

АННОТАЦИЯ

Главной целью данной работы является расчёт и разработка системы электроснабжения литейно-механического завода. Разработанная система предлагает осуществление рационального получения и распределение между потребителями электрической энергии.

С учетом осветительной нагрузки были произведены расчеты ожидаемых электрических нагрузок цеха. Был сделан выбор числа и мощности трансформаторов цеховой ТП с учетом наличия компенсирующих устройств.

Были выбраны необходимые схемы и оборудования для обеспечения цехового электроснабжения. Рассчитаны токи коротких замыканий. Все выбранное оборудование внутрицехового электроснабжения прошло проверку по токам коротких замыканий. Выпускная работа состоит из пояснительной записки на 59 страницах, в том числе 6 рисунков, 9 таблиц, список из 25 ссылок, в том числе 4 зарубежных источников и графическая часть на 6 листах А1.

ABSTRACT

The topic of the given graduation work is «Development of the power supply system for the foundry factory». The existing power supply system is of a temporary nature and is performed with numerous violations of the requirements in the governing documents, therefore, it needs to be re-evaluated. The graduation work consists of an explanatory note on 60 pages, including 5 figures, 8 tables, the list of 15 references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets. The goal of this graduation work is to develop a power supply system for a foundry factory . The graduation work is divided into several logically connected parts which are the calculation of the expected electrical loads, a preliminary selection of the necessary electrical equipment, calculation of short-circuit currents, checking the selected electrical equipment. The requirements for the developed device are as follow: low cost and reliability. Finally, we analyze the compliance of the selected electrical equipment with the required criteria, such as the ability to turn off the short-circuit current with an automatic switch. In conclusion we'd like to stress The power supply system of the foundry was developed.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху.....	6
1.1 Расчет электрических нагрузок от потребителя.....	9
1.2 Расчет электрического освещения цеха.....	16
1.3 Сводная ведомость нагрузок по цеху.....	20
2 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....	21
2.1 Вариант с двухтрансформаторной КТП.....	21
3 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения.....	27
3.1 Выбор схемы внутрицехового электроснабжения.....	28
3.2 Перераспределяем нагрузки по секциям согласно выбранной схеме.....	29
4 Предварительный выбор электрооборудования и проводников.....	30
4.1 Перераспределяем электроприемники согласно выбранной схеме электроснабжения.....	30
4.2 Выбор оборудования для цеховой сети.....	39
5 Расчет токов короткого замыкания.....	44
5.1 Расчет параметров схемы замещения.....	45
5.2 Расчет токов короткого замыкания.....	50
5.3 Проверка выключателей на отключаемую способность.....	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	56

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время электроэнергия стала незаменимой частью нашей жизни. Потребителями электрической энергии являются различного рода промышленные предприятия, заводы и жилые комплексы. Наибольшую часть потребления берёт на себя именно промышленная часть.

Система ЭСН (электроснабжения) промышленного предприятия обязана быть надёжной, быть готовой к непрекращающемуся развитию технологий, повышению мощности предприятий и изменению самих производственных условий.

Система электроснабжения представляет подсистему технологического производства любого технического предприятия. Поэтому к данной системе электроснабжения также существуют и предъявляются определённые требования.

Данные требования в первую очередь предъявляются к системе электроснабжения механических цехов, нормальное функционирование которых имеет ключевое значение для соблюдения технологических процессов автомобильного завода. Для достижения условия непрерывности питания потребителей данного цеха, существует необходимость в том, чтобы произвести расчет схемы электроснабжения, который будет включать в себя: определение ожидаемых электрических нагрузок, выбор числа и мощности цеховых трансформаторов и устройств компенсации реактивной мощности, предварительный выбор электрооборудования и проводников, включая осветительную нагрузку, расчет токов КЗ на стороне ниже 1 кВ, и проверка раннее выбранного оборудования по полученным токам

1 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху

Первым этапом проектирования СЭС предприятия считается определение ожидаемых расчетных нагрузок по цеху.

Расчётная максимальная мощность, потребляемая электроприёмниками предприятия, всегда меньше суммы номинальных мощностей этих приёмников. Обусловлено это неполной загрузкой мощностей электроприёмников, разновременностью их работы, обеспечением благоприятных условий труда обслуживающего персонала.

При определении ожидаемых расчетных нагрузок наиболее часто используется метод упорядоченных диаграмм, который сводится к вычислению максимальных расчетных нагрузок группы электроприёмников.

У механического цеха имеется станочное отделение, производственные, вспомогательные, бытовые и служебные помещения. электроснабжение осуществляется от ГПП напряжением 10 кВ, расположенной на территории завода на расстоянии 1,2 км от цеха. От энергосистемы до ГПП - 12 км.

Количество рабочих смен - 2. Потребители цеха относятся к 1, 2 и 3 категориям надежности электроснабжения. Размеры цеха $A \times B \times H = 48 \times 32 \times 8$ м. Все вспомогательные помещения двухэтажные высотой 3,5 м. Перечень электрооборудования цеха указан в таблице 1. Мощность электропотребления ($P_{расч}$) указана для каждого электроприемника. План расположения электрооборудования цеха показано на рисунке 1.

Таблица 1 – Перечень электрооборудования механического цеха
автомобильного завода

№ на плане	Наименование электрооборудования	$P_{наст}$, кВт
1..3	Карусельный фрезерный станок	12
4,5	Станок заточный	28
6,7	Станок наждачный	22
8	Вентилятор приточный	25
9	Вентилятор вытяжной	23
10	Продольно-строгальный станок	54
11,12	Плоскошлифовальный станок	42
13...15	Продольно-фрезерный станок	20,5
16...18	Резьбонарезной станок	8
19,20	Токарно-револьверный станок	17
21...28	Полуавтомат фрезерный	12,5
29,30	Зубофрезерный станок	27
31...34	Автомат зубофрезерный	10,2
35	Кран мостовой	27

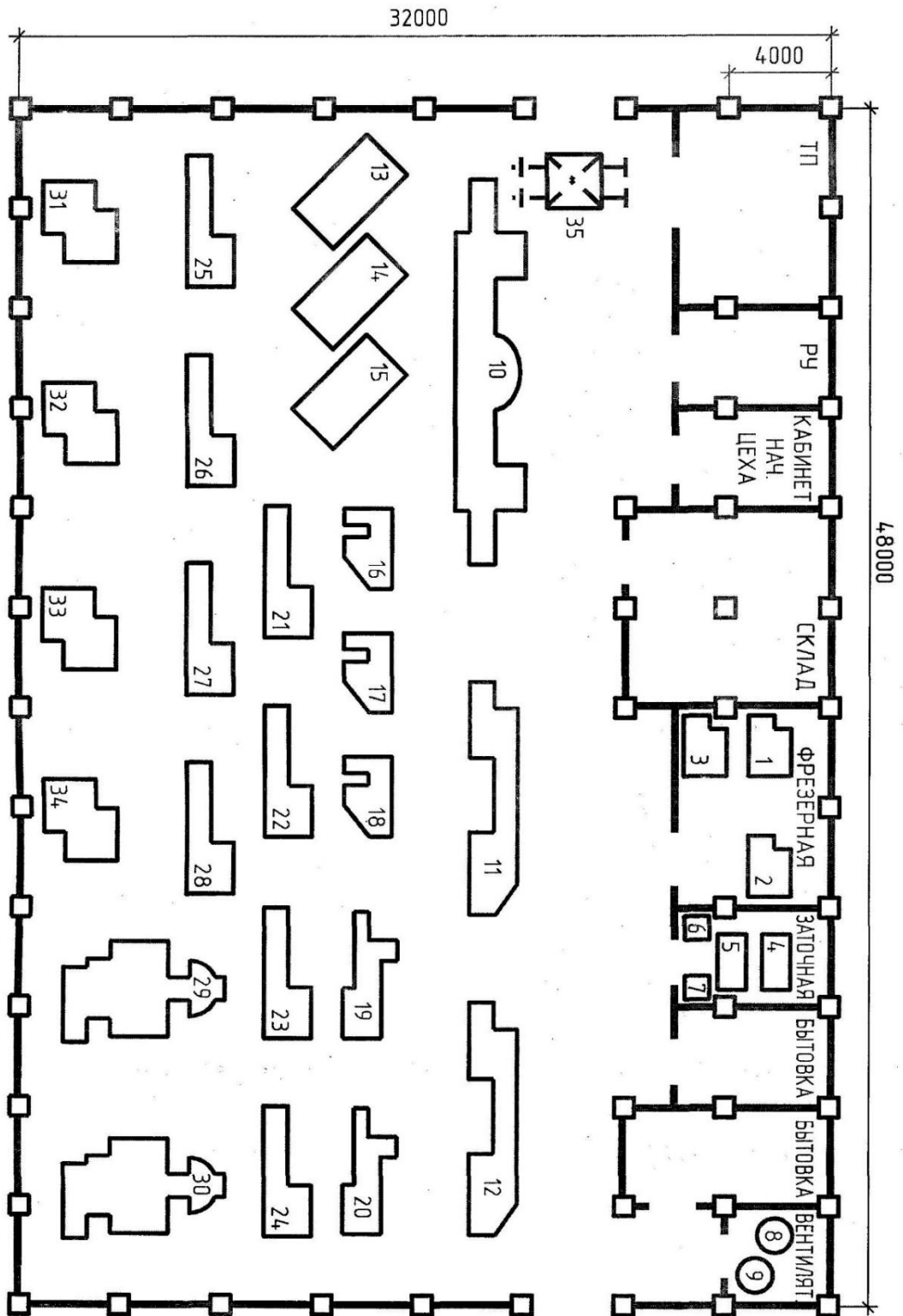


Рисунок 1 – План расположения оборудования механического цеха литейно-механического завода

1.1 Расчет электрических нагрузок от потребителя

Таблица 2 – Заданные электроприёмники

№ на плане	Наименование электрооборудования
1 - фазный ДР	
4,5	Станок заточный
6,7	Станок наждачный
3-х фазный ДР	
1...3	Карусельный фрезерный станок
8	Вентилятор приточный
9	Вентилятор вытяжной
10	Продольно-строгальный станок
11,12	Плоскошлифовальный
13...15	Продольно-фрезерный
16...18	Резьбонарезной станок
19,20	Токарно-револьверный станок
21...28	Полуавтомат фрезерный
29,30	Зубофрезерный станок
31,34	Автомат зубофрезерный
3-х фазный ПКР	
17	Кран мостовой, ПВ = 60%

Приведение нагрузки 1-фазной ДР к условной 3-фазной мощности:

P_{H1} -станок заточный, P_{H2} -станок наждачный;

$$P_C = P_{\phi.HM} = \frac{2 \cdot P_{H1}}{2} = \frac{2 \cdot 28}{2} = 28 \text{ кВт}$$

$$P_A = P_B = P_{\phi.H6} = \frac{P_{H1} + 2 \cdot P_{H2}}{2} = \frac{28 + 2 \cdot 22}{2} = 36 \text{ кВт}$$

$$H = \frac{P_{\phi.H6} - P_{\phi.HM}}{P_{\phi.HM}} \cdot 10^2 = \frac{36 - 28}{28} \cdot 10^2 = 29\% > 15\%$$

$$P_y = 3 \cdot P_{M.\phi} = 3 \cdot 36 = 108 \text{ кВт}$$

Приведение нагрузки 3-х фазных ПКР к длительному режиму работы производится по следующей формуле:

$$P_H = P_{\Pi} \overline{ПВ} \quad (1)$$

Воспользуемся данной формулой для расчета крана мостового:

$$P_H = P_{\Pi} \overline{ПВ} = 28 \cdot 0,6 = 21,7 \text{ кВт}$$

Для всех электроприемников по [1] найдем соответствующие коэффициенты мощности ($\cos\varphi$) и коэффициенты использования ($K_{и}$).

Коэффициент использования – это коэффициент, характеризующий степень использования установленного и работающего оборудования по времени и по мощности.

$tg\varphi$ – это отношение показывающие угол потерь в электро-приемнике;

Таблица 3 – Коэффициенты мощности и коэффициенты использования электроприемников цеха

Наименование электрооборудования	$\cos\varphi/ tg\varphi$	$K_{и}$
Станок заточный	0,5/1,73	0,14
Станок наждачный	0,5/1,73	0,14
Карусельный фрезерный станок	0,5/1,73	0,14
Вентилятор приточный	0,8/0,75	0,75
Вентилятор вытяжной	0,8/0,75	0,75
Продольно-строгальный станок	0,5/1,73	0,14
Плоскошлифовальный	0,5/1,73	0,14

Продолжение таблицы 3

Продольно-фрезерный	0,5/1,73	0,14
Резьбонарезной станок	0,5/1,73	0,14
Токарно-револьверный станок	0,65/1,17	0,17
Полуавтомат фрезерный	0,65/1,17	0,17
Зубофрезерный станок	0,65/1,17	0,17
Автомат зубофрезерный	0,65/1,17	0,17
Кран мостовой	0,5/1,73	0,1

Далее рассчитываем суммарную активную мощность каждого электроприемника:

Карусельный фрезерный станок:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n = 12 \cdot 3 = 36 \text{ кВт}$$

Станки заточный и наждачный:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{ном}} = 108 \text{ кВт}$$

Вентилятор приточный:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n = 25 \cdot 1 = 25 \text{ кВт}$$

Вентилятор вытяжной:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n = 23 \cdot 1 = 23 \text{ кВт}$$

Продольно-строгальный станок:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n = 54 \cdot 1 = 54 \text{ кВт}$$

Плоскошлифовальный станок:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{НОМ}} \cdot n = 42 \cdot 2 = 84 \text{ кВт}$$

Продольно-фрезерный станок:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{НОМ}} \cdot n = 20,5 \cdot 3 = 61,5 \text{ кВт}$$

Резьбонарезной станок:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{НОМ}} \cdot n = 8 \cdot 3 = 24 \text{ кВт}$$

Токарно-револьверный станок:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{НОМ}} \cdot n = 17 \cdot 2 = 34 \text{ кВт}$$

Полуавтомат фрезерный:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{НОМ}} \cdot n = 12,5 \cdot 8 = 100 \text{ кВт}$$

Зубофрезерный станок:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{НОМ}} \cdot n = 27 \cdot 2 = 54 \text{ кВт}$$

Автомат зубофрезерный:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{НОМ}} \cdot n = 10,5 \cdot 4 = 42 \text{ кВт}$$

Кран мостовой:

$$P_{H\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n = 21,7 \cdot 1 = 21,7 \text{ кВт}$$

Рассчитаем коэффициент силовой сборки:

$$m = \frac{P_{\text{н max}}}{P_{\text{н min}}} = \frac{108}{21,7} = 4,98 > 3$$

Где $P_{\text{н max}}$ – это номинальная мощность станков заточного и наждачного, а $P_{\text{н min}}$ – это номинальная мощность крана мостового.

Далее рассчитаем среднюю активную и среднюю реактивную нагрузки для каждой подгруппы электроприемников:

Карусельный фрезерный станок:

$$P_{\text{см}} = P_{H\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 36 \cdot 0,14 = 5,04 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 5,04 \cdot 1,73 = 8,72 \text{ кВар}$$

Станки заточный и наждачный:

$$P_{\text{см}} = P_{H\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 108 \cdot 0,14 = 15,12 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 15,12 \cdot 1,73 = 26,16 \text{ кВар}$$

Вентилятор приточный:

$$P_{\text{см}} = P_{H\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 25 \cdot 0,85 = 21,25 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 21,25 \cdot 0,75 = 15,94 \text{ кВар}$$

Вентилятор вытяжной:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 23 \cdot 0,75 = 17,25 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 17,25 \cdot 0,75 = 12,94 \text{ кВар}$$

Продольно-строгальный станок:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 54 \cdot 0,14 = 7,56 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 7,56 \cdot 1,73 = 13,08 \text{ кВар}$$

Плоскошлифовальный станок:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 84 \cdot 0,14 = 11,76 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 11,76 \cdot 1,73 = 20,34 \text{ кВар}$$

Продольно-фрезерный станок:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 61,5 \cdot 0,14 = 8,61 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 8,61 \cdot 1,73 = 14,90 \text{ кВар}$$

Резьбонарезной станок:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 24 \cdot 0,14 = 3,36 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 3,36 \cdot 1,73 = 5,81 \text{ кВар}$$

Токарно-револьверный станок:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 34 \cdot 0,17 = 5,78 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 5,78 \cdot 1,17 = 6,76 \text{ кВар}$$

Полуавтомат фрезерный:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 100 \cdot 0,17 = 17 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 17 \cdot 1,17 = 19,89 \text{ кВар}$$

Зубофрезерный станок:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 54 \cdot 0,17 = 9,18 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 9,18 \cdot 1,17 = 10,74 \text{ кВар}$$

Автомат зубофрезерный:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 42 \cdot 0,17 = 7,14 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 7,14 \cdot 1,17 = 8,35 \text{ кВар}$$

Кран мостовой:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{H}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 21,7 \cdot 0,1 = 2,17 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 2,17 \cdot 1,73 = 3,75 \text{ кВар}$$

Рассчитаем средний коэффициент использования и средний $\text{tg}\varphi$:

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{\sum P_{\text{см}\Sigma}}{\sum P_{\text{H}\Sigma}} = \frac{131,22}{667,2} = 0,20$$
$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_{\text{см}\Sigma}}{\sum P_{\text{см}\Sigma}} = \frac{167,38}{131,22} = 1,28$$

Найдем эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{э}} = \frac{2P_{\text{пасп}\Sigma}}{P_{\text{н max}}} = \frac{2 \cdot 328,2}{108} = 6,07 \approx 6 \text{ шт}$$

Определяем коэффициент максимума [1]:

$$K_{\text{м}} = 0,96$$

Найдем расчетные активные и реактивные нагрузки трехфазных электроприемников:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{см}} \cdot K_{\text{м}} = 131,22 \cdot 0,96 = 125,97 \text{ кВт}$$

Поскольку $n_{\text{э}} < 10$, то

$$Q_{\text{р}} = \sum 1,1 \cdot P_{\text{н}} \cdot K_{\text{м}} \cdot \text{tg}\varphi = 1,1 \cdot 0,96 \cdot 328,2 \cdot 1,28 = 443,62 \text{ квар}$$

Определяем расчетную нагрузку:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{125,97^2 + 443,62^2} = 461,16 \text{ кВа}$$

Определяем расчетный ток для электроприемников узла нагрузки:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{461,16}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 700,66 \text{ А}$$

1.2 Расчет электрического освещения цеха

В процессе расчета электрического освещения цеха требуются найти данные значения:

1. Мощность ламп, которая нужна для освещения, при рассчитанных типах, местоположений и количества электросветильников.

2. Расчетная освещенность при известном типе, расположении светильников и мощности ламп в них.

Вычисление расчётов связанных с освещением может проводиться тремя способами:

1. Методом коэффициента использования светового потока,
2. Методом удельной мощности,
3. Точечным методом.

В данном расчете электрического освещения цеха будет производиться по методу коэффициента использования светового потока.

Для упрощения расчёта общая считаема площадь считается без учета внутреннего деления на станочное отделение и вспомогательное, служебные, бытовые двухэтажные помещения.

Рассчитаем площадь помещения:

$$S = a \cdot b = 48 \cdot 32 = 1536 \text{ м}^2$$

Где,

a – длина помещения, м.

b – ширина помещения, м .

Определяем индекс помещения

$$i = \frac{S}{H_1 - h_2 \cdot (a + b)} = \frac{1536}{(8 - 1) \cdot (48 + 32)} = 2,7$$

H_1 – высота цеха минус один метр, м.

h_2 – высота рабочей поверхности, м.

Определяем коэффициент запаса по [9]:

$$K_3 = 1,5$$

Коэффициент запаса – коэффициент, зависящий от рода загрязнения помещения, степени технического обслуживания светильников.

Принимаем коэффициенты отражения потолка, стен и пола по [6].

Потолок: 50%; стены: 30%; пола: 10%.

Освещение цеха и вспомогательных помещений, в целях экономии электроэнергии, в соответствии с [11] выполним люминесцентными светильниками промышленного назначения, производимыми Самарским светотехническим заводом, марки LZ 136 ($P = 36$ Вт, $\Phi_{л} = 3250$ ЛМ, $K_3 = 1,5, n = 2$).

Определяем требуемое количество светильников:

а) число рядов светильников

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{л}} = \frac{300 \cdot 1536 \cdot 1,5}{0,44 \cdot 2 \cdot 3250} = 242 \text{ шт.},$$

E – требуемая горизонтальная освещенность, лк;

$E = 300$ лк (сноска на снп 23.05.95)

S – площадь цеха, м²;

η – коэффициент использования;

K_3 – коэффициент запаса;

n – количество ламп в светильнике;

$\Phi_{л}$ – световой поток одной лампы;

Рассчитаем активные и реактивные нагрузки освещения:

$$P_{\text{осв}} = n \cdot N \cdot P_{л} = 2 \cdot 242 \cdot 0,036 = 17,42 \text{ кВт}$$

где $P_{л}$ – мощность одной лампы;

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg}\varphi = 17,42 \cdot 0,63 = 10,97 \text{ кВар}$$

при $\cos\varphi = 0,85$ $\operatorname{tg}\varphi = 0,63$

Определяем расчетную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{17,42^2 + 10,97^2} = 20,59 \text{ кВа}$$

Найдем расчетный ток для освещения цеха:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{20,59}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 31,28 \text{ А}$$

Все выбранные светильники занесены в таблицу 4.

Таблица 4 – Выбор освещения для цеха

Название осветительного прибора	$\Phi_{л}$, ЛМ	$P_{\text{свет.}}$ кВт	N
1	2	3	4
LZ 136	3250	36	227

Далее произведем расчет суммарной электрической нагрузки по цеху.

Определяем суммарную активную и реактивную мощность:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{осв}} + P_p = 17,42 + 125,97 = 143,39 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{осв}} + Q_p = 10,97 + 443,62 = 454,59 \text{ кВар}$$

Определяем полную суммарную нагрузку по цеху:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{Q\Sigma}^2} = \sqrt{143,39^2 + 454,59^2} = 476,67 \text{ кВа}$$

Определяем суммарный расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{476,67}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 724,23 \text{ А}$$

1.3 Сводная ведомость нагрузок по цеху

Используя результаты расчетов, проведенных в предыдущих пунктах, составим предварительную сводную ведомость нагрузок по цеху.

Таблица 4 – Сводная ведомость нагрузок по цеху

№ п/п	Наименование узла питания или групп электроприёмников	n	Уст. мощность, прив. к ПВ=100%		m	K _И	Cos/tgφ	Средняя нагрузка		n _Э	K _М	Расчетная нагрузка			I _Р
			Одного эп, кВт	Всех эп, кВт				P _{СМ} кВт	Q _{СМ} квар			P _Р кВт	Q _Р квар	S _Р кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Станок заточный	2	28	108		0,14	0,5/1,73	15,12	26,16						
2	Станок наждачный	2	22												
3	Карусельный фрезерный станок	3	12	36		0,14	0,5/1,73	5,04	8,72						
4	Вентилятор приточный	1	25	25		0,75	0,8/0,75	21,25	15,94						
5	Вентилятор вытяжной	1	23	23		0,75	0,8/0,75	17,25	12,94						
6	Продольно-строгальный станок	1	54	54		0,14	0,5/1,73	7,56	13,08						
7	Плоскошлифовальный станок	2	42	84		0,14	0,5/1,73	11,76	20,34						
8	Продольно-фрезерный станок	3	20,5	61,5		0,14	0,5/1,73	8,61	14,9						
	Резьбонарезной станок	3	8	24		0,14	0,5/1,73	3,36	5,81						
	Токарно-револьверный станок	2	17	34		0,17	0,65/1,17	5,78	6,76						
	Полуавтомат фрезерный	8	12,5	100		0,17	0,65/1,17	17	19,89						
	Зубофрезерный станок	2	27	54		0,17	0,65/1,17	9,18	10,74						
	Автомат зубофрезерный	4	10,2	40,8		0,17	0,65/1,17	7,14	8,35						
	Крон мостовой	1	27	21,7		0,1	0,5/1,73	2,17	3,75						
	Итого по цеху без освещения	35	328,2	667,2	5	0,17	1,56	131,22	167,38	6	0,96	125,57	443,62	461,16	700,66
	Освещение											17,42	10,79	20,59	31,28
	Итого				5					6	0,96	143,39	454,59	476,67	724,23

2 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

Очень важным выбором является определение мощности и количества трансформаторов на подстанциях технических предприятий. Этот выбор влияет на эффективность и построение наиболее рациональных сетей. При нормальных условиях, работа трансформаторов представляет собой снабжение питанием всех электропотребителей фабрик при их обычной нагрузке.

Категории надёжности электроснабжения напрямую влияет на количество трансформаторов которые будут установлены на подстанции. Следуя из сказанного выше, наиболее приемлемым вариантом является установка двух трансформаторов, так как они способны обеспечить бесперебойное снабжение электричеством потребителей любой категории.

2.1 Вариант с двухтрансформаторной КТП

Как правило двухтрансформаторные подстанции используются если имеются потребители первой категории. Также стоит отметить, что двухтрансформаторные подстанции рациональны если график нагрузки (суточный и годовой) неравномерен. В случае снижения нагрузки один из трансформаторов отключается.

В случае двух трансформаторов примем $K_3 = 0,8$

Рассчитаем мощность трансформатора по формуле:

$$S_H = \frac{P_{\Sigma}}{K_3 \cdot N_T} = \frac{143,39}{0,8 \cdot 2} = 89,62 \text{ кВА}$$

Выбираем трансформатор ТМ–100/10/0,4.

$$P_{xx} = 0,33 \text{ кВт}; P_{кз} = 1,97 \text{ кВт}; U_k = 4,5\%; I_{xx} = 2,6 \%; R_T = 31,5 \text{ мОм}; \\ X_T = 65 \text{ мОм}; Z_T = 72 \text{ мОм}; Z_T^{(1)} = 779 \text{ мОм}$$

Произведем расчет потерь в трансформаторе:

$$\Delta P_m = N_T \cdot P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз} = 2 \cdot 0,33 + 0,8^2 \cdot 1,97 = 3,18 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = N_T \cdot I_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз} = 2 \cdot 2,6 + 0,8^2 \cdot 1,97 = 7,72 \text{ кВар}$$

где N_T – количество трансформаторов

ΔP_{xx} – потери активной мощности одного трансформатора, кВт;

ΔQ_m – потери реактивной мощности одного трансформатора, кВар.

Рассчитаем нагрузку цеха с учетом потерь в трансформаторе:

$$P_p = \Delta P_m + P_{\Sigma} = 3,18 + 143,39 = 146,57 \text{ кВт}$$

$$Q_p = \Delta Q_m + Q_{\Sigma} = 7,72 + 454,59 = 462,31 \text{ кВар}$$

Рассчитаем реактивную мощность в часы минимума нагрузки предприятия:

$$Q_{\text{мин}} = Q_p \cdot 0,5 = 462,31 \cdot 0,5 = 231,156 \text{ кВар}$$

Произведем экономические обоснования значения реактивной мощности в режиме максимальной нагрузки самой нагруженной смены:

$$Q_{\text{э1}}^1 = Q_p - 0,7Q_{\text{сд}} = 462,31 - 0,7 \cdot 0 = 462,31 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{э1}}^{11} = P_p \cdot \alpha = 146,57 \cdot 0,28 = 41,04 \text{ кВар}$$

где $\alpha = 0,28$; $Q_{\text{сд}} = 0$ кВар

Так как низкое напряжение, то во время максимальных нагрузок берём в оборот самое маленькое значение:

$$Q_{\varepsilon 1} = 41,04 \text{ кВар}$$

Выполним экономическое обоснование реактивной мощности в режимы наименьших нагрузок:

$$\begin{aligned} Q_{\varepsilon 2}^1 &= Q_{\text{мин}} + Q_{\text{к}} = 231,16 + 0 = 231,16 \text{ кВар} \\ Q_{\varepsilon 2}^{11} &= Q_{\text{мин}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{мин}} - Q_p - Q_{\varepsilon 1} = 231,16 - 462,31 - 41,04 \\ &= -190,11 \text{ кВар} \end{aligned}$$

где $Q_{\text{к}} = 0$ кВар

По причине повышенного напряжения, в часы наименьших нагрузок принимаем наибольшее значение:

$$Q_{\varepsilon 2} = 231,16 \text{ кВар}$$

Произведем расчет суммарной мощности компенсирующих устройств:

$$\begin{aligned} Q_{\text{КУмакс}} &= 1,1Q_p - Q_{\varepsilon 1} = 1,1 \cdot 462,31 - 41,04 = 467,50 \text{ кВар} \\ Q_{\text{КУмин}} &= Q_{\text{мин}} - Q_{\varepsilon 2} = 231,16 - 231,16 = 0 \text{ кВар} \end{aligned}$$

Компенсирующие устройства должны быть регулированные.

Реактивная мощность, не будет передана в сеть до 1 кВ, из сети 6 кВ, так как она не должна компенсироваться:

$$Q_{\text{Эн}} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{\Sigma}) = 41,04 - (462,31 - 476,67) = 55,4 \text{ кВар}$$

Реактивная мощность, будет передана в сеть до 1 кВт из сети до 10 кВт:

$$Q_T = \sqrt{K_3 \cdot N_T \cdot S_H^2 - P_\Sigma^2} = \sqrt{0,8 \cdot 2 \cdot 100^2 - 143,39^2} = 70,99 \text{ кВар}$$

Мощность КУ установке на стороне до 1 кВ:

$$Q_{\text{кун}} = Q_\Sigma - Q_T = 476,67 - 70,99 = 405,68 \text{ кВар}$$

$Q_{\text{кун}} \geq 100$ кВар следовательно, устанавливаем КУ

Выбираем 2 КУ типа УКЛ-0,38-216 мощностью 216 кВар и ступенями регулирования по 108 кВар.

Рассчитаем мощность КУ, которые будут установлены на стороне до 10 кВ

$$Q_{\text{кув}} = Q_{\text{КУмакс}} - Q_{\text{кун}} = 467,50 - 405,68 = 61,99 \text{ кВар}$$

Так как, $Q_{\text{кув}} \leq 800$ кВар, установка КУ на стороне 10 кВ не целесообразна.

Далее произведем расчет затрат, требуемых на установку КТП и КУ.

Затраты на установку КУ мощностью 216 кВар - 162000 руб.

Затраты на установку КТП с трансформатором ТМ-100/10/0,4:

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_T \quad (2)$$

где E – суммарный коэффициент отчислений от капитала вложения в КТП

$K_{\text{ТП}}$ – стоимость одного трансформатора $K_{\text{ТП}} = 135000$ руб

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot P_{\text{ХХ}} + C \cdot K_3^2 \cdot P_{\text{кз}} \quad (3)$$

C – удельная стоимость наибольших активных нагрузочных потерь;

C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора;

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot T_p \quad (4)$$

$$C = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot \tau \quad (5)$$

где α – основная ставка двух ставочного тарифа $\alpha=36$ руб/кВт;

β – дополнительная плата за 1 кВт час потребляемой электроэнергии
 $\beta=0,9$ руб/кВт час;

T_p – время работы трансформатора в году

$$T_p = 8760 \text{ ч};$$

T_M – время использования максимальной нагрузки предприятием в год
 $T_M = 4500$ ч;

τ – время максимальных потерь;

$$\tau = 0,124 + \frac{T_M^2}{1000} \cdot T_p \quad (6)$$

$$\tau = 0,124 + \frac{4500^2}{1000} \cdot 8760 = 2,886 \cdot 10^3 \text{ ч}$$

$$C_0 = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 8760 = 148,92 \text{ руб кВт год}$$

$$C = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 2,886 \cdot 10^3 = 49,066 \text{ руб кВт год}$$

$$C \cdot \Delta P_T = 148,92 \cdot 0,51 + 49,066 \cdot 2,65 \cdot 0,8^2 = 159,17 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 135000 + 159,17 \cdot 2 = 60528,34 \text{ руб}$$

Затраты на установку КТП с учетом КУ:

$$Z_{\text{общ}2} = 162000 + 60528,34 = 222528,34 \text{ руб}$$

В результате произведенных расчетов стало очевидно, что с экономической точки зрения, и надежности, для электроснабжения данного цеха литейно-механического завода наиболее рациональным решением будет применение двухтрансформаторной подстанции с трансформаторами типа ТМ–100/10/0,4 с четырьмя компенсирующими устройствами УКЗ-0,38-216.

3 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения

Главным вопросом размещения электрической энергии на низком напряжении был и остаётся верный выбор схемы. Правильно выбранная и составленная обязана обеспечить безопасность питания электрических приёмников соответствуя их надёжности, высокие технико-экономические показатели и удобство эксплуатации сети.

Современные схемы внутрицеховых электрических сетей подразделяются на:

1. Радиальные
2. Магистральные
3. Смешанные

Все схемы, используемые в электроснабжении, являются сочетанием отдельных элементов, таких как: фидеры, магистрали и ответвления.

Фидер — это линия, цель которой передавать электроэнергию от распределительного щита непосредственно к распределительному пункту, или магистрали.

Магистраль - это линия, служащая для передачи электрической энергии множеству разнообразных потребителей и приёмников, которые связаны с ней в множествах точках.

Ответвление — это линия, которая:

а) Отходит от магистрали и служит для передачи электроэнергии лишь к одному распределительному пункту или электроприемнику.

б) Отходит от распределительного пункта и, передает электроэнергию к одному электроприемнику или к нескольким мелким электроприемникам, включенных «шлейфом».

3.1 Выбор схемы внутрицехового электроснабжения

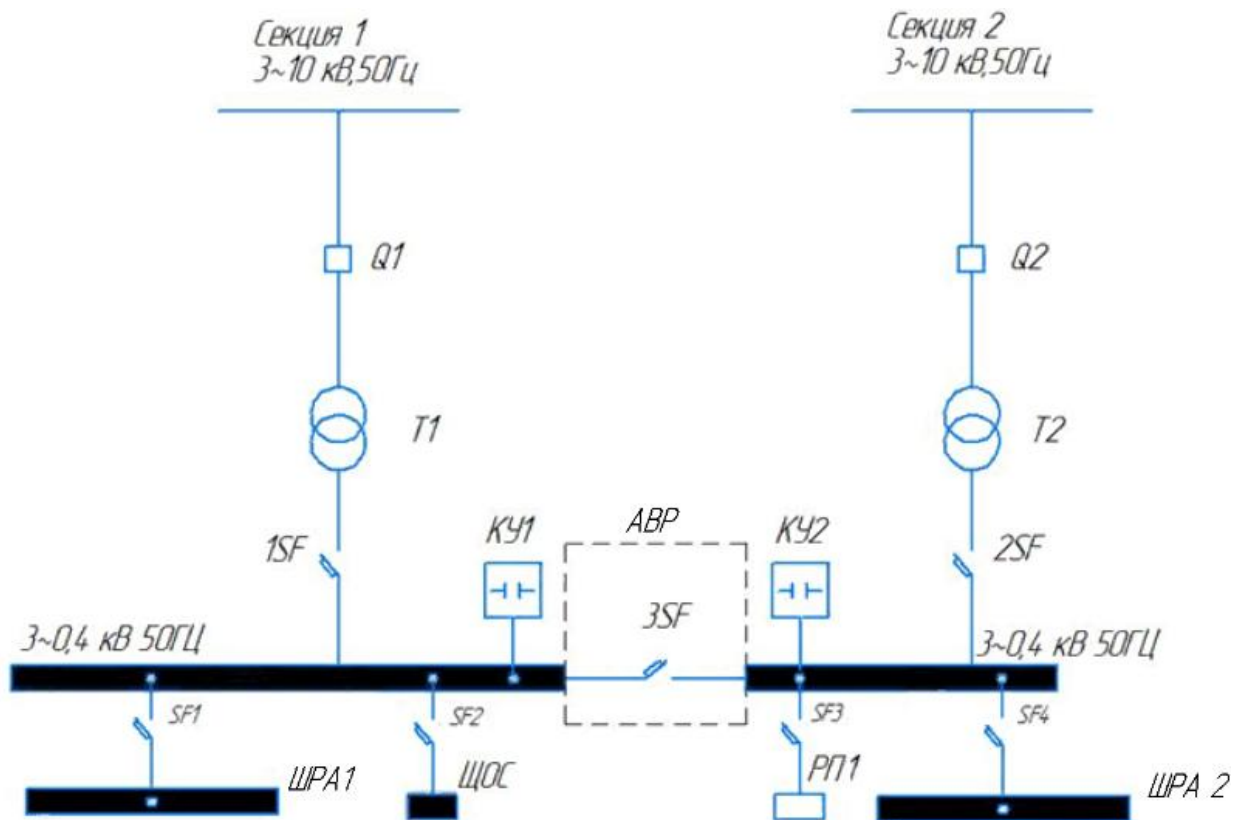


Рисунок 2 – Магистральная схема электроснабжения цеха

Обоснование выбранной схемы:

1. У современных комплектных магистральных шинопроводов надежность очень высока и не сильно уступает своему радиальному аналогу. Так же с целью повышения надежности электроснабжения устанавливают перемычки непосредственно между магистральями отдельных подстанций.

2. Стоимость магистральных сетей в среднем ниже стоимости радиальных за счет использования меньшего количества устанавливаемой аппаратуры, а также меньшей стоимости монтажа питающих линий.

3. В отличие от радиальных схем, магистральные являются более гибкими – при перемещении технологического оборудования и не требуется выполнять демонтаж сети.

3.2 Перераспределяем нагрузки по секциям согласно выбранной схеме

Произведем перераспределение нагрузки по секциям (таблица 5).

Таблица 5 – Предварительное распределение нагрузки по секциям

Секция 1	Нагрузка приведенная, кВт		Секция 2
	2	3	
1			4
ЩО			РП1
17,42	17,42	25	Вентилятор вытяжной 25x1
	-	23	Вентилятор приточный 23x1
РП2			РП3
Станки заточный и наждачные	108	36	Карусельный фрезерный станок 12x3
ШРА1			ШРА2
Продольно-строгальный станок 54x1	54	100	Полуавтомат фрезерный 12,5x8
Продольно-фрезерный станок 20,5x3	61,5	40,8	Автомат зубофрезерный 10,2x4
Плоскошлифовальный станок 42x2	84	21,7	Кран мостовой 21,7x1
Резьбонарезной станок 8x3	24	54	Зубофрезерный станок 27x2
	-	34	Токарно-револьверный станок 17x2
ИТОГО	348,92	334,5	ИТОГО

4 Предварительный выбор электрооборудования и проводников

После перераспределения нагрузки по секциям необходимо подобрать проводники и произвести расчет мощности для групп электроприемников.

4.1 Перераспределяем электроприемники согласно выбранной схеме электроснабжения

Расчет производится аналогично расчету, представленному в пункте 1.1.

Производится расчет для группы РП1:

Определяем номинальную мощность группы электроприемников:

$$P_{n\Sigma} = 25 + 23 = 48 \text{ кВт}$$

Произведем расчет силовой сборки:

$$m = \frac{P_{H \max}}{P_{H \min}} = \frac{25}{23} = 1,09 < 3$$

Определяем среднюю активную и реактивную нагрузку:

$$P_{\text{см}} = P_n \cdot K_{\text{и}} = 48 \cdot 0,75 = 36 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 36 \cdot 0,75 = 27 \text{ кВар}$$

Из-за однотипности нагрузки средний коэффициент использования и средний $\text{tg}\varphi_{\text{ср}}$ будут равны номинальным значениям:

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = 0,75$$

$$K_{\text{и.ср}} = 0,75$$

Эффективное число электроприемников будет равняться общему числу электроприемников:

$$n_э = 2 \text{ шт}$$

По [1] определяем коэффициент максимума:

$$K_M = 1$$

Найдем расчетные активные и реактивные нагрузки трехфазных электроприемников:

$$P_p = \sum P_{см} \cdot K_M = 36 \cdot 1 = 36 \text{ кВт}$$

т.к $n_э < 10$, то

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{см} = 1,1 \cdot 27 = 29,7 \text{ кВар}$$

Определяем расчетную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{Q_p^2 + P_p^2} = \sqrt{29,7^2 + 36^2} = 46,67 \text{ кВА}$$

Определяем расчетный ток для электроприемников узла:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{46,67}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 70,91 \text{ А}$$

Производится расчет для группы РП2:

Определяем номинальную мощность группы электроприемников:

$$P_{n\Sigma} = 108 \text{ кВт}$$

Произведем расчет силовой сборки:

$$m = \frac{P_{H \max}}{P_{H \min}} = \frac{108}{108} = 1 < 3$$

Определяем среднюю активную и реактивную нагрузку:

$$P_{\text{см}} = P_n \cdot K_{\text{и}} = 108 \cdot 0,14 = 15,12 \text{ кВт}$$
$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 15,12 \cdot 1,73 = 26,16 \text{ кВар}$$

Из-за однотипности нагрузки средний коэффициент использования и средний $\text{tg}\varphi_{\text{ср}}$ будут равны номинальным значениям:

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = 1,73$$

$$K_{\text{и.ср}} = 0,14$$

Эффективное число электроприемников будет равняться общему числу электроприемников:

$$n_{\text{э}} = 1 \text{ шт}$$

По [1] определяем коэффициент максимума:

$$K_{\text{м}} = 5,33$$

Найдем расчетные активные и реактивные нагрузки трехфазных электроприемников:

$$P_{\text{р}} = \sum P_{\text{см}} \cdot K_{\text{м}} = 15,12 \cdot 5,33 = 80,59 \text{ кВт}$$

т.к $n_3 < 10$, то

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{см} = 1,1 \cdot 26,16 = 28,78 \text{ кВар}$$

Определяем расчетную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{Q_p^2 + P_p^2} = \sqrt{28,78^2 + 80,59^2} = 85,57 \text{ кВА}$$

Определяем расчетный ток для электроприемников узла:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{85,57}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 130,01 \text{ А}$$

Производится расчет для группы РПЗ:

Определяем номинальную мощность группы электроприемников:

$$P_{n\Sigma} = 12 + 12 + 12 = 36 \text{ кВт}$$

Произведем расчет силовой сборки:

$$m = \frac{P_{H \max}}{P_{H \min}} = \frac{12}{12} = 1 < 3$$

Определяем среднюю активную и реактивную нагрузку:

$$P_{см} = P_n \cdot K_{и} = 36 \cdot 0,14 = 5,04 \text{ кВт}$$
$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi = 5,04 \cdot 1,73 = 8,72 \text{ кВар}$$

Из-за однотипности нагрузки средний коэффициент использования и средний $\text{tg}\varphi_{\text{cp}}$ будут равны номинальным значениям:

$$\text{tg}\varphi_{\text{cp}} = 1,73$$

$$K_{\text{и.ср}} = 0,14$$

Эффективное число электроприемников будет равняться общему числу электроприемников:

$$n_{\text{э}} = 3 \text{ шт}$$

По [1] определяем коэффициент максимума:

$$K_{\text{м}} = 2,17$$

Найдем расчетные активные и реактивные нагрузки трехфазных электроприемников:

$$P_{\text{р}} = \sum P_{\text{см}} \cdot K_{\text{м}} = 5,04 \cdot 2,17 = 10,94 \text{ кВт}$$

т.к $n_{\text{э}} < 10$, то

$$Q_{\text{р}} = 1,1 \cdot \sum Q_{\text{см}} = 1,1 \cdot 8,72 = 9,59 \text{ кВар}$$

Определяем расчетную нагрузку:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{Q_{\text{р}}^2 + P_{\text{р}}^2} = \sqrt{9,59^2 + 10,94^2} = 14,55 \text{ кВА}$$

Определяем расчетный ток для электроприемников узла:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{14,55}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 22,11 \text{ A}$$

Производится расчет для группы ШРА1:

Определяем номинальную мощность группы суммировав мощности всех электроприемников:

$$P_{n\Sigma} = 54 + 61,5 + 84 + 24 = 223,5 \text{ кВт}$$

Определяем коэффициент силовой сборки

$$m = \frac{P_{\text{нмакс}}}{P_{\text{нмин}}} = \frac{84}{24} = 3,5 \approx 4$$

Определяем среднюю активную и реактивную нагрузку:

$$P_{\text{см}} = 7,56 + 8,61 + 11,76 + 3,36 = 31,29 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = 13,08 + 14,9 + 20,34 + 5,81 = 54,13 \text{ кВт}$$

Находим средний коэффициент использования и средний $\text{tg}\varphi_{\text{ср}}$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_{\text{см}}}{\sum P_{\text{см}}} = \frac{54,13}{31,29} = 1,73$$

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{\sum P_{\text{см}}}{\sum P_{n\Sigma}} = \frac{31,29}{223,5} = 0,14$$

Эффективное число электроприемников будет:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{n\Sigma})^2}{(\sum P_{\text{см}})^2} = \frac{223,5^2}{31,29^2} = 51 \text{ шт}$$

По [1] определяем коэффициент максимума:

$$K_M = 0,65$$

Определяем расчетные активные и реактивные нагрузки трехфазных электроприемников:

$$P_p = \sum P_{cm} \cdot K_M = 31,29 \cdot 0,65 = 20,34 \text{ кВт}$$

т.к $n_3 \geq 10$, то

$$Q_p = \sum Q_{cm} = 54,13 \text{ кВар}$$

Определяем расчетную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{Q_p^2 + P_p^2} = \sqrt{54,13^2 + 20,34^2} = 57,83 \text{ кВА}$$

Определяем расчетный ток для электроприемников узла:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{57,83}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 87,86 \text{ А}$$

Производится расчет для группы ШРА2:

Определяем номинальную мощность группы суммировав мощности всех электроприемников:

$$P_{n\Sigma} = 100 + 40,8 + 21,7 + 54 + 34 = 250,5 \text{ кВт}$$

Определяем коэффициент силовой сборки

$$m = \frac{P_{\text{нмакс}}}{P_{\text{нмин}}} = \frac{100}{21,7} = 4,61 \approx 5$$

Определяем среднюю активную и реактивную нагрузку:

$$P_{\text{см}} = 17 + 6,94 + 3,69 + 9,18 + 5,78 = 42,59 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = 19,89 + 8,12 + 4,79 + 10,74 + 6,76 = 50,3 \text{ кВар}$$

Находим средний коэффициент использования и средний $\text{tg}\varphi_{\text{ср}}$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_{\text{см}}}{\sum P_{\text{см}}} = \frac{50,3}{42,59} = 1,18$$

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{\sum P_{\text{см}}}{\sum P_{\text{н}\Sigma}} = \frac{42,59}{250,5} = 0,17$$

Эффективное число электроприемников будет:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{\text{н}\Sigma})^2}{(\sum P_{\text{см}})^2} = \frac{250,5^2}{42,59^2} = 35 \text{ шт}$$

По [1] определяем коэффициент максимума:

$$K_{\text{м}} = 0,75$$

Определяем расчетные активные и реактивные нагрузки трехфазных электроприемников:

$$P_{\text{р}} = \sum P_{\text{см}} \cdot K_{\text{м}} = 42,59 \cdot 0,75 = 31,94 \text{ кВт}$$

т.к $n_3 \geq 10$, то

$$Q_p = \sum Q_{cm} = 50,3 \text{ кВар}$$

Определяем расчетную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{Q_p^2 + P_p^2} = \sqrt{50,3^2 + 31,94^2} = 59,58 \text{ кВА}$$

Определяем расчетный ток для электроприемников узла:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{59,58}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 90,52 \text{ А}$$

Таблица 6 – Сводная ведомость перераспределенных нагрузок

Наименование РУ и эл приемника	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
	P _н , кВт	n	P _н , кВт	K _и	cosφ	tgφ	M	P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар	пэ	K _м	P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА	I _р , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РП1															
Вентилятор вытяжной	25	1	25	0,75	0,8	0,75									
Вентилятор приточный	23	1	23	0,75	0,8	0,75									
Всего на РП1	48	2	48	0,75	0,8	0,75	≤3	36	27	2	1	36	29,7	46,67	70,91
РП2															
Станки заточные и наждачные	108	1	108	0,14	0,5	1,73									
Всего на РП2	108	1	108	0,14	0,5	1,73	≤3	15,12	26,16	1	5,33	80,59	28,78	85,57	130,01
РП3															
Карусельные фрезерные станки	12	3	36	0,14	0,5	1,73									
Всего на РП3	12	3	36	0,14	0,5	1,73	≤3	5,04	8,72	3	2,17	10,94	9,59	14,54	22,11
ШРА1															
Продольно-строгальный станок	54	1	54	0,14	0,5	1,73									
Продольно-фрезерные станки	20,5	3	61,5	0,14	0,5	1,73									
Плоскошлифовальные станки	42	2	84	0,14	0,5	1,73									
Резьбонарезные станки	8	3	24	0,14	0,5	1,73									
Всего на ШРА1	124,5	9	223,5	0,14	0,5	1,73	>3	31,29	54,13	51	0,65	20,34	54,13	57,83	87,86
ШРА2															
Полуавтоматы фрезерные	12,5	8	100	0,17	0,65	1,17									
Автоматы зубофрезерные	10,2	4	40,8	0,17	0,65	1,17									
Кран мостовой	21,7	1	21,7	0,17	0,65	1,17									
Зубофрезерные станки	27	2	54	0,17	0,65	1,17									
Токарно-револьверный станок	17	2	34	0,1	0,5	1,73									
Всего на ШРА2	88,4	17	250,5	0,16	0,62	1,3	>3	42,59	50,3	35	0,75	31,94	50,3	59,58	90,55

4.2 Выбор оборудования для цеховой сети

Выбор оборудования для цеховой сети осуществляется по расчетным значениям номинальных токов.

Все выбранное электрооборудование, которое будет установлено в системах электроснабжения, должно быть устойчивым к токам КЗ и выбираться с учетом величин этих токов.

Произведем расчет и выбор аппаратов защиты.

Автоматические выключатели применяют для быстрой и надёжной защиты кабелей и проводов электрических сетей от токов перегрузки и токов КЗ.

Автоматический выключатель 1SF (линия Т1 – ШНН; электродвигатели отсутствуют). Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току трансформатора

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 151,93 \text{ A}$$

Согласно полученным данным по [9] выбираем ВА 51– 33

$$I_{н.р} = 160 \text{ A}$$

$$I_{н.а} = 160 \text{ A}$$

$$U_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{откл} = 12,5 \text{ кА}$$

$$I_{у(к)} = 1,25I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 10I_{н.р}$$

Автоматический выключатель 2SF (линия Т2 – ШНН; электродвигатели отсутствуют) выбирается аналогично выключателю 1SF, так как трансформатор на второй линии такой же, как и трансформатор на первой линии. Из этого

следует, что и ток трансформатора на этих линиях равный. Выключатель 3SF выбирается по тому же принципу.

Учитывая, что вентиляторы запитаны от РП1 то выбор выключателя будет производиться по номинальному току, значение которого занесено в таблицу 6.

Согласно полученным данным по [9] выбираем ВА 51– 31

Технические данные выключателя 51 – 31:

$$I_{н.р} = 100 \text{ A}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ A}$$

$$U_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{откл} = 7 \text{ кА}$$

$$I_{у(к)} = 1,25I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7I_{н.р}$$

Выбор выключателя для РП2 производится по рабочему току. Значит в нашем случае, выбираем выключатель ВА 51 – 33.

$$I_{н.р} = 160 \text{ A}$$

$$I_{н.а} = 160 \text{ A}$$

$$U_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{откл} = 12,5 \text{ кА}$$

$$I_{у(к)} = 1,25I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 10I_{н.р}$$

Выбор выключателя для РП3 производится по рабочему току. Значит в нашем случае, выбираем выключатель ВА 51 – 25.

$$I_{н.р} = 25 \text{ A}$$

$$I_{н.а} = 25 \text{ A}$$

$$U_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{откл} = 3,8 \text{ кА}$$

$$I_{у(к)} = 1,25I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7I_{н.р}$$

Выбор выключателя для ШРА1 производится по рабочему току. Значит в нашем случае, выбираем выключатель ВА 51 – 31.

$$I_{н.р} = 100 \text{ A}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ A}$$

$$U_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{откл} = 7 \text{ кА}$$

$$I_{у(к)} = 1,25I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7I_{н.р}$$

Выбор выключателя для ШРА2 производится аналогичным образом. Значит, выбираем выключатель ВА 51 – 31.

$$I_{н.р} = 100 \text{ A}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ A}$$

$$U_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{откл} = 7 \text{ кА}$$

$$I_{у(к)} = 1,25I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7I_{н.р}$$

Пример выбора выключателя для защиты отдельного потребителя, подключенного к ШРА1 производится на примере самого мощного потребителя (полуавтомат фрезерный) [15].

Рассчитаем рабочий ток потребителя

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 233,75 \text{ A}$$

Значит, выбираем выключатель ВА 52 – 35.

$$I_{н.р} = 250 \text{ A}$$

$$I_{н.а} = 250 \text{ A}$$

$$U_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{откл} = 30 \text{ кА}$$

$$I_{у(к)} = 1,25I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7I_{н.р}$$

Технические данные всех выключателей выбранных представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические данные выключателей

Тип выключателя	$I_{н.р}$, А	$I_{н.а}$, А	$U_{н.а}$, В	$I_{откл}$, кА	$I_{у(к)}$	$I_{у(кз)}$
ВА 51 – 25	25	25	380	3,8	$1,25I_{н.р}$	$7I_{н.р}$
ВА 51 – 31	100	100	380	12,5	$1,25I_{н.р}$	$7I_{н.р}$
ВА 51 – 33	160	160	380	12,5	$1,25I_{н.р}$	$10I_{н.р}$
ВА 52 – 35	250	250	380	30	$1,25I_{н.р}$	$7I_{н.р}$

В таблице 7 ток $I_{н.р}$ у каждого выключателя имеет свои регулировочные ступени, следовательно $I_{н.р}$ может иметь другое числовое значение [16].

Произведем выбор кабельных линий [13].

Для Ш1, идущего от трансформатора до РУ-0,4 кВ, расчетный ток 724,23 А, выбираем магистральный шинопровод ШМА-4 на номинальный ток 1250 А.

Для питания ШМА, РП, всех электропотребителей выбираем кабель АВВГ. Сечение жил кабеля выбираем исходя из расчетных токов.

Кабель питания ШРА1:

Расчетный ток равен 87,87 А, значит принимаем сечение жил кабеля 3x18мм².

Кабель питания РП1:

Расчетный ток равен 70,91 А, значит принимаем сечение жил кабеля 3x16мм².

Кабель питания РП2:

Расчетный ток равен 130,01 А, значит принимаем сечение жил кабеля 3x35мм².

Кабель питания РП3:

Расчетный ток равен 22,11 А, значит принимаем сечение жил кабеля 4x2,5мм².

Кабель питания ШРА2:

Расчетный ток равен 90,55 А, значит принимаем сечение жил кабеля 3x18мм².

Кабель питания ЩО:

Расчетный равен 31,28 А, значит принимаем сечение жил кабеля 1x2,5 мм².

Выбор питающего кабеля подключенных электроприемников будет произведен для самого мощного потребителя (полуавтомат фрезерный).

Рассчитаем рабочий ток потребителя:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 233,75 \text{ А}$$

Расчетный ток 233,75 А.

Выбираем сечение жил 1x120 мм².

5 Расчет токов короткого замыкания

При проектировании схем электроснабжения цеха, обязательно надо учитывать возможность появления в электроустановках различных видов коротких замыканий, сопровождающихся характерным скачком силы тока.

Короткое замыкание (КЗ) – это любое замыкание между фазами, которое не предусмотрено нормальными условиями работы, в энергосистемах в которых нейтральный провод заземлён, также при замыкании различных фаз.

К основным причинам возникновения КЗ обычно относят: устаревание и повреждения изоляции, человеческий фактор или перенапряжение

Короткие замыкания ведут к резкому быстродействующему возрастанию токов в токонесущих частях, понижению напряжения в схемах. Это приводит к перегреву проводников и оборудования, ухудшению состояния изоляции проводов, создание помех в телефонных линиях, отключению электроснабжения.

Снижение числа коротких замыканий, предотвращение их, их тяжести и продолжительности является главной задачей в обеспечении надежности электроснабжения потребителей.

КЗ рассчитываются в трех точках согласно схеме, изображенной на рисунке 9.1.1.

К1 - непосредственно в РУ 0,4 кВ;

К2 - на вводных контактах шинпровода;

К3 - для самого мощного и самого близкого к ТП электроприемника.

Наиболее мощным и близким к ТП электроприемником для данного цеха является шлифовальный станок, подключенный к ШРА1. Точку КЗ примем вблизи данного агрегата. Составим схему для расчета КЗ.

5.1 Расчет параметров схемы замещения

Чтобы рассчитать токи короткого замыкания необходимо составить схемы замещения в соответствие с выбранной аппаратурой и пронумеровать точки короткого замыкания.

Находим сопротивление выбранного ранее оборудования.

Для системы

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_H} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,77 \text{ А}$$

Выбираем по [10] наружную ВЛ АС-3х10/1,8

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$$

$$X'_c = x_0 \cdot L_c = 0,4 \cdot 1,2 = 0,48 \text{ Ом}$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3}{30 \cdot 10} = 3,33 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$R'_c = r_0 \cdot L_c = 3,33 \cdot 1,2 = 4,00 \text{ Ом}$$

Длины кабелей, ШРА и ВЛ:

$$L_{BH} = 1,2 \text{ км}$$

$$L_{ш} = 1,5 \text{ м}$$

$$L_{KЛ1} = 10 \text{ м}$$

$$L_{ШРА} = 4 \text{ м}$$

$$L_{KЛ2} = 1 \text{ м}$$

Сопротивления приводятся к НН:

$$R_c = R'_c \cdot \left(\frac{V_{HH}}{V_{BH}}\right)^2 = 4000 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 \cdot 10^3 = 6,40 \text{ мОм}$$

$$X_c = X'_c \cdot \frac{V_{\text{HH}}^2}{V_{\text{BH}}^2} = 480 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} \cdot 10^3 = 0,77 \text{ МОм}$$

Изобразим расчетную схему ЭСН.

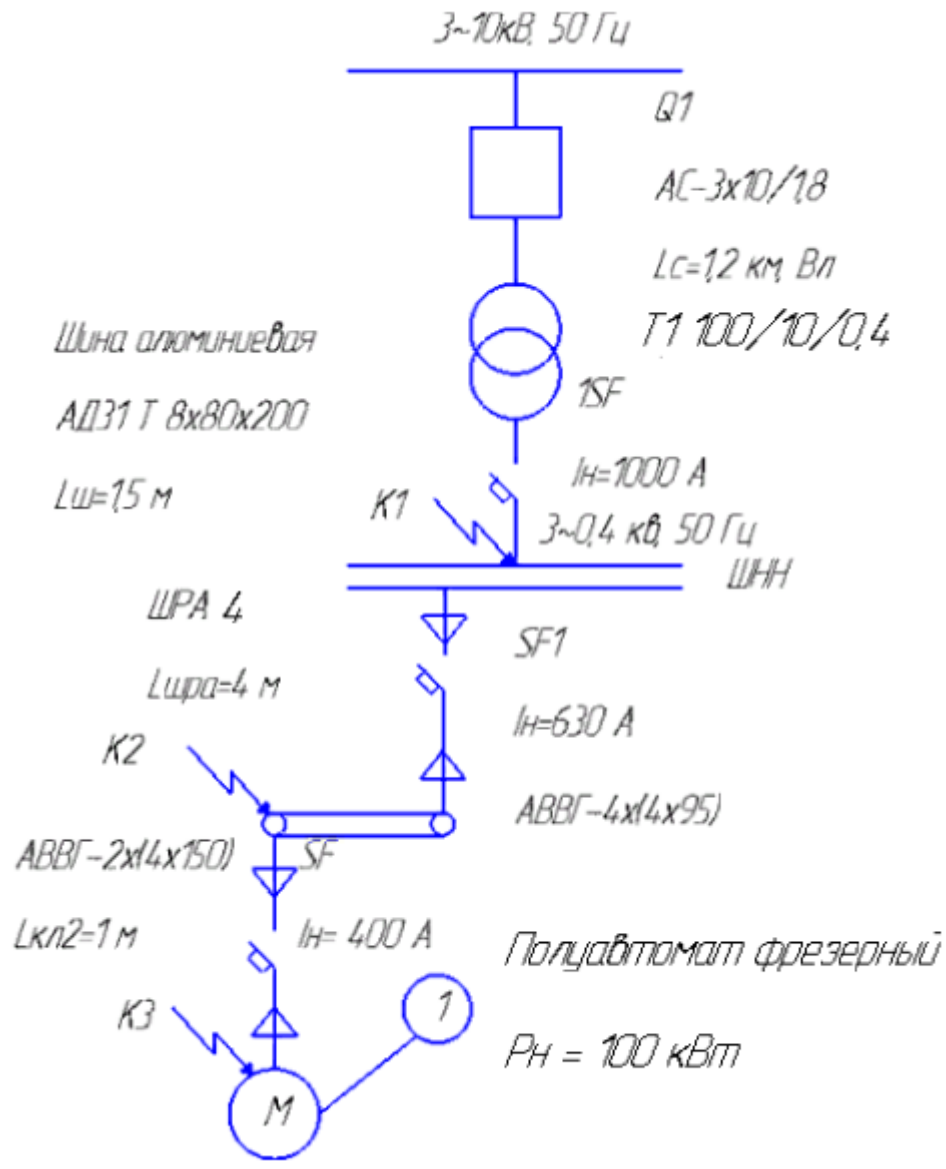


Рисунок 3– Расчетная схема ЭСН

Составим схему замещения и пронумеруем точки КЗ в соответствии с расчетной схемой:

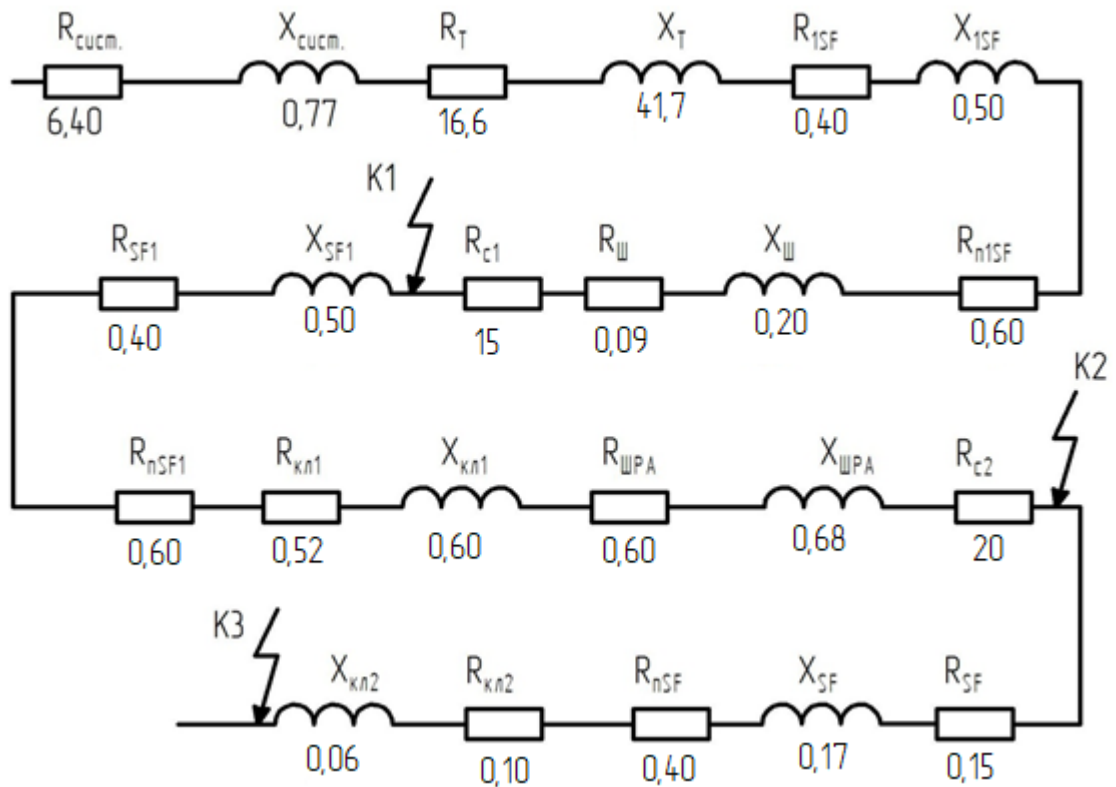


Рисунок 4 – Схема замещения расчетной схемы ЭСН

Для трансформатора ТМ–100/10/0,4:

$$P_{xx} = 0,33 \text{ кВ}; P_{кз} = 1,97 \text{ кВт}; U_k = 4,5\%; I_{xx} = 2,6 \%; R_T = 31,5 \text{ мОм}; \\ X_T = 65 \text{ мОм}; Z_T = 72 \text{ мОм}; Z_T^{(1)} = 779 \text{ мОм}$$

Для автоматов по [10]:

$$1SF \quad R_{1SF} = 0,40 \text{ мОм}; X_{1SF} = 0,50 \text{ мОм}; R_{n1SF} = 0,60 \text{ мОм}$$

$$SF1 \quad R_{SF1} = 0,40 \text{ мОм}; X_{SF1} = 0,50 \text{ мОм}; R_{nSF1} = 0,60 \text{ мОм}$$

$$SF \quad R_{SF} = 0,15 \text{ мОм}; X_{SF} = 0,17 \text{ мОм}; R_{nSF} = 0,4 \text{ мОм}$$

Для шин алюминиевых:

$$r_0 = 0,055 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,126 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$r_{0п} = 0,068 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}; x_{0п} = 0,053 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}$$

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш} = 0,06 \cdot 1,5 = 0,09 \text{ МОм}$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш} = 0,13 \cdot 1,5 = 0,20 \text{ МОм}$$

Для кабельных линий по [10]

КЛ1:

$$r'_0 = 0,208 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}; x_0 = 0,060 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}$$

Так как в схеме 4 параллельных кабеля, то

$$r_0 = \frac{1}{4} \cdot r'_0 = \frac{1}{4} \cdot 0,208 = 0,052 \frac{\text{МОм}}{\text{М}};$$

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,052 \cdot 10 = 0,52 \text{ МОм}$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,060 \cdot 10 = 0,60 \text{ МОм}$$

КЛ2:

$$r_0 = 0,208 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}; x_0 = 0,060 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}$$

Так как в схеме 2 параллельных кабеля, то

$$r_0 = \frac{1}{2} \cdot r'_0 = \frac{1}{2} \cdot 0,208 = 0,104 \frac{\text{МОм}}{\text{М}};$$

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,104 \cdot 1 = 0,10 \text{ МОм}$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,060 \cdot 1 = 0,06 \text{ МОм}$$

Для шинпровода ШРА 1 по [10,]:

$$r_0 = 0,15 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}; x_0 = 0,17 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}$$

$$r_{0п} = 0,30 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}; x_{0п} = 0,24 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}$$

$$R_{\text{ШРА}} = r_0 \cdot L_{\text{ШРА}} = 0,15 \cdot 4 = 0,60 \text{ МОм};$$

$$X_{\text{ШРА}} = x_0 \cdot L_{\text{ШРА}} = 0,17 \cdot 4 = 0,68 \text{ МОм}$$

Для ступеней распределения по [10]:

$$R_{c1} = 15 \text{ МОм}; R_{c2} = 20 \text{ МОм}$$

Упростим схему замещения, вычислим эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ и нанесем их на схему (рисунок 5)

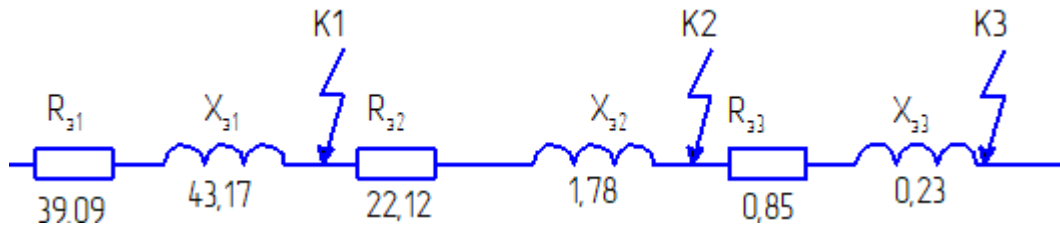


Рисунок 5 – Упрощенная схема замещения

$$R_{э1} = R_{\text{сист}} + R_T + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{\text{Ш}} + R_{c1} \quad (7)$$

$$R_{э1} = 6,40 + 16,60 + 0,40 + 0,60 + 0,09 + 15 = 39,09 \text{ МОм}$$

$$X_{э1} = X_{\text{сист}} + X_T + X_{1SF} + X_{\text{Ш}} = 0,77 + 41,70 + 0,50 + 0,20 = 43,17 \text{ МОм}$$

$$R_{э2} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{ШРА}} + R_{c2} \quad (8)$$

$$R_{э2} = 0,40 + 0,60 + 0,52 + 0,60 + 20 = 22,12 \text{ МОм}$$

$$X_{э2} = X_{SF1} + X_{\text{КЛ1}} + X_{\text{ШРА}} = 0,50 + 0,60 + 0,68 = 1,78 \text{ МОм}$$

$$R_{э3} = R_{SF} + R_{nSF} + R_{\text{КЛ2}} = 0,15 + 0,60 + 0,10 = 0,85 \text{ МОм}$$

$$X_{э3} = X_{SF} + X_{\text{КЛ2}} = 0,17 + 0,06 = 0,23 \text{ МОм}$$

Вычислим сопротивления до каждой точки КЗ и занесем их в сводную ведомость (таблица 8):

$$R_{K1} = R_{\Sigma 1} = 39,09 \text{ МОм}$$

$$X_{K1} = X_{\Sigma 1} = 43,17 \text{ МОм}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{39,09^2 + 43,17^2} = 58,24 \text{ МОм}$$

$$R_{K2} = R_{\Sigma 1} + R_{\Sigma 2} = 39,09 + 22,12 = 61,21 \text{ МОм}$$

$$X_{K2} = X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 2} = 43,17 + 1,78 = 44,95 \text{ МОм}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{61,21^2 + 44,95^2} = 75,94 \text{ МОм}$$

$$R_{K3} = R_{K2} + R_{\Sigma 3} = 61,21 + 0,85 = 62,06 \text{ МОм}$$

$$X_{K3} = X_{K2} + X_{\Sigma 3} = 44,95 + 0,23 = 45,18 \text{ МОм}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{62,06^2 + 45,18^2} = 76,76 \text{ МОм}$$

$$\frac{R_{K1}}{X_{K1}} = \frac{39,09}{43,17} = 0,91$$

$$\frac{R_{K2}}{X_{K2}} = \frac{61,21}{44,95} = 1,36$$

$$\frac{R_{K3}}{X_{K3}} = \frac{62,06}{45,18} = 1,37$$

5.2 Расчет токов короткого замыкания

Определим коэффициенты K_y и q по [10]:

$$K_{y1} = F \cdot \frac{R_{K1}}{X_{K1}} = F \cdot 0,91 = 1$$

$$K_{y2} = F \cdot \frac{R_{K2}}{X_{K2}} = F \cdot 1,36 = 1$$

$$K_{y3} = F \cdot \frac{R_{K3}}{X_{K3}} = F \cdot 1,37 = 1$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 K_{y1} - 1} = \sqrt{1 + 2 \cdot 1,0 - 1} = 1$$

$$q_2 = q_3 = 1$$

Определим 3-фазные и 2-фазные токи КЗ и занесем их в «Сводную ведомость токов»:

$$I_{K1}^3 = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 58,24} = 3,77 \text{ кА}$$

$$I_{K2}^3 = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 75,94} = 2,89 \text{ кА}$$

$$I_{K3}^3 = \frac{V_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 76,76} = 2,86 \text{ кА}$$

$$I_{yк1} = q_1 \cdot I_{K1}^3 = 3,77 \text{ кА}$$

$$I_{yк2} = q_2 \cdot I_{K2}^3 = 2,89 \text{ кА}$$

$$I_{yк3} = q_3 \cdot I_{K3}^3 = 2,86 \text{ кА}$$

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^3 = 1,41 \cdot 1,00 \cdot 3,77 = 5,32 \text{ кА}$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^3 = 1,41 \cdot 1,00 \cdot 2,89 = 4,08 \text{ кА}$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^3 = 1,41 \cdot 1,00 \cdot 2,86 = 4,03 \text{ кА}$$

$$I_{k1}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^3 = 0,87 \cdot 3,77 = 3,28 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^3 = 0,87 \cdot 2,89 = 2,51 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^3 = 0,87 \cdot 2,86 = 2,49 \text{ кА}$$

Таблица 8 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	R _к , МОм	X _к , МОм	Z _к , МОм	R _к /X _к	K _у	q	I _к ⁽³⁾ , кА	i _у , кА	I _∞ ⁽³⁾ , кА	I _к ⁽²⁾ , кА	Z _п , МОм	I _к ⁽¹⁾ , кА
К1	39,09	43,17	58,24	0,91	1	1	3,77	5,32	3,77	3,28	15	1,24
К2	61,21	44,95	75,94	1,36	1	1	2,89	4,08	2,89	2,51	41,30	1,09
К3	62,06	45,18	76,76	1,37	1	1	2,86	4,03	2,86	2,49	41,81	1,08

Составим схему замещения для расчета 1-фазных токов КЗ (рисунок 6)

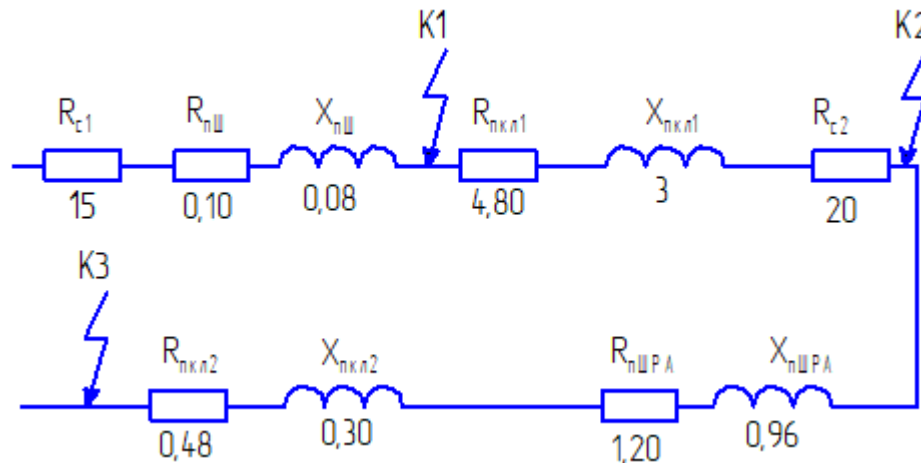


Рисунок 6 – Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Для кабельных линий:

$$X_{пкЛ1} = x_{0п} \cdot L_{КЛ1} = 0,30 \cdot 10 = 3 \text{ мОм}$$

$$R_{пкЛ1} = 2r_0 \cdot L_{КЛ1} = 2 \cdot 0,24 \cdot 10 = 4,80 \text{ мОм}$$

$$X_{пкЛ2} = x_{0п} \cdot L_{КЛ2} = 0,30 \cdot 1 = 0,30 \text{ мОм}$$

$$R_{пкЛ2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{КЛ2} = 2 \cdot 0,24 \cdot 1 = 0,48 \text{ мОм}$$

Для шин алюминиевых:

$$R_{пШ} = r_{0пШ} \cdot L_{Ш} = 0,068 \cdot 1,5 = 0,10 \text{ мОм}$$

$$X_{пШ} = x_{0пШ} \cdot L_{Ш} = 0,053 \cdot 1,5 = 0,08 \text{ мОм}$$

Для ШРА:

$$R_{пШРА} = r_{0пШРА} \cdot L_{ШРА} = 0,30 \cdot 4 = 1,20 \text{ мОм}$$

$$X_{пШРА} = x_{0пШРА} \cdot L_{ШРА} = 0,24 \cdot 4 = 0,96 \text{ мОм}$$

$$Z_{п1} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{п2} = R_{c1} + R_{пкЛ1} + R_{пШ} + R_{пШРА} + R_{c2} = 15 + 4,80 + 0,10 + 1,20 + 20$$

$$R_{п2} = 41,10 \text{ МОм}$$

$$X_{п2} = X_{пкЛ1} + X_{пШ} + X_{пШРА} = 3 + 0,08 + 0,96 = 4,04 \text{ МОм}$$

$$Z_{п2} = \sqrt{R_{п2}^2 + X_{п2}^2} = \sqrt{41,10^2 + 4,04^2} = 41,30 \text{ МОм}$$

$$R_{п3} = R_{п2} + R_{пкЛ2} = 41,10 + 0,48 = 41,58 \text{ МОм}$$

$$X_{п3} = X_{п2} + X_{пкЛ2} = 4,04 + 0,30 = 4,34 \text{ МОм}$$

$$Z_{п3} = \sqrt{R_{п3}^2 + X_{п3}^2} = \sqrt{41,58^2 + 4,34^2} = 41,81 \text{ МОм}$$

$$I_{к1}^1 = \frac{V_{кф}}{\frac{Z_{Т}^1}{3} + Z_{п1}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{486}{3} + 15} = 1,24 \text{ кА}$$

$$I_{к2}^1 = \frac{V_{кф}}{\frac{Z_{Т}^1}{3} + Z_{п2}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{486}{3} + 41,30} = 1,09 \text{ кА}$$

$$I_{к3}^1 = \frac{V_{кф}}{\frac{Z_{Т}^1}{3} + Z_{п3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{486}{3} + 41,81} = 1,08 \text{ кА}$$

5.3 Проверка выключателей на отключаемую способность

Должны быть выполнены условия:

$$I_{н.откл} \geq I_{р.откл}$$

$$S_{н.откл} \geq S_{р.откл}$$

Где $I_{н.откл}$ - $I_{р.откл}$ номинальное и расчетное значения токов отключения, кА;

$S_{н.откл}$ - $S_{р.откл}$ номинальная и расчетная полные мощности отключения, МВ· А.

Пример проверки выключателя на отключаемую способность проводится на выключателе ВА 51 – 25 (таблица 7):

$$I_{р.откл} = \frac{V_{н.а}}{3 \cdot Z_{к}} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{у} \frac{380}{1,73 \cdot 15,2} \cdot 1,42 \cdot 1 = 2,05 \text{ кА}$$

$$I_{\text{н.откл}} = I_{\text{откл}} = 3,8 \text{ кА} \quad K_y=1$$

$$S_{\text{р.откл}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{р.откл}} \cdot U_{\text{н.а}} = 1,73 \cdot 2056 \cdot 380 = 1,34 \text{ МВА}$$

$$S_{\text{н.откл}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{н.откл}} \cdot U_{\text{н.а}} = 1,73 \cdot 3800 \cdot 380 = 2,49 \text{ МВА}$$

$$3,8 \text{ кА} \geq 2,05 \text{ кА}$$

$$2,49 \text{ МВА} \geq 1,34 \text{ МВА}$$

Так как оба условия выполняются, то из этого следует что данный выключатель прошёл проверку на отключаемую способность. Данные всех выключателей по проверке представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Проверка выключателей на отключение

Тип выключателя	$I_{\text{н.откл}}$ кА	$I_{\text{р.откл}}$ кА	$S_{\text{н.откл}}$ МВА	$S_{\text{р.откл}}$ МВА
ВА 51 – 25	3,8	2,05	2,49	1,34
ВА 51 – 31	12,5	5,65	8,21	5,36
ВА 51 – 33	12,5	9,06	8,21	7,22
ВА 52 – 35	30	17,6	19,722	9,79

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной работы был расчёт и разработка системы электроснабжения цеха литейно-механического завода.

В ходе работы были найдены ожидаемые электрические нагрузки, все паспортные мощности электроприемников были приведены к номинальным, были найден коэффициент использования, а также определено эффективное число электроприемников.

Был произведён технико-экономический расчет для подстанции с двумя трансформаторами типа ТМ-110/10/0,4, так как на заводе присутствуют потребители всех трёх категорий надёжности электроснабжения.

Также были выбраны компенсирующие устройства, с целью компенсировать лишнюю реактивную мощности в сети. Был произведен расчет затрат на установку КУ.

Выбраны линии электроснабжения: для ВЛ ГПП – КТП – провод АС, для соединения ТП с ШНН – шины алюминиевые, для обеспечения питания цехового оборудования – кабели марки АВВГ и шинопровод распределительный (ШРА).

Выбранное оборудование проверилось на токи коротких замыканий различных типов, на ступени напряжения 0,4 кВ. При этом, сопротивление ВЛ было приведено к ступени напряжения, на которой произошло короткое замыкание.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вахнина В. В, Черненко А. Н. Электроснабжение предприятий и городов: Учеб. пособие. / Тольятти; ТГУ, 2007.
2. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учеб. Пособие / Изд. 2-е, стер. Тольятти: ТГУ, 2014. 69 с.
3. Вахнина В.В., Горячева В.Л., Степкина В.Л. Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. Тольятти: ТГУ, 2004. С. 92.
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование системы электроснабжения цеха предприятия: Методические указания для курсового проектирования. Тольятти: ТГУ, 2012. С. 80.
5. ГОСТ 15176-89. Шины, прессованные электротехнического назначения из алюминия и алюминиевых сплавов. Москва : Издательство стандартов, 2015. 9 с.
6. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2012. 416 с.
7. Рожин А.Н. Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. М.: Киров: ВятГУ, 2006. 258 с.
8. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения: учебное пособие : Томский политехнический университет. М.: Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 180 с.
9. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению 2-е изд. М. : ФОРУМ, 2011. 136 с.
10. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проекта. М.: ФОРУМ: ИНФРА, 2010. 214 с.

11. ГОСТ 15597-15. Светильники для производственных зданий. Общие технические условия . Москва : Издательство стандартов, 2015. 8 с.
12. Наумов И.В. Электроснабжение. М.: ИрГСХА, 2003. 188 с.
13. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование: Учебник. М.: Форум, 2015. 48 с.
14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение: Учебное пособие. М.: РадиоСофт, 2013. 328 с.
15. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. М.: Форум, 2018. 192 с.
16. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Интернет Инжиниринг, 2005. 672 с
17. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98. Под ред. Б.Н. Неклепаева. М.: НЦ ЭНАС, 2002. 152 с.
18. Рождествина А.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров). М.: КноРус, 2013. 368 с.
19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. М.: Лань, 2012. 480 с.
20. Куско А. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. М.: Додэка XXI, 2011. 336 с.
21. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения . Справочные материалы по электрооборудованию учебное пособие. М.: Томск: издательство ТПУ , 2006. 248 с.
22. Harlow James. Electric Power Transformer Engineering / Harlow, James, 2004, p. 357
23. Keith H. Billings. Switchmode Power Supply Handbook/ Keith H. Billings second edition, Holon McGraw-Hill book company 2012 656 p.
24. Sivanagaraju, S. Electric Power Transmission and Distribution/ Pearson Education, 2015, p. 607
25. Das J. C. Transients in Electrical Systems: Analysis, Recognition, and Mitigation / J.C. Das: Mc/Graw-Hil, 2010, p. 736.