет заземления

Согласно требованиям ПУЭ в установках 10–35 кВ с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства в любое время года должно быть:

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3} \quad (46)$$

где: I_3 – расчётный ток замыкания на землю, А.

При соблюдении условия R_3 одновременно должно быть не более 10 Ом. Ёмкостной ток замыкания на землю для кабельных сетей определяется по следующей формуле:

$$I_3 = \frac{U_{\text{ВН}} * L_{\text{КЛ}}}{10} \quad (47)$$

где: $U_{\text{ВН}} = 10/6 \text{ кВ}$ – междуфазное напряжение;

$L_{\text{КЛ}} = 21 \text{ км}$, суммарная длина кабельных линий (из исходных данных).

Сопротивление заземляющего устройства:

Исходя из требований ПУЭ, для дальнейших расчётов принимается следующее условие: $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$.

Грунт в районе расположения рассматриваемой подстанции – чернозём (всем принять одинаковым) – земля с удельным сопротивлением $\rho = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Определяем сопротивление заземления железобетонного фундамента здания ТП:

$$R_{\Phi} = \frac{\rho}{\sqrt{S}} \quad (48)$$

где: $S = 21 \text{ м}^2$, площадь, ограниченная периметром здания ТП (из исходных данных).

$$R_{\Phi} = \frac{40}{\sqrt{21}} = 8,73 \text{ Ом}$$

Так как сопротивление естественного заземлителя превышает 4 Ом, то необходимо использовать искусственные заземлители – вертикальные стальные прутки с длиной 1 м и диаметром 16 мм.

Сопротивление одного вертикального электрода:

$$R_B = 0,3 * \rho * K_{cez} \quad (49)$$

где: $K_{cez}=1,6$ – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта.

$$R_B = 0,3 \cdot 40 \cdot 1,6 = 19,2 \text{ Ом}$$

Требуемое сопротивление искусственных заземлителей:

$$R_{иск} = \frac{R_{\Phi} * R_3}{R_{\Phi} - R_3} \quad (50)$$

$$R_{иск} = \frac{19,2 * 4}{19,2 - 4} = 5,05 \text{ Ом}$$

Требуемое число вертикальных электродов:

$$N_B = \frac{R_B}{R_{иск} * \eta_B} \quad (51)$$

где: η_B – коэффициент использования вертикальных заземлителей.

Предварительно принимаем, что вертикальные заземлители устанавливаются в количестве 4 штук по углам заземляющего устройства, тогда $\eta=0,78$.

Окончательно принимаем $N_B = 4$, тогда общее сопротивление заземляющего устройства:

$$R_B = \frac{R_\Phi * \frac{R_B}{N_B * \eta_B}}{R_\Phi + \frac{R_B}{N_B * \eta_B}} \quad (52)$$

$$R_B = \frac{8,73 * \frac{19,2}{4 * 0,78}}{8,73 + \frac{19,2}{4 * 0,78}} = 3,61 \text{ Ом}$$

Величина сопротивления заземления рассматриваемой подстанции вполне приемлема, т.к. меньше 4 Ом, т.е. $R = 3,61 < 4$.

Составим однолинейную схему электроснабжения цеха.

