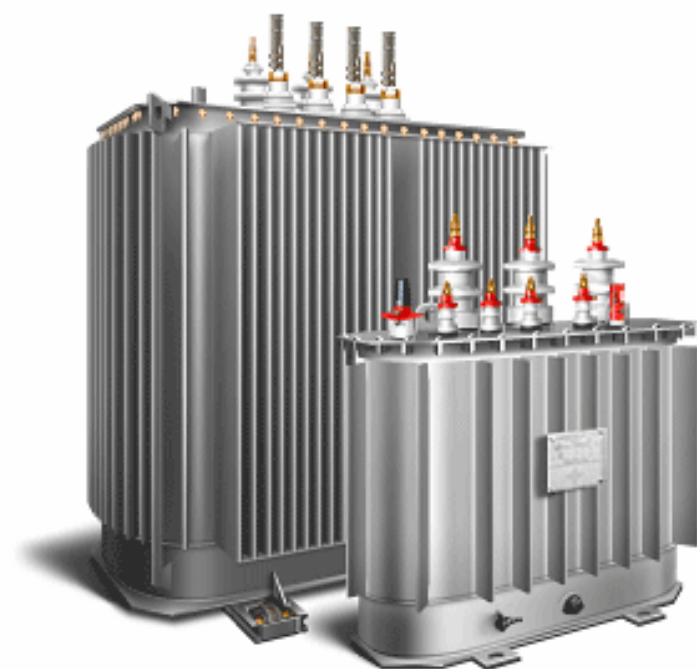


Курсовая работа

"Проектирование системы электроснабжения цеха машиностроительного завода"



2006

Выполнить проект электроснабжения цеха представленного на плане по следующим исходным данным:

Таблица 1 – Исходные данные для проекта

Наименование ЭП	№ на плане	Кол-во	P _{ном} , кВт
1. Круглошлифовальный	1–6, 59–65	13	28
2. Токарно – револьверный	7–11, 87–91	10	18
3. Вертикально-сверлильный	12–16	5	30
4. Токарный полуавтомат	17–22	6	14
5. Горизонтально-проточный	23–27, 114–115	7	21
6. Токарный с ЧПУ	28–36	9	14
7. Горизонтально-расточный	37–40, 85,86	6	12
8. Горизонтально-фрезерный	41–53	13	23
9. Токарно-винторезный	54–58, 92–94	8	16
10. Радиально-сверлильный	66–73	8	13
11. Вертикально-фрезерный	74–76	3	15
12. Бесцентро-шлифовальный	77–84	8	44
13. Шлифовальный	95–100	6	23
14. Горизонтально-шлифовальный	101, 102	2	30
15. Вертикально-фрезерный	103–105	3	26
16. Радиально-сверлильный	106,107	2	16
17. Вентустановка	108, 109, 129	3	14
18. Токарный с ЧПУ	110, 111	2	20
19. Токарно – револьверный	112, 113	2	24
20. Токарный полуавтомат	116–118	3	15
21. Плоскошлифовальный	119, 120	2	17
22. Вертикально-фрезерный	121–123	3	18
23. Точильно-фрезерный	124–128	5	30
24. Электромаслянная ванна	130, 131	2	15
25. Нагревательная электропечь	132–134	3	20
26. Термическая печь	135–136	2	50
27. Электротермическая печь	137	1	41
28. Электропечь	138–141	4	32
29. Вентустановка	142	1	18
30. Точечные стационарные	143–146	4	120
31. Сварочные стыковые	147–151	5	70
32. Сварочные шовные роликовые	152–155	4	60
33. Сварочные точечные	156–158	3	90
34. Сварочные стационарные	159–161	3	40
35. Вентустановка	162–164	4	15

Содержание

Введение

1. Краткое описание технологического процесса
2. Расчет электрических нагрузок
3. Выбор двух вариантов распределительной сети
4. Выбор и расчет низковольтной электрической сети
5. Выбор защитных коммутационных аппаратов
6. Техничко-экономическое сравнение вариантов по приведенным затратам
7. Расчет токов короткого замыкания для выбранного варианта
8. Проверка выбранных сечений проводников и защитных аппаратов
9. Построение карты селективности
10. Описание работы АВР на напряжение 0,4 кВ

Заключение

Библиографический список

Введение

Предмет «Электроснабжение промышленных предприятий» охватывает вопросы, относящиеся к проектированию и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий. Решение этих вопросов позволяет обеспечить дальнейшее совершенствование способов электрификации промышленных предприятий и установок всех отраслей промышленности с применением современных средств электронно-вычислительной техники.

Повышение технического уровня принимаемых решений при проектировании электроснабжения промышленных предприятий достигается за счёт применения надёжных и экономичных схем электроснабжения и подстанций; прогрессивных способов канализации электроэнергии, в первую очередь глубоких вводов с применением кабелей 35–220 кВ, токопроводов 6–10 кВ; компенсации реактивной мощности, в том числе за счёт установки синхронных двигателей и статических конденсаторов; мероприятий по повышению качества электроэнергии (схемные решения, симметрирующие установки, фильтры высших гармоник); автоматизации учёта электроэнергии, что способствует снижению максимума нагрузки и уменьшению потерь.

1. Краткое описание технологического процесса

Производственные процессы проектируемого цеха осуществляются в основном, инструментальном, термическом и сварочном отделениях, а также на сборочном участке.

Потребителями основного отделения являются металлообрабатывающие станки средней мощности, к ним относятся: круглошлифовальный, токарно-револьверный, вертикально-сверлильный, токарный полуавтомат, токарный с ЧПУ, горизонтально-проточный, горизонтально-расточный, горизонтально-фрезерный, токарно-винторезный, радиально-сверлильный и другие.

Металлообрабатывающие станки являются трехфазными, по надежности электроснабжения относятся ко второй категории. Устанавливаются стационарно и по площади цеха распределены равномерно.

В проектируемом цехе имеются приемники работающие в повторно-кратковременном режиме – это электроприемники контактной сварки (точечные стационарные, сварочные стыковые, сварочные шовные роликовые, сварочные точечные, сварочные стационарные машины).

Основным технологическим процессом проектируемого в данном курсовом проекте цеха является металлообработка, сварка, термическая обработка, шлифовка, расточка металлических заготовок и сборка металлических конструкций.

Все электроприемники рассчитаны на переменный ток напряжением 380 В промышленной частоты.

Окружающая среда в цехе нормальная, температура не превышает 20-30⁰С. Для удаления технологической пыли, газа и паров, образованных во время производственного процесса и способных нарушить нормальную работу оборудования, в цехе используются семь вентиляционных установок различной мощности.

2. Определение расчетных электрических нагрузок

Определение электрических нагрузок является одним из основных этапов проектирования. По значению электрических нагрузок выбирают электрооборудование и схему системы электроснабжения, определяют потери мощности и электроэнергии. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты на систему электроснабжения, эксплуатационные расходы, надежность работы электрооборудования.

Определение максимальных нагрузок производится в два этапа. На первом этапе определяется нагрузка отдельных электроприемников, отдельных цехов и производственных участков, а также всего предприятия.

На этом этапе расчета предполагают отсутствие источников реактивной мощности в СЭС. Результаты первого этапа расчета электрических нагрузок используются как исходные данные для выбора числа и мощности силовых трансформаторов с одновременным определением мощности и мест подключения компенсирующих устройств

Для наиболее точного расчета электрических нагрузок применяют вероятностный метод, к которому относится метод расчетного коэффициента, применяемый для расчета нагрузок промышленных предприятий.

Расчет легко поддается автоматизации с помощью ЭВМ и реализован в программе «ZAPUSK».

Определение расчетных электрических нагрузок на первом этапе производится для выбора силовых трансформаторов цеховой КТП, магистральных шинопроводов. Метод расчетного коэффициента разработан в ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект», изложен в «Указаниях по расчету электрических нагрузок» /1/ и производится по нижеизложенной методике.

Для первого этапа расчета нагрузок необходимо разбить электроприемники на характерные категории, т.е. объединить их в группы по сходству режимов работы и близким коэффициентам использования

- Суммарные номинальные активная и реактивная мощности каждой характерной категории определяется по формулам:

$$P_{ном} = \sum_{i=1}^n P_{номi} \quad (1)$$

$$Q_{ном} = \sum_{i=1}^n P_{номi} \cdot \operatorname{tg} \phi_i \quad (2)$$

где $P_{номi}$ – активная номинальная мощность электроприемника, кВт;

$P_{ном}$, $Q_{ном}$ – соответственно номинальные активная и реактивная мощности группы электроприемников, кВт и квар;

$\operatorname{tg} \phi_i$ – паспортное или справочное значение коэффициента реактивной мощности электроприемника.

- Средняя мощность нагрузок каждой категории электроприемников определяется по выражениям:

$$P_{cp} = \sum_{i=1}^n P_{номi} \cdot k_{Иi} \quad (3)$$

$$Q_{cp} = \sum_{i=1}^n P_{срi} \cdot \operatorname{tg} \phi_i \quad (4)$$

где P_{cp} , Q_{cp} – соответственно номинальные активная и реактивная мощности за период времени Т, кВт и квар.

- Средневзвешенные коэффициенты использования и мощности рассчитываются следующим образом:

$$k_{И.ср} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{номi} \cdot k_{Иi}}{\sum_{i=1}^n P_{номi}} \quad (5)$$

$$tg\phi_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{номi} \cdot tg\phi_i}{\sum_{i=1}^n P_{номi}} \quad (6)$$

где $k_{Иi}$, $k_{И.ср}$ – соответственно коэффициент использования i -го электроприемника и средневзвешенный коэффициент использования;

$tg\phi_{ср}$ – средневзвешенный коэффициент реактивной мощности.

- Эффективное число электроприемников по характерной категории определяется по формуле:

$$n_{эф} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{номi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{номi}^2} \quad (7)$$

- На основании рассчитанных параметров и таблицы 1 представленной в /1/ определяется расчетный коэффициент:

$$k_p = f(n_{эф}; k_{И.ср}) \quad (8)$$

где $n_{эф}$ – эффективное число электроприемников;

k_p – коэффициент расчетной нагрузки.

- Определяем расчетную мощность по каждой характерной категории:

$$P_p = P_{cpi} \cdot k_p \quad (9)$$

$$Q_p = Q_{cpi} \cdot k_p \quad (10)$$

где P_p , Q_p – соответственно расчетные активная и реактивная мощности, кВт и квар.

- Полная расчетная нагрузка определяется по следующему выражению:

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (11)$$

Исходные данные для расчета электрических нагрузок проектируемого цеха с выделением характерных категорий представлены в таблице 2. Где электроприемники цеха разбиваются на однородные по режиму работы группы.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета электрических нагрузок

Наименование ЭП	№ на плане	Кол-во	Р _{ном} кВт	Коэффициенты		
				Ки	cos φ	tg φ
Первая характерная категория (станки)						
1. Круглошлифовальный	1–6, 59–65	13	28	0,13	0,5	1,73
2. Токарно – револьверный	7–11, 87–91	10	18	0,13	0,5	1,73
3. Вертикально- сверлильный	12–16	5	30	0,13	0,5	1,73
4. Токарный полуавтомат	17–22	6	14	0,13	0,5	1,73
5. Горизонтально- проточный	23–27, 114, 115	7	21	0,13	0,5	1,73

6. Токарный с ЧПУ	28–36	9	14	0,13	0,5	1,73
7. Горизонтально-расточный	37–40, 85,86	6	12	0,13	0,5	1,73
8. Горизонтально-фрезерный	41–53	13	23	0,13	0,5	1,73
9. Токарно-винторезный	54–58, 92–94	8	16	0,13	0,5	1,73
10. Радиально-сверлильный	66–73	8	13	0,13	0,5	1,73
11. Вертикально-фрезерный	74–76	3	15	0,13	0,5	1,73
12. Бесцентро-шлифовальный	77–84	8	44	0,13	0,5	1,73
13. Шлифовальный	95–100	6	23	0,13	0,5	1,73
14. Горизонтально-шлифовальный	101, 102	2	30	0,13	0,5	1,73
15. Вертикально-фрезерный	103–105	3	26	0,13	0,5	1,73
16. Радиально-сверлильный	106,107	2	16	0,13	0,5	1,73
17. Токарный с ЧПУ	110, 111	2	20	0,13	0,5	1,73
18. Токарно – револьверный	112, 113	2	24	0,13	0,5	1,73
19. Токарный полуавтомат	116–118	3	15	0,13	0,5	1,73
20. Плоскошлифовальный	119, 120	2	17	0,13	0,5	1,73
21. Вертикально-фрезерный	121–123	3	18	0,13	0,5	1,73
22. Точильно – шлифовальный	124–128	5	30	0,13	0,5	1,73
Вторая характерная категория (вентустановки)						
1. Вентустанова	108,109,129	3	14	0,65	0,8	0,75
2. Вентустанова	142	1	18	0,65	0,8	0,75
3. Вентустанова	162–164	4	15	0,65	0,8	0,75
Третья характерная категория (термические установки)						
1. Электромагнитная ванна	130, 131	2	15	0,8	0,9	0,48
2. Нагревательная электропечь	132–134	3	20	0,8	0,9	0,48
Продолжение таблицы 2						

3. Термическая печь	135–136	2	50	0,8	0,9	0,48
4. Электротермическая печь	137	1	41	0,8	0,9	0,48
5. Электropечь	138–141	4	32	0,8	0,9	0,48
Четвертая характерная категория (контактная сварка)						
1. Точечные стационарные	143–146	4	120	0,35	0,5	1,73
2. Сварочные стыковые	147–151	5	70	0,35	0,5	1,73
3. Сварочные шовные роликовые	152–155	4	60	0,35	0,5	1,73
4. Сварочные точечные	156–158	3	90	0,35	0,5	1,73
5. Сварочные стационарные	159–161	3	40	0,35	0,5	1,73

Нагрузка цеха представлена как трехфазной, так и однофазной нагрузкой. Так, в сварочном отделении имеются однофазные электроприемники, которые считаются специфической нагрузкой. Их расчет производится в ручную и приводится в приложении А.

Расчет трехфазных нагрузок приемников электроэнергии напряжением до 1000 В проводится с использованием пакета прикладных программ «ZAPUSK». Расчет по характерным категориям цеха трехфазной нагрузки, приведен в приложении Б.

Осветительная нагрузка рассчитывается методом удельной плотности осветительной нагрузки в программе «ZAPUSK». Результаты расчета всех нагрузок цеха приведены в таблице 3. Результаты расчета осветительной нагрузки приведены в приложении В.

Таблица 3 – Результаты расчета электрических нагрузок

Характерная категория	$P_{ном}, \text{кВт}$	$P_{ср}, \text{кВт}$	$Q_{ср}, \text{квар}$	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$
Первая характерная категория (станки)	2730	354,9	613,98	230,69	675,38	713,69	1084,3

Вторая характерная категория (вентустановки)	120	78	58,5	70,2	64,35	95,23	144,7
Третья характерная категория (термические установки)	359	287,2	137,86	287,2	151,64	324,78	493,45
Суммарная трехфазная нагрузка по цеху	3209	720,1	810,34	588,09	891,37	1067,88	1622,483
Однофазная нагрузка				338,43	586,16	676,86	1781,21
Осветительная нагрузка	152,88	145,24	70,29	145,24	70,29	161,35	232,89
ИТОГО по цеху				926,52	1477,53	1744,74	

Выбор числа и мощности силовых трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций промышленных предприятий должен быть технически и экономически обоснованным, так как он оказывает существенное влияние на рациональное построение схем промышленного электроснабжения.

Критерием при выборе трансформаторов являются надежность электроснабжения, расход цветного металла и потребная трансформаторная мощность

При сооружении цеховых трансформаторных подстанций предпочтение следует отдавать, комплектным трансформаторным подстанциям (КТП), полностью изготовленным на заводах.

Рассмотрим варианты установки одного и двух трансформаторов на КТП.

Мощность трансформатора определяется по следующему выражению:

$$S_{\text{КТП}} = \frac{P_{\Sigma}}{N \cdot K_3} = \frac{926,52}{2 \cdot 0,7} = 661,8 \text{ кВА} \quad (12)$$

где N – количество устанавливаемых на КТП трансформаторов;

K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов, равен 0,7 для двух трансформаторов на КТП, равен 0,9 при одном трансформаторе.

Принимаем двухтрансформаторную КТП 1000/10 кВА с силовым трансформатором типа ТМ-1000/10.

Выбираем мощность трансформатора, при установке одного трансформатора:

$$S_{\text{КТП}} = \frac{P_{\Sigma}}{N \cdot K_3} = \frac{926,52}{1 \cdot 0,9} = 1029,47 \text{ кВА} \quad (13)$$

Принимаем однострансформаторную КТП 1600/10 кВА с силовым трансформатором типа ТМ-1000/10.

Определяем наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать в сеть 0,4 кВ через трансформаторы:

Для КТП с двумя трансформаторами:

$$Q_p = \sqrt{(N_{\text{тр}} \cdot K_3 \cdot S_{\text{тр.ном}})^2 - P_{\Sigma}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 926,52^2} = 1049,55 \text{ квар}$$

Для КТП с одним трансформатором:

$$Q_p = \sqrt{(N_{\text{тр}} \cdot K_3 \cdot S_{\text{тр.ном}})^2 - P_{\Sigma}^2} = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 1600)^2 - 926,52^2} = 1102,34 \text{ квар}$$

Определяем мощность низковольтных батарей конденсаторов.

Для КТП с двумя трансформаторами:

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\Sigma} - Q_p = 1477,53 - 1049,55 = 427,98 \text{ квар} \quad (16)$$

Для КТП с одним трансформатором:

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\Sigma} - Q_p = 1477,53 - 1102,34 = 375,19 \text{ квар} \quad (17)$$

Определяем дополнительную мощность низковольтных батарей конденсаторов по условию потерь. Для этого находим расчетный коэффициент γ , зависящий от расчетных параметров K_{p1} и K_{p2} и схемы питания цеховой ТП, при условии работы предприятия в две смены, используя рис 4.8, 4.9 и табл. 4.6, 4.7.

$$K_{p1} = 9, K_{p2} = 10$$

$$\gamma = 0,37$$

Для КТП с двумя трансформаторами:

$$Q_{\text{нк2}} = Q_{\Sigma} - Q_{\text{нк}} - \gamma \cdot N_{\text{тр}} S_{\text{тр.ном}} = 1477,53 - 427,28 - 0,37 \cdot 2 \cdot 1000 = 310,25$$

Для КТП с одним трансформатором:

$$Q_{\text{нк2}} = Q_{\Sigma} - Q_{\text{нк}} - \gamma \cdot N_{\text{тр}} S_{\text{тр.ном}} = 1477,53 - 375,19 - 0,37 \cdot 1 \cdot 1600 = 510,34$$

Определяем суммарную мощность низковольтных батарей конденсаторов:

Для КТП с двумя трансформаторами:

$$Q_{\text{нк}} = Q_{\text{нк1}} + Q_{\text{нк2}} = 427,98 + 310,25 = 738,23 \text{ квар} \quad (20)$$

Примем к установке 1*УКЛ (П) Н – 0,38 – 432 – 108УЗ

1*УКЛ (П) 0,38 – 300 – 150УЗ

Для КТП с одним трансформатором:

$$Q_{\text{нк}} = Q_{\text{нк1}} + Q_{\text{нк2}} = 375,19 + 510,34 = 885,53 \text{ кар} \quad (21)$$

Примем к установке 1*УКЛ (П) Н – 0,38 – 432 – 108УЗ

1*УКЛ (П) 0,38 – 450 – 150УЗ

Таблица 4 – Данные для расчета потерь в трансформаторах

Параметр	Единица измерения	ТМН-1000/10	ТМН1600/10
$S_{\text{ном}}$	кВА	1000	1600
$\Delta P_{\text{хх}}$	кВт	2,1	2,8
$\Delta P_{\text{к}}$	кВт	11,6	16,5
$I_{\text{х}}$	%	1,4	1,3
$u_{\text{к}}$	%	5,5	5,5

Для оценки наиболее целесообразного варианта необходимо определить затраты на КТП, по следующим выражениям:

$$Z = E \cdot (K_{\text{ТП}} + K_{\text{БК}}) + C = E \cdot (K_{\text{ТП}} + K_{\text{НБК}}) + \alpha \cdot (K_{\text{КТП}} + K_{\text{БК}}) + C_0 \cdot (\Delta W_{\text{ТР}} + \Delta W_{\text{НБК}}) \cdot 10^{-3}, \quad (22)$$

где E – коэффициент дисконтирования, определяемый в зависимости от ставки рефинансирования, устанавливается ЦБ, равный $E=0,12$;

$K_{\text{ТП}}$ и $K_{\text{НБК}}$ – стоимость трансформаторной подстанции и конденсаторных батарей соответственно;

C – стоимость потерь электрической энергии в трансформаторах и батареях конденсаторов, равная 0,6 руб./кВт;

α – суммарные ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание, принимаемые 0,094;

$\Delta W_{\text{ТР}}$ – потери электроэнергии в трансформаторах;

$\Delta W_{\text{НБК}}$ – потери электроэнергии в НБК.

Для двухтрансформаторной КТП:

Активные потери мощности в трансформаторе

$$\Delta P_{TP} = 2 \cdot (\Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K) = 2 \cdot (2,1 + 0,7^2 \cdot 11,6) = 15,57 \text{ кВт} \quad (23)$$

Потери электроэнергии в трансформаторе:

$$\Delta W_{TP} = \Delta P_{TP} \cdot T_{\Gamma} = 15,57 \cdot 8760 = 136393,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}; \quad (24)$$

Потери электроэнергии в НБК:

$$\Delta W_{НБК} = \Delta p_{НБК.уд} \cdot Q_{НБК} \cdot T_{\Gamma} = 0,003 \cdot (432 + 300) \cdot 8760 = 19236,96 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

где $\Delta p_{НБК.уд}$ – удельная величина потерь в НБК, равная 0,003 кВт/квар.

Таблица – 5 Стоимость оборудования

ТМН-1000/10, тыс. руб	ТМН1600/10, тыс. руб.	УКЛ (П) Н – 0,38–432–108УЗ тыс. руб.	УКЛ (П) 0,38– 300–150УЗ, тыс. руб.	УКЛ (П) 0,38– 450–150УЗ, тыс. руб.
28,75	31,07	3,64	2,355	3,385

Таким образом, затраты равны:

$$З = 0,1 \cdot (28,75 + 3,64 + 2,35) + 0,094 \cdot (28,75 + 3,64 + 2,35) + 0,6 \cdot (13639,32 + 19236,96) \cdot 10^{-3} = 93,38 \text{ тыс. руб.} \quad (25)$$

Аналогичный расчет произведем для однитрансформаторной КТП:

$$\Delta P_{TP} = \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K = 2,8 + 0,9^2 \cdot 18 = 17,37 \text{ кВт} \quad (26)$$

$$\Delta W_{TP} = \Delta P_{TP} \cdot T_{\Gamma} = 17,37 \cdot 8760 = 152248,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (27)$$

$$\Delta W_{НБК} = \Delta p_{НБК, уд} \cdot Q_{НБК} \cdot T_{\Gamma} = 0,003 \cdot (450 + 432) \cdot 8760 = 23178,96 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Таким образом, затраты равны:

$$Z = 0,1 \cdot (31,07 + 3,64 + 3,385) + 0,094 \cdot (31,07 + 3,64 + 3,385) + \text{тыс. руб.} \quad (29) \\ + 0,6 \cdot (153248,8 + 23178,96) \cdot 10^{-3} = 105,26$$

При сравнении двух вариантов очевидно, что затраты на КТП с двумя трансформаторами меньше, чем на КТП с одним трансформатором. Поэтому к установке принимаем двухтрансформаторную КТП с трансформатором ТМ – 1000/10.

Расчет центра электрических нагрузок

При проектировании, с целью определения места расположения цеховой КТП строится картограмма нагрузок. Картограмма представляет собой размещение на генеральном плане цеха окружностей, площадь которых равна в выбранном масштабе расчетным нагрузкам.

Для определения координат ЦЭН на конкретный момент времени, график электрических нагрузок представляют ступенчато, при этом каждая ордината определяется как отношение к максимальной мощности группы электроприемников:

$$X_0(t) = \frac{\sum P_i \cdot K_i \cdot X_i}{\sum P_i \cdot K_i} \quad (30)$$

$$Y_0(t) = \frac{\sum P_i \cdot K_i \cdot Y_i}{\sum P_i \cdot K_i} \quad (31),$$

где K_i – относительная мощность i -ой группы электроприемников в k -й час суток;

P_i – максимальная мощность i -ой группы электроприемников.

По найденным ЦЭН для каждого часа суток определяется математическое ожидание ЦЭН, среднеквадратическое отклонение и коэффициент корреляции.

$$Q_X = \frac{\sum_{i=1}^{24} X_{0i}}{24} \quad (32)$$

$$Q_Y = \frac{\sum_{i=1}^{24} Y_{0i}}{24} \quad (33)$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_{X0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (Q_X - X_{0i})^2}{24}} \quad (34)$$

$$\sigma_{Y0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (Q_Y - Y_{0i})^2}{24}} \quad (35)$$

Коэффициент корреляции:

$$K_K = \frac{\sum (X_{0i} - Q_X) \cdot (Y_{0i} - Q_Y)}{24 \cdot \sigma_{X0} \cdot \sigma_{Y0}}$$

В течение суток ЦЭН смещаются по территории охваченной эллипсом, который и характеризует зону рассеяния ЦЭН.

Для того, чтобы построить эллипс зоны рассеяния ЦЭН необходимо определить угол поворота осей эллипса, относительно выбранной системы координат и полуоси эллипса рассеяния ЦЭН.

Угол поворота осей эллипса:

$$\alpha = \frac{\arctg \cdot \left(\frac{2 \cdot K_K \cdot \sigma_{X0} \cdot \sigma_{Y0}}{\sigma_{X0}^2 - \sigma_{Y0}^2} \right)}{2} \quad (36)$$

Полуоси эллипса рассеяния центров:

$$X = \sqrt{6 \left(\sigma_{X0}^2 \cdot \cos^2 \alpha + K_K \cdot \sigma_{X0} \cdot \sigma_{Y0} \cdot \sin 2 \cdot \alpha + \sigma_{Y0}^2 \cdot \sin^2 \alpha \right)} \quad (37)$$

$$Y = \sqrt{6 \left(\sigma_{X0}^2 \cdot \sin^2 \alpha - K_K \cdot \sigma_{X0} \cdot \sigma_{Y0} \cdot \sin 2 \cdot \alpha + \sigma_{Y0}^2 \cdot \cos^2 \alpha \right)} \quad (38)$$

На основании расчетных значений математического ожидания условного центра нагрузок, координат полуосей и угла поворота осей строится эллипс рассеяния нагрузок. Место расположения источника питания (КТП) выбирается в наиболее удобной его точке. В этом случае высшее напряжение будет максимально приближено к центру потребления электроэнергии, а распределительные сети будут иметь минимальную протяженность. Если по какой-либо причине (технологической, архитектурной и др.) эллипс рассеяния попадает на территорию цеха и нельзя расположить источник питания в зоне рассеяния нагрузок, то его смещают в сторону внешнего источника питания. Данные для построения эллипса приведены в таблице 6.

Расчет радиусов картограммы электрических нагрузок цеха, координат ЦЭН и эллипса рассеяния нагрузок произведен пакетом программ «MathCad 11» фирмы MathSoft и приведен в приложении Г.

Таблица 6 – Данные для построения эллипса рассеяния нагрузок

Q_X , см	Q_Y , см	σ_{X0}	σ_{Y0}	K_K	α , °	X , см	Y , см
10,62	7,25	4,59	3,33	0,72	32,83	12,99	4,9

На основании расчетных данных строится эллипс зоны рассеяния с центром в точке $O(10,62; 7,25)$, углом поворота осей равным $32,83^\circ$ относительно выбранной системы координат и откладываются рассчитанные значения полуосей эллипса.

3. Выбор двух вариантов распределительной сети

На выбор схемы и конструктивное исполнение цеховой сети оказывают влияние такие факторы, как степень ответственности электроприемников, режим их работы и размещение на территории цеха.

Цеховые сети промышленного предприятия выполняется на напряжение до 1 кВ (наиболее распространенным является напряжение 0,38 кВ).

При проектировании системы электроснабжения необходимо правильно установить характер среды, которая оказывает решающее влияние на степень защиты применяемого оборудования.

В цеховые сети закладывается большое количество проводникового материала и электрической аппаратуры, поэтому при построении схемы исходят из принципа одинаковой надежности питающих линий со всеми аппаратами и одного электроприемника технологического агрегата.

Нет смысла запитывать один приемник технологического агрегата по двум взаиморезервируемым линиям.

Для схемы электрической сети наиболее целесообразно применение магистральной схемы. Она не требует установки распределительного щита на ТП и электроэнергия распределяется по совершенной схеме блок трансформатор – магистраль, что упрощает и удешевляет сооружение цеховой подстанции. При магистральных схемах выполненных шинпроводами ШМА и ШРА, перемещение технологического оборудования не вызывает переделок сети. Наличие перемычек между магистралями отдельных подстанций обеспечивает надежность электроснабжения при минимальных затратах на резервирование. Присоединение ШМА к РУ КТП производится через присоединительные секции ШМА. Эти секции соединяют с коммутационно-защитной аппаратурой, размещенной в шкафах КТП. Магистральные схемы широко применяются как для питания отдельных электроприемников одного технологического агрегата, так и для питания большого числа сравнительно мелких электроприемников или электроприемников относительно равномерно распределенных по площади цеха.

Радиальные схемы применяются, когда в цехе стационарно установлены относительно мощные электроприемники, не связанные единым технологическим процессом, или удаленные друг от друга настолько, что магистральное питание не целесообразно, или для питания мелких электроприемников.

Сочетание радиальных и магистральных схем применяется, когда электроприемники расположены упорядоченно или мелкие электроприемники запитаны магистралью, а относительно крупные или разбросаны по территории, или расположены в цехах с химически активной или пыльной средой.

В качестве оценки и выбора оптимального варианта системы распределительной сети принимаем два варианта, выполненные по смешанной схеме системы электроснабжения. Главная магистраль выполняется комплектным магистральным шинпроводом типа ШМА,

разводка по территории цеха осуществляется радиальными шинопроводами типа ШРА с узлами питания электроприемников, такими как распределительные шкафы и силовые пункты.

Питание осуществляется от цеховой КТП с двумя трансформаторами марки ТМ –1000/10/0,4.

Варианты выполнения схем электроснабжения представлены на рисунке 1 и рисунке 2.

4. Выбор и расчет низковольтной электрической сети

В соответствии с [1] расчет цеховой электрической сети необходимо проводить в два этапа: расчет электрических нагрузок для выбора ШМА производится аналогично расчету для выбора цеховых трансформаторов. Для расчета питающих электроприемники сетей необходима корректировка расчета электрических нагрузок, в методике определения электрических нагрузок для выбора трансформаторов и цеховой сети приведены различные значения K_p .

Для выбора главной магистрали определим рабочий ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1744,74}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2518,32$$

В качестве шин выбираем два комплектных магистральных шинопроводов с током $2202/2 = 1101$ А марки ШМА68-НУЗ с номинальным током 1600 А, с поперечным сечением прямой секции 300Ч160 мм, в соответствии с табл. 7.3.

Для последующих расчетов низковольтной сети необходим перерасчет цеховой электрической нагрузки. Алгоритм расчета аналогичен расчету в пункте 2.1. Результаты расчета электрических нагрузок на втором этапе для вариантов сведены в таблице 6 и таблице 7.

Осветительная нагрузка рассчитывается методом удельной плотности осветительной нагрузки в программе «ZAPUSK». Нагрузка освещения: $P_{осв} = 67,716$ кВт, $Q_{осв} = 22,287$ кВар

Таблица 8 – Результаты расчета электрических нагрузок по второму этапу с учетом осветительной нагрузки

№ варианта	P_{Σ} , кВт	Q_{Σ} , квар	S_{Σ} , кВА
1	1242,946	1338,9	1826,9
2	1274,616	1378,86	1877,74

По расчётному току для каждой группы ЭП определяем типы ШРА подключаемые к магистральным шинопроводам, рассчитанным в пункте 4.1.

Расчётные токи для ШРА 1 и кабелей силовых пунктов, подключенных к ШМА определяется по формуле:

$$I_{p1} = \frac{\sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

Таблица 9. Выбор проводников цеховой распределительной сети.
Вариант 1

Обозначение на плане	Расчетная нагрузка, S_p , кВА	Расчетный ток, А	Марка
ШМА	1523,65	2202	2хШМА73–1600-НУЗ
ШРА 1 КЛ _{ШРА1}	196,84	284,15	ШРА73–400-У3 АСБ-3х120, $I_{длдоп}=300$ А
ШРА 2 КЛ _{ШРА2}	227,2	327,93	ШРА73–400-У3 АСБ-3х150, $I_{длдоп}=335$ А
ШРА 3 КЛ _{ШРА3}	191,953	277,061	ШРА73–400-У3 АСБ-3х120, $I_{длдоп}=300$ А
ШРА 4 КЛ _{ШРА4}	440,9	636,5	ШРА73–630-У3 АСБ-3х240,
ШРА 5 КЛ _{ШРА5}	124,738	180	ШРА73–250-У3 АСБ-3х50, $I_{длдоп}=180$ А

ШРА 6 КЛ _{ШРА6}	101,32	146,24	ШРА73–250-У3 АСБ-3х50, I _{длдоп} =180 А
ШРА 7 КЛ _{ШРА7}	171,886	248,1	ШРА73–250-У3 АСБ-3х95, I _{длдоп} =260 А
сп1 КЛ1	177,36	256,01	СП62–1/1 (5х60) АСБ-3х95, I _{длдоп} =260 А
ШОС	67,75	97,789	ШОС-100–1У3

Сечения проводников выбирают по условию допустимых длительных токов:

$$I_p \leq I_{\text{дл.доп}},$$

где I_p – расчетный ток, А.

Таблица 10. Выбор проводников цеховой распределительной сети.
Вариант 2

Обозначение на плане	Расчетная нагрузка, S _p , кВА	Расчетный ток, А	Марка
ШМА	1523,65	2202	2хШМА73–1600-НУ3
ШРА 1 КЛ _{ШРА1}	196,84	284,15	ШРА73–400-У3 АСБ-3х120, I _{длдоп} =300 А
ШРА 2 КЛ _{ШРА2}	227,2	327,93	ШРА73–400-У3 АСБ-3х150, I _{длдоп} =335 А
ШРА 3 КЛ _{ШРА3}	191,953	277,061	ШРА73–400-У3 АСБ-3х120, I _{длдоп} =300 А
ШРА 4 КЛ _{ШРА4}	171,886	248,1	ШРА73–250-У3 АСБ-3х95, I _{длдоп} =260 А
СП1 КЛ1	146,9	212,03	СП62–1/1 (5х60) АСБ-3х70, I _{длдоп} =220 А
СП2 КЛ2	146,2	211,02	СП62–1/1 (5х60) АСБ-3х70, I _{длдоп} =220 А
СП3 КЛ3	147,8	213,33	СП62–1/1 (5х60) АСБ-3х70, I _{длдоп} =220 А
СП4 КЛ4	68,61	99,03	СП62–5/1 (8х60) АСБ-3х25, I _{длдоп} =125 А

СП5 КЛ5	68,81	99,314	СП62–5/1 (8х60) АСБ-3х25, $I_{длдоп}=125$ А
СП6 КЛ6	45,053	65,03	СП62–5/1 (8х60) АСБ-3х10, $I_{длдоп}=75$ А
СП7 КЛ7	78,39	113,15	СП62–5/1 (8х60) АСБ-3х95, $I_{длдоп}=260$ А
СП8 КЛ8	177,36	256,01	СП62–1/1 (5х60) АСБ-3х95, $I_{длдоп}=260$ А
ШОС	67,75	97,789	ШОС-100–1У3

На основании рассчитанных нагрузок распределительной сети по табл. 7.4. [2] принимаем комплектные распределительные шинопроводы для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением 380/220 В с техническими характеристиками: ШРА73–250-У3 – сечением 260х80; ШРА73–400-У3 – сечением 284х95; ШРА73–630-У3 – сечением 284х125, а также силовых пунктов и кабелей.

Номинальные токи станков определяются (например, для круглошлифовальных станков):

$$I_{ном1} = \frac{P_{ном1} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{28 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.5} = 85 \text{ А};$$

По полученным данным выбираем сечение кабелей типа АСБ с алюминиевыми жилами, свинцовой оболочкой и браней из стальных лент при прокладке в трубах, питающих двигатели станков: $s = 16 \text{ мм}^2$, $I_{доп} = 90 \text{ А}$;

Таблица 11 – Выбор марки и сечения кабелей питающих ЭП

Типы ЭП	$P_{ном}$, кВт	$\cos \varphi$	I_p , А	Сечение, мм	$I_{длдоп}$, А
1. Круглошлифовальный	28	0,5	85	3х16	90
2. Токарно – револьверный	18	0,5	54,7	3х6	55
3. Вертикально-сверлильный	30	0,5	91,2	3х25	125
4. Токарный полуавтомат	14	0,5	42,5	3х6	55
5. Горизонтально-проточный	21	0,5	63,8	3х10	75

6. Токарный с ЧПУ	14	0,5	42,5	3x6	55
7. Горизонтально-расточный	12	0,5	36,5	3x4	42
8. Горизонтально-фрезерный	23	0,5	69,8	3x10	75
9. Токарно-винторезный	16	0,5	48,6	3x6	55
10. Радиально-сверлильный	13	0,5	39,5	3x4	42
11. Вертикально-фрезерный	15	0,5	45,5	3x6	55
12. Бесцентро-шлифовальный	44	0,5	133,7	3x35	145
13. Шлифовальный	23	0,5	69,8	3x10	75
14. Горизонтально-шлифовальный	30	0,5	91,2	3x25	125
15. Вертикально-фрезерный	26	0,5	79	3x25	125
16. Радиально-сверлильный	16	0,5	48,6	3x6	55
17. Вентустановка	14	0,8	26,6	3x4	42
18. Токарный с ЧПУ	20	0,5	60,8	3x10	75
19. Токарно – револьверный	24	0,5	72,9	3x10	75
20. Токарный полуавтомат	15	0,8	28,5	3x4	42
21. Плоскошлифовальный	17	0,8	32,2	3x4	42
22. Вертикально-фрезерный	18	0,8	34,1	3x4	42
23. Точильно-фрезерный	30	0,5	91,2	3x25	125
24. Электромаслянная ванна	15	0,9	25,3	3x4	42
25. Нагревательная электропечь	20	0,9	33,7	3x4	42
26. Термическая печь	50	0,9	84,4	3x25	125
27. Электротермическая печь	41	0,9	69,2	3x10	75
28. Электропечь	32	0,9	54,02	3x10	75
29. Вентустановка	18	0,8	34,1	3x4	42
30. Точечные стационарные	120	0,5	364	3x185	380
31. Сварочные стыковые	70	0,5	212,7	3x70	220
32. Сварочные шовные роликовые	60	0,5	182,3	3x50	180
33. Сварочные точечные	90	0,5	273,5	3x120	300
34. Сварочные стационарные	40	0,5	121,5	3x70	220
35. Вентустановка	15	0,8	28,5	3x4	42

5. Выбор защитных коммутационных аппаратов

Согласно ПУЭ от перегрузок необходимо защищать силовые и осветительные сети, выполненные внутри помещений в том числе и силовые сети, когда по условиям технологического процесса или режима их работы могут возникнуть длительные перегрузки.

Для защиты электрических сетей напряжением до 1 кВ применяют плавкие предохранители и автоматические выключатели.

Выбор аппаратов защиты производится с учетом следующих основных требований:

1. Номинальный ток и напряжение аппарата защиты должны соответствовать расчетному длительному току и напряжению электрической цепи. Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей нужно выбирать по возможности меньшими по расчетным токам защищаемых участков сети или по номинальным токам отдельных ЭП в зависимости от места установки аппарата защиты с округлением до ближайшего большего стандартного значения.

2. Время действия аппаратов защиты должно быть по возможности меньшим и должна быть обеспечена селективность действия защиты соответствующим подбором аппаратов защиты и его защитной характеристики.

3. Аппараты защиты не должны отключать установку при перегрузках, возникающих в условиях нормальной эксплуатации, например при рабочих пиках технологических нагрузок, и т.п.

4. Аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение в конце защищаемого участка двух- и трехфазных КЗ при всех видах режима работы нейтралей сетей, а также однофазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью.

В курсовом проекте защита шинопроводов и КЛ, питающих РШ выполняется автоматическими выключателями, защита электроприемников осуществляется плавкими вставками предохранителей.

Плавкие предохранители выбирают по условиям:

$$I_{ном.вст} \geq I_{ном.эп}$$

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{пуск}}/2,5$$

где $I_{\text{ном.вст}}$ – номинальный ток плавкой вставки, А;

$I_{\text{ном.эп}}$ – номинальный ток отдельного ЭП, А;

$I_{\text{пуск}}$ – пусковой ток ЭП, равный:

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном.эп}};$$

где $K_{\text{п}}$ – кратность пуска, равная 7.

Выбор предохранителей произведем для двух вариантов.

Рассчитаем предохранители и выберем плавкие вставки на примере для станков 1–6 с $P_{\text{ном1}} = 28$ кВт и $\cos \varphi = 0,5$

$$\text{Номинальные токи станков: } I_{\text{ном1}} = \frac{P_{\text{ном1}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} = \frac{28 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.5} = 85 \text{ А};$$

Пусковые токи двигателей круглошлифовальных станков определяются как $I_{\text{пуск1}} = 7I_{\text{ном1}} = 595 \text{ А};$

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{ном1}}, 250 \geq 85$$

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{пуск1}}/2,5, 250 \geq 595/2,5=238 \text{ А}$$

Выбираем номинальные токи плавких вставок – $I_{\text{ном.вст}} = 250 \text{ А}$, а предохранитель типа ПН-2–600/250

Произведем расчет для других групп станков на напряжение 380 В

В таблицах 12 и 13 приведены номинальные расчетные и пусковые токи для выбора плавких вставок и выбранные марки предохранителей с номинальными токами плавких вставок принятых в соответствии с расчетными номинальными и пусковыми токами соответственно.

Таблица 12. Расчет пусковых токов для выбора плавких предохранителей

Типы ЭП	P _{ном} , кВт	cosφ	I _p , А	I _{пуск} , А	I _{пуск/2,5} , А
1. Круглошлифовальный	28	0,5	85	595	238
2. Токарно-револьверный	18	0,5	54,7	382,9	153,2
3. Вертикально-сверлильный	30	0,5	91,2	638,4	255,4
4. Токарный полуавтомат	14	0,5	42,5	297,5	119
5. Горизонтально-проточный	21	0,5	63,8	446,6	178,6
6. Токарный с ЧПУ	14	0,5	42,5	297,5	119
7. Горизонтально-расточный	12	0,5	36,5	255,5	102,2
8. Горизонтально-фрезерный	23	0,5	69,8	488,6	195,44
9. Токарно-винторезный	16	0,5	48,6	340,2	136,1
10. Радиально-сверлильный	13	0,5	39,5	276,5	110,6
11. Вертикально-фрезерный	15	0,5	45,5	318,5	127,4
12. Бесцентро-шлифовальный	44	0,5	133,7	935,9	374,4
13. Шлифовальный	23	0,5	69,8	488,6	195,44
14. Горизонтально-шлифовальный	30	0,5	91,2	638,4	255,4
15. Вертикально-фрезерный	26	0,5	79	553	221,2
16. Радиально-сверлильный	16	0,5	48,6	340,2	136,1
17. Вентустановка	14	0,8	26,6	186,2	74,4
18. Токарный с ЧПУ	20	0,5	60,8	425,6	170,2
19. Токарно – револьверный	24	0,5	72,9	510,3	204,12
20. Токарный полуавтомат	15	0,8	28,5	403,62	161,5
21. Плоскошлифовальный	17	0,8	32,2	225,4	90,2
22. Вертикально-фрезерный	18	0,8	34,1	238,7	95,5
23. Точильно-фрезерный	30	0,5	91,2	638,4	255,4
24. Электромаслянная ванна	15	0,9	25,3	177,1	70,8
25. Нагревательная электропечь	20	0,9	33,7	235,9	94,4
26. Термическая печь	50	0,9	84,4	590,8	236,32
27. Электротермическая печь	41	0,9	69,2	484,4	193,76
28. Электропечь	32	0,9	54,02	378	151,2
29. Вентустановка	18	0,8	34,1	238,7	95,48
30. Точечные стационарные	120	0,5	364	1820	728
31. Сварочные стыковые	70	0,5	212,7	1063,5	425,4
32. Сварочные шовные роликовые	60	0,5	182,3	911,5	364,6
33. Сварочные точечные	90	0,5	273,5	1367,5	547
34. Сварочные стационарные	40	0,5	121,5	607,5	243
35. Вентустановка	15	0,8	28,5	199,5	79,8

Таблица 13 – Выбор плавких вставок и типа предохранителей

Типы ЭП	Тип предохранителя	Ипл.вст	Ip, А	Ипуск/2,5, А
1. Круглошлифовальный	ПН-2-400	250	85	238
2. Токарно – револьверный	ПН-2-250	150	54,7	153,2
3. Вертикально-сверлильный	ПН-2-400	300	91,2	255,4
4. Токарный полуавтомат	ПН-2-250	120	42,5	119
5. Горизонтально-проточный	ПН-2-250	200	63,8	178,6
6. Токарный с ЧПУ	ПН-2-250	120	42,5	119
7. Горизонтально-расточный	ПН-2-250	120	36,5	102,2
8. Горизонтально-фрезерный	ПН-2-250	200	69,8	195,44
9. Токарно-винторезный	ПН-2-250	150	48,6	136,1
10. Радиально-сверлильный	ПН-2-250	120	39,5	110,6
11. Вертикально-фрезерный	ПН-2-250	150	45,5	127,4
12. Бесцентро-шлифовальный	ПН-2-400	400	133,7	374,4
13. Шлифовальный	ПН-2-250	200	69,8	195,44
14. Горизонтально-шлифовальный	ПН-2-400	300	91,2	255,4
15. Вертикально-фрезерный	ПН-2-400	250	79	221,2
16. Радиально-сверлильный	ПН-2-250	150	48,6	136,1
17. Вентустановка	ПН-2-100	100	26,6	74,4
18. Токарный с ЧПУ	ПН-2-250	200	60,8	170,2
19. Токарно – револьверный	ПН-2-250	200	72,9	204,12
20. Токарный полуавтомат	ПН-2-250	120	28,5	161,5
21. Плоскошлифовальный	ПН-2-100	100	32,2	90,2
22. Вертикально-фрезерный	ПН-2-100	100	34,1	95,5
23. Точильно-фрезерный	ПН-2-400	300	91,2	255,4
24. Электромаслянная ванна	ПН-2-100	100	25,3	70,8
25. Нагревательная электропечь	ПН-2-100	100	33,7	94,4
26. Термическая печь	ПН-2-250	200	84,4	236,32
27. Электротермическая печь	ПН-2-250	150	69,2	193,76
28. Электропечь	ПН-2-250	120	54,02	151,2
29. Вентустановка	ПН-2-100	100	34,1	95,48
30. Точечные стационарные	ПН-2-800	800	364	728
31. Сварочные стыковые	ПН-2-600	500	212,7	425,4
32. Сварочные шовные роликовые	ПН-2-400	400	182,3	364,6
33. Сварочные точечные	ПН-2-600	600	273,5	547
34. Сварочные стационарные	ПН-2-400	300	121,5	243
35. Вентустановка	ПН-2-100	100	28,5	79,8

В соответствии с требованиями автоматические выключатели выбирают по условиям:

$$I_{ном. расц} \geq I_{р.мах} \text{ и } I_{ср.эл.} \geq (1,25-1,35) I_{п}$$

где $I_{ном. расц}$ – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{р.мах}$ – наибольший расчетный ток нагрузки, А; $I_{п}$ – пиковый ток, А

$I_{ср.эл.}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, равный

$$I_{ср.эл.} = 10 \cdot I_{ном. расц},$$

$$I_{п} = I_{р} + (K_{п}-1) I_{ном.мах},$$

где $I_{ном. мах}$ – наибольший ток ЭП, А; $I_{р}$ – расчетный ток группы ЭП, А.

Таблица 14 – Выбор автоматических выключателей. Вариант 1

Обозначение на плане	$I_{р}$, А	$I_{ном. расц}/ I_{ср.эл.}$, А	$I_{п}$, А	Тип выключателя
ШМА	1101	1200/12000	1821	АВМ-20Н
ШРА 1	284,15	400/4000	464,15	АВМ-4С
ШРА 2	327,93	400/4000	591,93	АВМ-4С
ШРА 3	277,061	400/4000	445,1	АВМ-4С
ШРА 4	636,5	600/6000	1356,5	АВМ-10Н
ШРА 5	180	250/2500	360	АВМ-4С
ШРА 6	146,24	150/1500	326,2	АВМ-4С
ШРА 7	248,1	400/4000	548,1	АВМ-4С
сп1	256,01	400/4000	502	АВМ-4С
ШОС	97,789	100/1000	121,8	АВМ-4Н

Таблица 15 – Выбор автоматических выключателей. Вариант 2

Обозначение на плане	$I_{р}$, А	$I_{ном. расц}/ I_{ср.эл.}$, А	$I_{п}$, А	Тип выключателя
ШМА	2202/2	1200/12000	2922	АВМ-20Н
ШРА 1	284,15	400/4000	2922	АВМ-4С
ШРА 2	327,93	400/4000	464,15	АВМ-4С

ШРА 3	277,061	400/4000	591,93	ABM-4C
ШРА 4	248,1	250/2500	548,1	ABM-4C
СП1	212,03	250/2500	932,03	ABM-4C
СП2	211,02	250/2500	631,02	ABM-4C
СП3	213,33	400/4000	753,3	ABM-4C
СП4	99,03	120/1200	279	ABM-4H
СП5	99,314	120/1200	243,3	ABM-4H
СП6	65,03	120/1200	173,03	ABM-4H
СП7	113,15	120/1200	293,2	ABM-4H
СП8	256,01	400/4000	502,01	ABM-4C
ШОС	97,789	120/1200	121,8	ABM-4H

6. Технико-экономическое сравнение вариантов по приведенным затратам

Для определения экономически оптимального варианта рассчитываются технико-экономические показатели.

Экономическая оценка осуществляется по приведенным затратам:

$$З = K \cdot 0,12 + P_a \cdot K + C_{\Sigma}$$

где P_a – нормы амортизационных отчислений, принимаемые 0,093;

K – суммарные капиталовложения, т. руб.;

C_{Σ} – стоимость потерь электрической энергии, равная

$$C_{\Sigma} = C_0 W,$$

где C_0 – удельная стоимость потерь электроэнергии принимаемая 0,02 руб./кВтч;

W – годовые потери электроэнергии кВтч, определяемые по средней мощности.

$$W = P_{\text{ср}} T_{\text{г}},$$

где $T_z = 4000$ ч., $P_{ср} = 824,34$ кВт

Рассчитаем капиталовложения в проектируемую сеть по вариантам.

Таблица 16 – Капиталовложения в проектируемую сеть для варианта 1

Элемент сети	Длина, м / кол-во, шт.	Единица измерения стоимости	Уд. стоимость	К, т. руб.
ШМА73-НУЗ-1600	2х60	руб./м	191	22,92
ШРА73-400-УЗ	3х66	руб./м	59,2	11,722
ШРА73-630-УЗ	54	руб./м	85	4,59
ШРА73-250-УЗ	3х30	руб./м	46,5	4,185
ШОС-100-1УЗ	60	руб./м	22,5	1,35
АСБ (3х240)	24	тыс. руб./км	6,35	0,152
АСБ (3х185)	40	тыс. руб./км	5,2	0,208
АСБ (3х150)	6	тыс. руб./км	4,37	0,021
АСБ (3х50)	48	тыс. руб./км	2,18	0,105
АСБ (3х35)	90	тыс. руб./км	1,87	0,168
АСБ (3х25)	96	тыс. руб./км	1,65	0,158
АСБ (3х16)	94	тыс. руб./км	1,45	0,136
АСБ (3х10)	274	тыс. руб./км	1,32	0,362
АСБ (3х6)	248	тыс. руб./км	1,22	0,303
АСБ (3х4)	240	тыс. руб./км	1,19	0,286
ПН2-1000	1	руб./шт.	5,77	0,006
ПН2-600	2	руб./шт.	4,21	0,008
ПН2-400	80	руб./шт.	2,21	0,177
ПН2-250	80	руб./шт.	1,39	0,111
ПН2-100	22	руб./шт.	0,88	0,019
АВМ-20Н	1	руб./шт.	250	0,25
АВМ-4С	8	руб./шт.	180	1,26
АВМ-10Н	1	руб./шт.	90	0,09
АВМ-4Н	1	руб./шт.	90	0,09
ШРС1-22УЗ	9	руб./шт.	56	0,504
СП62-1/1 (5х60)	1	руб./шт.	58	0,058
итого				49239

Таким образом годовые затраты на цеховую сеть варианта 1 составляют:

$$З = 49239 \cdot 0,12 + 0,093 \cdot 49239 + 0,02 \cdot (4000 \cdot 824,34) = 76435,12 \text{ руб.}$$

Таблица 17 – Капиталовложения в проектируемую сеть для варианта 2

Элемент сети	Длина, м / кол-во, шт.	Единица измерения стоимости	Уд. стоимость	К, т. руб.
ШМА73УЗ-1600	2х60	руб./м	191	22,92
ШРА73УЗ-400	3х66	руб./м	59,2	11,722
ШРА73УЗ-250	30	руб./м	46,5	1,395
ШОС-100–1УЗ	60	руб./м	22,5	1,35
АСБ (3х240)	24	тыс. руб./км	6,35	0,152
АСБ (3х185)	40	тыс. руб./км	5,2	0,208
АСБ (3х150)	18	тыс. руб./км	4,37	0,079
АСБ (3х120)	60	тыс. руб./км	3,87	0,232
АСБ (3х50)	60	тыс. руб./км	2,18	0,131
АСБ (3х35)	90	тыс. руб./км	1,87	0,168
АСБ (3х25)	148	тыс. руб./км	1,65	0,244
АСБ (3х16)	94	тыс. руб./км	1,45	0,136
АСБ (3х10)	263	тыс. руб./км	1,32	0,347
АСБ (3х6)	248	тыс. руб./км	1,22	0,303
АСБ (3х4)	333	тыс. руб./км	1,19	0,4
ПН2–1000	1	руб./шт.	5,77	0,006
ПН2–600	2	руб./шт.	4,21	0,008
ПН2–400	80	руб./шт.	2,21	0,177
ПН2–250	80	руб./шт.	1,39	0,111
ПН2–100	22	руб./шт.	0,88	0,019
АВМ-20Н	1	руб./шт.	250	0,25
АВМ-4С	7	руб./шт.	180	1,26
АВМ-4Н	5	руб./шт.	90	0,45
ШРС1–22УЗ	4	руб./шт.	56	0,224
СП62–1/1 (5х60)	8	руб./шт.	58	0,464
СП62–5/1 (8х60)	3	руб./шт.	63	0,189
итого				43844

Таким образом годовые затраты на цеховую сеть варианта 2 составляют:

$$З = 43844 \cdot 0,12 + 0,093 \cdot 43844 + 0,02 \cdot (4000 \cdot 824,34) = 75285,972 \text{ руб.}$$

На основании технико-экономического сравнения делаем вывод, что приведенные затраты на проектируемую сеть для первого и второго варианта практически равноценны (для первого варианта составляют 76435,12 руб.,

для второго – 75285,972 руб.), поэтому в качестве оптимального варианта принимаем вариант 1.

7. Расчет токов короткого замыкания для выбранного варианта

Расчет токов КЗ в системе электроснабжения промышленных предприятий производится упрощенным способом с рядом допущений: считают, что трехфазная система является симметричной; не учитывают насыщение магнитных систем, т.е. что индуктивные сопротивления в процессе КЗ не изменяются; принимают, что фазы всех ЭДС источников не изменяются в процессе КЗ; напряжение на шинах источника принимается неизменным, т. к. точки КЗ обычно удалены от источника; апериодическая составляющая тока КЗ не подсчитывается, т. к. длительность короткого замыкания в удаленных точках не превышает 0,15 с. Ток КЗ для выбора и проверки сечений токоведущих частей и аппаратов рассчитывается при нормальном режиме работы ЭП.

По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки КЗ.

Расчетная схема

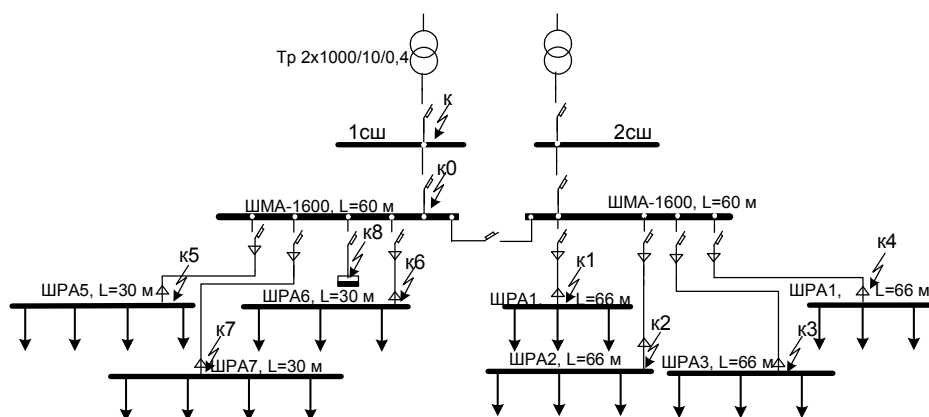


Рисунок 3

Таблица 18 – Исходные данные для расчета ТКЗ

Элемент сети	I_p , А	L, м	Сечение, мм	$r_{уд}$, мОм/м	$x_{уд}$, мОм/м
ШМА	2202	2х60	300х160	0,031	0,017
		6	3х240	0,129	0,0587
ШРА 1	284,15	66	284х95	0,1	0,13
КЛ _{ШРА1}		6	3х120	0,258	0,06
ШРА 2	327,93	66	284х95	0,1	0,13
КЛ _{ШРА2}		6	3х150	0,206	0,06
ШРА 3	277,061	66	284х95	0,1	0,13
КЛ _{ШРА3}		6	3х120	0,258	0,06
ШРА 4	636,5	66	284х125	0,09	0,085
КЛ _{ШРА4}		6	3х240	0,129	0,077
ШРА 5	180	30	260х80	0,2	0,145
КЛ _{ШРА5}		6	3х50	0,62	0,062
ШРА 6	146,24	30	260х80	0,2	0,145
КЛ _{ШРА6}		6	3х50	0,62	0,062
ШРА 7	248,1	30	260х80	0,2	0,145
КЛ _{ШРА7}		6	3х95	0,326	0,194
сп1	256,01	10	-	-	-
КЛ1			3х95	0,326	0,194

Схема замещения для определения ТКЗ в точках к, к0 и к1

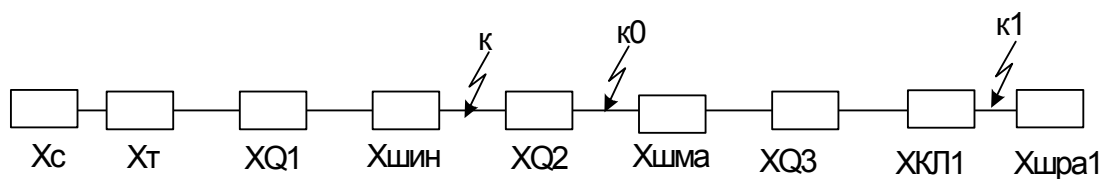


Рисунок 5

Определяем сопротивление системы:

$$x_C = U_{ср}^2 / S_{кз} = 0,38^2 / 200 = 0,72 \text{ мОм}$$

Полное сопротивление силового трансформатора:

$$Z_{TP} = u_K U_{HH}^2 / S_{ном.тр} = 5,5 \cdot 0,38^2 \cdot 10^4 / 1000 = 7,94 \text{ МОм}$$

Активное сопротивление СТ

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_K U_{HH}^2}{S_{ном.т}^2} = \frac{12 \cdot 0,38^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1,734 \text{ МОм}$$

Индуктивное сопротивление СТ

$$X_{mp} = \sqrt{Z_{mp}^2 - r_{mp}^2} = \sqrt{7,94^2 - 1,734^2} = 7,74 \text{ МОм}$$

Определяем активные и индуктивные сопротивления элементов сети:

$$r = L \cdot r_{уд}, \text{ МОм и } x = L \cdot x_{уд}, \text{ МОм}$$

Сопротивление автоматического выключателя QF₁

$$X_{расц} = 0,094 \text{ МОм}; r_{расц} = 0,12 \text{ МОм}; r_{конт} = 0,25 \text{ МОм}.$$

Сопротивление QF₂ = QF₃

$$X_{расц} = 0,55 \text{ МОм}; r_{расц} = 0,74 \text{ МОм}; r_{конт} = 0,65 \text{ МОм}.$$

Сопротивление шин КТП: R_{шкТП} = 0,1, X_{шкТП} = 0,06

Сопротивление ШМА: X_{шма} = X₀ · l_{шма} = 0,017 · 60 = 1,02 МОм

$$r_{шма} = r_0 \cdot l_{шма} = 0,031 \cdot 60 = 1,86 \text{ МОм}$$

$$r_{ф-0} = 0,072 \text{ МОм/м}, r_{ф-0} = 0,072 \cdot 60 = 4,32 \text{ МОм}$$

$$X_{ф-0} = 0,098 \text{ МОм/м}, X_{ф-0} = 0,098 \cdot 60 = 5,88 \text{ МОм}$$

Сопротивление ШРА1: X_{шра} = X₀ · l_{шра} = 0,13 · 66 = 8,58 МОм

$$r_{шра} = r_0 \cdot l_{шра} = 0,1 \cdot 66 = 6,6 \text{ МОм}$$

Сопротивление кабеля к ШРА1: X_{кл} = 0,06 · 6 = 0,36 МОм

$$r_{кл} = 0,258 \cdot 6 = 1,548 \text{ МОм}$$

$$r_{ф-0} = 1,25 \text{ МОм/м}, r_{ф-0} = 1,25 \cdot 6 = 7,5 \text{ МОм}$$

$$X_{ф-0} = 0,0622 \text{ МОм/м}, X_{ф-0} = 0,0622 \cdot 6 = 0,373 \text{ МОм}$$

Определяем токи 3х-фазного КЗ в указанных точках.

Точка К

Суммарное сопротивление цепи до точки К

$$r_{1\Sigma} = r_{TP} + r_{Q1} + r_{шкпп} + r_{конт} = 1,734 + 0,12 + 0,1 + 0,25 = 2,204 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_{TP} + x_{Q1} + x_{шкпп} = 0,72 + 7,74 + 0,094 + 0,06 = 8,614 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 8,891 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{nn}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 8,89} = 24,67 \text{ кА}$$

Ток трехфазного КЗ при учете переходного сопротивления в месте КЗ

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{перех} = 2,204 + 15 = 17,204 \text{ мОм}$$

$$Z'_{1\Sigma} = \sqrt{17,204^2 + 8,891^2} = 19,37 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = 380 / 1,73 \cdot 19,37 = 11,33 \text{ кА}$$

Точка К0

Суммарное сопротивление цепи до точки К0

$$r_{2\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{Q2} + r_{конт} + r_{шма} + r_{перех} = 2,204 + 0,74 + 0,65 + 1,86 + 20 = 25,454 \text{ мОм}$$

$$x_{2\Sigma} = x_{1\Sigma} + x_{Q2} + x_{шма} = 8,614 + 0,55 + 1,02 + 1,06 = 11,244 \text{ мОм}$$

$$Z_{2\Sigma} = \sqrt{r_{2\Sigma}^2 + x_{2\Sigma}^2} = 27,83 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного КЗ

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{nn}}{\sqrt{3} \cdot Z_{2\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 27,83} = 7,88 \text{ кА}$$

Точка К1

Суммарное сопротивление цепи до точки КЗ

$$r_{3\Sigma} = r_{2\Sigma} + r_{Q3} + r_{\text{конт}} + r_{\text{шра}} + r_{\text{кл}} = 25,454 + 0,74 + 0,65 + 6,6 + 1,548 = 34,992$$

МОм

$$x_{3\Sigma} = x_{2\Sigma} + x_{Q3} + x_{\text{шра}} + x_{\text{кл}} = 11,244 + 0,55 + 8,58 + 0,36 = 20,734 \text{ МОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 40,67 \text{ МОм}$$

Ток трехфазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 40,67} = 5,39 \text{ кА}$$

Аналогично проводится расчет и для других точек расчетной схемы.

Результаты расчета сведены в таблицу 19.

Для расчета однофазного кз при наличии ШМА учитывается сопротивление петли фаза-нуль, тогда

$$I_{\kappa} = U_{\text{н}} / \sqrt{3} (Z_{\text{п}} + Z_{\text{тр}}/3),$$

где $Z_{\text{п}}$ – полное сопротивление петли фаза-нуль,

$Z_{\text{тр}} = Z_{\text{тр1}} + Z_{\text{тр2}} + Z_{\text{тр0}}$ – сопротивление трансформатора, учитывающее прямую, обратную и нулевую последовательность.

Система: $X_{1c} = 0,72 \text{ МОм}$; $X_{2c} = X_{1c}$

СТ: $X_{1\text{тр}} = X_{2\text{тр}} = 7,74 \text{ МОм}$; $X_{0\text{тр}} = X_{1\text{тр}}$ – для данной схемы соединения обмоток СТ

Для остальных элементов $X_1 = X_2 = X_0$; $r_1 = r_2 = r_0$

Точка К

Суммарное сопротивление цепи до точки К1

$$r_{1\Sigma} = 3r_{\text{ТР}} + 3r_{Q1} + 3r_{\text{шкстп}} = 3 \cdot 2,204 = 6,612 \text{ МОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 2x_c + 3x_{\text{ТР}} + 3x_{Q1} + 3x_{\text{шкстп}} = 2 \cdot 0,72 + 3 \cdot 8,614 = 27,282 \text{ МОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 28,072 \text{ мОм}$$

Ток однофазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{nn}}{Z_{1\Sigma}} = \frac{1,73 \cdot 400}{28,072} = 24,65 \text{ кА}$$

Ток при учете переходного сопротивления дуги в месте КЗ

$$r'_{1\Sigma} = 3r_{1\Sigma} = 3(2,204 + 15) = 51,612$$

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{nn}}{Z_{1\Sigma}} = \frac{1,73 \cdot 400}{\sqrt{51,612^2 + 27,282^2}} = 18,39 \text{ кА}$$

Точка К0

Суммарное полное сопротивление петли фаза-нуль т. к. есть ШМА

$$r_{2\Pi} = r_{Q1} + r_{\text{шкТП}} + r_{Q2} + r_{\text{шмаф-0}} + r_{\text{перех}} = 0,12 + 0,1 + 0,74 + 4,32 + 20 = 25,28 \text{ мОм}$$

$$x_{2\Pi} = x_{Q1} + x_{\text{шкТП}} + x_{Q2} + x_{\text{шмаф-0}} = 0,094 + 0,06 + 0,55 + 5,88 = 6,584 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_2^2 + x_{2n}^2} = 26,123 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{nn}}{\sqrt{3} \cdot (Z_n + Z_{TP} / 3)} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (26,123 + 7,94)} = 6,44 \text{ кА}$$

Точка К1

$$r_{3\Pi} = r_{2\Pi} + r_{\text{шраф-0}} + r_{\text{клф-0}} = 25,28 + 66 \cdot 0,1 + 7,5 = 39,38 \text{ мОм}$$

$$x_{3\Pi} = x_{2\Pi} + x_{\text{шраф-0}} + x_{\text{клф-0}} = 6,584 + 66 \cdot 0,129 + 0,373 = 15,471 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_2^2 + x_{2n}^2} = 42,31 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{nn}}{\sqrt{3} \cdot (Z_n + Z_{TP} / 3)} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (42,31 + 7,94)} = 4,366 \text{ кА}$$

Аналогично проводится расчет и для других точек расчетной схемы.

Ударный ток трехфазного КЗ в электроустановках с одним источником энергии рассчитывается по формуле:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 3}^{(3)} \cdot K_{y\partial}$$

$$\text{где } K_{y\partial} = \left(1 + e^{\frac{-t_{y\partial}}{T_a}} \right), T_a = x_1 / \omega r_1,$$

где ω – круговая частота, равная 314.

Ударный ток КЗ для шин КТП:

$$i_{y\partial \kappa 4} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 4}^{(3)}$$

$$\text{где } k_{y\kappa 4} = 1 + \lambda_t = 1 + e^{-0.01/T_a} = 1 + 0,436 = 1,436$$

$$T_a = \frac{x_{4\Sigma}}{\omega \cdot r_{4\Sigma}} = \frac{8,614}{314 \cdot 2,204} = 0,012$$

$$i_{y\partial \kappa 4} = 1,448 \cdot \sqrt{2} \cdot 24,67 = 50,51 \text{ кА} < 70 \text{ кА}$$

Результаты расчетов токов КЗ сведем в таблицу 19.

Таблица 19 – Результаты расчетов 1-но и 3-х фазных токов КЗ

Точка КЗ	$I^{(3)}$, кА	$I^{(3)}$, кА с учетом $\Gamma_{\text{перех}}$	$I^{(1)}$, кА	$I^{(1)}$, кА с учетом $\Gamma_{\text{перех}}$	$I_{y\partial}$, кА
К Шины КТП	24,67	11,33	24,65	18,39	50,512
К0 ШМА	13,63	7,88	18,39	6,44	28,21
К1 ШРА1	12,32	5,65	5,52	3,61	17,516
К2 ШРА 2	12,32	5,65	5,52	3,61	17,516
К3 ШРА 3	6,004	4,122	8,119	5,635	8,536
К4 ШРА 4	7,158	3,614	9,05	3,844	10,33
К5 ШРА 5	6,2	4,137	5,574	4,39	7,815
К6 ШРА 6	6,235	4,147	5,907	4,434	7,834
К7 ШРА 7	6,411	4,253	6,028	4,549	8,071

К8 СП1	8,182	4,944	6,253	4,531	11,577
--------	-------	-------	-------	-------	--------

Расчет токов трехфазных КЗ в других точках расчетной схемы произведен с помощью программы «Mathcad».

8. Проверка выбранных сечений проводников и защитных аппаратов

Для оценки правильности выбора сечений проводников необходимо провести проверку выбранных кабельных линий и шинопроводов.

Выбранные по длительному току и согласованные с током защиты аппаратов сечения внутрицеховых электрических сетей должны быть проверены на потерю напряжения. Нормированных значений для потери напряжения не установлено.

Однако, зная напряжение на шинах источника питания и подсчитав потери напряжения в сети, определяют напряжение у потребителя.

Проверка КЛ шинопроводов осуществляется по потере напряжения:

$$\Delta U = (1.73 \cdot I_p \cdot L \cdot 100 / U_{\text{ном}}) \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi)$$

где $\cos \varphi$ и $\sin \varphi$ – принимается средневзвешенное значение коэффициента мощности, представленные в таблице 4 и 5 по результатам расчета электрических нагрузок для распределительной цеховой сети.

L – длина линии, м; I_p – расчетный ток в линии, А;

Допустимая потеря напряжения $\Delta U_{\text{доп.}} = \pm 5\%$;

Условие проверки на потерю напряжения:

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп.}}$$

Произведем расчет потерь напряжения и сведем в таблицу 20.

Кабельные линии, питающие непосредственно ЭП проверяются на потерю напряжения ($\Delta U\%$) в зависимости от номинального коэффициента

мощности ($\cos\phi$) и выбранного сечения кабеля (S , мм²) следующим способом:

$$\Delta U\% = e \cdot I_p \cdot L \cdot 10^{-3},$$

где e – удельные потери напряжения в трехфазной кабельной линии напряжением 380 В, %/ кВт · км;

I_p – ток в линии, А;

L – длина кабеля, питающего ЭП, м.

Правилами устройства электроустановок установлена допустимая потеря напряжения линий силовых электроприемников $\pm 5\%$.

Таблица 20. Данные для расчета потерь напряжения в элементах распределительной сети варианта 1

Элемент сети	I_p , А	L , м	$\cos\phi_{\text{ср.взв}}/\sin\phi$	Сечение, мм	$r_{\text{уд}}$, мОм/м	$x_{\text{уд}}$, мОм/м	ΔU , %
ШМА	1101	60	0,5 / 0,866	300x160	0,031	0,017	0,86
		6		3x240	0,129	0,0587	0,87
ШРА 1 КЛ _{ШРА1}	284,15	66	0,5 / 0,866	284x95	0,1	0,13	1,32
		6		3x120	0,258	0,06	0,392
ШРА 2 КЛ _{ШРА2}	327,93	66	0,5 / 0,866	284x95	0,1	0,13	1,52
		6		3x150	0,206	0,06	0,367
ШРА 3 КЛ _{ШРА3}	277,061	66	0,5 / 0,866	284x95	0,1	0,13	1,286
		6		3x120	0,258	0,06	0,2
ШРА 4 КЛ _{ШРА4}	636,5	66	0,494/0,869	284x125	0,09	0,085	1,242
		6		3x240	0,129	0,077	0,51
ШРА 5 КЛ _{ШРА5}	180	30	0,652/0,758	260x80	0,2	0,145	1,99
		6		3x50	0,62	0,062	0,526
ШРА 6 КЛ _{ШРА6}	146,24	30	0,672/0,741	260x80	0,2	0,145	0,565
		6		3x50	0,62	0,062	0,427
ШРА 7 КЛ _{ШРА7}	248,1	30	0,9/0,433	260x80	0,2	0,145	0,782
		6		3x95	0,326	0,194	0,412
сп1 КЛ1	256,01	10	0,5 / 0,866	- 3x95	- 0,326	- 0,194	- 0,425

Удельные потери напряжения в трехфазной кабельной линии определяются по таблицам 5, 6 [7].

Таблица 21. Данные для расчета потерь напряжения в КЛ питающих ЭП

№ по плану ЭП, питающих КЛ:	I_p , А	$\cos\phi$	S , мм ²	L , м	e , %/кВт·км	ΔU , %
1–6	85	0,5	3x16	5	1,42	0,6
59–65	85	0,5	3x16	8	1,42	0,965
7–11	54,7	0,5	3x6	5	3,75	1,025
87–91	54,7	0,5	3x6	8	3,75	1,641
12–16	91,2	0,5	3x25	4	0,933	0,34
17–22	42,5	0,5	3x6	4	3,75	0,637
23–27	63,8	0,5	3x10	6	2,27	0,869
114–115	63,8	0,5	3x10	10	2,27	1,448
28–36	42,5	0,5	3x6	10	3,75	0,637
37–40	36,5	0,5	3x4	9	5,61	1,84
85,86	36,5	0,5	3x4	4	5,61	0,819
41–53	69,8	0,5	3x10	3	2,27	0,475
54–58, 92–94	48,6	0,5	3x6	4	3,75	0,729
66–73	39,5	0,5	3x4	6	5,61	1,33
74–76	45,5	0,5	3x6	4	3,75	0,683
77–84	133,7	0,5	3x35	10	0,632	0,844
95–100	69,8	0,5	3x10	8	2,27	1,268
101, 102	91,2	0,5	3x25	15	0,933	1,276
103–105	79	0,5	3x25	12	0,933	0,884
106,107	48,6	0,5	3x6	6	3,75	1,094
108, 109, 129	26,6	0,8	3x4	10	5,61	1,492
110, 111	60,8	0,5	3x10	15	2,27	2,07
112, 113	72,9	0,5	3x10	18	2,27	2,97
116–118	28,5	0,8	3x4	18	5,61	2,88
119, 120	32,2	0,8	3x4	12	5,61	2,17
121–123	34,1	0,8	3x4	10	5,61	1,91
124–128	91,2	0,5	3x25	10	0,933	0,85
130, 131	25,3	0,9	3x4	6	5,61	0,852
132–134	33,7	0,9	3x4	15	5,61	2,84
135–136	84,4	0,9	3x25	8	0,933	0,629
137	69,2	0,9	3x10	18	2,27	2,82
138–141	54,02	0,9	3x10	18	2,27	2,207

142	34,1	0,8	3x4	11	5,61	2,1
143–146	364	0,5	3x185	10	0,16	0,582
147–151	212,7	0,5	3x70	12	0,363	0,926
152–155	182,3	0,5	3x50	15	0,487	1,33
156–158	273,5	0,5	3x120	18	0,23	1,132
159–161	121,5	0,5	3x70	15	0,363	0,662
162–164	28,5	0,8	3x4	12	5,61	1,92

Так как ΔU во всех элементах сети меньше $\Delta U_{\text{доп}} = \pm 5\%$, то для всех КЛ и шинопроводов условие по потере напряжения соблюдается.

Шинопроводы проверяются на электродинамическую стойкость по условию:

$$i_{\text{уд}} < i_{\text{уд.доп}},$$

где $i_{\text{уд.доп}}$ – допустимая электродинамическая стойкость, кА.

Таблица 22. Проверка шинопроводов на электродинамическую стойкость

Шинопровод	$i_{\text{уд}}$, кА	$i_{\text{уд.доп}}$, кА	Условие проверки
ШРА1 73–400-У3	17,516	25	$i_{\text{уд}} < i_{\text{уд.доп}}$
ШРА2 73–400-У3	17,516	25	$i_{\text{уд}} < i_{\text{уд.доп}}$
ШРА3 73–400-У3	8,536	25	$i_{\text{уд}} < i_{\text{уд.доп}}$
ШРА4 73–630-У3	7,33	35	$i_{\text{уд}} < i_{\text{уд.доп}}$
ШРА5 73–250-У3	8,815	15	$i_{\text{уд}} < i_{\text{уд.доп}}$
ШРА6 73–250-У3	8,834	15	$i_{\text{уд}} < i_{\text{уд.доп}}$
ШРА7 73–250-У3	9,071	15	$i_{\text{уд}} < i_{\text{уд.доп}}$
ШМА68-НУ3-1600	50,51	70	$i_{\text{уд}} < i_{\text{уд.доп}}$

Так как ударный ток шинопроводов меньше амплитудного значения электродинамической стойкости табл. 7.3. и 7.4. [2], то условие на электродинамическую стойкость соблюдается.

Выбранные аппараты защиты необходимо проверять во-первых по согласованию теплового расцепителя с сечением выбранных элементов сети, во-вторых по чувствительности к токам КЗ.

1. Проверка по согласованию теплового расцепителя с сечением выбранных элементов сети осуществляется по условию:

$$I_{\text{ном.расц}} \leq 1,5 \cdot I_{\text{дл.доп}},$$

где $I_{\text{ном.расц}}$ – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{\text{дл.доп}}$ – длительно допустимый ток элемента сети, А.

Проверка по согласованию теплового расцепителя с сечением выбранных элементов сети для выбранного варианта представлены в таблице 23.

Таблица 23. Проверка автоматических выключателей по согласованию теплового расцепителя с сечением выбранных элементов сети

Элемент сети	Тип выключателя	$I_{\text{дл.доп}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном. расц}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном.расц}} \leq 1,5 \cdot I_{\text{дл.доп}}$
ШМА	АВМ-20Н	1600	1200	$1200 < 2400$
ШРА1	АВМ-4С	400	400	$400 < 600$
ШРА2	АВМ-4С	400	400	$400 < 600$
ШРА3	АВМ-4С	400	400	$400 < 600$
ШРА4	АВМ-10Н	630	600	$600 < 945$
ШРА5	АВМ-4С	250	250	$100 < 375$
ШРА6	АВМ-4С	250	150	$120 < 375$
ШРА7	АВМ-4С	250	400	$100 < 375$
СП1	АВМ-4С	260	400	$100 < 390$
ШОС	АВМ-4Н	100	100	$100 < 150$

В соответствии с приведенными условиями все автоматические выключатели по согласованию тепловых расцепителей соответствуют выбранным сечениям элементов сети.

2. Проверка по чувствительности к токам КЗ осуществляется по условию:

$$I^{(1)}_{\text{кзmin}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ср.эл}},$$

где $I^{(1)}_{\text{кзmin}}$ – минимальный ток однофазного КЗ, А;

$I_{\text{ср.эл}}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, определяется по паспортным данным в зависимости от пределов регулирования времени срабатывания, $I_{\text{ср.эл}} = 10 \cdot I_{\text{ном. расц}}$, А.

Таблица 24. Проверка автоматических выключателей по чувствительности к токам КЗ

Элемент сети	Тип выключателя	$I^{(1)}_{\text{кзmin}}$, А	$I_{\text{ср.эл}}$, А	$I^{(1)}_{\text{кзmin}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ср.эл}}$
ШМА	АВМ-20Н	18390	12000	$18390 > 18000$
ШРА1	АВМ-4С	5520	4000	$5520 > 5000$
ШРА2	АВМ-4С	5520	4000	$5520 > 5000$
ШРА3	АВМ-4С	8119	4000	$8119 > 5000$
ШРА4	АВМ-10Н	9050	6000	$9050 > 9000$
ШРА5	АВМ-4С	5574	2500	$5574 > 3750$
ШРА6	АВМ-4С	5907	1500	$5907 > 2250$
ШРА7	АВМ-4С	6028	4000	$6028 > 5000$
СП1	АВМ-4С	6253	4000	$6253 > 5000$
ШОС	АВМ-4Н	1500	1000	$1500 \geq 1500$

Таким образом, выбранные автоматические выключатели чувствительны к расчетным токам короткого замыкания.

1. Проверка по согласованию выбранной вставки с сечением выбранного кабеля осуществляется по условию:

$$I_{\text{в}} \leq 3 \cdot I_{\text{дл.доп}},$$

где $I_{\text{в}}$ – номинальный ток плавкой вставкой, А;

$I_{\text{дл.доп}}$ – длительно допустимый ток ка, А.

Соответствие плавких вставок предохранителей по согласованию с сечениями выбранных кабелей, питающих электроприемники, представлены в табл. 25.

Таблица 25. Проверка плавких вставок предохранителей

Типы ЭП	Тип предохранителя	Ипл.вст	Идлдоп, А	$I_{в} \leq 3 \cdot I_{дл.доп}$
1. Круглошлифовальный	ПН-2-400	250	90	$250 < 270$
2. Токарно – револьверный	ПН-2-250	150	55	$150 < 165$
3. Вертикально-сверлильный	ПН-2-400	300	125	$300 < 375$
4. Токарный полуавтомат	ПН-2-250	120	55	$120 < 165$
5. Горизонтально-проточный	ПН-2-250	200	75	$200 < 225$
6. Токарный с ЧПУ	ПН-2-250	120	55	$120 < 165$
7. Горизонтально-расточный	ПН-2-250	120	42	$120 < 126$
8. Горизонтально-фрезерный	ПН-2-250	200	75	$200 < 225$
9. Токарно-винторезный	ПН-2-250	150	55	$150 < 165$
10. Радиально-сверлильный	ПН-2-250	120	42	$120 < 126$
11. Вертикально-фрезерный	ПН-2-250	150	55	$150 < 165$
12. Бесцентро-шлифовальный	ПН-2-400	400	145	$400 < 435$
13. Шлифовальный	ПН-2-250	200	75	$200 < 225$
14. Горизонтально-шлифовальный	ПН-2-400	300	125	$300 < 375$
15. Вертикально-фрезерный	ПН-2-400	250	125	$250 < 375$
16. Радиально-сверлильный	ПН-2-250	150	55	$150 < 165$
17. Вентустановка	ПН-2-100	100	42	$100 < 126$
18. Токарный с ЧПУ	ПН-2-250	200	75	$200 < 225$
19. Токарно – револьверный	ПН-2-250	200	75	$200 < 225$
20. Токарный полуавтомат	ПН-2-250	120	42	$200 < 126$
21. Плоскошлифовальный	ПН-2-100	100	42	$100 < 126$
22. Вертикально-фрезерный	ПН-2-100	100	42	$100 < 126$
23. Точильно-фрезерный	ПН-2-400	300	125	$300 < 375$
24. Электромаслянная ванна	ПН-2-100	100	42	$100 < 126$
25. Нагревательная электропечь	ПН-2-100	100	42	$100 < 126$
26. Термическая печь	ПН-2-250	200	75	$200 < 225$
27. Электротермическая печь	ПН-2-250	150	55	$150 < 165$
28. Электропечь	ПН-2-250	120	42	$120 < 126$
29. Вентустановка	ПН-2-100	100	55	$100 < 165$
30. Точечные стационарные	ПН-2-800	800	380	$800 < 1140$
31. Сварочные стыковые	ПН-2-600	500	220	$500 < 660$

32. Сварочные шовные роликовые	ПН-2-400	400	180	$400 < 540$
33. Сварочные точечные	ПН-2-600	600	300	$600 < 900$
34. Сварочные стационарные	ПН-2-400	300	220	$300 < 660$
35. Вентустановка	ПН-2-100	100	42	$100 < 126$

Следовательно, выбранные предохранители соответствуют условию проверки и выбраны верно.

9. Построение карты селективности

Карта селективности строится в логарифмическом масштабе: по оси абсцисс откладываются токи – расчетные, пиковые и КЗ; по оси ординат – времена продолжительности пиковых токов и времена срабатывания защит по защитным характеристикам. Схема питания ЭД представлена на рис. 4. Проверим выбранную коммутационную аппаратуру по условию селективности.

Исходная схема для расчета токов КЗ

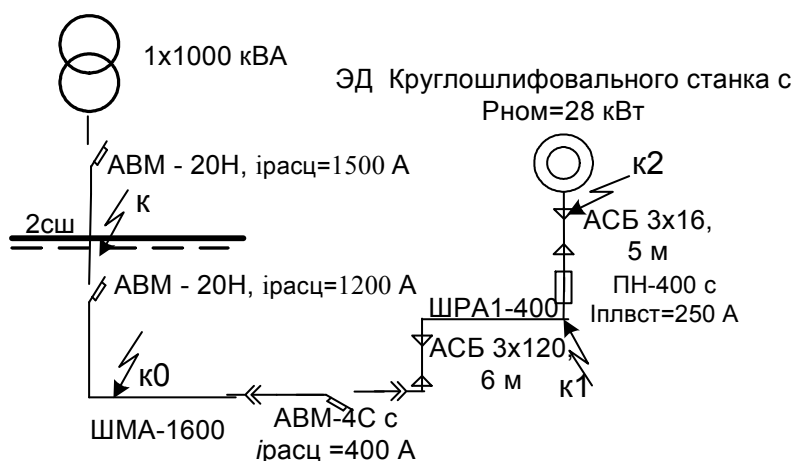


Рисунок 6

Схема замещения для определения ТКЗ в точках к, к0 и к1.

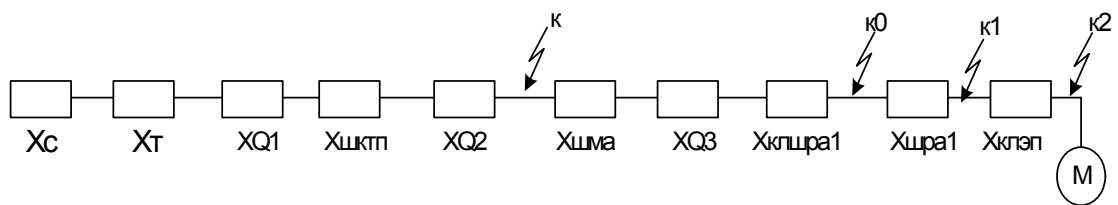


Рисунок 7

Определяем сопротивление системы:

$$x_c = U_{cp}^2 / S_{кз} = 0,38^2 / 200 = 0,72 \text{ мОм}$$

Полное сопротивление силового трансформатора:

$$z_{TP} = u_K U_{нн}^2 / S_{ном.тр} = 5,5 \cdot 0,38^2 \cdot 10^4 / 1000 = 7,94 \text{ мОм}$$

Активное сопротивление СТ

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{нн}^2}{S_{ном.т}^2} = \frac{12 \cdot 0,38^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1,734 \text{ мОм}$$

Индуктивное сопротивление СТ

$$X_{mp} = \sqrt{Z_{mp}^2 - r_{mp}^2} = \sqrt{7,94^2 - 1,734^2} = 7,74 \text{ мОм}$$

Определяем активные и индуктивные сопротивления элементов сети:

$$r = L \cdot r_{уд}, \text{ мОм и } x = L \cdot x_{уд}, \text{ мОм}$$

Сопротивление автоматического выключателя QF₁

$$X_{расц} = 0,094 \text{ мОм}; r_{расц} = 0,12 \text{ мОм}; r_{конт} = 0,25 \text{ мОм}.$$

Сопротивление QF₂ = QF₃

$$X_{\text{расц}}=0,55 \text{ мОм}; r_{\text{расц}}=0,74 \text{ мОм}; r_{\text{конт}}=0,65 \text{ мОм}.$$

$$\text{Сопrotивление шин КТП: } R_{\text{шкТП}}=0,1, X_{\text{шкТП}}=0,06$$

$$\text{Сопrotивление ШМА: } X_{\text{шма}}=X_0 \cdot l_{\text{шма}}=0,017 \cdot 60=1,02 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{шма}}=r_0 \cdot l_{\text{шма}}=0,031 \cdot 60=1,86 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{ф-о}}=0,072 \text{ мОм/м}, r_{\text{ф-о}}=0,072 \cdot 60=4,32 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{ф-о}}=0,098 \text{ мОм/м}, X_{\text{ф-о}}=0,098 \cdot 60=5,88 \text{ мОм}$$

$$\text{Сопrotивление ШРА1: } X_{\text{шра}}=X_0 \cdot l_{\text{шра}}=0,13 \cdot 66=8,58 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{шра}}=r_0 \cdot l_{\text{шра}}=0,1 \cdot 66=6,6 \text{ мОм}$$

$$\text{Сопrotивление кабеля к ШРА1: } X_{\text{кл}}=0,06 \cdot 6=0,36 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{кл}}=0,258 \cdot 6=1,548 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{ф-о}}=1,25 \text{ мОм/м}, r_{\text{ф-о}}=1,25 \cdot 6=7,5 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{ф-о}}=0,0622 \text{ мОм/м}, X_{\text{ф-о}}=0,0622 \cdot 6=0,373 \text{ мОм}$$

$$\text{Сопrotивление кабеля 1 к ЭП: } r_0=0,206 \text{ мОм/м } X_0=0,0596 \text{ мОм/м}$$

$$X_{\text{кл}}=0,0596 \cdot 5=0,3 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{кл}}=0,206 \cdot 5=1,03 \text{ мОм}$$

Определим токи 3х-фазного КЗ в указанных точках.

Точка К

Суммарное сопротивление цепи до точки К

$$r_{1\Sigma}=r_{\text{ТР}}+r_{\text{Q1}}+r_{\text{шкТП}}+r_{\text{конт}}=1,734+0,12+0,1+0,25=2,204 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma}=x_c+x_{\text{ТР}}+x_{\text{Q1}}+x_{\text{шкТП}}=0,72+7,74+0,094+0,06=8,614 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma}=\sqrt{r_{1\Sigma}^2+x_{1\Sigma}^2}=8,891 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\kappa 1}^{(3)}=\frac{U_{\text{ин}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}}=\frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 8,89}=24,67 \text{ кА}$$

Ток трехфазного КЗ при учете переходного сопротивления в месте КЗ

$$r'_{1\Sigma}=r_{1\Sigma}+r_{\text{перех}}=2,204+15=17,204 \text{ мОм}$$

$$Z'_{1\Sigma}=\sqrt{17,204^2+8,891^2}=19,37 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)}=380/1,73 \cdot 19,37=11,33 \text{ кА}$$

Точка К0

Суммарное сопротивление цепи до точки К0

$$r_{2\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{Q2} + r_{\text{конт}} + r_{\text{шма}} + r_{\text{перех}} = 2,204 + 0,74 + 0,65 + 1,86 + 20 = 25,454 \text{ мОм}$$

$$x_{2\Sigma} = x_{1\Sigma} + x_{Q2} + x_{\text{шма}} = 8,614 + 0,55 + 1,02 + 1,06 = 11,244 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 27,83 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного КЗ

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 27,83} = 7,88 \text{ кА}$$

Точка К1

Суммарное сопротивление цепи до точки КЗ

$$r_{3\Sigma} = r_{2\Sigma} + r_{Q3} + r_{\text{конт}} + r_{\text{шра}} + r_{\text{кл}} = 25,454 + 0,74 + 0,65 + 6,6 + 1,548 = 34,992$$

мОм

$$x_{3\Sigma} = x_{2\Sigma} + x_{Q3} + x_{\text{шра}} + x_{\text{кл}} = 11,244 + 0,55 + 8,58 + 0,36 = 20,734 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 40,67 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 40,67} = 5,39 \text{ кА}$$

Точка К1

Суммарное сопротивление цепи до точки КЗ

$$r_{4\Sigma} = r'_{3\Sigma} + r_{\text{клЭП}} + r_{\text{конт}} + r_{\text{перех}} = 14,992 + 1,03 + 1,1 + 25 = 42,122 \text{ мОм}$$

$$\text{где } r'_{3\Sigma} = r_{3\Sigma} - r_{\text{перехКЗ}} = 34,992 - 20 = 14,992 \text{ мОм}$$

$$x_{4\Sigma} = x_{3\Sigma} + x_{\text{клЭП}} + x_{\text{конт}} = 20,734 + 0,3 + 0,5 = 21,534 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 47,31 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 47,31} = 4,64 \text{ кА}$$

Расчет токов 1 – но фазного КЗ

Для расчета однофазного кз при наличии ШМА учитывается сопротивление петли фаза-нуль, тогда

$$I_K = U_H / \sqrt{3} (Z_{\Pi} + Z_{\text{тр}}/3),$$

где Z_{Π} – полное сопротивление петли фаза-нуль,

$Z_{\text{тр}} = Z_{\text{тр}1} + Z_{\text{тр}2} + Z_{\text{тр}0}$ – сопротивление трансформатора, учитывающее прямую, обратную и нулевую последовательность.

Система: $X_{1c} = 0,72 \text{ мОм}$; $X_{2c} = X_{1c}$

СТ: $X_{1\text{тр}} = X_{2\text{тр}} = 7,74 \text{ мОм}$; $X_{0\text{тр}} = X_{1\text{тр}}$ – для данной схемы соединения обмоток СТ

Для остальных элементов $X_1 = X_2 = X_0$; $r_1 = r_2 = r_0$

Точка К

Суммарное сопротивление цепи до точки К1

$$r_{1\Sigma} = 3r_{\text{тр}} + 3r_{Q1} + 3r_{\text{шкстп}} = 3 \cdot 2,204 = 6,612 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 2x_c + 3x_{\text{тр}} + 3x_{Q1} + 3x_{\text{шкстп}} = 2 \cdot 0,72 + 3 \cdot 8,614 = 27,282 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 28,072 \text{ мОм}$$

Ток однофазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}{Z_{1\Sigma}} = \frac{1,73 \cdot 400}{28,072} = 24,65 \text{ кА}$$

Ток при учете переходного сопротивления дуги в месте КЗ

$$r'_{1\Sigma} = 3r_{1\Sigma} = 3(2,204 + 15) = 51,612$$

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}{Z_{1\Sigma}} = \frac{1,73 \cdot 400}{\sqrt{51,612^2 + 27,282^2}} = 18,39 \text{ кА}$$

Точка К0

Суммарное полное сопротивление петли фаза-нуль т. к. есть ШМА

$$r_{2п} = r_{Q1} + r_{шк\pi\pi} + r_{Q2} + r_{шмаф-0} + r_{перех} = 0,12 + 0,1 + 0,74 + 4,32 + 20 = 25,28 \text{ мОм}$$

$$x_{2п} = x_{Q1} + x_{шк\pi\pi} + x_{Q2} + x_{шмаф-0} = 0,094 + 0,06 + 0,55 + 5,88 = 6,584 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_2^2 + x_{2n}^2} = 26,123 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{nn}}{\sqrt{3} \cdot (Z_n + Z_{TP} / 3)} = \frac{0.38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (26,123 + 7,94)} = 6,44 \text{ кА}$$

Точка К1

$$r_{3п} = r_{2п} + r_{шраф-0} + r_{клф-0} = 25,28 + 66 \cdot 0,1 + 7,5 = 39,38 \text{ мОм}$$

$$x_{3п} = x_{2п} + x_{шраф-0} + x_{клф-0} = 6,584 + 66 \cdot 0,129 + 0,373 = 15,471 \text{ мОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_2^2 + x_{2n}^2} = 42,31 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{U_{nn}}{\sqrt{3} \cdot (Z_n + Z_{TP} / 3)} = \frac{0.38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (42,31 + 7,94)} = 4,366 \text{ кА}$$

Точка К2

$$r_{4п} = r_{3п} + r_{конт} + r_{кл\pi\pi\phi-0} + r_{перех} = 39,28 + 1,1 + 1,3 + 1,25 + 10 = 52,93 \text{ мОм}$$

$$x_{4п} = x_{3п} + x_{конт} + x_{кл\pi\pi\phi-0} = 15,471 + 0,5 + 0,3 = 16,271 \text{ мОм}$$

Так как в качестве нулевой жилы кабеля используется труба, то сопротивление трубы определим по формуле

$$r_m = \frac{4 \cdot l \cdot 10^3}{\gamma \cdot \pi \cdot (D_n^2 - D_b^2)} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 10^3}{10,2 \cdot 3,14 \cdot (42,3^2 - 35,9^2)} = 1,25 \text{ мОм}$$

$$r_{клф-0} = r_{кл} + r_m$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_2^2 + x_{2n}^2} = 55,374 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{nn}}{\sqrt{3} \cdot (Z_n + Z_{TP} / 3)} = \frac{0.38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (55,374 + 7,94)} = 3,465 \text{ кА}$$

Потери напряжения определяют по выражению:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{U_{ном}} \cdot (r_{y\phi} \cdot \cos \phi + x_{y\phi} \cdot \sin \phi)$$

Таблица 26. Проверка выбранных шинопроводов по потере напряжения

Элемент сети	Ip, А	L, м	cosφ _{ср.взв} /sinφ	Сечение, мм	г _{уд} , мОм/м	х _{уд} , мОм/м	ΔU, %
ШМА	1101	60	0,5 / 0,866	300х160	0,031	0,017	0,86
		6		3х240	0,129	0,0587	0,87
ШРА 1 КЛ _{ШРА1}	284,15	66	0,5 / 0,866	284х95	0,1	0,13	1,32
		6		3х120	0,258	0,06	0,392

Комплектные шинопроводы проверяют на электродинамическую стойкость по условию:

$$i_{уд} < i_{уд \text{ доп}}$$

где $i_{уд \text{ доп}} = 70 \text{ кА}$

Ударный ток КЗ для ШМА:

$$i_{y\phi k4} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 4}^{(3)}$$

$$\text{где } k_{y\kappa 4} = 1 + \lambda_t = 1 + e^{-0,01/Ta} = 1 + 0,436 = 1,436$$

$$Ta = \frac{x_{4\Sigma}}{\omega \cdot r_{4\Sigma}} = \frac{8,614}{314 \cdot 2,204} = 0,012$$

$$i_{y\phi k4} = 1,448 \cdot \sqrt{2} \cdot 24,67 = 50,51 \text{ кА} < 70 \text{ кА}$$

Таблица 27. Проверка шинопроводов на электродинамическую стойкость

Шинопровод	$i_{уд}, \text{кА}$	$i_{уд.доп}, \text{кА}$	Условие проверки
ШРА1 73–400-У3	17,516	25	$i_{уд} < i_{уд.доп}$
ШМА73У3-1600	50,51	70	$i_{уд} < i_{уд.доп}$

Следовательно, выбранные шинопроводы соответствуют условиям проверки.

Для осуществления проверки по согласованию ШМА с защитой, т.е. с QF2 и ШРА с защитой, т.е. с QF3 необходимо выбрать этот автомат. Выбираем автомат типа АВМ-20Н с номинальным током расцепителя 1200 А. Номинальный ток теплового расцепителя, защищающего от перегрузки выбирается по расчетному току защищаемой линии В соответствии с требованиями автоматические выключатели проверяется по условиям:

$$I_{ном. расц} \geq I_{р.мах} \text{ и } I_{ср.эл.} \geq (1,25-1,35) I_{п}$$

где $I_{ном. расц}$ – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{р.мах}$ – наибольший расчетный ток нагрузки, А; $I_{п}$ – пиковый ток, А

$I_{ср.эл.}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, равный

$$I_{ср.эл.} = 10 \cdot I_{ном. расц},$$

$$I_{п} = I_{р} + (K_{п}-1) I_{ном.мах},$$

где $I_{ном. мах}$ – наибольший из токов группы ЭП, А;

$I_{р}$ – расчетный ток группы ЭП, А.

$$I_{нрасц} \geq I_{р} \quad 1200 \geq 1101 \text{ А}$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя проверяется по максимальному кратковременному току ШМА.

$$I_{ср.эл.} \geq I_{пик} \cdot k \text{ где } k = 1,25$$

$I_{\text{пик}}$ рассчитывается при пуске двигателя и нормальной работе остальных потребителей

$$I_{\text{пик}} = I_p + (Kn - 1)I_{\text{мах ном}} = 1101 + (7 - 1) 85 = 1611 \text{ А}$$

$$\text{Для ШРА: } I_{\text{пик}} = I_p + (Kn - 1)I_{\text{мах ном}} = 284,15 + (7 - 1) 85 = 794,15 \text{ А}$$

Проверяем электромагнитный расцепитель по паспортным данным его тока срабатывания

$$I_{\text{ср.эл}} = 10I_{\text{н.расц}} = 12000 \text{ А}$$

$$I_{\text{ср.эл}} = 10I_{\text{н.расц}} = 4000 \text{ А}$$

Проверяем по условию $12000 > 1821 \cdot 1,25 = 2276,3 \text{ А}$ – выполняется.

Для ШРА: $4000 > 794,15 \cdot 1,25 = 992,69 \text{ А}$ – выполняется.

Таблица 28. Проверка автоматических выключателей по чувствительности к токам КЗ

Элемент сети	Тип выключателя	$I^{(1)}_{\text{кзmin}}, \text{ А}$	$I_{\text{ср.эл}}, \text{ А}$	$I^{(1)}_{\text{кзmin}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ср.эл}},$
ШМА	АВМ-20Н	18390	12000	$18390 > 18000$
ШРА1	АВМ-4С	5520	4000	$5520 > 5000$

Проверяем по согласованию теплового расцепителя с сечением ШМА

$$I_{\text{н расц}} \leq 1,5I_{\text{дл.доп}}$$

Таблица 29. Проверка автоматических выключателей по согласованию теплового расцепителя с сечением выбранных элементов сети

Элемент сети	Тип выключателя	$I_{\text{дл.доп}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном. расц}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном.расц}} \leq 1,5 \cdot I_{\text{дл.доп}}$
ШМА	АВМ-20Н	1600	1200	$1200 < 2400$
ШРА1	АВМ-4С	400	400	$400 < 600$

Для защиты ответвлений к одиночным двигателям при редких и легких пусках выбираем предохранитель серии ПН-2

$$I_B \geq \frac{\kappa_n I_n}{2,5} = \frac{85 \cdot 7}{2,5} = 238 \text{ А},$$

Выбираем вставку с $I_B=250$ А, $I_{НОМ} = 400$ А.

Проверяем согласование выбранной вставки с сечением кабеля 3×16
 $I_B \leq 3 \cdot I_{ДЛ, ДОП}$ $250 \leq 3 \cdot 90 = 270$ А – условие соблюдается

Проверяем предохранитель по чувствительности к КЗ

$3465 > 3 \cdot 250 = 600$ А – условие соблюдается, следовательно
 предохранитель выбран верно.

Построим карту селективности по следующим данным:

$I_{НОМ} \text{ ЭП} = 85$ А, $I_{расч} \text{ ШМА} = 1101$ А, $I_{пик} \text{ ШМА} = 1611$ А, $I_{к}^{(1)} = 18,39$ кА, $I_{к0}^{(1)} = 6,44$ кА

$I_{к1}^{(1)} = 4,366$ кА, $I_{к2}^{(1)} = 3,465$ кА, $I_{пуск} \text{ ЭП} = 595$ А

Карта селективности

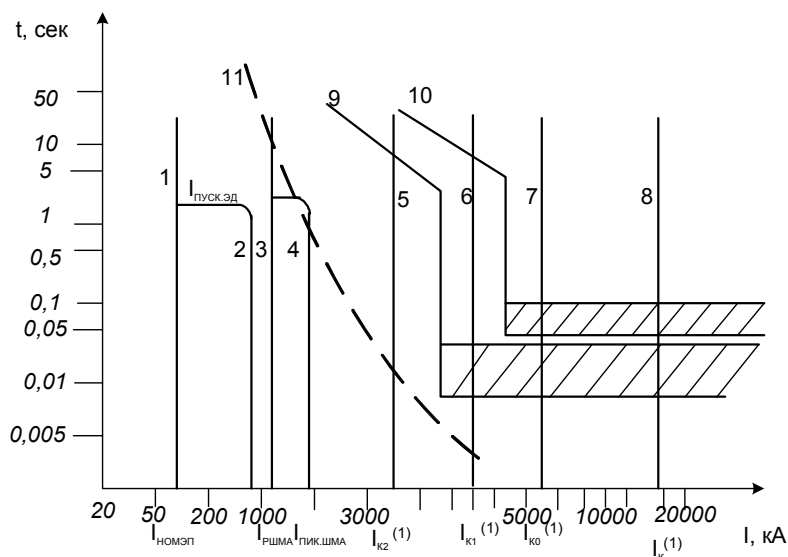


Рисунок 8: 1 – номинальный ток двигателя; 2 – пусковой ток двигателя; 3 и 4 – расчетный и пиковый токи ШМА; 5, 6, 7, 8 – токи КЗ в точках К1, К2 и К4; 9 – характеристика автомата с расцепителем 400 А, 10 – характеристика автомата с расцепителем 1200 А, 11 – характеристика плавкой вставки 250 А предохранителя

При токах КЗ в точках к1 и к0 защита должна работать селективно с необходимым интервалом времени при отказе защиты нижней ступени. При

защите предохранителями автомат у трансформатора может иметь независимую выдержку времени не более 0,25 с.

10. Описание работы АВР на напряжение 0,4 кВ

Если предприятие питается от энергосистемы двумя независимыми линиями, то на всех ступенях системы электроснабжения предприятия (на ГПП, в распределительной сети ВН, на цеховых подстанциях, в цеховых сетях) при отключении основного питания предусматривают автоматическое переключение на соседние работающие независимые источники (на другой трансформатор двухтрансформаторной подстанции, на соседние подстанции и т.п.).

Необходимый для такого переключения запас мощности или пропускной способности отдельных элементов системы электроснабжения называют скрытым (неявным) резервом.

Автоматическое включение резерва происходит срабатывания защиты минимального напряжения и отключение этой защитой основного питания. Во избежание одновременного срабатывания устройств АВР различных ступеней системы электроснабжения выдержка времени защиты минимального напряжения низших ступеней отстраивается от времени срабатывания аналогичной защиты высших ступеней, т.е.

$$t_{C(i+1)} \geq t_{C i} + t_{omc},$$

где. $t_{C i}$ – время срабатывания защиты минимального напряжения, используемой в качестве пускового органа АВР на i – й ступени системы электроснабжения, $t_{C(i+1)}$ – время срабатывания аналогичной защиты на следующей (по удалению источника питания) ступени системы электроснабжения, t_{omc} – время отстройки принимаемое в пределах от 0,5 до 0,7 с.

Устройства АВР реализуют на электромеханических и электронных реле, а также в сети 0,4 кВ на механических устройствах ручных пружинных приводов автоматических выключателей НН.

Основными требованием, предъявляемым у устройствам АВР, является однократность действия, т.е. исключение повторного срабатывания при неуспешном АВР.

Устройства АВР выпускают в виде стандартных комплектов, и поэтому разработка схем АВР во время проектирования системы электроснабжения предприятий не требуется

Выбор устройств АВР производится с учетом требований к степени бесперебойности электроснабжения приемников и к допустимой длительности перерыва в электроснабжении, типа выключателя и привода, для включения которых предусмотрено устройство АВР, и ожидаемого экономического эффекта от повышения надежности электроснабжения. АВР применяют только в тех случаях, когда параллельная работа независимых источников питания невозможна или экономически нецелесообразна.

Заключение

В представленном курсовом проекте спроектирована и рассчитана система электроснабжения механического цеха.

В проекте произведены расчеты электрических нагрузок для выбора трансформаторов КТП (на первом этапе), расчеты электрических нагрузок для выбора цеховой сети (на втором этапе).

Выбор числа и мощности трансформаторов КТП осуществлялся в соответствии с расчетами с учетом компенсации реактивной мощности при сравнении затрат на установку одного и двух трансформаторов и расчета мощности компенсирующих устройств. На основании сравнения затрат на ЦТП выбран вариант КТП с двумя трансформаторами ТМ-1000/10.

Оценка выбора оптимального варианта цехового электроснабжения осуществлялась по приведенным затратам на проектируемую сеть после выбора сечений проводников сети, коммутационной аппаратура.

В курсовом проекте производится расчет токов короткого замыкания. По току КЗ проверяются сечения элементов сети и защитная коммутационная аппаратура.

Основными критериями при проектировании являются техническая применимость и экономичность проекта. На основании экономической оценки принимается схема электроснабжения варианта 1. Эта система электроснабжения включает:

В качестве главной магистрали, длиной 60 м, устанавливаемого на высоте 4 м принят шинопровод марки ШМА-1600.

Разводка сетей цеха производится с помощью ШРА длиной по 66 и 30 м, устанавливаемых на высоте 3 м и РШ питаемых от ШМА. ЭП подключаются через кабельные спуски, прокладываются в траншеях на глубине – 0,2 м.

Защита производится автоматическими выключателями (для ШМА, ШРА и РШ) и предохранителями (непосредственно для электроприемников).

Список использованных источников

1. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358–90 от 1 августа 1990 г.
2. Фёдоров А.А., Старкова Л.Е. «Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования». – М.: «Энергоатомиздат», 1987.
3. Неклепаев Б.Н. «Электрическая часть электростанций». – М.: «Энергоатомиздат», 1989.
4. Блок В.М.: «Пособие к курсовому и дипломному проектированию». – М.: «ВШ», 1990.
5. ПУЭ, М.: «Энергоатомиздат», 2000.
6. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования под ред. Барыбина Ю.Г., Федорова Л.Е. и др. – М.: «Энергоатомиздат», 1991.
7. А.Е. Трунковский «Обслуживание электрооборудования промышленных предприятий» – М: Высшая школа, 1977.
8. Барыбин Ю.Г. «Справочник по проектированию электроснабжения», М.: «Энергоатомиздат», 1990.
9. Справочник электромонтера. Под ред. А.Д. Смирнова. Смирнов Л.П. Монтаж кабельных линий. – М.: Энергия, 1968.