

Введение

В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства. Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетики опережали темпы развития других отраслей.

Специфической особенностью электроэнергетики является то, что ее продукция не может накапливаться для последующего и пользования, поэтому потребление соответствует производству электроэнергии и по размерам (разумеется, с учетом потерь) и во времени.

Представить себе жизнь без электрической энергии уже невозможно. Электроэнергетика вторглась во все сферы деятельности человека: промышленность и сельское хозяйство, науку и космос, наш быт. Столь широкое распространение объясняется ее специфическими свойствами: возможностью превращаться практически во все другие виды энергии (тепловую, механическую, звуковую, световую и т.п.); способностью относительно просто передаваться на значительные расстояния в больших количествах; огромными скоростями протекания электромагнитных процесса; способностью к дроблению энергии и образованию ее параметр (изменение напряжения, частоты).

В промышленности электрическая энергия применяется как для приведения в действие различных механизмов, так и непосредственно в технологических процессах. Работа современных средств связи (телеграфа, телефона, радио, телевидения) основана на применении электроэнергии. Без нее невозможно было бы развитие кибернетики, вычислительной техники, космической техники.

Целью данного дипломного проекта является проектирование электроснабжения сварочного цеха. Цех располагается во II климатической зоне. Среда в цехе нормальная. Электропотребители расположены в цехе по

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		4

бесперебойности электроснабжения относятся к II, III категориям, согласно ПУЭ.

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

1. Выбор напряжения силовой и осветительной сети

Величина напряжения является очень важным электрическим показателем. Чем больше величина напряжения, тем меньше ток в проводах, кабелях, шинопроводах, тем меньше их сечение, тем меньше потери мощности и энергии.

Основным потребителем электрической энергии сварочного цеха является прессы, стыковые сварочные машины, сварочные трансформаторы дуговой сварки, вентиляторы, МРС, электропечи, краны.

Наибольшее распространение на предприятиях машиностроительной промышленности получила система питания силовых и осветительных потребителей от общих трансформаторов. В этом случае для цеховых систем принимается система трехфазного тока с напряжением $U=380/220\text{В}$ с глухозаземленной нейтралью. Силовая нагрузка питается на напряжение 380В, а осветительная на напряжение 220В.

При наличии значительного числа силовых приемников с большими и частыми нагрузками (например-сварочное оборудование) их нужно подключить к одному из трансформаторов двух трансформаторной подстанции, а более симметричную нагрузку к другому трансформатору. В этом случае рабочее освещение следует запитывать от трансформатора с симметричной нагрузкой, а аварийное освещение - от трансформатора с несимметричной нагрузкой с тем, чтобы обеспечить качество рабочего освещения.

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

2. Расчет мощности на электроосвещение цеха

Рациональное освещение производственных участков является одним из важнейших факторов предупреждения травматизма и профессиональных заболеваний. Правильно организованное освещение создаёт благоприятные условия труда, повышает работоспособность и производительность труда.

Для цеха принимаем систему комбинированного освещения, состоящую из общего равномерного и местного освещения.

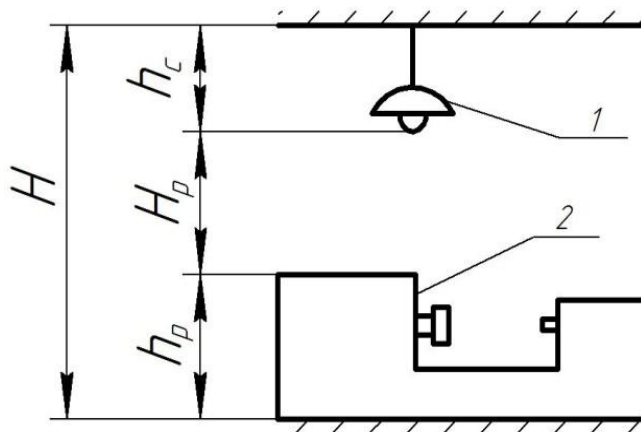
Норму освещенности для производственных помещений цеха принимаем $E_{нор}=300$ Лк.

Нормированная освещенность выбирается из таблиц. Выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера, контраста объекта с фоном и коэффициента отражения рабочей поверхности. В данном цехе бетонный потолок, светлые стены, грязные помещения.

Расчет ведем методом коэффициента использования. Суть этого метода в том, что установленная мощность светильников зависит от нормируемой освещенности цеха, высоты подвеса светильника, площади освещаемой поверхности, коэффициента отражения потолка, рабочей поверхности и стен.

На основании того, что электроприёмники в помещении цеха расположены равномерно и на рабочих местах необходимо создать достаточный уровень освещённости, принимается система комбинированного освещения, состоящая из общего и местного освещения.

Для освещения помещений выбираем светодиодные светильники. Светодиодные светильники обеспечивают наиболее энергоэффективное освещение производственных помещений промышленных предприятий, и в отличие от светильников с традиционными источниками света, которые требуют постоянной замены и периодического ремонта, не нуждаются на протяжении всего срока эксплуатации в каком-либо дополнительном обслуживании.



1-светильник 2-рабочее место

Рисунок 1. Схема подвеса светильников

$$H_p = H - h_c - h_p \quad (1)$$

Где H_p -высота подвеса светильника;

h_c -расстояние светильников отперекрытия, м;

h_p -высота рабочей поверхности от перекрытия, м;

$H=6,5\text{м}$ (по заданию);

$h_c=0,7\text{м};$

$h_p=0,8\text{м}$

$$H_p = 6,5 - 0,7 - 0,8 = 5 \text{ м}$$

Площадь освещаемой поверхности одного пролета $S_{пр}$, м:

$$S_{пр} = B \times A \quad (2)$$

Где B - ширина пролета, м;

A - длина пролета, м.

$B=12$ м (по заданию);

$A=72$ м (по заданию).

$$S_{\text{пр}} = 12 \times 72 = 864 \text{ м}^2$$

Расчет оптимального расстояния между светильниками L (по кривой света) [2]

$$L = (1,2 \div 1,7) \times H_p \quad (3)$$

$$L = 1,5 \times 5 = 7,5 \text{ м}$$

Расстояние от края светильника до стены по длине определяется по формуле

$$L_d = \frac{B \times A}{H \times (B + A)}, \text{ м} \quad (4)$$

$$L_d = \frac{12 \times 72}{6,5 \times (12 + 72)} = 1,58 \text{ м}$$

Расстояние от светильника до стены по ширине:

$$L_{\text{ш}} = 0,5 \times L, \text{ м} \quad (5)$$

$$L_{\text{ш}} = 0,5 \times 7,5 = 3,75 \text{ м}$$

Количество светильников в ряду:

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$N_a = \frac{A - 2 \times L_d}{L_d}, \text{ м} \quad (6)$$

$$N_a = \frac{72 - 2 \times 1,58}{1,58} = 44 \text{ шт}$$

Определяем количество рядов:

$$N_b = \frac{B - 2 \times L_{ш}}{L_{ш}}, \text{ ряд} \quad (7)$$

$$N_b = \frac{12 - 2 \times 3,75}{7,5} + 1 = 2 \text{ ряд}$$

Общее количество светильников:

$$N = N_a \times N_b, \text{ шт} \quad (8)$$

$$N = 44 \times 2 = 88 \text{ шт}$$

Определяем индекс помещения.

Для определения коэффициента использования η_n находим индекс помещения

$$i = \frac{B \times A}{H_p \times (B + A)} \quad (9)$$

$$i = \frac{12 \times 72}{5 \times (12 + 72)} = 2,05$$

Определяем коэффициент отражения стен и потолка и коэффициент использования $\eta_{\text{и}}$. В цехе белый потолок, светлые стены, темный пол, соответственно, выбираем кривую 2 [3]

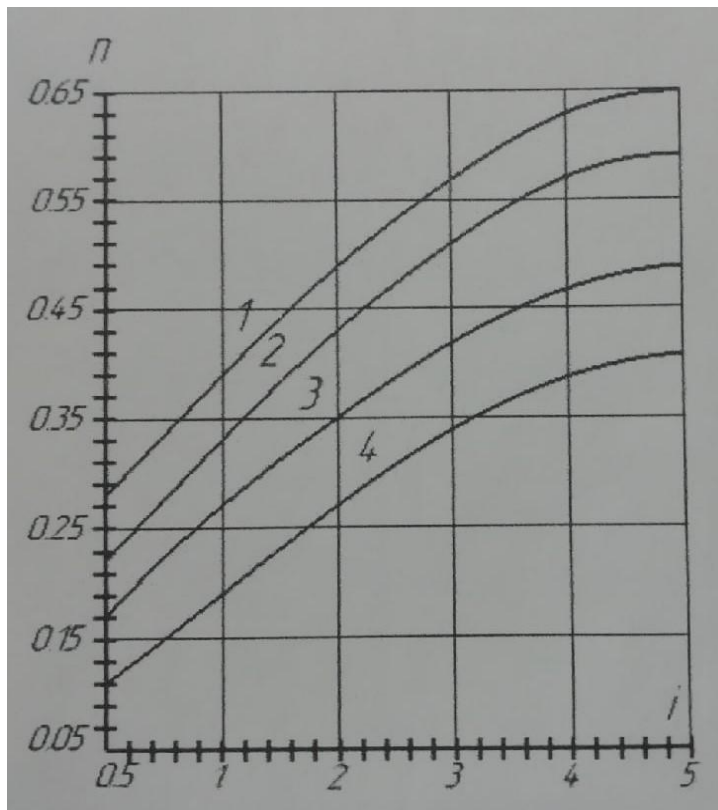


Рисунок 2. Коэффициент использования светового потока

Следовательно, из имеющихся данных, выбираем коэффициент использования равный $\eta_{\text{и}}=0,43$

Определяем световой поток каждого светильника:

$$F = \frac{E_{\text{н}} \times S \times Z \times K_{\text{з}}}{N \times \eta_{\text{и}}}, \text{ Лм} \quad (10)$$

где F – световой поток одной лампы, Лм;

$E_{\text{н}}$ – нормированная освещенность, лк;

$K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса, о.е.;

S – освещаемая площадь, м^2 ;

Z – коэффициент минимальной освещенности

N – число светильников, шт.;

$\eta_{\text{и}}$ – коэффициент использования светового потока, о.е.

$$F = \frac{300 \times 864 \times 1,1 \times 1,8}{88 \times 0,43} = 13563 \text{ Лм}$$

По световому потоку выбираем промышленный светодиодный светильник: АТ-ДО-100/150-PFC [4]

Мощность: 150 Вт

Световой поток: 16000 Лм

Ресурс работы: 50000 ч

Степень защиты: IP

Климатическое исполнение: УХЛ1

Время включения: 1с

Проверим, способен ли данный светильник обеспечить необходимую освещенность:

$$E = \frac{F \times N \times \eta_{\text{и}}}{S \times Z \times K_3}, \text{ Лк} \quad (11)$$

где E –освещенность, Лк;

F –световой поток одной лампы, Лм;

K_3 – коэффициент запаса, о.е.;

S – освещаемая площадь, м^2 ;

Z – коэффициент минимальной освещенности

N – число светильников, шт.;

$\eta_{\text{и}}$ – коэффициент использования светового потока, о.е.

$$E = \frac{16000 \times 88 \times 0,43}{864 \times 1,1 \times 1,8} = 354 \text{ Лк}$$

$$E_{\text{св}} = 354 \text{ Лк} > E_{\text{н}} = 300 \text{ Лм}$$

Мощность освещения одного пролета $P_{\text{р.о.пр}}$, кВт:

$$P_{\text{р.о.пр}} = P_{\text{св}} \times N, \text{ кВт} \quad (12)$$

Где - N – число светильников, шт.;

$P_{\text{св}}$ – мощность светильника, кВт

$$P_{\text{р.о.пр}} = 0,15 \times 88 = 13,2 \text{ кВт}$$

Определяем полную мощность осветительной сети. Согласно требованиям ПУЭ коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,95$ [3]

Находим $\text{tg } \varphi$:

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} \quad (13)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 0,33$$

Реактивная мощность определяется по формуле:

$$Q = P_{\text{р.о.пр}} \times \operatorname{tg} \varphi, \text{кВар} \quad (14)$$

$$Q = 13,2 \times 0,33 = 4,356 \text{ кВар}$$

Полная мощность осветительной сети:

$$S = \sqrt{P_{\text{р.о.пр}}^2 + Q^2}, \text{кВА} \quad (15)$$

Где - $P_{\text{р.о.пр}}$ – мощность освещения одного пролета, кВт;

Q – реактивная мощность, кВар

$$S = \sqrt{13,2^2 + 4,356^2} = 13,9 \text{ кВА}$$

Мощность рабочего освещения производственных помещений цеха $P_{\text{р.о}}$ кВт:

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{св}} \times N \times i, \text{кВт} \quad (16)$$

Где i - число пролетов в цехе (по заданию)

N – число светильников, шт;

$P_{\text{св}}$ – мощность светильника, кВт

$$P_{\text{р.о.}} = 0,15 \times 88 \times 4 = 52,8 \text{ кВт}$$

Для аварийного освещения, в случаи исчезновения рабочего напряжения на светильниках, необходимо предусмотреть 10% от всех светильников (88 шт):

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$P_{ав} = 0,1 \times P_{р.о.}, \text{ кВт} \quad (17)$$

$$P_{ав} = 0,1 \times 52,8 = 5,28 \text{ кВт}$$

Определяем общую мощность электроосвещения цеха:

$$P_{общ} = P_{р.о.} + P_{ав}, \text{ кВт} \quad (18)$$

$$P_{общ} = 52,8 + 5,28 = 63,48 \text{ кВт}$$

3. Выбор пусковой и защитной аппаратуры для пролёта с подробной планировкой

Выбор электрического оборудования производится в зависимости от условий окружающей среды, условий работы, особенностей технологического процесса, заданных параметров приемников.

Для приемников – Прессы и вентиляторы выбираем асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии 4А. [4]

В качестве аппаратов защиты принимаем установочные автоматы типа ВА, установленных в ответвительных коробках КАШ распределительных шинопроводов ШРА.

В качестве пусковых аппаратов принимаем магнитные пускатели типа ПМЛ.

Защита троллейной линии для питания двигателей кранов осуществляется софт стартером ДМС2. Для защиты сварочных машин и трансформаторов принимаем автоматы типа ВА.

Примеры выбора защитной и пусковой аппаратуры:

а) Электроприёмники работающие в ПР

По заданной мощности выбираем АД типа АИР

Электродвигатель АИР180М2 [4]

$$P_n = 30 \text{ кВт}; I_{n, \text{дв.}} = 55,4 \text{ А}; I_{\text{пуск}} = 415,5; U_{n, \text{дв.}} = 380 \text{ В}$$

Принимаем к установке автомат ВА 51-31 $\frac{100}{63}$ [4]

В качестве пусковой аппаратуры принимаем магнитный пускатель типа ПМЛ-4 с $I_n = 63 \text{ А}$ и тепловое реле типа РТЛ-2059(47-64) с $I_n = 80 \text{ А}$. [4]

б) Электроприёмники работающие в ПКР

Стыковые сварочные машины

$$ПВ = 20\% (0,2); S_n = 200 \text{ кВА (согласно задания)}; U = 380 \text{ В} = 0,38 \text{ кВ}$$

Номинальный ток в повторно-кратковременном режиме (ПКР) $I_{\text{пкр. А}}$

$$I_{\text{пкр}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U} = \frac{200}{\sqrt{3} \times 0,38} = 303,87 \text{ А} \quad (19)$$

Приводим ток $I_{\text{пкр}}$ к току продолжительного режима работы $I_{\text{прод. А}}$, по формуле

$$I_{\text{прод}} = I_{\text{пкр}} \times \frac{\sqrt{ПВ}}{0,85} \quad (20)$$

Где ПВ – продолжительность включения (по заданию)

$$I_{\text{прод}} = 303,87 \times \frac{\sqrt{0,2}}{0,85} = 159,8 \text{ А}$$

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		16

Принимаем для защиты автомат типа ВА 51-33 $\frac{160}{160}$ [4]

Пусковой аппарат КВТ-10-1,6/160 с $I_n=160A$ [4]

Аналогично выбираем пусковую и защитную аппаратуру для всех электроприёмников. Данные выбора оборудования заносим в таблицу.

в) Кран G-5т с двигателями (7,5+2,2+11)

1) 7,5кВт $\rightarrow$ МТН132LB6 $\rightarrow$ 19,0А;

2) 2,2кВт $\rightarrow$ МТН012-6 $\rightarrow$ 6,9А;

3) 11кВт $\rightarrow$ МТН311-6 $\rightarrow$ 25,4А

Выбираем ДМС2-015Н (22;18;15) [8]

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дат		

Таблица 1 Выбор электроприемников, пусковой и защитной аппаратуры.

Установленная мощность электроприемников по пролету	Тип эл. двигателя	Технические данные электрооборудования								Аппараты защиты			Пусковые аппараты			
		Р _н , кВт	U _н , В	I _н , А	I _{пус} к./I _н	I _{пуск} , А	η, %	cos φ	Тип	I _н /I _{пл.вст.} или I _н /I _р	Тип	I _н , А	Тип	I _н , А	Тип	Тепловое реле
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Прессы 1)14,15/30кВт	АИР180М2	30	380	55,4	7,5	415,5	91,5	0,90	ВА51-31	100/63	ПМЛ-4	63	РТЛ2059 (47-64)	80		
2) 11,12,13,/22кВт	АИР180S2	22	380	41,5	7,0	290,5	90,5	0,89	ВА51-31	100/50	ПМЛ-4	63	РТЛ2057 (38-52)	80		
Стыковые св.маш 1)1,2,3/200 кВа ПВ=20%		53,6	380	159,8				0,6	ВА51-33	160/160	КВТ-10- 1,6/160	160				
2)5,6/150 кВа ПВ=20%		40,3	380	119,9				0,6	ВА51-33	160/125	КВТ-10- 1,6/160	160				
Сварочные дуговые тр-ры 1)16,17,18,19/30 кВа ПВ=50%		12,09	380	43,23				0,5	ВА51-31	100/50	КВТ1,14- 2,5/63	63				
2) 8,9,10/20 кВа ПВ=50%		8,06	380	28,82				0,5	ВА51-31	100/31,5	КВТ1,14- 2,5/63	63				
Вентиляторы 4,7,20/22 кВт	АИР180S2	22	380	41,5	7,0	290,5	90,5	0,89	ВА51-31	100/50	ПМЛ-4	63	РТЛ2057 (38-52)	80		
Кран G-5т с двигатлем (7,5+2,2+11) кВт ПВ=25%	МТН132LB6 МТН012-6 МТН311-6	7,5 2,2 11	380	19,0 6,9 25,4	4,5 4,0 4,8		82 70 83	0,73 0,69 0,79	ДМС2-015Н	22/18/15						

4. Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок ведем для пролета АВ с подробной планировкой, затем для остальных пролетов по аналогии. [7]

Расчет ведем методом коэффициента максимума. В каждом пролете устанавливается по одному или два ШРА на стойках вдоль электроприемников.

Сущность метода заключается в следующем:

1. Все электрические приемники, присоединенные к ШРА, разбиваем на характерные группы электроприемников по режиму работы.

2. Все эл. приемники, работающие в ПКР, приводятся к длительному режиму работы, т.е. к ПВ=100% (продолжительность включения)

а) Эл. Двигатели

$$P_{\text{нПВ}=100\%} = P_{\text{н}} \times \sqrt{\text{ПВ}} \quad (21)$$

Где ПВ – продолжительность включения (по заданию);

$P_{\text{н}}$ – номинальная мощность (по заданию)

б) Стыковые сварочные машины

$$P_{\text{нПВ}=100\%} = S_{\text{н}} \times \cos \varphi \times \sqrt{\text{ПВ}} \quad (22)$$

Где ПВ – продолжительность включения (по заданию);

$S_{\text{н}}$ – номинальная суммарная мощность (по заданию)

$$1) P_{\text{нПВ}=100\%} = 200 \times 0,6 \times \sqrt{0,2} = 53,7 \text{ кВт}$$

$$2) P_{\text{нПВ}=100\%} = 150 \times 0,6 \times \sqrt{0,2} = 40,25 \text{ кВт}$$

3. Определяем суммарную установленную мощность;

$$\sum P_{\text{н}} = (3 \times 53,7) + (2 \times 40,25) = 241,6 \text{ кВт}$$

4. Определяем среднюю активную и среднюю реактивную мощности;

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \times \sum P_{\text{н}} \quad (23)$$

Где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования [7];

$\sum P_{\text{н}}$ – номинальная мощность (по заданию)

$$P_{\text{см}} = 0,2 \times 241,6 = 48,32 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \times \text{tg } \varphi \quad (24)$$

$$Q_{\text{см}} = 48,32 \times 1,3 = 62,82 \text{ кВар}$$

5. Определяем суммарную активную и реактивную мощности всех эл. приемников, подключенных к данному распределительному устройству.

$$P_{\text{см}} = \sum_{n=1}^n P_{\text{см}} \quad (25)$$

$$P_{\text{см}} = 21,42 + 48,32 = 69,74 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = \sum_{n=1}^n Q_{\text{см}} \quad (26)$$

$$Q_{\text{см}} = 24,85 + 62,82 = 87,67 \text{ кВар}$$

6. Определяем $\text{tg} \varphi$ для данной группы эл. приемников.

$$\text{tg} \varphi = \frac{\sum Q_{\text{см}}}{\sum P_{\text{см}}} \quad (27)$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{87,67}{69,74} = 1,25$$

7. Находим K_u для группы эл. приемников.

$$K_u = \frac{\sum P_{\text{см}}}{\sum P_{\text{н}}} \quad (28)$$

$$K_{\text{и}} = \frac{69,74}{367,6} = 0,19$$

8. Определяем эффективное (приведенное) число эл. приемников.

$$n_{\text{э}} = n_{\text{э}}^* \times n \quad (29)$$

Где $n_{\text{э}}^*$ – относительное эффектное число электроприемников [7];

n – общее кол-во приемников, подключенных к силовому проводу

$$n_{\text{э}} = 0,90 \times 10 = 9 \text{ шт}$$

Где n – общее количество приемников, подключенных к силовому проводу.

9. Определяем эффективное (приведенное) относительное число эл. приемников.

$$n_{\text{э}} = \int (n_*; P_*) \quad (30)$$

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Где n_* – относительное число наибольших по мощности электроприемников [7];

P_* – относительная мощность электроприемников [7]

$$n_* = \frac{n_1}{n} \quad (31)$$

$$n_* = \frac{7}{10} = 0,7$$

$$P_* = \frac{P_{H1}}{P_H} \quad (32)$$

$$P_* = \frac{301,6}{367,6} = 0,82$$

$$P_H \geq 50\%P_{H.\text{макс.}} \quad (33)$$

Где n_1, P_{H1} – число и мощность наибольших приемников данной группы

10. По табл. или кривым определяем K_m как функцию [7]

$$K_m = \int (K_{и}; n_э) \quad (34)$$

11. Определяем максимальную активную, реактивную и полную мощности, а также максимальный ток. [7]

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$P_M = K_M \times P_{CM} \quad (35)$$

$$P_M = 1,9 \times 69,74 = 132,5 \text{ кВт}$$

$$Q_M = K'_M \times Q_{CM} \quad (36)$$

$$Q_M = 1,1 \times 87,67 = 96,4 \text{ кВар}$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} \quad (37)$$

$$S_M = \sqrt{132,5^2 + 96,4^2} = 163,86 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \times U_H} \quad (38)$$

$$I_M = \frac{163,86}{\sqrt{3} \times 0,38} = 249 \text{ А}$$

Данные расчета заносим в таблицу 2.

Итоговая нагрузка всех силовых пунктов определяется по вышеперечисленным формулам согласно методу коэффициента максимума.

По аналогии ведем расчет для других пролетов.

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Таблица 2 Расчет электрических нагрузок

Наименование узлов питания и групп электроприёмников	Количество электроприёмников		Установленная мощность, кВт		ΣP_H кВт		$m = P_{max} / P_{min}$		$K_{и}$	$\cos \phi / \tan \phi$		Средняя нагрузка		P'_n кВт	P^*	P_3	P_3	K_M	Максимальная расчётная нагрузка			
			P_H кВт	шт.	ΣP_H кВт	шт.						P_{cm} кВт	Q_{cm} кВт						P_M кВт	Q_M кВар	S_M кВА	I_M А
1пролет АВ	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
Прессы 1) 30кВт 2) 22кВт	2	30	60	1,36	0,17	0,65/ 1,16	21,42	24,85														
Стыковые сварочные машины с ПВ=20% 1) 200кВа 2) 150кВа	3 2	53,7 40,25	161,1 80,5	1,34	0,2	0,6/1,3	48,32	62,82														
Итого на ШРА – 1	10		367,6	2,44	0,19	0,62/ 1,25	69,74	87,67	7	301,6	0,82	0,7	0,90	9	1,9	132,5	96,4	163,86	249			
Вентильаторы 1) 22кВт	3	22	66	1	0,6	0,8/0,75	39,6	29,7														
Сварочные трансформаторы с ПВ=65% 1) 30кВА 2) 20кВа	4 3	17 11,3	68 33,9	1,5	0,3	0,7/1,03	30,57	31,49														
Итого на ШРА-2	10		167,9	1,94	0,42	0,75/ 0,87	70,17	61,19	10	167,9	1	1	0,95	10	1,43	100,3	67,3	120,7	183,4			
Итого (без крана)	20		535,5	4,75	0,26	0,68/ 1,06	139,91	148,86	7	301,6	0,56	0,35	0,81	16	1,41	197,3	148,86	247	375,3			
Кран G-10т с двигателем (7,5+2,2+11)кВт ПВ=25%	1	10,35	10,35	1	0,05	0,5/1,73	0,52	0,89														
Итого по пролёту АВ	21		545,85	5,2	0,26	0,68/ 1,06	140,43	149,75	7	301,6	0,55	0,33	0,81	17	1,41	198	149,75	248,25	377,17			

Таблица 2 Расчет электрических нагрузок (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Пролет ВД Прессы 1) 30кВт 2) 22кВт	3	20	90	1,36	0,17	0,65/ 1,16	26,52	30,8											
	3	22	66																
Сварочные тр-ры 1) 30кВа	11	17	187	1	0,3	0,7/ 1,03	31,8	32,75											
Итого на ШРА-3 (без крана)	17		343	1,76	0,17	0,67/ 1,09	58,32	63,55	17	343	1	1	0,95	17	1,61	93,9	63,5	113,4	172,3
Краны G-5 С двигателями (7,5+2,2+11) кВт ПВ=25%	1	10, 35	10,3 5	1	0,05	0,5/ 1,73	0,52	0,89											
Итого по пролету ВД	18		353, 35	2,9	0,16	0,67/ 1,09	58,84	64,44	17	343	0,97	0,94	0,95	18	1,65	97,1	64,4	116,6	177,2

Таблица 2 Расчет электрических нагрузок (продолжение)

1 пролет ДЖ	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Прессы 1) 22кВт 2) 10кВт 3) 4кВт	4 2 8	22 10 4	88 20 32	5	0,17	0,65/ 1,16	23,8	27,6											
Сварочные трансформаторы с ПВ=65% 1) 20кВа	7	11,3	79,1	1	0,3	0,7/1,03	23,73	24,5											
Итого на ШРА - 4	21		219,1	5	0,22	0,67/ 1,09	47,53	52,1	11	167,1	0,77	0,52	0,75	16	1,61	76,52	52,1	92,6	140,7
Вентильеры 1) 17кВт	2	17	34	1	0,6	0,8/0,75	20,4	15,3											
Стыковые сварочные машины с ПВ=20% 1) 200кВа 2) 150кВа	2 2	53,7 40,25	107,4 80,5	1,34	0,2	0,6/1,3	37,58	48,9											
Итого на ШРА-5	6		221,9	3,16	0,26	0,67/ 1,1	57,9	64,2	4	187,9	0,85	0,67	0,86	5	2,0	115,8	70,62	135,63	206,1
Итого (Без крана)	27		441	13,42	0,24	0,67/ 1,1	105,43	116,3	4	187,9	0,43	0,15	0,56	15	1,41	148,7	116,3	188,8	286,9
Кран G-10т с двигателем (7,5+2,2+11)кВт ПВ=25%	1	10,35	10,35	1	0,05	0,5/1,73	0,52	0,89											
Итого по пролету ДЖ	28		451,35	13,42	0,24	0,67/ 1,1	105,95	117,2	4	187,9	0,42	0,143	0,56	16	1,41	149,4	117,2	189,9	288,6

Таблица 2 Расчет электрических нагрузок (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Пролет ЖИ МРС 1) 13 кВт 2) 10 кВт 3) 4 кВт	7	13	91	3,25	0,12	0,4/ 2,2	18,84	41,45											
	5	10	50																
	4	4	16																
Вентиляторы 1) 7,5кВт	3	7,5	22,5	1	0,6	0,8/ 0,75	13,5	10,13											
Эл.печи неавтоматизиро- ванные 1) 20кВт	4	20	80	1	0,75	0,95/ 0,3	60	18											
Итого по пролету ЖИ (ШРА-6)	23		259,5	5	0,36	0,8/ 0,75	92,34	69,58	16	221	0,85	0,7	0,85	20	1,24	114, 5	69,58	134	203,6

Таблица 2 Расчет электрических нагрузок (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ШМА-1 (АВ+ВД)	37		878,5	4,75	0,23	0,68/1,07	198,23	212,41	10	391,6	0,45	0,27	0,86	32	1,24	245,81	212,41	327,9	493,64
ШМА-2 (ДЖ+ЖИ)	50		700,5	13,42	0,29	0,72/0,94	197,8	185,9	4	187,9	0,27	0,08	0,57	29	1,24	245,3	185,9	307,8	467,66
Итого по Цеху Без освещения	90		1610,05	13,42	0,25	0,7/1	397,56	400,97	14	579,5	0,36	0,16	0,67	61	1,14	453,22	400,97	605,14	919,5
Освещение			63,48			0,95/0,33	60,31	20,95											
ИТОГО ПО ЦЕХУ	90		1673,53	13,42	0,28	0,74/0,92	457,87	421,92	14	579,5	0,35	0,16	0,72	65	1,14	522	421,92	671,2	1019,8

5. Мероприятия по повышению $\cos\varphi$

Компенсация реактивной мощности или повышение $\cos\varphi$ электроустановок имеет большое значение при выборе комплексного компенсирующего устройства. Подтверждается необходимость их комплексного использования, как для поддержания напряжения сети, так и для компенсации реактивной мощности.

Коэффициент мощности по расчетным нагрузкам $\cos\varphi=0,74$ (т.2), а согласно задания нормативный допустимый для данных предприятий $\cos\varphi=0,95$

Для повышения $\cos\varphi$ принимается групповая компенсация с размещением батарей статических конденсаторов на магистральных шинопроводах 380В.

1) Мощность компенсирующей установки $Q_{кку}$, $кВАр$ определяется по формуле:

$$Q_{кку} = P_{см} \times (tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad (39)$$

ШМА1: $P_{смШМА1}=245,81кВт$;

$tg\varphi_1=1,07$ (таблица 2);

$tg\varphi_2=0,33$ (находим по $\cos\varphi_2=0,95$)

$$Q_{ккуШМА1} = 245,81 \times (1,07 - 0,33) = 181,9 \text{ кВАр}$$

ШМА2: $P_{смШМА2}=245,3кВт$;

$tg\varphi_1=0,94$ (таблица 2);

$tg\varphi_2=0,33$ (находим по $\cos\varphi_2=0,95$)

$$Q_{\text{ккыШМА2}} = 245,3 \times (0,94 - 0,33) = 149,7 \text{кВАр}$$

2) Принимаем к установке две комплектные конденсаторные установки типа УКМ-0,4-240-20 и УКМ-0,4-180-20. [4]

3) Определяем фактическое значение $\cos \varphi$

Где $\text{tg } \varphi_1$ - фактический tg угла, соответствующий действующей расчётной нагрузке;

$\text{tg } \varphi_2$ - tg угла соответствующий согласно заданию после компенсации

$$\text{tg } \varphi = \text{tg } \varphi_1 - \frac{Q_{\text{ккы}}}{P_{\text{см}}} \quad (40)$$

$$\text{tg} \varphi_1 = \text{tg} \varphi_1 - \frac{Q_{\text{ккы}}}{P_{\text{см}}} = 1,07 - \frac{240}{245,81} = 0,094$$

$$\text{tg} \varphi_2 = \text{tg} \varphi_2 - \frac{Q_{\text{ккы}}}{P_{\text{см}}} = 0,94 - \frac{180}{245,3} = 0,21$$

где $Q_{\text{ккы}}$ - стандартное значение мощности выбранного ККУ, кВар.

По $\text{tg} \varphi$ определяем $\cos \varphi$

$$\cos \varphi_1 = \cos(\arctg \varphi) = 0,95$$

$$\cos \varphi_2 = \cos(\arctg \varphi) = 0,95$$

4) Определяем ток комплектного компенсирующего устройства:

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$I_M = \frac{Q}{\sqrt{3} \times U_1} \quad (41)$$

$$I_{M1} = \frac{Q_1}{\sqrt{3} \times U_1} = \frac{240}{\sqrt{3} \times 0,38} = 365 \text{ А}$$

$$I_{M2} = \frac{Q_2}{\sqrt{3} \times U_1} = \frac{180}{\sqrt{3} \times 0,38} = 273,5 \text{ А}$$

5) Рассчитываем оптимальное место размещения комплектных конденсаторных установок.

$$L_{\text{опт}} = L_0 + \left(1 - \frac{Q_{\text{ккы}}}{2 \times Q}\right) \times L \quad [6] \quad (42)$$

Где L_0 и L – соответственно длина магистральной и распределительной части шинпровода;

Q – суммарная мощность шинпровода, кВАр.

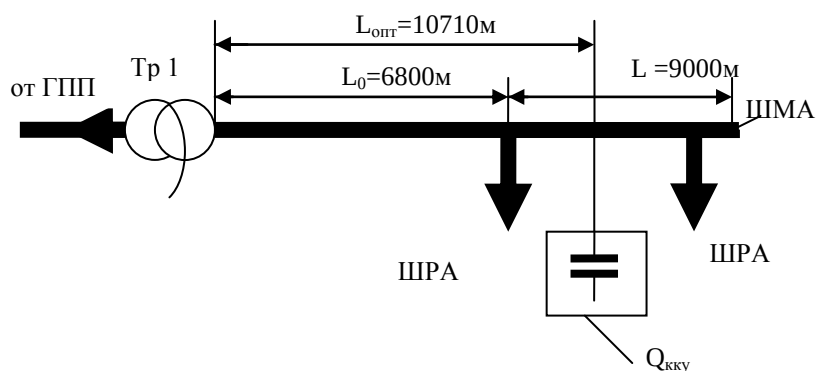
Задавшись типом ККУ, зная $Q_{\text{ккы}}$ и напряжение, выбирают стандартную компенсирующую установку, близкую по мощности.

$$\text{ШМА1: } L_{\text{опт1}} = 6,8 + \left(1 - \frac{240}{2 \times 212,41}\right) \times 9 = 10,71 \text{ м}$$

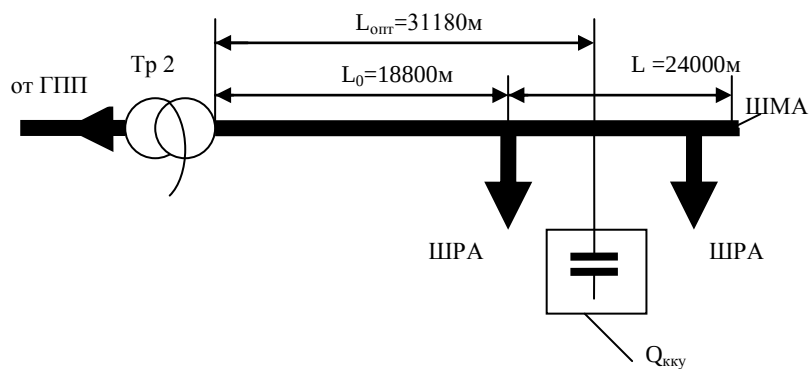
$$\text{ШМА2: } L_{\text{опт2}} = 18,8 + \left(1 - \frac{180}{2 \times 185,9}\right) \times 24 = 31,18 \text{ м}$$

Схема подключения компенсирующего устройства (согласно графической части проекта)

На ШМА-1



На ШМА-2



Условие выбора:

$$I_{\text{н.авт}} = 400 \text{ А} \geq I_{\text{М1}} = 365 \text{ А: принимаю автомат типа ВА51-37}^{\frac{400}{400}}$$

$$I_{\text{н.авт}} = 320 \text{ А} \geq I_{\text{М2}} = 149,7 \text{ А: принимаю автомат типа ВА51-37}^{\frac{320}{250}} [4]$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023

Лист

33

6. Выбор схемы электроснабжения, числа и мощности трансформаторов цеховой ТП

В настоящее время широкое применение получили комплектные трансформаторные подстанции КТП, КНТП. Применение КТП позволяет значительно сократить монтажные и ремонтные работы, обеспечивает безопасность и надежность в эксплуатации.

Расчетная мощность нагрузки с учетом компенсации S_m , кВА определяется по формуле:

$$S_{\text{нтр}}^* = \sqrt{P_m^2 + (Q_m - Q_{\text{ккы}1} - Q_{\text{ккы}2})^2} = \sqrt{522^2 + (421,92 - 240 - 180)^2} = 522,1 \text{ кВА} \quad (43)$$

Где P_m – активная мощность, кВт;

Q_m – реактивная мощность, кВар;

$Q_{\text{ккы}}$ – стандартное значение мощности выбранного ККУ, кВар

Исходя из расчетной мощности и учитывая, что потребители электроэнергии цеха относятся ко II и III категориям по бесперебойности в электроснабжении принимаем к установке внутрицеховую КТП с 2-мя трансформаторами типа ТСЗА $\frac{630}{10}$ [4]

Таблица 3 Технические данные трансформатора

Тип	S_n , кВА	ВН, кВ	НН, кВ	U_k , %	I_{xx} , %	ΔP_{xx} , кВт	ΔP_{k3} , кВт
ТСЗА $\frac{630}{10}$	630	10	0,4	5,5	1,5	2,0	7,3

Коэффициент загрузки трансформатора выразим в %:

$$K_3 = \frac{S_{\text{нтр}}}{2 \times S_{\text{H}}} \times 100\% \quad (44)$$

$$K_3 = \frac{522,1}{2 \times 630} \times 100 = 41,5\%$$

Для приемников 2 и 3 категории находится в допустимых пределах [7]

В аварийном режиме загрузка одного трансформатора $K_{3.ав.}$ % составляет:

$$K_3 = \frac{S_{\text{нтр}}}{S_{\text{H}}} \quad (45)$$

$$K_3 = \frac{522,1}{630} \times 100 = 82\%$$

7. Выбор питающей сети цеха и распределительной сети участка U=0,4кВ

Выбор схемы цеховой сети зависит от многих факторов:

- мощность отдельных потребителей;
- расположения потребителей;

- площади цеха;
- технологического процесса цеха, определяющего категорию электроприемников по бесперебойности питания.

Для передачи и распределения электроэнергии к цеховым потребителям применяется более совершенная схема блока «трансформатор-магистраль», что удешевляет и упрощает сооружение цеховой подстанции. Электроснабжение выполняется магистральными шинопроводами, к которым присоединяются распределительные шинопроводы, и от них радиальными линиями осуществляется питание всех электроприемников. Ответвления к отдельным приемникам выполняются проводом, проложенным в тонкостенных трубах.

8. Расчёт питающей сети цеха и распределительной сети участка $U=0,4\text{кВ}$

8.1. Выбор магистральных шинопроводов ШМА

Магистральный шинопровод выбирается по номинальному току трансформатора.

Номинальный ток трансформатора $I_{н.т.}, A$:

$$I_{нт} = \frac{S_{нт}}{\sqrt{3} \times U} \quad (46)$$

$$I_{нт} = \frac{630}{\sqrt{3} \times 0.38} = 957,2A$$

$$I_{н.шма} = 1250A > I_{н} = 957,2A$$

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Принимаем к установке два магистральных шинопровода типа ШМА-4-1250. [4]

Таблица 4 Технические данные шинопровода

Тип	$I_{н.расч.}, A$	$I_{ном}, A$	Динамическая стойкость, кА
ШМА-4	957,2	1250	70

8.2. Выбор распределительных шинопроводов ШРА

Принимаем к установке четырех полюсные распределительные шинопроводы типа ШРА-4, выбираем их по максимальному расчетному току (таблица 2). [4]

$$I_{н.ШРА} \geq I_M$$

Данные выбора приведены в таблице 5.

Таблица 5 Данные выбора ШРА

№ ШРА	I_M, A	Тип ШРА	$I_{доп}, A$	Сечение шин	Тип автомата
1ШРА	249	ШРА-4-250	250	35×5	BA51 – 35 $\frac{250}{250}$
2ШРА	183,4	ШРА-4-250	250	35×5	BA51 – 35 $\frac{250}{250}$
3ШРА	172,3	ШРА-4-250	250	35×5	BA51 – 35 $\frac{250}{250}$
4ШРА	140,7	ШРА-4-250	250	35×5	BA51 – 35 $\frac{250}{160}$
5ШРА	206,1	ШРА-4-250	250	35×5	BA51 – 35 $\frac{250}{250}$
6ШРА	203,6	ШРА-4-250	250	35×5	BA51 – 35 $\frac{250}{250}$

8.3. Выбор ответвлений от ШМА к ШРА

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		37

Ответвления от ШМА к ШРА выполняем кабелем марки ВВГ в тонкостенных трубах. Сечение проводов выбираем по номинальному току ШРА с учетом дальнейшего роста нагрузки.

$$I_{\text{доп.пров.}} \geq I_{\text{доп.ШРА}}$$

Для получения нулевой шины ШРА предусматривается дополнительный провод. Его проводимость должна составлять 50% проводимости фазного.

Ответвление от ШМА к ШРА-4-250 выполняем кабелем ВВГ 3× 95[12]

$$I_{\text{д}}=261\text{А} \quad \text{Проверка: } 261>250\text{А}$$

8.4. Выбор ответвлений от ШРА к отдельным электроприемникам.

Ответвления от ШРА к отдельным электроприемникам выполняются кабелем марки ВВГнг в тонкостенных трубах. [11]

$$I_{\text{доп.пров.}} \geq I_{\text{расч.}}$$

Выбор сечения кабеля производим по расчетному току. Для сварочных машин берется ток, приведенный к длительному режиму работы $I_{\text{пред}}$, А.

$$I_{\text{пред.}} = I_{\text{ПКР.}} \times \frac{U_{\text{ПВ}}}{0,85} \quad (47)$$

Выбор ответвлений к электроприёмникам сводим в таблицу 6

Таблица 6

Наименование электроприемника	P_n , кВт	I , А	Марка и сечение кабеля, мм ²	$I_{доп}$, А
Прессы	30	55,4	ВВГ _{нг} 3×10+1×6	63>55,4
Прессы	22	41,5	ВВГ _{нг} 3×6+1×4	46>41,5
Стыковые св.маш.	53,6	159,87	ВВГ _{нг} 3×50+1×25	167>159,87
Стыковые св.маш.	40,3	119,9	ВВГ _{нг} 3×35+1×16	137>119,9
Вентиляторы	22	41,5	ВВГ _{нг} 3×6+1×4	46>41,5
Сварочные тр-ры	12,09	43,23	ВВГ _{нг} 3×6+1×4	46>43,23
Сварочные тр-ры	8,06	28,82	ВВГ _{нг} 3×4+1×2,5	36>28,82

9. Выбор аппаратов защиты сети 0,4кВ

В качестве защиты в сети 0,4кВ принимаем автоматические воздушные выключатели серии ВА и предохранители.

9.1. Выбор вводного автомата 0,4кВ на КТП

В качестве вводного автомата на КТП принимаем автоматы серии ВА с селективной защитой, выкатной. [4]

Расчетный ток трансформатора с учетом перегрузки I_m , А

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} \times U} \quad (48)$$

$$I_m = \frac{522,1}{\sqrt{3} \times 0,38} = 793,25 \text{ А}$$

Принимаем в качестве вводных автоматы типа ВА55-41 $\frac{1000}{1000}$

$$I_{н.расц.}=1000A>I_{м}=793,25A$$

9.2. Защита распределительных шинопроводов ШРА.

На ответвлениях от ШМА к ШРА устанавливаем автоматы типа ВА с комбинированным расцепителем.

Выбрано в пункте 8.2. – тип автомата

10. Расчет токов короткого замыкания и построение карты селективности ступеней МТЗ

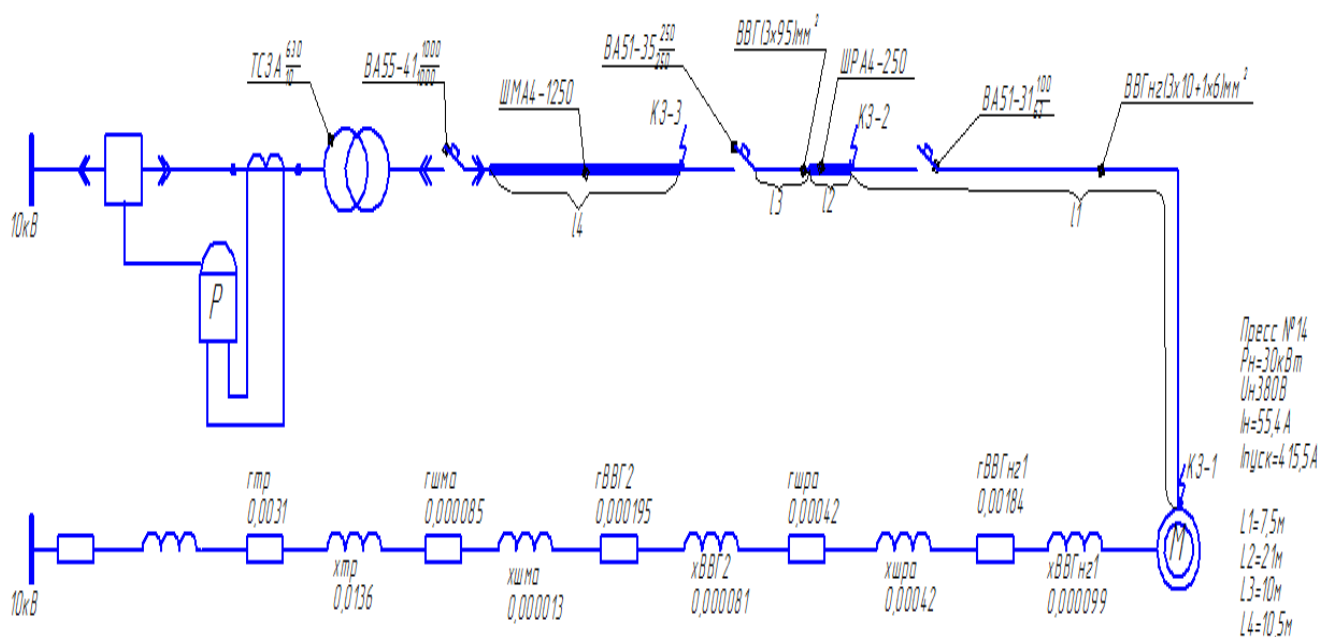


Схема 1

Расчет токов короткого замыкания производим при выражении элементов схемы в именованных единицах. Для заданной точки КЗ построена расчетная схема установки и схема замещения. За базисное напряжение

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023

Лист
40

принимая напряжение шинопроводов КТП, равное 0,4 кВ. Определяется сопротивление по схеме замещения относительно точки КЗ. [7]

Проверку селективности защиты проводим путем сопоставления защитных характеристик аппаратов защиты наносимых на карту селективности.

На участке $l_1=7,5\text{м}$, кабель ВВГ_{нг}3×10+1×6мм², ВА51-31 $\frac{100}{63}$

На участке $l_2=21\text{м}$, ШРА-4-250

На участке $l_3=10\text{м}$, кабель ВВГ 3×95 мм², ВА51-35 $\frac{250}{250}$

На участке $l_4=10,5\text{м}$, ШМА-4-1250, ВА55-41 $\frac{1000}{1000}$

Активное r_o и индуктивное x_o сопротивления цепи. [9]

ВВГ_{нг}1 $r_o=0,00184 \text{ Ом/км}$, $x_o=0,000099 \text{ Ом/км}$

ШРА $r_o=0,00042 \text{ Ом/км}$, $x_o=0,00042 \text{ Ом/км}$

ВВГ2 $r_o=0,000195 \text{ Ом/км}$, $x_o=0,000081 \text{ Ом/км}$

ШМА $r_o=0,000085 \text{ Ом/км}$, $x_o=0,000013 \text{ Ом/км}$

Трансформатор $r=0,0031 \text{ Ом}$, $x=0,0136 \text{ Ом}$

Сопротивление:

$$r_{\text{ВВГ}_{\text{нг}1}} = r_o \times L_1 = 0,00184 \times 7,5 = 0,0138 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{ВВГ}_{\text{нг}1}} = x_o \times L_1 \times \frac{U_{\text{Б}}^2}{U_{\text{ср.лэп}}^2} = 0,000099 \times 7,5 \times \frac{0,4^2}{0,4^2} = 0,0007425 \text{ Ом}$$

$$r_{\text{ШРА}} = r_o \times L_2 = 0,00042 \times 21 = 0,00882 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{ШРА}} = x_o \times L_2 \times \frac{U_{\text{Б}}^2}{U_{\text{ср.лэп}}^2} = 0,00042 \times 21 \times \frac{0,4^2}{0,4^2} = 0,00882 \text{ Ом}$$

$$r_{\text{ВВГ}2} = r_o \times L_3 = 0,000195 \times 10 = 0,00195 \text{ Ом}$$

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$x_{\text{ВВГ2}} = x_0 \times L_3 \times \frac{U_{\text{Б}}^2}{U_{\text{ср.лэп}}^2} = 0,000081 \times 10 \times \frac{0,4^2}{0,4^2} = 0,00081 \text{ Ом}$$

$$r_{\text{ШМА}} = r_0 \times L_4 = 0,000085 \times 10,5 = 0,0008925 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{ШМА}} = x_0 \times L \times \frac{U_{\text{Б}}^2}{U_{\text{ср.лэп}_4}^2} = 0,000013 \times 10,5 \times \frac{0,4^2}{0,4^2} = 0,0001365 \text{ Ом}$$

Ток короткого замыкания в точке К-1:

$$Z_{\text{КЗ1}} = \sqrt{(x_{\text{тр}} + x_{\text{шма}} + x_{\text{ВВГнг1}} + x_{\text{шпа}} + x_{\text{ВВГ2}})^2 + (r_{\text{тр}} + r_{\text{шма}} + r_{\text{ВВГнг1}} + r_{\text{шпа}} + r_{\text{ВВГ2}})^2}$$

$$Z_{\text{КЗ1}} = \sqrt{(0,0136 + 0,0001365 + 0,0007425 + 0,00882 + 0,00081)^2 + (0,0031 + 0,0008925 + 0,00195 + 0,00882 + 0,0007425)^2} =$$

$$= 0,0287 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{\text{КЗ}}} \quad (49)$$

$$I_{\text{КЗ1}} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{\text{КЗ1}}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \times 0,0287} = 8,05 \text{ кА}$$

Где U - напряжение в точке КЗ₁, кВ

Z_{кз1}-полное сопротивление в точке КЗ₁, Ом

Ток короткого замыкания в точке К-2:

$$Z_{K32} = \sqrt{(x_{тр} + x_{шма} + x_{ВВГ_{нг1}} + x_{шпа})^2 + (r_{тр} + r_{шма} + r_{ВВГ_{нг1}} + r_{шпа})^2}$$

$$Z_{K32} = \sqrt{(0,0136 + 0,0001365 + 0,007425 + 0,00882)^2 + (0,0031 + 0,0008925 + 0,0138 + 0,00882)^2} = 0,04 \text{ Ом}$$

$$I_{K32} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{K32}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \times 0,04} = 5,8 \text{ кА}$$

Ток короткого замыкания в точке К-3:

$$Z_{K33} = \sqrt{(x_{тр} + x_{шма})^2 + (r_{тр} + r_{шма})^2}$$

$$Z_{K33} = \sqrt{(0,0136 + 0,0001365)^2 + (0,0031 + 0,0008925)^2} = 0,0143 \text{ Ом}$$

$$I_{K3} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{K33}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \times 0,0143} = 16,15 \text{ кА}$$

Строим карту селективности, для этого чертим сетку в логарифмическом масштабе и наносим на неё защитные характеристики аппаратов защиты: ВА55-41 $\frac{1000}{1000}$; ВА-51-35 $\frac{250}{250}$; ВА51-31 $\frac{100}{63}$

Наносим на карту селективности рассчитанные КЗ₁, КЗ₂, КЗ₃.

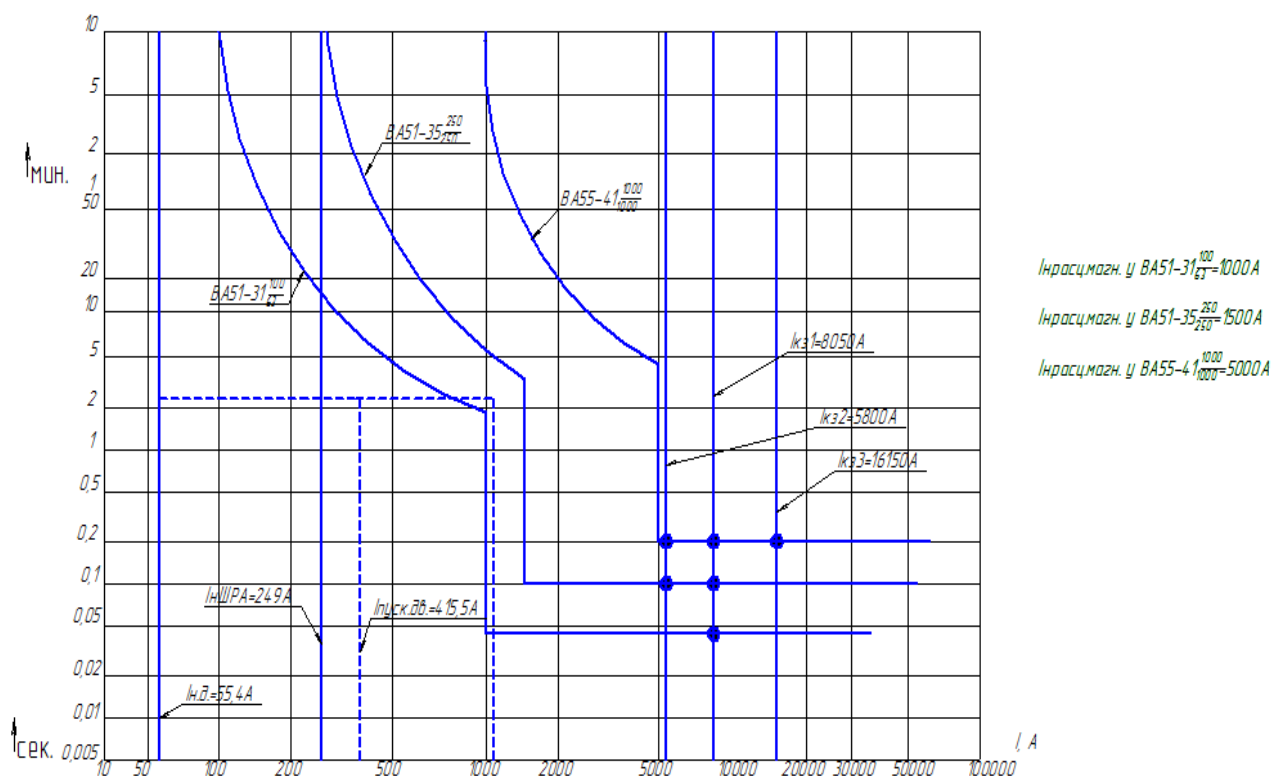
Построение карты селективности:

По карте селективности производится проверка селективности автоматической защиты. Защита электроприёмников на различных ступенях схемы электроснабжения должна срабатывать в определённой последовательности, т.е. должна быть селективной.

Карта селективности строится в логарифмическом масштабе на логарифмической сетке. На карту селективности наносятся защитные характеристики аппаратов с указанием их типов, рабочих и пиковых токов и расчётные токи короткого замыкания. В точках короткого замыкания восстанавливаются перпендикуляры, и определяется время срабатывания. Для различных аппаратов, на определенных ступенях и во всех зонах проверяется селективность защиты. Проверка селективности действия аппаратов защиты осуществляется путём сопоставления их защитных характеристик, выполненных в одном масштабе на одном графике, который называется картой селективности.

Защита считается селективной, если выполняется условие:

$$\frac{t_6}{t_M} \geq 1,7 - 3$$



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023

Лист
44

11. Расчёт и выбор высоковольтного кабеля

Для питания трансформаторов цеховой КТП от РУ-10 кВ выбираем два кабеля марки СБ, прокладываемые в земляной траншее. [10]

Согласно ПУЭ выбираем кабели по 4 условиям:

- 1) по напряжению $U_{н.к} = 10 \text{ кВ}$
- 2) по нагреву в аварийном режиме $I_{доп. к} \geq I_{ав}$

Ток в аварийном режиме $I_{ав}$ определяем по формуле:

$$I_{ав} = \frac{1,3 \times S_{н.мп}}{\sqrt{3} \times U_1} \quad (50)$$

$$I_{ав} = \frac{1,3 \times 630}{\sqrt{3} \times 10} = 47,3 \text{ А}$$

Принимаем к установке кабель СБ(3×6); $I_{доп.к} = 53 \text{ А}$

$$I_{ав} = 47,3 \rightarrow I_{доп} \geq I_{ав} \rightarrow 53 > 47,3 \text{ А}$$

- 3) по экономической плотности тока $S_{каб} \geq S_{эк}$

Экономически целесообразное сечение $S_{эк}$, определяют по формуле:

$$S_{эк} = \frac{I_{н1}}{J_{эк}} \quad (51)$$

Где $I_{н.1}$ - расчетный ток линии, А

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$J_{эк}$ - экономическая плотность, $\frac{A}{мм^2}$

$$I_p = \frac{S_{н.пр}}{\sqrt{3} \times U_1} \quad (52)$$

$$I_p = \frac{630}{\sqrt{3} \times 10} = 36,84$$

$$S_{эк} = \frac{I_p}{J_{эк}} = \frac{36,8}{1,4} = 26,3 \text{ мм}^2$$

Принимаем к установке кабель СБ(3×35); $I_{доп.к} = 157A$

4) по термически устойчивого к действию ТКЗ

$$S \geq S_{мин}$$

Минимальное сечение кабеля $S_{мин}$, мм

$$S_{мин} = I_{\infty} \frac{\sqrt{t_{\phi}}}{C} \quad (53)$$

Где I_{∞} - установившееся значение тока КЗ, А;

t_{ϕ} - фиктивное время протекания тока К.З. с;

C - коэффициент, соответствующей разности выделенной теплоты проводнике до и после К.З ($C=95$)

$I_{\infty} = 10400A$ (согласно задания)

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$t_{\phi} = t_{\phi\Pi} + t_{\phi\Lambda} \quad (54)$$

Где $t_{\phi\Pi}$ - фиктивное время периодической составляющей $I_{\text{к.з.}}$ с

$t_{\phi\Lambda}$ - фиктивное время аperiodической составляющей $I_{\text{к.з.}}$, с;

Время протекания токов К.З.

$$t = t_{\text{защ}} + t_{\text{отк}} \quad (55)$$

Величину $t_{\phi\Pi}$ находят по кривым зависимости $t_{\phi\Pi} = f(\beta''t)$

$$\beta = \frac{I''}{i_{\infty}} = \frac{12100}{10400} = 1,16 \quad (56)$$

где I'' - сверх переходное значение тока К.З., А

$I'' = 12,1$ кА(согласно задания)

Время аperiodической составляющей $I_{\text{к.з.}}$ равно:

$$t_{\phi\Lambda} = 0,05 \times \beta^2 \quad (57)$$

$$t_{\phi\Lambda} = 0.05 \times \beta^2 = 0.05 \times 1.16^2 = 0,067\text{с}$$

$$t_{\phi} = 0,22 + 0,067 = 0,287\text{с}$$

$$S_{\min} = I_{\infty} \frac{\sqrt{t_{\phi}}}{C} = \frac{10400 \times \sqrt{0,287}}{95} = 58,7 \text{ мм}^2 \quad (58)$$

$$S_{\text{КАБ}} = 70 \text{ мм}^2 > S_{\min} = 58,7 \text{ мм}^2$$

По термической устойчивости выбираем кабель СБ(3×70), $I_{\text{доп. к}} = 247 \text{ А}$

Окончательно исходя из всех условий принимаем кабель СБ(3×70), $I_{\text{доп. к}} = 247 \text{ А}$

12. Выбор ячейки на РП. Расчет и проверка выбора высоковольтного выключателя

Выбор высоковольтного выключателя производится по следующим условиям:

Исходные данные:

$$I'' = 12,1 \text{ кА}; \quad I_{\infty} = 10,4 \text{ кА}; \quad U_{\text{н.уст}} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{раб}} = 36,8 \text{ А}; \quad I_{\text{ав}} = 47,3 \text{ А}; \quad t_{\phi} = 0,287 \text{ с}$$

По исходным данным выбираем КРУ-2-10Э с выключателем ВЭМ-10Э и приводом ПЭ-11

Схема заполнения ячейки КРУ-2-10Э

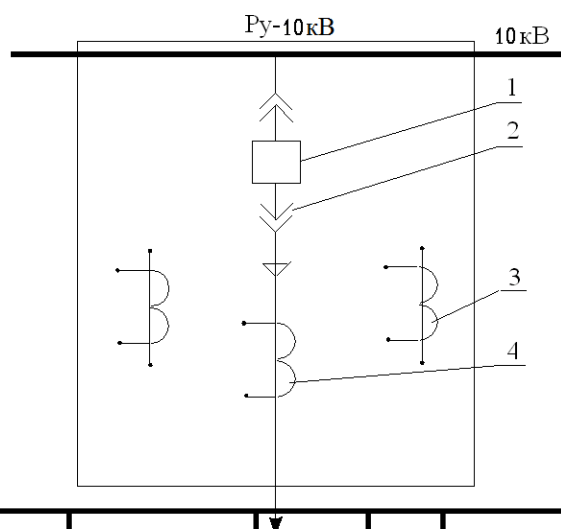


Схема 2

1. Выключатель ВЭМ-10Э
2. Привод электромагнитный ПЭ-11
3. Трансформатор ТПЛ-10 $\frac{150}{5}$
4. Трансформатор ТЗЛ-0,5

В ячейке установлены два ТТ ТПЛ-10. Для питания земляной защиты применяется трансформатор тока ТЗЛ

Таблица 8 Технические данные выключателя

Тип	U _н , кВ	I _н , А	i _{max} , кА	It=10с	I _{по} , кА	S _{по} , МВА
Исходные данные	10	1000	52	14	20	350
Расчёт	10	36,8	38,86	10,4	12,1	210

Проверяем выбор высоковольтного выключателя по следующим условиям:

1) по электрической прочности $U_{н.уст} \leq U_{н.вык}$

$$U_{н.уст} = 10 \text{ кВ} = U_{н.вык} = 10 \text{ кВ}$$

2) по нагреву в длительном режиме $I_{раб} \leq I_{н.}$

$$I_{раб} = 36,8 \text{ А} \leq I_{н.вык} = 1000 \text{ А}$$

3) на динамическую устойчивость $i_y \leq i_{max}$,

Где i_y, i_{max} - мгновенное и максимальное значение ударного тока короткого замыкания, Ка

$$i_y = 2,55 \times I'' = 2,55 \times 12,1 = 30,86 \text{ кА} \quad (59)$$

$$i_y = 30,86 \text{ кА} < i_{у.вык} = 52 \text{ кА}$$

4) проверка на отключающую способность $S'' \leq S_{no}$ ($I'' \leq I_{no}$),

Где S'' , S_{no} - мощность КЗ и мощность предохранительного отключателя, МВА

$$S'' = \sqrt{3} \times U \times I'' = \sqrt{3} \times 10 \times 12,1 = 210 \text{ МВА} \quad (60)$$

$$S'' = 210 \text{ МВА} < S_{no} = 350 \text{ МВА}$$

5) проверка на термическую устойчивость $I_{\infty}^2 \cdot t_{\phi} \leq I_t^2 \cdot t$

$$I_{\infty}^2 \times t_{\phi} = 108,16 \times 0,287 = 31,05 \text{ кА}^2 \text{с} < I_t^2 \times t = 14^2 \times 10 = 1960 \text{ кА}^2 \text{с}$$

13. Расчет заземления цеха

Применяем к установке заземление по периметру цеха на расстояние 3 метра от стен. Длина контура заземления $L=276\text{м}$. Принимаем заземлители из прутков $l=2,5\text{м}$, $d=12\text{мм}$. Расстояние между заземлителями $a=4\text{м}$.

В качестве соединительной полосы принимаем стальную полосу (40х4мм)

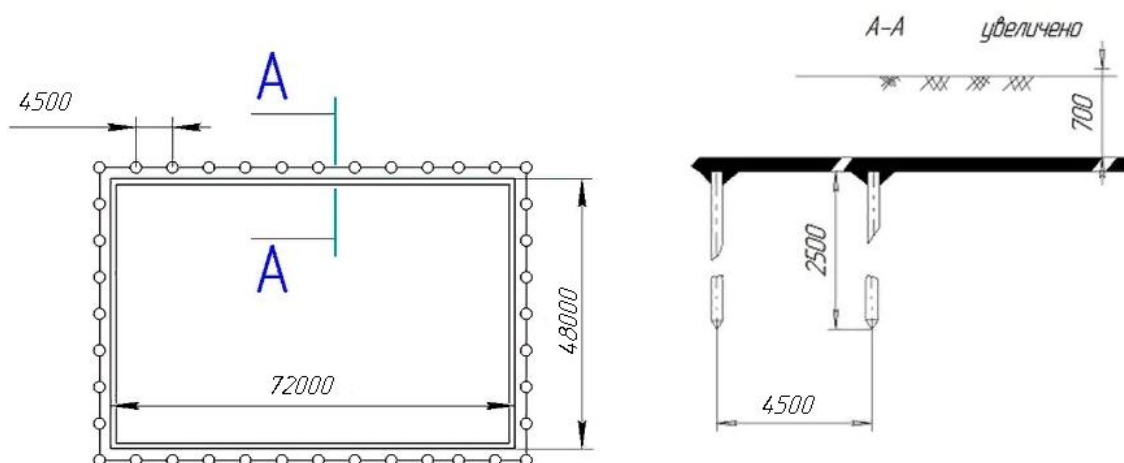


Рисунок 3

Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дат

КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023

Лист
50

Сопротивление заземления должно удовлетворять условиям:

1) $r_{\text{зaz}} \leq 40 \text{ Ом}$ - для сети 0,4кВ [7]

2) $r_{\text{зaz}} < \frac{125}{I_{\text{кз1}}}$ - при условии заземления для сетей 0,4кВ и 6-10кВ,

$$I_{\text{кз1}} = \frac{U \times l_{\text{к}}}{10} \quad (61)$$

Где $l_{\text{к}}$ - длина электрически связанных кабелей сети предприятия напряжением 10кВ

$U=10\text{кВ}; \quad l_{\text{к}} = 27\text{км};$ (по заданию)

$$I_{\text{кз1}} = \frac{10 \times 27}{10} = 27 \text{ А}$$

$$r_{\text{зaz}} = \frac{125}{27} = 4,62 \text{ Ом}$$

Принимаем окончательное условие:

$$r_{\text{зaz}} < 4 \text{ Ом}$$

$r_{\text{зaz}} < 4 \text{ Ом}$ Сопротивление заземления стержневого заземлителя $r_{\text{о.нр}}$, Ом× м

$$r_{\text{онр}} = 0,00227 \times \rho_{\text{расч}} \quad (62)$$

Где $\rho_{\text{расч}}$ - расчетное значение удельного сопротивления грунта в месте устройства заземления, Ом× м

					КП 13.02.11 ЭО-20 МДК01.02. 2023	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$\rho_{расч} = K_{max} \times \rho \quad (63)$$

Где K_{max} - коэффициент сезонности для второй климатической зоны;

ρ – сопротивление грунта, Ом× см;

$K_{max}=1,4$ для второй климатической зоны (по заданию).

$$\rho_{расч} = 1,4 \times 2,7 \times 10^4 = 3,78 \times 10^4 \text{ Ом} \times \text{см}$$

$$r_{опр} = 0,00227 \times 3,78 \times 10^4 = 86 \text{ Ом}$$

Число прутков в контуре заземления n , шт:

$$n = \frac{L}{a} + 1 = \frac{276}{4} + 1 = 70 \text{ шт} \quad (64)$$

Сопротивление заземления соединительной полосы, Ом

$$r_{пол} = \frac{0,366 \times \rho_{расч}}{L} \times \lg \frac{2 \times L^2}{B \times t} \quad (65)$$

Где B - наружный диаметр стержня, м;

t - глубина заложения стержня, м.

$B=0,04\text{м}; t=0,7\text{м}; L=276\text{м}$

$$r_{пол} = \frac{0,366 \times 3,78 \times 10^4}{276 \times 10^2} \times \lg \frac{2 \times 276^2}{0,04 \times 0,7} = 3,38 \text{ Ом}$$

С учетом взаимного экранирования стержневых и полосового заземлителей:

$$r_{пол}^* = \frac{r_{пол}}{n_{пол}} = \frac{3,38}{0,26} = 13 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление заземления:

$$r_{см} = \frac{r_{онр}}{n \times \eta_{см}} = \frac{86}{70 \times 0,58} = 2,12 \text{ Ом} \quad (66)$$

$$r_{зaz} = \frac{r_{см} \times r_{пол}}{r_{см} + r_{пол}} = \frac{2,12 \times 13}{2,12 + 13} = 1,82 \text{ Ом} \quad (67)$$

Сопротивление заземления удовлетворяет условию:

$$r_{зaz} = 1,82 \text{ Ом} < r_{зaz.дон} = 4 \text{ Ом}$$

Литература

1. ГОСТ Р 55710-2013 НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ОСВЕЩЕНИЕ РАБОЧИХ МЕСТ ВНУТРИ ЗДАНИЙ
2. Размещение светильников в помещении [Электронный ресурс] URL: <http://electricalschool.info/main/lighting/1333-razmeshhenie-svetilnikov-v-pomeshhenii.html>
3. Кюрринг Г.М. Справочник по проектированию электрического освещения. – М.: Энергия.
4. Справочные материалы к методическим указаниям по курсовому проектированию «электрооборудование цеха»
5. ПУЭ «Правила устройства электроустановок. Издание 7
6. Шеховцов Д.И. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. - М.: Инфа. 2015
7. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Высшая школа.
8. Рекомендации по выбору ДМС2
9. Расчет электрических нагрузок. Активные и реактивные сопротивления. [Электронный ресурс] URL: https://websor.ru/elektrosnabzhenie/raschet-nagruzok/aktivnye_i_induktivnye_soprotivleniya/
10. Кабель типа СБ [Электронный ресурс] URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-bumajnoi-izolyaciei/sb-1kv/>
11. Кабель типа ВВГнг [Электронный ресурс] URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgng-ls/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgng-ls/)
12. Кабель типа ВВГ [Электронный ресурс] URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvg/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvg/)
13. Методическое пособие для выполнения курсовой работы по специальности 13.02.11 2018г