

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,

$H = 3$ м, высота помещения,

$h_p = 0,7$ м, расчетная высота над полом,

$h_c = 0,3$ 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:

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

где: Φ – световой поток ламп,

$E_n = 400$ лк, нормированная минимальная освещенность,

$K_{\text{зап}} = 1,4$, 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 $\rho_{\text{п}}=50\%$, $\rho_{\text{с}}=30\%$, $\rho_{\text{р}}=10\%$, определим коэффициент использования светового потока $\eta=16\%$

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

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

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

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

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

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 лампы мощностью 2-3 Вт со световым потоком 250 лм.

Определим:

1) осветительную нагрузку в целом :

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

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

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

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

2) реактивную мощность:

$$Q_{p.осв.} = P_{p.осв.} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ определяем по таблице Брадиса, зная, что $\cos \varphi = 0,95$, тогда $\operatorname{tg} \varphi = 0,2381$

$$Q_{p.осв.} = 1980 \cdot 0,2381 = 471,4 \text{ Вар}$$

3) полную мощность:

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

$$S_{p.осв.} = \sqrt{1980^2 + 471,4^2} = 2084 \text{ ВА}$$

4) силу тока:

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

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

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

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

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:

$$E_{н.а} = E_{н} \cdot 0,05 \quad (11)$$

$$E_{н.а} = 400 \cdot 0,05 = 20 \text{ лк},$$

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

$$n_a = \frac{E_{н.а} \cdot K_{\text{зап}} \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (12)$$

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

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:

$$P_{\text{Р.Р.}} = P_{\text{уст.}} \cdot n_{\text{Р}} \cdot K_{\text{с.}} \quad (13)$$

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

$n_{\text{Р}} = 10$, число розеток.

$K_{\text{с}} = 0,8$, коэффициент спроса для сети розеток, принимаемый в зависимости от числа розеток (из справочной таблицы).

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

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

2) реактивную мощность розеточной сети:

$$Q_{\text{Р.Р.}} = P_{\text{Р.Р.}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{Р}}$$

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

$$Q_{p.p} = 9,6 \cdot 0,484 = 4,65 \text{ кВар}$$

3) полную мощность розеточной сети:

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

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

4) силу тока:

$$I_{p.осв} = \frac{S_{p.p}}{U_{ном} \cdot \cos \varphi} \quad (15)$$

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

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

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

3. Расчет мощности электроприемников (ЭП) цеха

Определим:

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

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

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

$K_c = 0,8$, коэффициент спроса

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

$$Q_p = P_p \times \tan \varphi \quad (17)$$

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

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

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

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

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.

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

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

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

На основе рассчитанной мощности $S_{ном}=94169$ ВА трансформатора и заданного напряжения $U_{вх}=10$ кВ на высокой стороне и напряжения $U_{нн}=0,4$ 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 $P_{свет}=3$ В, мощность ряда светильников $P=66$ Вт

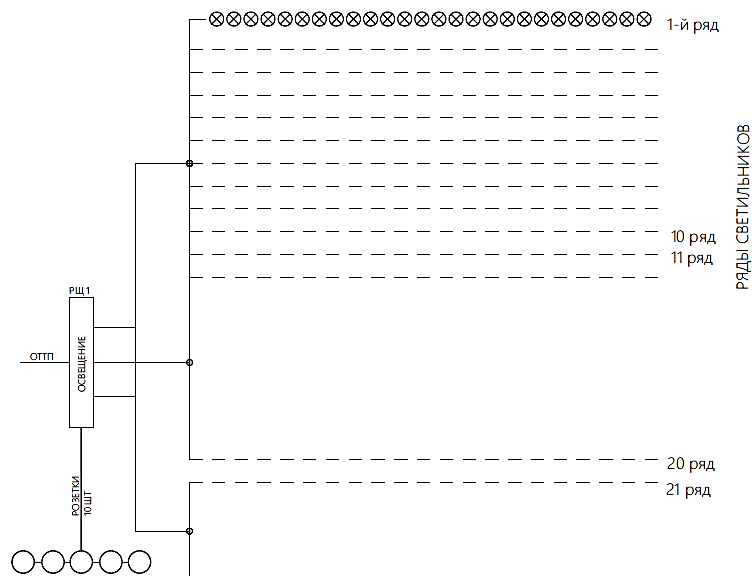


Рисунок 1. Схема осветительной сети.

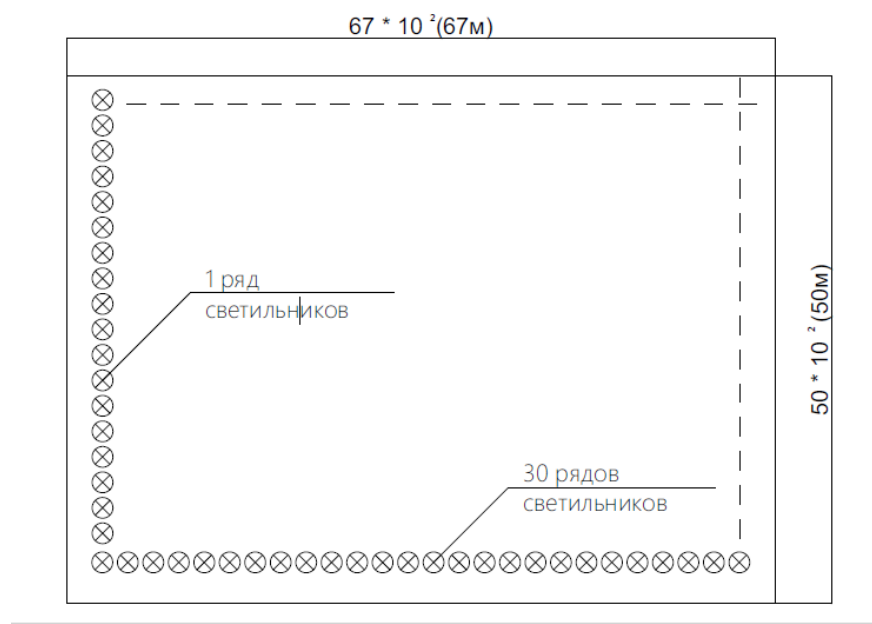


Рисунок 2. План расположения светильников.

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 :

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

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

Проверим выбранное сечение по длительному допустимому току нагрузки, А:

$$I_0 = \frac{\Sigma P_{ряд}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} \quad (25)$$

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

Находим действительную потерю напряжения в питающей линии, %:

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

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

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

$$I_{nut.} = \frac{\Sigma P_{ряд}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi} < I_{доп} \quad (27)$$

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

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

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

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

Определяем сечение проводов на каждый ряд освещения. Сечение участков, мм²:

$$S_1 = \frac{m_n}{\Delta U \cdot C} \quad (29)$$
$$S_1 = \frac{3185}{4,33 \cdot 72,4} = 10,2 \text{ мм}^2$$

Для провода на освещение необходимо выбираем марку проводов ВВГ сечением 10 мм² 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: $I_p \cdot K_3 \leq I_{\text{доп}}$

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, мм²:

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

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

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

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 мм² 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 $J_0 = 2 \text{ А/мм}^2$, 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	ВВГЗ*2,5,мм ²	36
ЭП15	9,682	ВВГЗ*6,мм ²	59
ЭП16	4,913	ВВГЗ*2,5,мм ²	36
ЭП17	7,078	ВВГЗ*4,мм ²	47
ЭП18	6,503	ВВГЗ*4,мм ²	47
ЭП19	6,647	ВВГЗ*4,мм ²	47
ЭП20	2,023	ВВГЗ*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	$I_p \times 1,45$	$I_{\text{номАВ}}, \text{А}$	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, А	S201N/AC6
РЩ1- Освещение, ряды №N21/30		1,61	6	4500, А	S201N/AC6
РЩ 1 – розеточная линия		46,4	50	4500, А	S202N/AC50
РЩ2	ЭП1	2,51	6	4500, А	S203N/AC6
	ЭП2	10,9	16	4500, А	S203N/AC16
	ЭП3	7,75	10	4500, А	S203N/AC10
	ЭП4	13	16	4500, А	S203N/AC16
	ЭП5	14,2	16	4500, А	S203N/AC16
	ЭП6	7,12	10	4500, А	S203N/AC10
	ЭП20	2,93	6	4500, А	S203N/AC6
РЩ3	ЭП7	15,1	16	4500, А	S203N/AC16
	ЭП8	5,66	6	4500, А	S203N/AC6
	ЭП9	10,3	16	4500, А	S203N/AC16
	ЭП10	4	6	4500, А	S203N/AC6
	ЭП11	15,9	16	4500, А	S203N/AC16
	ЭП12	10,9	16	4500, А	S203N/AC16
РЩ4	ЭП13	2,93	6	4500, А	S203N/AC6
	ЭП14	5,87	6	4500, А	S203N/AC6
	ЭП15	14,04	16	4500, А	S203N/AC16
	ЭП16	7,12	10	4500, А	S203N/AC10
	ЭП17	10,26	16	4500, А	S203N/AC16
	ЭП18	9,43	10	4500, А	S203N/AC10
	ЭП19	9,64	10	4500, А	S203N/AC10

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»

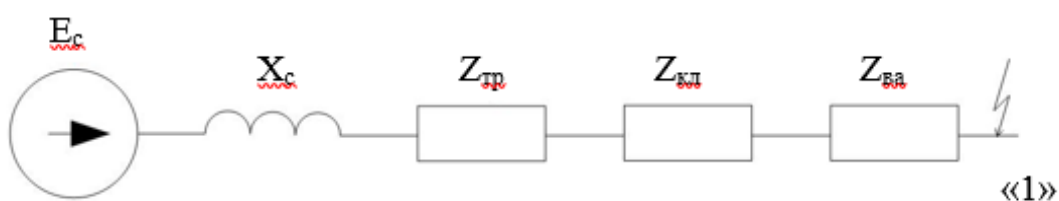


Рисунок 3 – Схема замещения в точке 1

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 $I_{\text{откл}}=12,5$ кА,

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

$r_{\text{тр}} = 22,7 \text{ Ом}$, $X_{\text{тр}} = 40,8 \text{ Ом}$ - 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:

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

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

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

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

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

$$I_{\text{п0 ТП}} = \frac{U_{\text{номНН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{ТП}}} \quad (37)$$

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

Ударный ток находится по формуле:

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

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»

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

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

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

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.

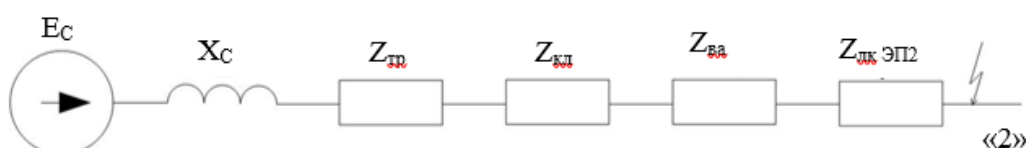


Рисунок 4 – Схема замещения в точке 2

В этом случае в схеме замещения добавляется сопротивление кабеля, питающего электропотребитель 2, а именно кабель ВВГ 3Х4 мм², имеющего соответствующие активное и реактивное сопротивления.

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

Результирующее сопротивление на схеме рис 2:

$$Z_{кз2} = \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2} \quad (41)$$

$$\sum R = r_{тр} + R_{к.л.} + R_{ва} + r_{расп} = 22,7 + 0,875 + 2,15 + 4,65 = 30,375 \text{ Ом}$$

$$\begin{aligned} \sum X &= X_{тр} + X_{к.л.} + X_{ва} + X_c + X_{расп} = 40,8 + 0,083 + 1,2 + 0,74 + 0,095 \\ &= 42,92 \text{ Ом} \end{aligned}$$

$$Z_{кз2} = \sqrt{\sum 30,375^2 + \sum 42,923^2} = 52,6 \text{ Ом}$$

Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания на линии к ЭП2

$$I_{п0 \text{ расп}} = \frac{U_{номНН}}{\sqrt{3} \cdot Z_{ТП}} \quad (42)$$

$$I_{п0 \text{ расп}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 52,6} = 4,4 \text{ А}$$

Значение ударного тока при коротком замыкании на линии к ЭП2:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0 \text{ расп}} \cdot K_{уд} \quad (43)$$

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»

$$B_K = (I_{п0 \text{ расп}}^{(3)})^2 \cdot t_{откл} \quad (44)$$

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

Минимальное значение сечения кабеля питающего ЭП2:

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

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

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:

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

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

$L_{КЛ} = 21 \text{ км}$, 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:

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

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

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

Требуемое сопротивление искусственных заземлителей:

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

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

Требуемое число вертикальных электродов:

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

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.

