

АННОТАЦИЯ

Тема выпускной квалификационной работы: «Электроснабжение кузнечно-прессового производства машиностроительного предприятия»

Объем выпускной квалификационной работы - 55 страниц, на которых размещены 14 таблиц и 6 рисунков. При написании выпускной квалификационной работы использовалось 20 источников.

Объектом работы стало кузнечно-прессовое производство машиностроительного предприятия.

Выпускная квалификационная работа предусматривает осуществление выбора напряжений для силовой и световой нагрузки, выбор и обоснование схемы конфигурации и конструкции цеховой силовой сети, выбор освещенности, типа источника света и светильников, расчет электрических нагрузок производства и определении его мощности компенсирующих устройств, выбор числа и мощности трансформаторов и подстанций, выбор аппаратов защиты, расчет токов К.З. и расчет искусственных заземлителей.

В первой главе описывается характеристика объектов электроснабжения и выбор схемы электроснабжения.

Во второй главе ведется расчет силовой и световой нагрузки, выбор числа и мощности питающих трансформаторов, выбор компенсирующего устройства, выбор аппаратов защиты, расчет токов короткого замыкания и расчет заземления.

В третьей главе описываются мероприятия по технике безопасности.

Заключение содержит основные выводы и предложения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Характеристика объектов электроснабжения	5
1.1 Классификация помещений по взрыво, пожаро и электробезопасности	6
1.2 Категория надежности электроснабжения потребителей цеха	8
1.3 Выбор и обоснование схемы, конфигурации и конструкции сети	8
2 Расчет электрических нагрузок цеха	11
2.1 Расчет световой нагрузки	17
2.2 Выбор питающих проводов, распределительных пунктов и расчёт потери напряжения в осветительных сетях	21
2.3 Расчёт компенсирующих устройств	24
2.4 Расчёт и выбор силового трансформатора	25
2.5 Расчет и выбор элементов электроснабжения	26
2.6 Выбор аппаратов защиты, проводов питания электрооборудования и распределительных устройств	29
2.7 Расчёт сетей на потерю напряжения	33
2.8 Расчёт токов короткого замыкания	36
2.9 Выбор и расчет релейной защиты	40
2.10 Расчёт заземляющих устройств	45
3 Мероприятия по технике безопасности и противопожарные мероприятия	50
Заключение	52
Список используемых источников	53

Введение

Электроснабжение — это снабжение (доставка) электроэнергии от места её преобразования (из других видов энергии)ю, к потребителю.

Потребителями, как известно, являются: промышленность, транспорт, сельское хозяйство, коммунальное хозяйство, города, посёлки. При этом на промышленные объекты приходится более 70% электроэнергии.

Большую группу электроприёмников составляют электроприводы общепромышленных механизмов, применяемые во всех отраслях народного хозяйства: транспорт, поточно-транспортные системы, компрессоры, насосы, вентиляторы и электротермические установки.

Для обеспечения подачи электроэнергии в необходимом количестве и соответствующего качества к промышленным объектам, установкам, устройствам и механизмам используют системы энергоснабжения промышленных предприятий, состоящие из сетей напряжением до 1000 В и выше 1000 В и трансформаторных, преобразовательных, и распределительных подстанций.

Потребители электроэнергии имеют свои специфические особенности, чем и обусловлены определённые требования к их электроснабжению — надёжность питания, качество электроэнергии, резервирование и защита отдельных элементов. Автоматизация и механизация сетей электроснабжения, внедрение диспетчерского управления повышают надёжность электроснабжения технических установок и приводят к сокращению потерь электроэнергии.

Выпускная квалификационная работа предусматривает осуществление выбора напряжений для силовой и световой нагрузки, выбор и обоснование схемы конфигурации и конструкции цеховой силовой сети, выбор освещенности, типа источника света и светильников, расчет электрических нагрузок производства и определении его мощности компенсирующих устройств, выбор числа и мощности трансформаторов и подстанций, выбор аппаратов защиты, расчет токов К.З. и расчет искусственных заземлителей.

1 Характеристика объектов электроснабжения, электрических нагрузок участка механосборочного цеха и его технологического процесса

Кузнечно-прессовое производство (КПП) предназначено для подготовки металла к обработке

Участок является составной частью производства машиностроительного завода.

КПП предусматривает производственные, вспомогательные, служебные и бытовые помещения.

Он имеет станочное отделение, в котором установлено оборудование: обдирочные станки типа РТ – 21001 и РТ – 503, электротермические установки, кузнечно-прессовые машины, мостовые краны и др. Участок предусматривает наличие помещений для цеховой ТП, вентиляторной, инструментальной, складов и др.

КПП получает электроснабжение (ЭСН) от собственной цеховой трансформаторной подстанции (ТП). Расстояние от ГПП до цеховой ТП – 1,4км, а от ЭСН до ГПП 12км. Напряжение на ГПП – 110/10кВ

Потребители ЭЭ относятся к 2 и 3 категории надежности ЭСН.

Количество рабочих смен — 2.

Дополнительная нагрузка КППЦ в перспективе составит:

$P_{доп} = 683\text{кВт}$, $Q_{доп} = 828\text{кВАр}$, $K_i = 0,5$.

Грунт в районе производства — суглинок с температурой +15 °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 8м каждый.

Размеры участка $A \times B \times H = 96 \times 56 \times 10 \text{ м}$.

Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 4м.

Характеристики электрических приемников

Основными электрическими приемниками являются асинхронные короткозамкнутые двигатели металлорежущих станков на напряжении 380В мощностью от 2,5 до 10,2кВт и электродвигатели кран-балок 10кВт.

Большинство станков имеет многодвигательный привод с автоматизированным управлением.

Электродвигатели и пускорегулирующая аппаратура поставляется комплектно со станками, и выбор их в данном проекте, не производится.

Таблица 1 - Перечень оборудования электромеханического цеха

№ на	Наименование приемника	n	P1н	Kи	cosF	tgF
1	Вентилятор вытяжной	2	40	0,50	0,80	0,75
2	Вентилятор приточный	1	60	0,60	0,80	0,75
3-5	Электротермические установки	3	15,5	0,5	0,75	0,87
6,17,36	Краны мостовые	3	25	0,05	0,45	2,0
7-16	Обдирочные станки типа РТ 503	10	21,3	0,15	0,65	1,70
18-20	Кривошипные КПМ	3	10,2	0,38	0,7	1,02
21-23	Фрикционные КПМ	3	4,5	0,38	0,7	1,02
24-35	Обдирочные станки типа РТ21001	12	17,5	0,19	0,65	1,70

1.1 Классификация помещений по взрывобезопасности, пожаробезопасности и электробезопасности

На многих промышленных предприятиях в процессе производства применяют, получают или используют горючие и легковоспламеняющиеся жидкости и горючие газы.

В зависимости от условий при которых возможно образование взрывоопасных концентраций взрывоопасные установки (в помещениях и наружные) подразделяются на классы: В - I, В – Ia, В – Ib, В – II, В – IIa/

Пожароопасными называются такие помещения или наружные установки, которых применяют или хранят различные или горючие вещества. Пожароопасные установки(в помещениях и наружные) разделяются на следующие классы: П – I, П – II, П – IIa, П – III.

В соответствии с этим проектируемый участок классифицируется по своим помещениям на взрывобезопасности, пожаробезопасности, электробезопасности на следующие категории

Таблица 2 – Классификация помещения взрывоопасности, пожаробезопасности, электробезопасности.

Наименование помещения	Взрывоопасность	Пожаробезопасность	Электробезопасность
Вентиляторная	-----	-----	ПО
Бытовка	-----	П – Па	БПО
Инструментальная	-----	-----	ПО
Кантора	-----	-----	БПО
Станочное отделение	-----	П – Па	ПО
ТП	В – Па	П – Ш	ОО
Склад	-----	-----	БПО
Комната отдыха	-----	-----	БПО

В – Па – помещения в которых образование взрывоопасных смесей с воздухом горючих газов и паров, возможно только в результате аварии или неисправности.

П – Па – производственные или складские помещения, содержащие твердые или волокнистые горючие вещества (дерево, ткани).

ОО – особо опасные помещения.

ПО – повышенной опасности 75% пылепроводные.

БПО – Без повышенной опасности.

1.2 Категория надежности электроснабжения потребителей цеха

По обеспечению надежности электроснабжения электроприемники разделяют по правилам устройства электроустановок (ПУЭ) на три категории.

Первая категория – электроприемники, нарушение электроснабжения, которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, причинить значительный ущерб народному хозяйству, вызвать повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение нормальной деятельности особо важных элементов городского хозяйства.

Вторая категория – электроприемники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного количества городских жителей.

Третья категория – все остальные приемники, не подходящие под определение первой и второй категорий, например электроприемники цехов несерийного производства, вспомогательных цехов и т.д.

На основании проведенного анализа устанавливаем, что участок механосборочного цеха по надежности электроснабжения относится к приемника третьей категории категории.

1.3 Выбор и обоснование схемы, конфигурации и конструкции сети

Цеховая сеть распределения электроэнергии должна обеспечивать необходимую надёжность электроснабжения, быть удобной и надёжной в эксплуатации, иметь оптимальные технико-экономические показатели, иметь конструктивное исполнение, обеспечивающее применение индустриального и скоростных методов.

На участке кузнечно – прессового производства систему электроснабжения электронагрузок выполняем по системе блока «трансформатор-магистраль», когда к центральному шиннопроводу (ШМА) подсоединяем распределительные штепсель-

ные шинопроводы (ШРА) и от них радиальными линиями осуществляется питание всех электроприёмников цеха.

Основными потребителями эл. энергии в цехе являются эл. приёмники с номинальным напряжением 380/220В и частотой 50Гц. Для питания цеха следует выбрать 3-х фазные сети с глухо заземлённой нейтралью на напряжение 380В и частотой 50Гц. Это позволит одновременно с электрооборудованием цеха запитать освещение с номинальными параметрами напряжения 380/220В и частотой 50Гц.

При наличии электроприёмников 3-ой категории электроснабжения используем одну трансформаторную подстанцию. На основании вышесказанного

составляем схему электроснабжения цеха. Схема будет выглядеть следующим образом:

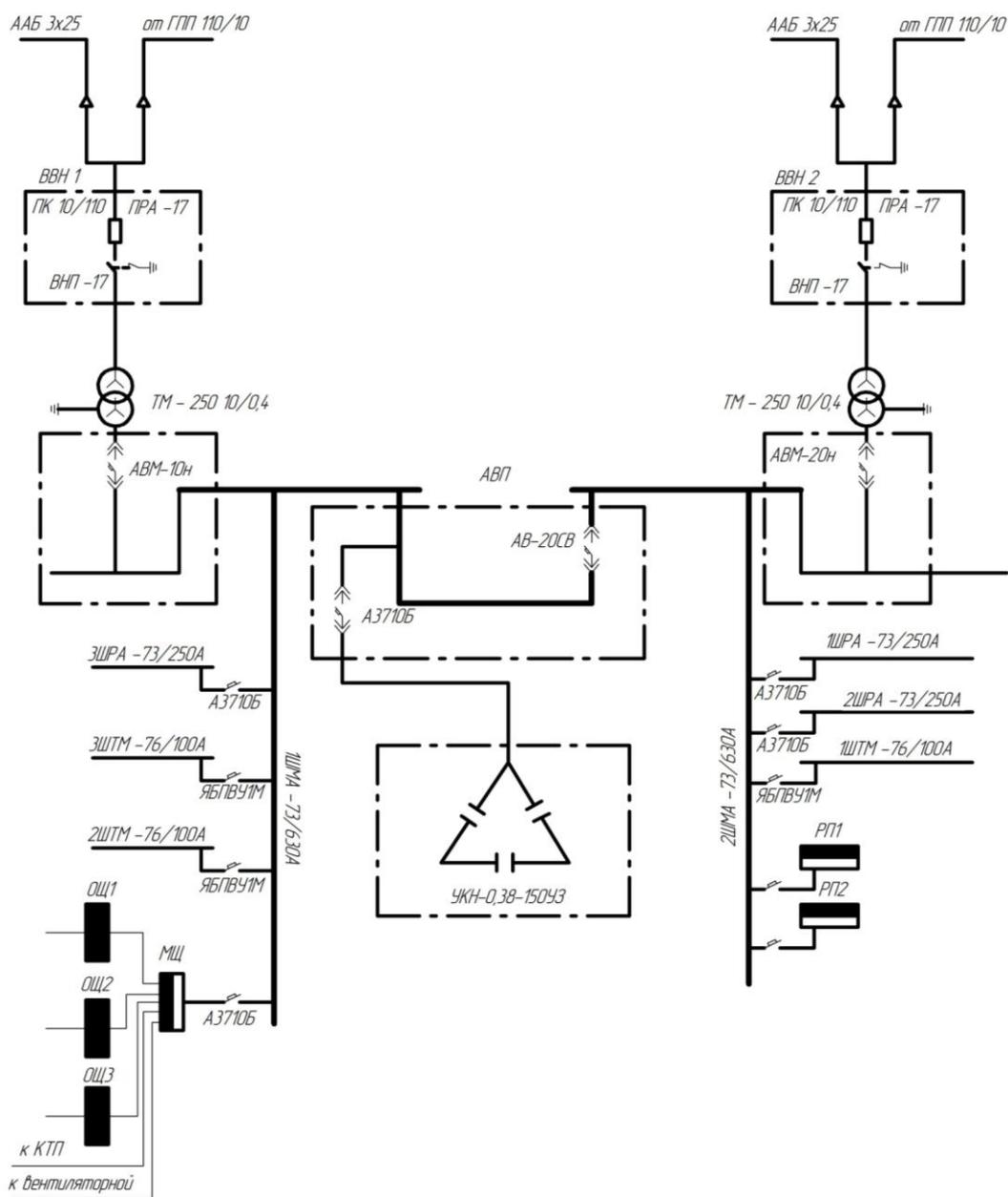


Рисунок 1 Схема электроснабжения кузнечно – прессового производства.

2 Расчет электрических нагрузок цеха

Задачей расчёта электронагрузок электромеханического цеха является определение суммарной нагрузки, которая необходима для выбора мощности силового трансформатора подстанции.

Распределяем электроприёмники по питающим линиям.

В нашем случае в цеху целесообразней установить 2 питающих линии.

Находим расчётную мощность для отдельных групп электроприёмников по формулам:

$$P_{ном1} = P_{н1} \times n + P_{н2} \times n + \dots + P_{нN} \times n \quad (1)$$

где $P_{н1}, P_{н2} \dots$ - еденичная мощность электроприемников; n – количество приемников

$$P_{н} = 17,5 \times 9 = 157,5 \text{ кВт}$$

Определяем среднее активные и реактивные нагрузки за наиболее загруженную смену

$$P_{см1} = K_u \times P_{ном1} ; Q_{см} = P_{см} \times \text{tg}\varphi \quad (2)$$

$$P_{см1} = 157,5 \times 0,19 = 29,92 \text{ кВт}$$

$$Q_{см1} = P_{см1} \times \text{tg}\varphi \quad (3)$$

$$Q_{см1} = 1,70 \times 29,92 = 50,86 \text{ кВАр}$$

$$P_{см} = P_{см1} + P_{см2} + P_{смn} \text{ (кВт)} \quad (4)$$

$$P_{см} = 29,92 + 3,87 + 5,13 = 38,92 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = Q_{см1} + Q_{см2} + Q_{смn} \text{ (кВАр)} \quad (5)$$

$$Q_{см} = 50,86 + 3,94 + 5,2 = 60,03 \text{кВАр}$$

Определяем коэффициент «*m*» по формуле для каждой группы электро приёмников:

$$m = P_{н \text{ макс}} / P_{н \text{ мин}} \quad (6)$$

$$m = 17,5/4,5 = 3,88$$

Определяем эффективное число электроприёмников «*nэ*» по формуле:

$$- \text{если } m < 3, \text{ то } nэ = n$$

$$- \text{если } m > 3, \text{ то } nэ = 2 \times P_{ном} / P_{мах}$$

Средневзвешенный коэффициент использования *K_и* определяем по формуле:

$$K_{и} = P_{см1} / P_{о1} \quad (7)$$

$$K_{и} = 38,92/181,2 = 0,21$$

Определяем коэффициент максимума *K_м* из таблицы Б2 Л-1 по значению *K_и* и *nэ*.

Определяем максимальную активную, реактивную и полную мощность:

$$P_{м} = K_{м} \times P_{см} \quad (8)$$

$$P_{м} = 1,29 \times 38,92 = 50,20 \text{кВт}$$

Для *Q_м* коэффициент максимума определяем из условия,

если $nэ < 10$, то $Kм = 1,1$;

если $nэ > 10$, то $Kм = 1,0$

$$Qм = Kм \times Qсм \text{ (кВАр)} \quad (9)$$

$$Qм = 1,29 \times 60,03 = 77,43 \text{ кВАр}$$

$$Sм = \sqrt{Pм^2 + Qм^2} \quad (10)$$

$$Sм = \sqrt{50,20^2 + 77,43^2} = 92,27 \text{ кВАр}$$

Максимальный ток:

$$Iм = Sм \times 1000 / \sqrt{3} \times Uн \text{ (A)}, \quad (11)$$

$$Iм = 92,27 \times 1000 / \sqrt{3} \times 380 = 140,35 \text{ A}$$

где $Uн = 380 \text{ В}$

Определяем: $\cos\varphi$ и $\text{tg}\varphi$

$$\cos\varphi = Pм / Sм \quad (12)$$

$$\cos\varphi = 50,20 / 92,27 = 0,54$$

$$\text{tg}\varphi = \Sigma Qсм / \Sigma Pсм \quad (13)$$

$$\text{tg}\varphi = 60,03 / 38,92 = 1,54$$

Определяется методом удельной мощности нагрузка ОУ

$$P_{\text{оу}} = P_{\text{уд}} \times S \quad (14)$$

$$P_{\text{оу}} = 16 \times 5376 \times 10^{-3} = 86,01 \text{ кВт}$$

где $P_{\text{уд}}$ – удельная мощность. (Находится по таблице)

Определяются потери в трансформаторе

$$\Delta P_{\text{м}} = 0,02 \times S_{\text{м}}(\text{кВТ}) \quad (15)$$

$$\Delta P_{\text{м}} = 0,02 \times 410,53 = 8,21 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{м}} = 0,1 \times S_{\text{м}} \quad (16)$$

$$\Delta Q_{\text{м}} = 0,1 \times 410,53 = 41,05 \text{ кВАр}$$

$$\Delta S_{\text{м}} = \sqrt{(\Delta P_{\text{м}}^2 + \Delta Q_{\text{м}}^2)} \quad (17)$$

$$\Delta S_{\text{м}} = \sqrt{8,21^2 + 41,05^2} = 41,86 \text{ кВА}$$

$$I_{\text{м}} = S_{\text{м}} / \sqrt{3} \times 10 \quad (18)$$

$$I_{\text{м}} = 41,86 / 1,73 \times 10 = 2,41 \text{ А}$$

Определяем расчетную мощность трансформатора с учетом потерь, но без компенсации реактивной мощности

$$S_{\text{м}} = S_{\text{р}} = 0,7 \times S_{\text{м}}(\text{кВТ}) \quad (19)$$

$$S_{\text{м}} = 0,7 \times 446,14 = 312,29 \text{ кВА}$$

По таблице выбираем КТП 2 × 250 – 10/0,4

$P_x=1,05$ кВт $U_{кз}=4,5\%$ $R_T=5,6$ мОм $Z_T=15,9$ мОм

$P_{кз}=3,7$ кВт $i_{кз}=2,3\%$ $X_T=14,9$ мОм

$$K_3 = S_{нн}/S_m \quad (20)$$

$$K_3 = 410,53/2 \times 250 = 0,82$$

Полученное значение $K_3 = 0,82$ позволяет дать заключение, что в нормальном режиме при максимальной $S_{нн} = 410,53$ нагрузка не превышает 1 (100% нагрузки на тр-р) и будет способствовать экономическому режиму работы трансформатора.

Таблица 3 – Данные Силовой нагрузки производства

Наименование приемника	$P_{н1}$	n	$P_{н}$	$K_{и}$	$\text{Cos}\phi$	$\text{tg}\phi$	m	$P_{см}$	$Q_{см}$	$n\phi$	$K_{м}$	$P_{м}$	$Q_{м}$	$S_{м}$	$I_{м}$
1- я питающая линия															
Обдирочные станки типа РТ-21001	17,5	9	157,5	0,19	0,65	1,7		29,92	50,86						
Кривошипные КПМ	10,2	1	10,2	0,38	0,7	1,02		3,87	3,94						
Фрикциоонные КПМ	4,5	3	13,5	0,38	0,7	1,02		513	5,23						
Итого по 1-й линии	32,2	13	181,2	0,21	0,54	1,54	3,88	38,92	60,03						
2 - я питающая линия															
Обдирочные станки типа РТ-21001	17,5	3	52,3	0,19	0,65	1,7		9,97	16,94						
Кривошипные КПМ	10,2	2	20,4	0,38	0,7	1,02		7,75	7,9						
Обдирочные станки типа РТ-503	21,3	5	106,5	0,05	0,65	1,7		15,95	27,14						
Итого по 2-й линии	41	10	179,4	0,18	0,54	1,54	2,08	33,69	51,98	10	1,39	46,86	72,35	86,09	131
3 - я питающая линия															
Обдирочные станки типа РТ-503	21,3	5	106,5	0,15	0,65	1,7		15,97	27,14						
Итого по 3-й линии	21,3	5	106,5	0,14	0,5	1,71	1	15,79	27,14	10	1,65	26,05	44,78	51,8	78,8
4 - я питающая линии															
РП-1															
Вентилятор вытяжной	40	1	40	0,5	0,8	0,75		20	15						
Вентилятор приточный	60	1	60	0,6	0,8	0,75		36	25						
Краны мостовые	25	3	75	0,05	0,45	2		3,75	7,5						
РП-2															
Электротермические установки	15,3	3	46,5	0,5	0,75	0,78		23,25	20,22						
Итого по 4-й линии	140,5	8	221,5	0,37	0,71	0,81	3,87	83	67,22	8	1,1	91,3	74,49	117,83	179,2
Силовая нагрузка		36	688,6		0,79	1,2		171,4	206,87			214,37	268,95	343,93	523,2
Световая нагрузка			86,01	0,86	0,95	0,033		73,11	24,12			73,11	24,12	76,98	117,1
Всего на ШНН			774,6	3,16	0,98	0,94		244,5	230,99			287,48	293,07	410,53	624,5

2.1 Расчет осветительной нагрузки

Расчет электроосвещения выполняем методом коэффициента использования светового потока для каждого помещения

$$A = 96\text{м}, B = 56\text{м}, S = 5376\text{м}^2$$

Среда на участке нормальная, коэффициент отражения

$$R_n = 50\% , R_c = 70\% , H = 10\text{м}$$

Система освещения – общее комбинированное. Вид освещения: - рабочее и аварийное

Для освещения промышленной зон в качестве источников света выбираем лампы ДРЛ, тип светильников УПД. Норма освещённости согласно СНиП цехов машиностроительных заводов при освещении их лампами ДРЛ и люминесцентными лампами в зависимости от типа производства может лежать в пределах от 100 – 300 Лк.

Для создания благоприятных условий в цеху выбираем освещённость $E = 300\text{лк}$

Определяем расчетную высоту h (расстояние от рабочей поверхности до источника света).

При $H = 10\text{м}$ и $h_c = 0$ (высота свеса светильников) и $h_p = 1\text{м}$ (высота рабочей поверхности)

$$h = H - h_c - h_p = 10 - 0 - 1 = 9\text{м} \quad (21)$$

Определяем индекс помещения

$$i = A \times B / h \times (A + B) \quad (22)$$

$$i = 5376 / (9 \times (96 + 56)) = 5,06$$

Определяем коэффициент использования по таблице для $i = 5,06$; $R_n = 50\%$;
 $R_c = 70\%$ находим $u = 0,57$

Для определения количества ламп задаёмся мощностью для ДРЛ. Выбираем $P = 700$ Вт; $\Phi_l = 33000$ лм при $U = 220$ В

Количество ламп определяем по формуле:

$$n = E \times S \times K \times Z (u \times \Phi_l) \quad (23)$$

$$n = 300 \times 5376 \times 1,5 \times 1,2 / (0,57 \times 33000) = 154 \text{ лампы}$$

где $E = 300$ лк; $S = 5376$ м²; $K = 1,5$; $Z = 1,2$

Принимаем к установке 44 лампы.

Общая установленная мощность

$$P_y = n \cdot P_l = 154 \cdot 700 = 107800 \text{ Вт} = 107,8 \text{ кВт.} \quad (24)$$

Определяем расстояние между светильниками для принятых ламп:

$$\lambda = 1,4; \text{ т.к. } J = L / h, \text{ то } L = \lambda \times h \quad (25)$$

$$L = 1,4 \times 9 = 12,6 \text{ м.}$$

Количество рядов:

$$N_p = B / L = 30 / 9,24 = 4,4 \quad (26)$$

Принимаем 5 рядов.

Количество ламп в ряду:

$$N_l = n / N_p = 154 / 5 = 31 \quad (27)$$

Принимаем в каждом ряду по 31 лампе

Удельная мощность:

$$P_{уд} = P_{\Sigma} / S = 108500/5376=20,1 \text{ Вт/м}^2 \quad (28)$$

Максимальная мощность для освещения цеха:

$$P_{\text{м}} = 1,12 \times P_{\Sigma} K_{\text{с}} = 1,12 \times 108,5 \times 0,95 = 115,4 \text{ кВт} \quad (22)$$

где $K_{\text{с}} = 0,95$ – коэффициент спроса

Реактивная мощность:

$$Q_{\text{м}} = P_{\text{м}} \times \text{tg}\varphi = 115,4 \times 0,33 = 38,08 \text{ кВАр.} \quad (23)$$

Для ДРЛ $\text{tg}\varphi = 0,33$

Полная мощность и максимальный ток:

$$S_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2} \quad (24)$$

$$S_{\text{м}} = \sqrt{115,4^2 + 38,08^2} = 121,5 \text{ кВА.}$$

$$I_{\text{м}} = S_{\text{м}} \times 1000 / U \quad (25)$$

$$I_{\text{м}} = 121,5 \times 1000 / 220 = 552,27$$

Таблица4 - Нагрузки сети электроосвещения цеха.

Тип освещения	S м ²	P _{уд} Вт/м	P _л Вт	P _м кВАр	Q _м кВА	S _м кВт	I _м А	N/n
Станочное освещение	5376	20,1	700	115,4	38,08	121,5	552,27	5/31

Расчёт освещения бытовых помещений

Электромеханический цех располагает различными бытовыми помещениями. Наличие и размеры этих помещений приведены в таблице №4.

Расчёт электроосвещения выполняем методом коэффициента использования светового потока.

В качестве источников электроосвещения выбираем люминесцентные лампы ЛБ – 80, тип светильника ЛПО

Таблица 5 - Нагрузки сети электроосвещения бытовых помещений

№ п/п	Наимен. помещения	S мм ²	P _у Вт	E лк	Тип светильника	P _м	Q _м	S _м	I _м	N
						Вт	Вар	ВА	А	шт
1	Бытовка	12	4	30	ЛПО	3,58	0	3,58	16,2	4
2	Склад зап. деталей	12	3	75		2,68	0	2,68	12,1	30
3	ТП	12	4	30		3,58	0	3,58	16,1	4
4	Вентиляционная	12	2,08	200		1,86	0,61	1,95	8,90	26
5	Контора	57	4,3	30		3,85	0	3,85	17,5	43
6	Склад	12	2,08	200		1,86	0,61	1,95	8,90	26
7	Инструментальная	12	2,08	200		1,86	0,61	1,95	8,90	26
8	Комната отапливаемая	13	21,54	-		19,2	6,36	20,31	9	159
	Итого:									

Таблица 6 - Общая световая нагрузка

Тип помещения	S м ²	P _у кВт	P _м кВт	Q _м кВт	S _м кВт	I _м А	N/n
Станочное отделение	5376	108,5	115,4	38,08	121,5	552,2	155
Бытовые ещ.	1344	21,54	19,29	6,36	20,31	92,32	159
Итого:	6720	130	134,6	44,44	141,81	664,5	-

2.2 Выбор питающих проводов, распределительных пунктов и расчёт потери напряжения в осветительных сетях

Для выбора питающих проводов и распределительных пунктов необходимо иметь данные по освещению цеха и бытовых помещений. Исходными данными для такого выбора являются данные приведенные в таблице №4

по цеху: P_м = 19,29 кВт; Q_м = 6,36 кВт; S_м = 20,31 кВт; I_м = 92,32А

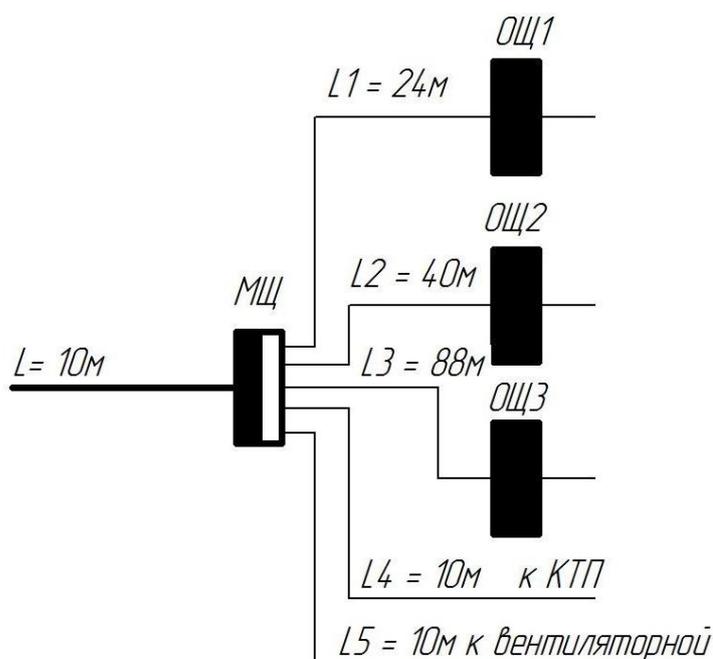


Рисунок 2 - Схема осветительной сети цеха.

Определяем моменты для всех участков.

Для МЩ

$$M' = L'(P1+P2+P3+P4+P5) \quad (26)$$

$$M' = 10(54,25+54,25+4,3+4+2,08+2,08)=1230 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$M1 = L1 \times P1 = 24 \times 54,25 = 1302 \text{ кВт}\cdot\text{м} \quad (27)$$

Для формул могут использоваться следующие величины:

ΣM – сумма участков с одинаковым числом проводов (4-х проводная линия)

Σm – сумма участков с различным числом проводов (2-х проводная линия)

C – коэффициент, зависящий от материала проводника, U_n , рода тока, системы сети: для 4-х пр. $C = 44$, для 2-х пр. $C = 7,6$; $\alpha = 1,85$

$\Delta U_{л}$ – минимальные дополнительные потери в сети освещения. $\Delta U_{л} = 5\%$

Определяем сечение проводов на участках 1-2; 2-1; 2-2; 2-3; 2-4;

на участке 1-2 сечение провода составит:

$$F = (\Sigma M / C \cdot \Delta U_{л}) \times ((M1+M2+M3) + \alpha \times (M3+M4) / C \times \Delta U_{л}) \quad (28)$$

$$F = ((1302+2170+1279,5)+1,85 \times (15+20)) / 44 \times 5 = 22,89 \text{ мм}^2$$

Выбираем сечение $F = 25 \text{ мм}^2$

Потери U на этом участке:

$$\Delta U' \% = M' / (C \cdot F) \quad (29)$$

$$\Delta U' \% = 282 / (44 \cdot 6) = 1,28\%$$

Для участков 2-1; 2-2; 2-3; 2-4; потери U составят:

$$\Delta U1\% = \Delta U2\% = \Delta U3\% = \Delta U4\% = \Delta U_{л\%} - \Delta U'_{\%} = 5 - 1,28 = 3,72\% \quad (30)$$

Сечение проводов на этих участках:

$$F1 = MI / (C \cdot \Delta U1) \quad (31)$$

$$F1 = 1302 / (44 \times 3,89) = 7,6 \text{ мм}^2.$$

Выбираем сечение 10 мм², с учетом этого сечения потери будут равны:

$$\Delta U1\% = MI / (C \cdot F1) = 448 / (44 \cdot 4) = 2,95\%$$

Следующие расчеты ведутся аналогично

Для освещения промышленной зоны устанавливаем 1 осветительный щит типа РП-9242 с линейным автоматом

Для питания осветительной нагрузки бытовых помещений и отдельных групп ламп выбираем щитки типа ОЩВ-12 с линейным автоматом. Для всех участков выбираем провод марки АПВ.

Таблица 7 - Ведомость групповых щитков, моментов нагрузки и сечения проводников

Участки	Распред. пункты	P кВт	L м	Момент нагрузки	Проводник		ΔU%
					F мм ²	тип	
до МЩ	РП9242	123,0	10	1230	25	АПВ	1,11
до ОЩ1	ОЩВ -12	54,25	24	1302	10	АПВ	2,95
до ОЩ2	ОЩВ -12	54,25	40	2170	16	АПВ	3,08
До ОЩ3	ОЩВ -12	14,54	88	1279,5	10		2,9
КТП		3	10	15	4	АПВ	0,08
До вентирной	ОЩВ -12	4	10	20	4	АПВ	0,11

2.3 Расчёт компенсирующих устройств

Эл. нагрузка электромеханического цеха относится к 2-й категории.

Согласно ПУЭ. для обеспечения надежности электроснабжения такой нагрузки, следует установить на п/ст 2 трансформатора.

Исходные данные для расчета:

$$P_M = 287,48 \text{ кВт}, \cos\varphi = 0,98, Q_M = 293,07 \text{ кВАр}; S_M = 410,53 \text{ кВА}$$

Определяем количество силовых трансформаторов

$$N = P_M / (K_T * S_{Tr}) \quad (32)$$

, где K_T – коэффициент загрузки (для приемников 2-3-й категории $K_T = 0,65-0,75$)

принимаем $K_T = 0,65$ и $S_{Tr} = 250 \text{ кВА}$. В этом случае

$$N = 287,48 / (0,65 \times 250) = 1,76 \text{ шт}$$

Принимаем к установке два трансформатора с $S_N = 250 \text{ кВА}$.

Определяем наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать через трансформатор в сеть с напряжением до 1000 В.

$$Q_m = \sqrt{(N \times K_T \times S_m)^2 - P_m^2} \quad (33)$$

$$Q_m = \sqrt{(2 \times 0,65 \times 250)^2 - 287,48^2} = 220,97 \text{ кВАр}$$

Мощность компенсирующего устройства.

$$Q_{к.р} = \alpha \times P_M \times (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k) \quad (34)$$

$$Q_{к.р} = 0,9 \times 287,48 \times (0,94 - 0,33) = 157,82 \text{ кВАр}$$

По найденному значению Q_n по таблице выбираем компенсирующее устройство, данные которого заносим в таблицу 8

Таблица 8- Компенсирующее устройство

Тип установки	Номинальная мощность установки	Число и мощность регу- лируемых ступеней
УКН- 0,38 -150УЗ	150	2 x 250

2.4 Расчёт и выбор силового трансформатора

Исходные данные для расчёта являются P_m и S_m на стороне НН.

$P_m = 287,48$ кВт; $Q_m = 293,07$ кВАр; $S_m = 410,53$ кВА; $\cos\varphi = 0,98$;

Средняя суточная нагрузка

$$S_{ср} = K \cdot P_m \cdot \cos\varphi \quad (35)$$

$$S_{ср} = 1 \times 287,48 \times 0,98 = 281,7 \text{ кВА}$$

,где K – коэффициент зависящий от $\cos\varphi$ ($\cos\varphi = 0,98$; $K = 1$)

Коэффициент загрузки

$$K_{зг} = S_{ср} / S_m \quad (36)$$

$$K_{зг} = 281,7 / 410,53 = 0,68$$

По величине $K_{зг} = 0,68$ и $t = 2$ ч. Определяем коэффициент нагрузки $K_n = 1,3$

Определяем номинальную мощность трансформатора.

$$S_n = S_m / K_n \quad (37)$$

$$S_n = 410,53 / 1,3 = 315,7 \text{ кВА}$$

Принимаем к установки 2 трансформатора с $S_{ном} = 250$ кВА.

Коэффициент загрузки в нормальном режиме при максимуме

$$K_z = S_{макс} / S_{ном} \quad (37)$$

$$K_z = 410,53 / 2 \times 250 = 0,64$$

что соответствует экономическому режиму.

Следовательно, выбранная мощности трансформатора (2×250 кВА) обеспечивают электроснабжение предприятия.

Таблица 9 - Данные Силового трансформатора.

Тип Тр-ра	Номиналь- мощность кВА	Ном. наппряже-		Потери кВт		Uкз %	Iхх %
		ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТМ 50	250	10	0,4	1,05	3,7	4,5	2,3

2.5 Расчет и выбор элементов ЭСН

Выбор шин и высоковольтного кабеля.

С учётом группы потребителей силовой и осветительной сетей общая схема питания будет выглядеть согласно рис.№1

В механических цехах машиностроительной промышленности при системе блок: «трансформатор – магистраль» электроснабжение выполняется магистральным шинопроводом (ШМА), к которым присоединяются распределительные шинопроводы (ШРА).

Кран-балки питаются от троллейных шинопроводов (ШТМ). Для осветительных сетей используют осветительные шинопроводы (ШОС).

Выбор магистрального шинопровода (ШМА)

Исходные данные $S_{тр} = 250$ кВА

Определяем ток в цепи шинопровода

$$I_p = S_{mp} / (\sqrt{3} \cdot U_n) \quad (38)$$

$$I_p = 250 / (1,73 \cdot 0,38) = 384,61 \text{ A}$$

Выбираем шинопровод ШРА-73 с $I_n = 630$ А. Выбор производим согласно условию

$$I_n > I_p = 630 > 384,61 \text{ A} \quad (39)$$

Магистральный шинопровод прокладываем на высоте 6 м, с креплением на кронштейнах.

Выбор ШРА

Исходные данные: S_m для каждой питающей линии

Определяем расчётный ток для 1-ой питающей линии, так как нагрузка этой линии самая максимальная

$$I_p = S_{mp} / (\sqrt{3} \times U_n)$$

$$I_p = 92,27 / (1,73 \times 0,38) = 141,95 \text{ A}$$

Выбираем шинопровод ШРА-73 с $I_n = 250$ А. Условие выбора $I_{ншра} \geq I_p(250 > 141,95)$ выполняется.

Аналогично производим выбор ШРА и для других линий питания.

Выбор ШОС

Исходные данные: Лампы ДРЛ с $P_l = 700$ Вт, в каждом ряду по 31 лампе ($n = 31$), $\cos\varphi = 0,95$

Определяем расчётный ток для каждого ряда ламп.

$$P_{p1} = P_l \times n \quad (40)$$

$$P_{p1} = 700 \times 31 = 21700 \text{ Вт}$$

$$I_p = P_{p1} / (\sqrt{3} \cdot U_c \times \cos\varphi) = 21700 / (220 \cdot 0,95) = 103,82 \text{ А}$$

Выбираем шинопровод ШОС-73 с $I_n = 100$ А, при этом будет выполняться условие:

Выбор высоковольтного кабеля

Исходные данные для расчета: $S_{мв} = 410,53$ кВА с $U_n = 10$ кВ

Определяем расчётный ток кабельной линии, с помощью которой подводится электроэнергия к трансформаторной подстанции.

$$I_p = S_m / (\sqrt{3} \cdot U_n)$$

$$I_p = 410,53 / 10 \cdot 1,73 = 23,7 \text{ А}$$

Определяем сечение кабеля:

$$S_{\text{э}} = I_p / I_{\text{э}} \quad (41)$$

$$S_{\text{э}} = 23,7 / 1,4 = 16,9 \text{ мм}^2,$$

где $I_{э}=1,4\text{А/мм}^2$ (экономическая плотность тока)

Предварительно выбираем кабель ААБ – 1(3·25) с $I_{доп} = 80\text{ А}$

Окончательный выбор кабеля производим после расчёта токов К.З.

Таблица 10 - Ведомость шинопроводов и ВВ кабеля.

Тип	Номинальный ток А	Динамическая жёсткость кА	Сечение токопр мм ²
ШМА–73	630	35	80*5
1ШРА–73	250	15	35 х 5
2ШРА–73	250	15	35 х 5
3ШРА– 73	250	15	35 х 5
ШОС–73А	100	5	10
ШТМ - 76	100	5	40
ААБ	80		25х3

2.6 Выбор аппаратов защиты, проводов питания электрооборудования и распределительных устройств

Выбор автоматов для электроприемников.

Автоматические выключатели выбираются по двум условиям:

$$I_{ном.т.р.} \Rightarrow (1,15 \dots 1,25) * I_{ном.} \quad (42)$$

$$I_{сраб.эм.расц.} \Rightarrow 1,25 * I_{пуск.} \quad (43)$$

Выбор вводного автомата 0,4кВ на КТП

В качестве вводного автомата на КТП принимаем автомат серии АМ с расцепителем 3, селективной приставкой, выкатной

Расчетный ток трансформатора с учетом перегрузки

$$I_m = 1,3 \times S_{н.тр} / 0,38 \times \sqrt{3}$$

$$I_m = 1,3 \times 250 / 0,38 \times 1,73 = 494A$$

Принимаем в качестве вводных автоматы типа АВМ – 10С с током расцепления 600А

$$I_{н.авт} = 600A > I_m = 494A$$

$$I_{н.расц} = 600A > I_m = 494A$$

Проведем расчет автоматического выключателя для токарного станка с $P_n=40$ кВт с $I_{ном}=76.05A$. ($\cos\phi=0.80$).

Условию 2.5.4. удовлетворяет автоматический выключатель А3710Б с тепловым расцепителем

$$100A, \text{ т.е. } 100 > 1,15 \times 76.05 = 100 > 87,45$$

Проверяем ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{ср.эм. расц. авт.}$ автоматического выключателя с тепловым расцепителем на 40А. Для этого подставляем расчетные значения в условие 2.5.5.

$$12 \times 100 > 1,25 \times 6 \times 76,05 = 1200 > 570,37A$$

где 12- кратность тока отсечки.

Аналогичные расчеты выполняем и для других электроприемников.

Выбор автоматов для ШМА и ШРА.

Автоматические выключатели для данных линий выбираются согласно условию:

$$I_{ник} = I_{нм} + (I_p - K_u \times I_{нм}) \quad (44)$$

где $I_{пм}$ – пусковой ток двигателя с максимальной мощностью в данной линии;

I_p - расчетный ток данной линии; $I_{нм}$ - ном.ток двигателя с максимальной мощностью; $K_{и}= 0,25$

Проведем расчет для ШМА, у которой $I_p=427,5A$, $I_{нм}=114,08 A$,

$$I_{пм}=6 \times 114,08 = 684,48 A.$$

Значение пикового тока будет равно:

$$I_{пик} = 684,48 + (427,5 - 0,25 \times 114,08) = 1280,43 A$$

Выбираем автоматический воздушный выключатель АВМ-10С с тепловым расцепителем 1600А. т.е. $1600 > 1,25 \times 1280,43$, отсюда $1600 = 1600A$;

Проведем расчет для 1-й питающей линии: $I_p=140,35 A$, Максимальная мощность двигателя в линии $P_H=17,5$ кВт. $\cos F=0,7$; $I_{нм}=38,02 A$,

$$I_{пм}=6 \times 38,02 = 228,12 A.$$

Значение пикового тока будет равно

$$I_{пик} = 228,12 + (140,35 - 0,25 \times 38,02) = 358,96 A,$$

Выбираем автоматический выключатель АВМ-4С с тепловым расцепителем

$$500A, \text{ т.е. } 500 > 1,15 \times 358,96 = 500 > 448,7.$$

Аналогичные расчеты выполняем и для других питающих линий.

Выбор проводов питания для электрооборудования.

Выбор площади сечения по нагреву длительным током сводится к сравнению силы расчетного тока I_p с допустимым значением $I_{доп}$ для провода или кабеля принятых марок и условий их прокладки:

$$I_p \leq I_{доп} \times K_t, \quad (45)$$

где K_t - поправочный температурный коэффициент, вводимый в формулу, если температура воздуха отличается от 25°C , а земли – от 15°C . При нормальных условиях $K_t=1,26$.

Проведем выбор сечения питающего провода для вертикально-сверлильного станка с $R_n=40$ кВт и $I_p=76,05\text{A}$. По I_p определяем сечение алюминиевых изолированных проводов марки АПВ 3×25 сечением $F=25$ мм² с $I_{доп}=75\text{A}$.

Аналогичные расчеты выполняем и для других электроприемников.

Таблица 11 - Параметры аппаратов защиты

Наименование электроприемника	R_n кВт	$I_n/I_n.тр$ А	$I_{рас}/I_n.a$	Тип автомата	Марка провода
ШМА		624/1600	1600/800	АВМ-10Н	
ШРА - 1		140/448,7	500/250	АВМ-4С	
ШРА - 2		130,9/495	500/250	АВМ-4С	
ШРА - 3		78,7/456,4	500/250	АВМ-4С	
Вентилятор вытяжной	40	76,05/87,4	100/160	А3710Б	АПВ 3×25
Вентилятор приточный	60	114/131,19	160/160	А3710Б	АПВ 3×70
электротермические установки	15,5	31,4/36,1	40/40	А3710Б	АПВ 3×6
Обдирочные станки типа РТ - 503	21,3	37,3/49,84	63/80	А3710Б	АПВ 3×16
Краны мостовые	25	84,5/97,1	100/160	А3710Б	АПВ 3×35
Кривошипные КПМ	10,5	22,1/25,4	32/40	А3710Б	АПВ 3×4
Фрикционные КПМ	4,5	9,7/11,2	20/40	А3710Б	АПВ $3 \times 2,5$
Обдирочные станки типа РТ - 21001	17,5	40,9/50	50/80	А3710Б	АПВ 3×10

2.7 Расчёт сетей на потерю напряжения

При потере напряжения проверяют правильность выбора сечения шин, проводов и кабелей. Согласно ПУЭ для силовых сетей потеря напряжения не должна превышать 5%.

Исходные данные:

ШМА-73 с $I_n = 630$ А; $L_1 = 48$ м; $R_0 = 0,09$; $X_0 = 0,08$ Ом/км, $\cos\varphi=0,598$

ШРА-73 с $I_n = 250$ А; $L_1 = 48$ м; $R_0 = 0,21$; $X_0 = 0,01$ Ом/км, $\cos\varphi=0,54$.

Ответвление к станку; $P_n = 17,5$ кВт $\cos\varphi = 0,65$; $L_3 = 7$ м; $R_0 = 3,16$ Ом; $X_0 = 0,09$ Ом/км.

Определяем потери в ответвлении к станку.

$$I_n = P_n / (\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi) = 26 / (1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,4) = 41,6 \text{ А}$$

$$\Delta U_3 \% = \sqrt{3} \cdot I_n \cdot L_3 \cdot 100 / U_n \cdot 1000 \cdot (R_0 \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot \sin\varphi) = 0,28\% \quad (47)$$

Определяем потери на ШРА

$$\Delta U_2 \% = \sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot I_{шра} \cdot L_2 \cdot 100 / (U_n \cdot 1000) \cdot (R_0 \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot \sin\varphi) = 2,52\% \quad (48)$$

Потери на ШМА

$$\Delta U_1 \% = \sqrt{3} \cdot I_{шма} \cdot L_1 \cdot 100 / (U_n \cdot 1000) \cdot (R_0 \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot \sin\varphi) = 1,4\% \quad (49)$$

Общие потери составят

$$\Delta U \% = \Delta U_1 \% + \Delta U_2 \% + \Delta U_3 \% = 1,55 + 2,39 + 0,1 = 2,2\% \quad (50)$$

Полученное значение не превышает 5%. Следовательно ШМА, ШРА, и питающее провода к эл. приёмникам выбраны правильно.

Определение потерь мощности и электроэнергии в сети

Передача эл. энергии от источника питания к потребителям связана с потерей мощности в системе электроснабжения.

Потери мощности и электроэнергии в трансформаторе ТМ – 2×250кВА

Исходные данные: $P_{кз}=3,7\text{кВт}$; $P_{хх}=1,05\text{кВт}$; $Kз=0,8$; $U_{кз}=4,5\%$; $I_{хх}=2,3\%$

Определяем активные потери в тр-ре.

$$P_m = P_m + P_{см} = P_{кз} \cdot Kз^2 + P_{хх} = 3,52 \text{ кВт.} \quad (51)$$

Определяем суммарные реактивные потери

$$Q_m = S_n / 100 \cdot (U_k \cdot Kз^2 + i_{хх}) = 13,28 \text{ кВАр} \quad (52)$$

Определяем активные годовые и реактивные потери эл. энергии.

$$W = P_{кз} \cdot Kз^2 \cdot t + P_{хх} \cdot Tв = 4436 \text{ кВт-ч} \quad (53)$$

где $Tв = 2100\text{ч}$ – время включения трансформатора при 2-х сменной работе. Определяем время потерь $t = 900\text{ч}$.

Реактивные потери.

$$V = S_n / 100 (U_k \cdot Kз^2 \cdot t + i_{хх} \cdot Tв) = 20433,7 \text{ кВАр} \quad (54)$$

Количество передаваемой эл. энергии за год.

$$W_2 = S_{max} \cdot \cos\varphi \cdot t = 180986,4 \text{ кВт-ч} \quad (55)$$

$$,где S_{max} = S_m / 2 = 410,53 / 2 = 205,2 \text{ кВА} \quad (56)$$

Годовые потери в трансформаторе

$$W\% = W/W_2 \cdot 100\% = 2,45\% \quad (57)$$

Потери мощности и электроэнергии в кабельной линии

Исходные данные: $U_n = 10 \text{ кВ}$; $S_{max} = 410,53 \text{ кВА}$; $P_T = 3,5 \text{ кВт}$; кабель ААБ
3×25

$$R_0 = 1,28 \text{ Ом/км}; X_0 = 0,11 \text{ Ом/км}; L = 1400 \text{ м}; t = 900 \text{ ч}; \cos\varphi = 0,98$$

Определяем максимальный ток за рассматриваемый промежуток времени.

$$I_{max} = (S_{max} + P_m) / (\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi) = 12,3 \text{ А} \quad (58)$$

Определяем активные и реактивные потери электроэнергии.

$$W = 3 \cdot I_{max}^2 \cdot R \cdot t \cdot 10^{-3} = 731,18 \text{ кВт*ч} \quad (59)$$

$$,где R = R_0 \cdot L = 1,79 \text{ Ом} \quad (60)$$

$$X = X_0 \cdot L \quad (61)$$

$$X = 0,11 \cdot 1,4 = 0,154 \text{ Ом}$$

$$V = 3 \cdot I_{max}^2 \cdot X \cdot t \cdot 10^{-3} \quad (62)$$

$$V = 3 \cdot 151,29^2 \cdot 0,154 \cdot 900 \cdot 10^{-3} = 62,9 \text{ кВАр*ч}$$

Определяем активные и реактивные потери мощности.

$$P = W/t = 7,18 \text{ кВт} \quad (63)$$

$$Q = V/t = 0,06 \text{ кВАр} \quad (64)$$

2.8 Расчёт токов короткого замыкания, проверка выбранной аппаратуры на динамическую устойчивость от токов короткого замыкания

В электроустановках могут возникать различные виды КЗ. Всё оборудование, устанавливаемое в системах электроснабжения должно быть устойчиво к токам КЗ и выбирается с учётом этих токов.

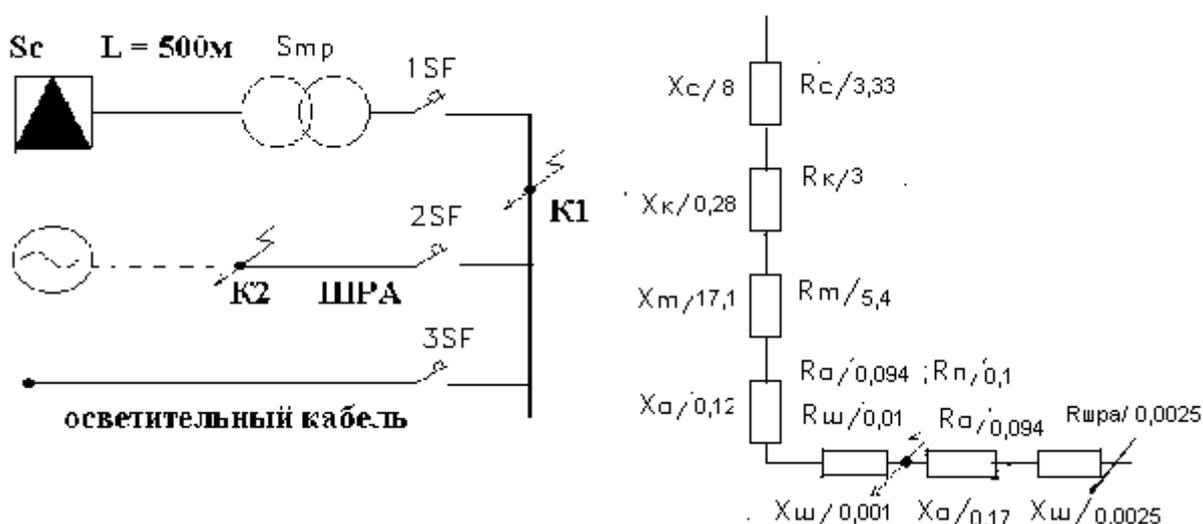


Рисунок 5 - Расчетная схема и схема замещения.

Исходные данные:

Сил. тр-р. $S_n = 2 \times 250$ кВА, $P_m = 1,05$ кВт, $U_k = 4,5\%$

Сил. кабель ААБ 3×25 , $L = 1400$ м $R_o = 1,28$ Ом/км; $X_o = 0,09$ Ом/км;

Автомат АВМ-10С $I_{отк} = 1600$ А, $R_o = 0,12$ Ом, $X_o = 0,09$ Ом, $R_{пер} = 0,25$

Длина ШМА до т. К1: $L_1 = 20$ м; $R_o = 0,09$ Ом; $X_o = 0,08$ Ом

Автомат АВМ-4С $I_{отк} = 630$ А, $R = 0,15$ Ом, $X = 0,10$ Ом $R_{пер} = 0,4$ Ом

Длина ШРА до т. К2: $L_2 = 5\text{ м}$; $R_0 = 0,2\ \text{Ом}$; $X_0 = 0,1\ \text{Ом}$

Длина осветительного кабеля АПВ 1(4x10); $L = 10\text{ м}$, $R_0 = 51,28\ \text{Ом}$; $X_0 = 0,09$

Ом

Расчёт КЗ в точке К1.

Составляется схема замещения, и нумеруются точки КЗ в соответствии с расчетной схемой.

Определяем сопротивления системы

$$X_c = U_n^2 / S_c = 12,8\ \text{МОм} \quad (65)$$

$$\text{,где } S_c = 50 \cdot S_n = 50 \cdot 250 = 12500\ \text{кВА} \quad (66)$$

Активное сопротивление системы принимаем $R_c = 0$

Активное и реактивное сопротивление ВВ кабеля ААБ 3(1·25)

$$R_{к0} = L_k \cdot R_0 = 1,7\ \text{МОм} \quad (67)$$

$$X_{к0} = L_k \cdot X_0 = 0,126\ \text{МОм} \quad (68)$$

Приведём сопротивление кабеля к напряжению 400В

$$R_k = R_{к0} \cdot U_n^{2*10^3} / U_{в^2} = 1,08\ \text{МОм} \quad (69)$$

$$X_k = X_{к0} \cdot U_n^{2*10^3} / U_{в^2} = 0,08\ \text{МОм} \quad (70)$$

Определяем сопротивление трансформатора

$R_T = 0,0042\ \text{МОм}$; $X_T = 0,017\ \text{МОм}$;

Определяем сопротивление автоматов

1SF $R_{1sf} = 0,094\ \text{МОм}$; $X_{1sf} = 0,12\ \text{МОм}$; $R_{1п} = 0,1\ \text{МОм}$;

2SF $R_{2sf} = 0,094 \text{ мОм}$; $X_{2sf} = 0,17 \text{ мОм}$; $R_{2п} = 0,4 \text{ мОм}$.

Определяем сопротивление ШМА ($I_n = 1600 \text{ А}$)

$$R_{шма} = R_o \cdot L_{шма} = 0,09 \text{ мОм} \quad (71)$$

$$X_{шма} = X_o \cdot L_{шма} = 0,08 \text{ мОм} \quad (72)$$

Определяем суммарное активное и реактивное сопротивление до КЗ в т. К1

$$R_1 = R_c + R_k + R_{mp}' + R_{1sf} + R_{1n} + R_{шма} = 4,85 \text{ мОм} \quad (73)$$

$$X_1 = X_c + X_k + X_{mp} + X_{1sf} + X_{шма} = 23,88 \text{ мОм} \quad (74)$$

Определяем сопротивление цепи до т. К1

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = 24,36 \text{ мОм} \quad (75)$$

Определяем ток КЗ

$$I_k = U_n / \sqrt{3} \cdot Z = 9,4 \text{ кА} \quad (76)$$

Ударный коэффициент K_{y1}

$$K_{y1} = f(X_1/R_1) = 1,2 \quad (77)$$

Действующее значение тока КЗ (удельный ток КЗ)

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k = 1,41 \cdot 1,02 \cdot 5,2 = 11,09 \text{ кА}$$

Определяем соответствие выбранного сечения ВВ кабеля

$$F = I_{\infty} \cdot \sqrt{T\phi} / C = 35,3 \text{ мм}^2 \quad (78)$$

где $T\phi = 0,1\text{с}$ (время срабатывания автомата); C – коэффициент для кабелей с алюминиевыми жилами $C = 85$, $I_{\infty} = 9,4\text{кА}$.

Полученное сечение кабеля оказалось выше выбранного значения. Окончательно выбираем $F = 35 \text{ мм}^2$

. Динамическая стойкость ШМА-73(630А) – 15 кА; т.е больше ударного тока КЗ. Следовательно ШМА выбран правильно

Расчёт КЗ в точке К2

Активное сопротивление автомата в цепи ШРА

: $R_{авт2} = 0,15 \text{ мОм}$; $X_{авт2} = 0,10 \text{ мОм}$; $R_{павт2} = 0,4 \text{ мОм}$

Определяем сопротивление ШРА ($I = 250\text{А}$) до К2

$$R_{шра} = R_0 \cdot L_{шра} = 5 \cdot 0,21/1000 = 0,001 \text{ мОм}$$

$$X_{шра} = X_0 \cdot L_{шра} = 5 \cdot 0,1/1000 = 0,0005 \text{ мОм}$$

Определяем суммарное активное и реактивное сопротивление до т. К2

$$R_2 = R_1 + R_{авт2} + R_{павт2} + R_{шра} = 5,90 \text{ мОм} \quad (79)$$

$$X_2 = X_1 + X_{авт2} + X_{шра} = 23,9 \text{ мОм} \quad (80)$$

Полное сопротивление цепи до т. К2

$$Z_2 = \sqrt{R^2 + X^2} = 24,4 \text{ мОм} \quad (81)$$

Определяем ток КЗ в т. К2

$$I_{к2} = U_{н}/\sqrt{3} \cdot Z = 9,4 \text{ кА} \quad (82)$$

Ударный ток

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{к2} = 11,09 \text{ кА} \quad (83)$$

$$, \text{где } K_{y2} = f(X2/R2) = f(25,88/36,78) = f(0,7) = 1,2$$

Динамическая стойкость ШРА-73(250А) – 15кА; т.е больше ударного тока КЗ.
Следовательно ШРА выбран правильно.

Значения всех сопротивлений до точек КЗ наносятся на схему замещения.

Составляется сводная ведомость токов КЗ.

Таблица 13 - Сводная ведомость токов КЗ.

Точка	Rкз мОм	Xкз	Zкз	Xкз	Ky	Iк
K1	5,90	23,9	24,4	0,7	1,2	9,4
K2	5,90	23,9	24,4	0,7	1,2	9,4

2.9 Выбор и расчет релейной защиты

Релейная защита является основным видом электрической автоматики, без которой невозможна нормальная и надежная работа современных энергетических систем. Она осуществляет непрерывный контроль за состоянием и режимом работы всех элементов энергосистемы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов.

При возникновении повреждений защита выявляет и отключает от системы поврежденный участок, воздействуя на специальные силовые выключатели, предназначенные для размыкания токов повреждения.

При возникновении ненормальных режимов защита выявляет их и в зависимости от характера нарушения производит операции, необходимые для восстановления нормального режима, или подает сигнал дежурному персоналу. К основным устройствам такой автоматики относятся: автоматы повторного включения (АПВ), автоматы включения резервных источников питания и оборудования (АВР) и автоматы частотной разгрузки (АЧР). Рассмотрим более подробно основные виды повреждений и ненормальных режимов, возникающих в электрических установках, и их последствия.

Для защиты фидера 10 кВ предусматривается максимальнотокковая защита и токовая отсечка. Защиту выполняем на реле типа РТ-80.

Ток срабатывания определяем по формуле:

$$I_{ср} = (K_n \times K_{сх} \times K_p \times I_{маx.нагр}) / (K_v \times K_{тт}) \quad (84)$$

где $I_{маx.нагр.}$ – максимальный ток нагрузки, который может проходить по защищаемому элементу в наиболее тяжелом режиме при аварийном отключении параллельно работающих трансформаторов и линии 10 кВ, А:

$$I_{маx.наг} = 1,4 \times S_n.mr / \sqrt{3} \times U \quad (85)$$

$$I_{маx.наг} = 1,4 \times 2 \times 250 / 1,73 \times 10 = 40,46 А$$

$K_{тт}$ – коэффициент трансформации тока:

$$K_{тт} = 200 / 5 = 40;$$

K_n – коэффициент надежности. $K_n = 1,6$; [8]

$K_{сх}$ – коэффициент схемы. $K_{сх} = 1$ (трансформаторы тока включены в неполную звезду)

k_p – кратность тока нагрузки. $k_p = 2,2$;

k_B – коэффициент возврата реле. Для реле типа РТ-80 $k_B = 0,85$, но при $k_p > 1,6$ k_B не учитывается.

$$i_{cp} = 1,6 \times 1 \times 2,2 \times 40,46 / 40 = 13,35 A$$

Принимаем ток установки реле $i_{уст.} = 10$ А. Определяем ток срабатывания защиты $I_{с.з.}$, А:

$$I_{с.з.} = i_{уст.} \times K_{тт} / K_{сх} = 400 A \quad (86)$$

Определяем коэффициент чувствительности защиты $k_{ч.}$:

$$K_{ч.} = I''_{кз1} / I_{с.з.} = 9,4 / 0,4 = 23,5 > 1,5 \quad (87)$$

Условие $k_{ч.} \geq 1,5$ выполняется.

Коэффициент чувствительности защиты, как резервной:

$$K_{ч.рез} = I_{кз2} / I_{с.з.} = 0,35 / 0,4 = 0,89$$

Согласование защиты трансформатора ТП на стороне 0,4 кВ и фидера 10 кВ по току:

$$I_{с.з.вмп} / I_{с.з.авм} = 400 / (1500 \times 0,4 / 10,5) = 7,01 > 1,2$$

Для защиты принимаем реле типа РТ-81/1

$i_{н.уст.} = (4 - 10)$ А, принимаем $i_{уст.} = 10$ А;

$t_{н.сп.} = (0,5 - 4)$ с.

Время уставки срабатывания защиты $t_{уст.}$ определяется:

$$t_{уст.} = t_{сп.АВМ} + \Delta t, \quad (88)$$

где $t_{сп.АВМ}$ – уставка времени срабатывания АВМ. $t_{сп.АВМ} = 0,25$ с;

Δt – степень селективности. $\Delta t = 0,75$ с.

$$t_{уст.} = 0,25 + 0,75 = 1 \text{ с}$$

Таблица 14 - Времятоковая характеристика реле РТ-81/1

$I/I_{уст.}$	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I , кА	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
$I_{0,4}$, кА	7,9	10,5	15,7	21	26,25	31,5	36,75	42	47,25	52,5
$t_{сп.}$ при $t_{уст.} = 1$ с	3,3	2,1	1,5	1,3	1,15	1,08	1,05	1,0	1,01	1

Ток отсечки отстраивается от тока короткого замыкания на низшей стороне трансформатора, ток короткого замыкания берется в конце защищаемого участка, т.е. на вводах 0,4 кВ трансформатора (К2).

$$I_{кз.тр} = U/\sqrt{3} \times z = 0,4/1,73 \times 0,0098 = 23,59 \text{ кА}$$

Ток токовой отсечки на стороне 0,4 кВ определяется по формуле:

$$I_{то(0,4)} = K_n \cdot I_{кз2} = 37,75 \text{ кА} \quad (89)$$

Ток токовой отсечки на стороне 10,5 кВ составит:

$$I_{то(10,5)} = I_{то(0,4)} \times 0,4/10,5 = 37,75 \times 0,4/10,5 = 1,44 \text{ кА}$$

Кратность тока токовой отсечки для выбранного реле РТ-81/1 принимаем $K_{то} = 5$.

$$K_{то} = I_{то(10,5)} / I_{сп} = 7,19 \approx 7 \quad (90)$$

Основные требования, предъявляемые к релейной защите

-Селективность

Селективностью, или избирательностью, защиты называется способность защиты отключать при к. з. только поврежденный участок сети

-Быстрота действия

Отключение к. з. должно производиться с возможно большей быстротой для ограничения размеров разрушения оборудования, повышения эффективности автоматического повторного включения линий и сборных шин, уменьшения продолжительности снижения напряжения у потребителей и сохранения устойчивости параллельной работы генераторов, электростанций и энергосистемы в целом. Последнее из перечисленных условий является главным.

-Чувствительность

Для того чтобы защита реагировала на отклонения от нормального режима,, которые возникают при к. з. (увеличение тока, снижение напряжения и т. п.), она должна обладать определенной чувствительностью в пределах установленной зоны ее действия.

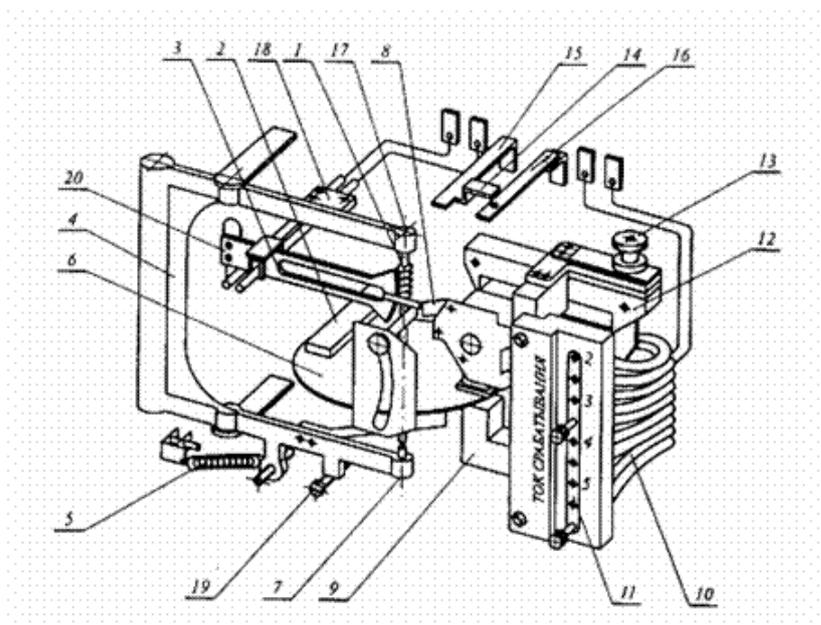


Рисунок 5 – Схема реле тока РТ 80

Комбинированное токовое реле РТ-80: а- конструкция реле; б- силы, действующие на диск; 1- электромагнит; 2- короткозамкнутые витки; 3- вращающийся диск; 4- постоянный магнит; 5- сектор с контактным рычагом; б- подвижная рамка; 7- червяк на оси диска; 8- коромысло якоря; 9- контакты; 10-регулируемый винт отсечки; 11- якорь; 12- контактная колодка; 13- контактные винты; 14- обмотка реле; F_3 - электромагнитная сила; F^2 - притягивающая сила стальной скобы; F_M - сила постоянного магнита; $F_{п}$ - противодействующая сила пружины

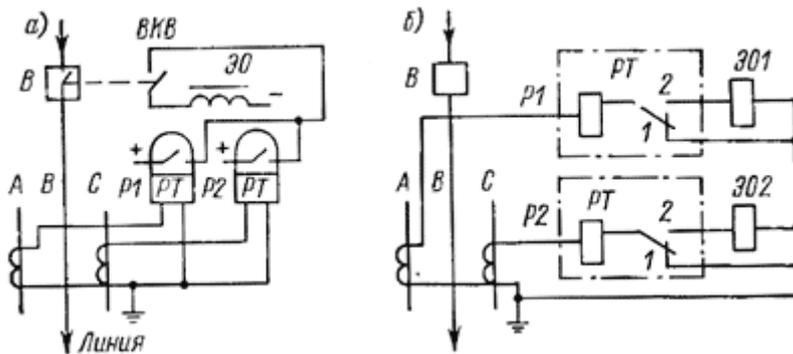


Рисунок 6 - Схема реле РТ - 80

2.10 Расчёт заземляющих устройств

Исходные данные:

$$A * B = 8 * 6$$

П/ст напряжением 10(6)/0,4-0,23 кВ;

сторона 10 кВ имеет изолированную нейтраль;

сторона 0,4-0,23 кВ – глухозаземлённую нейтраль;

длина ЛЭП $L_{лэп}=1,5$ км;

уд. сопротивление грунта $\rho=100$ Ом×м;(глина)

глубина залегания $t=0,7$ м;

климатический район -2;

вертикальный электрод – уголок (75×75×5мм),

длина стержня $L_э=3$ м; расстояние между стержнями $a=6$ м

вид ЗУ – контурное;

горизонтальный электрод – стальная полоса (4040×4 мм).

Определяется расчетное сопротивление одного вертикального электрода.

$$r_6 = 0,3 \times \rho \times K_{сез} = 0,3 \times 100 \times 1,7 = 51 \text{ Ом} \quad (91)$$

где $K_{сез} = 1,7$ (верт, 2 клим. зона)

Определяется предельное сопротивление совмещенного ЗУ

$$R_{зу1} \leq 125 / I_з = 125 / 1,4 = 89,2 \text{ Ом (Для ЛЭП ВН);} \quad (92)$$

$$\text{где } I_з = (U_{лэн} \times 35 \times L_{лэн}) / 350 = 10 \times 35 \times 1,4 / 350 = 1,4 \text{ А} \quad (93)$$

Требуемое по низкому напряжению (НН) $R_{зу} \leq 4 \text{ Ом}$.

Принимается $R_{зу} = 4 \text{ Ом}$ (наименьшее из двух), но так как $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, то для расчета принимается:

$$R_{зу} \leq 4 \cdot \rho / 100 = 4 \cdot 100 / 100 = 4 \text{ Ом} \quad (94)$$

Определяется количество вертикальных электродов:

- без учета экранирования (расчетное):

$$N'_{в.э.р.} = r / R_{зу} = 89,2 / 4 = 22,3 \text{ эл.} \quad (95)$$

принимается $N_{э.р.} = 22$ электродов.

- с учетом экранирования:

$$N_{в.э.р.} = N'_{э.р.} / \eta_{в} = 22 / 0,69 = 31,8 \text{ эл.}$$

Принимается 32 электрода.

$$\eta_{\text{в}} = f(\text{контурное,, } a/L=6/3=2, N_{\text{э}}=18) = 0,69$$

Размещается ЗУ на плане (рис. № 4) и уточняются расстояния, которые наносятся на план.

Так как контурное ЗУ закладывается на расстояние не менее 1м, то длина по периметру закладки равна:

$$L_n = (A+2)*2+(B+2) \times 2 = (96+2) \times 2+(56+2) \times 2 = 312\text{м} \quad (96)$$

Тогда расстояние между электродами уточняется с учетом формы объекта. По углам устанавливаются по одному вертикальному электроду, а оставшиеся – между ними.

Для равномерного распределения электродов окончательно принимается $N_{\text{в}}=32$ эл., тогда

$$\alpha_{\text{в}} = B'/(n_{\text{в}}-1) = 56/(5-1) = 8 \text{ м}; \quad \alpha_{\text{а}} = A'/(n_{\text{а}}-1) = 96/(7-1) = 13,7\text{м} \quad (97)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ - расстояние между электродами по ширине объекта;

$n_{\text{в}}$ - количество электродов по длине объекта $n_{\text{в}}=8$ эл.;

$\alpha_{\text{а}}$ – расстояние между электродами по ширине объекта;

$n_{\text{а}}$ – количество электродов по длине объекта $n_{\text{а}}=8$ эл.

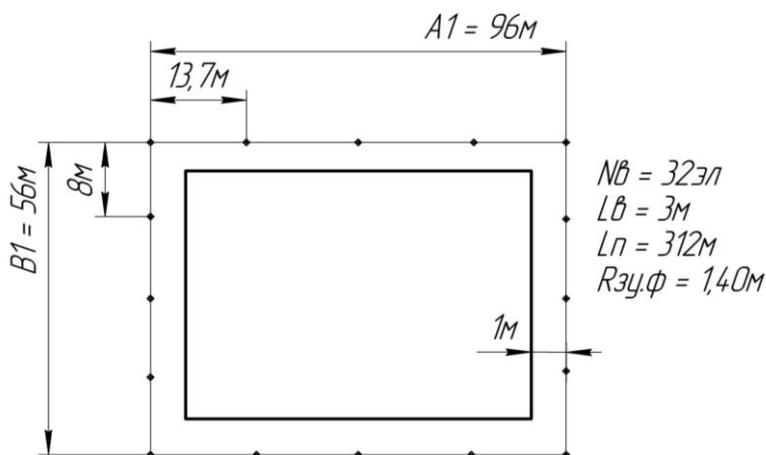


Рисунок 7 - План ЗУ подстанции.

Для уточнения принимаются среднее значение отношения

$$(\alpha/L\epsilon)_{cp.} = 1/2 \times (\alpha_e + \alpha_a) / 3 = 1/2 \times (8 + 13,7) / 3 = 3,6 \quad (98)$$

Тогда по таблице 1.13.5. (Л-2 с.91) уточняются коэффициенты использования

$$\eta_e = f(\text{Конт.: } 0,6; 18) = 0,68$$

$$\eta_z = f(\text{Конт.}; 0,6, 18) = 0,41$$

Определяются уточненные значения сопротивлений вертикальных и горизонтальных электродов.

$$R_{z.э.} = 0,4 // L_n \times \rho \times K_{сез} \times L_g((2 \times L_n^2) / (b \times t))$$

$$R_{z.э.} = 0,4 // 36 \times 40 \times 4 \times L_g((2 \times 312^2) / (0,1 \times 0,7)) = 6,4 \text{ Ом} \quad (99)$$

где $b=100\text{мм}=0,1\text{м}$ – ширина полосы; $t=0,7\text{м}$ – глубина заложения;

$K_{сез}=4$

Сопротивление вертикальных электродов

$$R_{в.э.} = r_e / (N_{в.э.р.} \times \eta_e) = 21 / (32 \times 0,68) = 2,3 \text{ Ом}$$

Определяется фактическое сопротивление ЗУ

$$R_{зу.ф.} = R_{в.э.} \times R_z / (R_{в.э.} + R_z) \quad (100)$$

$$R_{зу.ф.} = 2,34 \times 3,2 / (2,34 + 3,2) = 1,4 \text{ Ом}$$

Сравнивая полученное значение $R_{з.ф.}$ с $R_{з}$ ($1,4 < 1,6 \text{ Ом}$) делаем заключение, что выбранное количество штырей $N=32$ шт. обеспечит эффективное защитное заземление.

Общие требования

Меры защиты от поражения электрическим током должны быть предусмотрены в электроустановке или ее части либо применены к отдельным электроприемникам и могут быть реализованы при изготовлении электрооборудования, либо в процессе монтажа электроустановки, либо в обоих случаях.

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ, при наличии требований других глав ПУЭ, следует применять устройства защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

Применение двух и более мер защиты в электроустановке не должно оказывать взаимного влияния, снижающего эффективность каждой из них.

3 Мероприятия по технике безопасности и противопожарные мероприятия

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках:

оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;

допуск к работе;

надзор во время работы;

оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Ответственными за безопасное ведение работ являются:

выдающий наряд, отдающий распоряжение, утверждающий перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;

ответственный руководитель работ;

допускающий;

производитель работ;

наблюдающий;

члены бригады.

Требования охраны труда, техники безопасности и пожарной безопасности при эксплуатации, должны быть обеспечены выполнением предложенных проектных решений проектирования организационных мероприятий: размещением оборудования в технических помещениях таким образом, чтобы получить свободный доступ к оборудованию при монтаже и эксплуатации;

– нормируемой освещенностью помещений естественным и искусственным светом в помещениях СУДС;

– обработкой стен, потолков и устройство полов во всех помещениях из негорючих материалов, отвечающих требованиям санитарно-гигиенических условий труда;

– созданием санитарно-гигиенических условий системами кондиционирования воздуха;

–устройством защитного заземления и зануления всех металлических частей оборудования, нормально не находящихся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением в результате аварии в электрических цепях;

–прокладкой электропроводов и кабелей через перекрытия, стены и перегородки в негорючих трубах;

–прокладкой групп электропроводов и кабелей внутри помещений в негорючих электротехнических желобах и трубах;

–устройством пожарной сигнализации;

–оснащением помещений огнетушителями;

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы мною были выполнены следующие работы:

- расчет электрических нагрузок цеха (см. план силовой нагрузки цеха);
- расчет осветительных нагрузок цеха (см. план световой нагрузки цеха);
- выбор питающих проводов, средств защиты и выбор силовых трансформаторов;
- расчет токов короткого замыкания;
- расчет заземляющих устройств;
- расчет электроэнергетической слагаемой себестоимости промышленной продукции.

О правильном выборе указанных элементов свидетельствуют следующие данные:

потеря напряжения к самому дальнему приемнику ($L = 48\text{м}$, $P_n = 17,5\text{ кВт}$) составило $0,52\%$ (согласно ГОСТ эта потеря не должна превышать 5%).

При существующей нагрузке коэффициент мощности $\cos\phi = 0,65$, что потребовало использовать компенсирующую установку ($Q_{\text{комп}} = 150\text{кВАр}$), которая позволила скомпенсировать излишнюю реактивную мощность и поднять коэффициент мощности до $\cos\phi = 0,98$.

Расчет токов КЗ показал, что при $S = 410,53\text{ кВА}$ тока КЗ составили $I_{\text{кз1}} = 9,4\text{кА}$ и $I_{\text{кз2}} = 9,4\text{кА}$. Значения этих токов оказались меньше электродинамической стойкости ШМА и ШРА, что также свидетельствует о правильности их выбора.

Для защиты обслуживающего персонала от случайного замыкания токоведущих проводов на корпус оборудования в цеху используется контурное заземление. Расчет заземления показал, что общее заземление составило $R_3 = 1,40\text{м}$ при количестве стержней $N = 20\text{шт.}$ ($1,4 < 40\text{Ом}$ принятое при расчете).

Цели, поставленные в выпускной квалификационной работе, достигнуты.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Утверждены Приказом Минэнерго России От 08.07.2002 № 204
2. Строительные нормы и правила СНиП 21-01-97* "Пожарная безопасность зданий и сооружений" (приняты постановлением Минстроя РФ от 13 февраля 2008 г. N 18-7) (в редакции от 19 июля 2009 г.)
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Омега-Л, М., 2013 (621.3, П-683)
4. СНиП II-A.1 Основные положения по классификации зданий и сооружений, 16.11.2006 Госстрой СССР (Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства), Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре
5. Титков, В.В. Перенапряжения и молниезащита. Учебное пособие / В.В. Титков, Ф.Х Халилов. - Лань, 2016. – 224 с.
6. Сибикин, Ю.Д. Электрические подстанции. Учебное пособие / Ю.Д Сибикин. – РадиоСофт, 2014. – 416 с.
7. Старшинов В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2015.— 296 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/42262.html>.— ЭБС «IPRbooks»
8. Воропай, Н.И. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. / Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалев. – Энергия, 2013. – 304 с.
9. Кудрин, Б.И. Электроснабжение. / Б.И. Кудрин. - М. : Academia, 2012. - 352 с.
10. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный техниче-

ский университет, 2013.— 92 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45148.html>.— ЭБС «IPRbooks»

11. Кузнецов С.М. Электронная защита от токов короткого замыкания и автоматика в распределительных устройствах 6-10 кВ тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010.— 104 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45456.html>.— ЭБС «IPRbooks»

12. Коломиец Н.В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Коломиец Н.В., Пономарчук Н.Р., Елгина Г.А.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2015.— 72 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55206.html>.— ЭБС «IPRbooks»

13. Короткие замыкания и выбор электрооборудования [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ И.П. Крючков [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2012.— 568 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33170.html>.— ЭБС «IPRbooks»

14. Электрические станции и сети [Электронный ресурс]: сборник нормативных документов/ — Электрон. текстовые данные.— М.: ЭНАС, 2013.— 720 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17820.html>.— ЭБС «IPRbooks».

15. Электроснабжение. Расчет токов короткого замыкания [Электронный ресурс]: методические указания к практическим и курсовой работам/ — Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014.— 47 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55184.html>.— ЭБС «IPRbooks»

16. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учебник/ Филиппова Т.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014.— 294 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45211.html>.— ЭБС «IPRbooks»

17. Коннов А.А. Электрооборудование жилых зданий [Электронный ресурс]/ Коннов А.А.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Профобразование, 2017.— 254 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63811.html>.— ЭБС «IPRbooks»

18. Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные и методические материалы для выполнения квалификационных работ [Электронный ресурс]: учебно-справочное пособие для вузов/ Крючков И.П., Пираторов М.В., Старшинов В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2015.— 142 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57019.html>.— ЭБС «IPRbooks»

19. Analysis of Power Transformer Insulation Design Using FEM [Электронный ресурс] / Tathagat Chakraborty, Akik Biswas, Sudha R. – Режим доступа : <http://www.ijscce.org/attachments/File/v2i3/C067305231..>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).

20. Single phase AC-DC power factor corrected converter with high frequency isolation using buck converter [Электронный ресурс] / R. Ramesh, U. Subathra, M. Ananthi – Режим доступа: http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue3/Version%206/M43067982.pdf., свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).