

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Реконструкция системы электроснабжения завода
сельскохозяйственного машиностроения

Студент	<u>Х.П. Дустамбаев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>В.А. Шаповалов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>А.В. Кириллова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

В данной квалификационной работе «Реконструкция системы электроснабжения завода сельскохозяйственного машиностроения» рассмотрена возможность реконструкции схемы электроснабжения завода.

Главной задачей данной работы является – создание наиболее экономичной и надёжной схемы электроснабжения завода.

Для этого необходимо:

1. рассчитать электрическую нагрузку производственных цехов и завода в целом;
2. определить мощность и количество трансформаторных подстанций;
3. определить место расположения заводской подстанции;
4. выбрать схему электроснабжения завода и технологических цехов;
5. выбрать оборудование электроснабжения, отвечающие всем условия надёжности.

Данная работа выполнена на 66 листах формата А4 и содержит 9 рисунков, 19 таблиц, выполненную на 6 листах формата А1 графическую часть.

ABSTRACT

This qualification work “Reconstruction of the power supply system of an agricultural machinery plant” considered the possibility of reconstructing the power supply scheme of the plant due to a change in the plant's capacity due to the change of technical equipment and the change of technical policy.

The main objective of this work is to create the most economical and reliable scheme for the power supply of the plant, which is ready at any moment to be adjusted without any special expenses for changing the technical directions of the plant.

For this you need:

1. calculate the electrical load of the production workshops and the plant as a whole;
2. determine the power and number of transformer substations;
3. determine the location of the factory substation;
4. select the power supply scheme of the plant and technological workshops;
5. Choose power supply equipment that meets all the reliability conditions.

This work was performed on 66 sheets of A4 format and contains 9 figures, 19 tables, a graphic part made on 6 sheets of A1 format.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Краткое описание завода сельскохозяйственного машиностроения	7
2 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок завода	11
2.1 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок МЦ	11
2.2 Расчёт электрических нагрузок освещения МЦ	16
3 Расчёт электрической нагрузки на освещение территории завода	21
4 Выбор места расположения КТП	24
5 Выбор числа и мощности трансформаторов подстанции с учетом устройства компенсации реактивной мощности	28
5.1 Расчёт варианта однострансформаторного КТП и УКРМ	28
5.2 Расчёт варианта двухтрансформаторного КТП и УКРМ	33
6 Выбор и обоснование схемы электроснабжения завода	38
6.1 Основные требования к сети электроснабжения	38
6.2 Выбор схемы электроснабжения ТП по стороне 10 кВ	39
6.3 Выбор схемы электроснабжения внутризаводской сети по стороне 0,4 кВ	39
6.4 Выбор схемы электроснабжения внутрицеховой сети 0,4 кВ	40
7 Расчёт кабельных линий	41
7.1 Выбор марки кабеля в сети 10 и 0,4 кВ.	41
7.2 Расчёт сечения жилы КЛ 10 кВ.	42
7.3 Расчёт сечения жилы КЛ 0,4 кВ.	43
7.4 Проверка выбранного сечение кабельных линий по потере напряжения.	45
8 Выбор шинпровода 0,4 кВ для электроснабжения МЦ	48
8.1 Распределение нагрузки по секциям согласно выбранной схеме	48
8.2 Расчёт сечения шинпровода и КЛ 0,4 кВ согласно выбранной схеме	50
9 Выбор типа и исполнения ТП-10/0.4 кВ	51
10 Расчет токов короткого замыкания	52

10.1 Составление схемы замещения	52
10.2 Расчет токов короткого замыкания	57
11 Выбор коммутационного оборудования на напряжения 10 и 0,4 кВ	60
11.1 Выбор плавкой вставки предохранителей 10 кВ	60
11.2 Расчёт номинальных данных выключателей нагрузки 10 кВ	61
11.3 Расчёт номинальных данных АВ на стороне 0,4 кВ	62
Заключение	64
Список используемых источников	65

Введение

В современном быстро развивающемся мире основным потребителем электрической энергии являются промышленные предприятия, на которые приходится более 70% от всей вырабатываемой электроэнергии в нашей стране.

В настоящее время в связи с большой конкуренцией в сфере машиностроительной техники предприятия находятся в непрерывном процессе развития: вводятся новые производственные площади, меняется морально устаревшее оборудование заменяется более новым с большей производительностью, также изменяется сама технология производства и т. д.

Наряду с этим система электроснабжения промышленного предприятия должна идти в ногу с быстроразвивающимися технологиями, быть гибкой, готовой к изменению схемы электроснабжения и росту мощности и изменению производственных условий.

В первую очередь данные требования предъявляются к системе электроснабжения технологического оборудования производственных цехов. Так как большая конкуренция в данной отрасли как с отечественными, так и с зарубежными производителями сельскохозяйственной техники, полноценное функционирование производственных цехов напрямую зависит от гибкости схемы электропитания технологического оборудования данных цехов.

1 Краткое описание завода сельскохозяйственного машиностроения

Частная организация с поддержкой федеральной программы взяла в аренду часть территории тракторного машиностроительного завода с целью развития направления российского сельскохозяйственного машиностроения.

Основной задачей завода сельскохозяйственного машиностроения является сборка сельскохозяйственной техники уже из готовых силовых агрегатов и вспомогательного оборудования изготовленного на территории РФ и импортного производства, а также модернизация уже готовых систем сельскохозяйственной техники.

В связи с тем, что на заводе сельскохозяйственного машиностроения произошло перевооружение станков и вспомогательного оборудования, завод стал меньше потреблять электроэнергии. Перевооружение связано с физическим и моральным износом станков и вспомогательного оборудования.

На подстанции завода сельскохозяйственного машиностроения установлены силовые трансформаторы, установленная мощность которых в разы превышает потребляемую мощность всех потребителей завода. Поэтому необходимо заменить их на силовые трансформаторы меньшей установленной мощности.

Завод сельскохозяйственного машиностроения получает электроснабжение от ГПП машиностроительного завода.

Расстояние от главной понизительной подстанции (ГПП) до производственных цехов – 1,2 км. Напряжение питания 10 кВ.

Завод является потребителем II и III категории надежности электроснабжения.

Завод сельскохозяйственного машиностроения имеет три производственных цеха и одно вспомогательное производство – заготовительный цех (ЗЦ), механический цех (МЦ), сборочный цех (СЦ), а

также административно-технический отдел (АТО) и конструкторский отдел (КО).

План завода показан на рисунке 1.1

МЦ цех является основным крупным цехом завода и выполняет заказы основных цехов.

Так, как основным крупным потребителем электроэнергии завода является механический цех все необходимые расчёты о возможности реконструкции схемы электроснабжения, начинаем с данного объекта.



Рисунок 1.1 – План расположения объектов электроснабжения.

Размеры цеха $A \times B \times H = 56 \times 32 \times 9$ метров.

Перечень основного оборудования цеха указаны в таблице 1.1

Расположение основного оборудования механического цеха показано на плане, рисунок 1.2.

Таблица 1.1 – Перечень оборудования механического цеха

№ на плане	Наименование Электрооборудования	Р _{пасп} , кВт
1	2	3
1..5	Шлифовальные станки	88,5
6...14	Анодно-механические станки типа МЭ-12	10
15...22	Анодно-механические станки типа МЭ-31	18,4
23...27	Обдирочные станки типа РТ-341	45
28...33	Обдирочные станки типа РТ-250	35
34, 35	Кран мостовой	60
36...39	Приточно-вытяжные установки	19,5

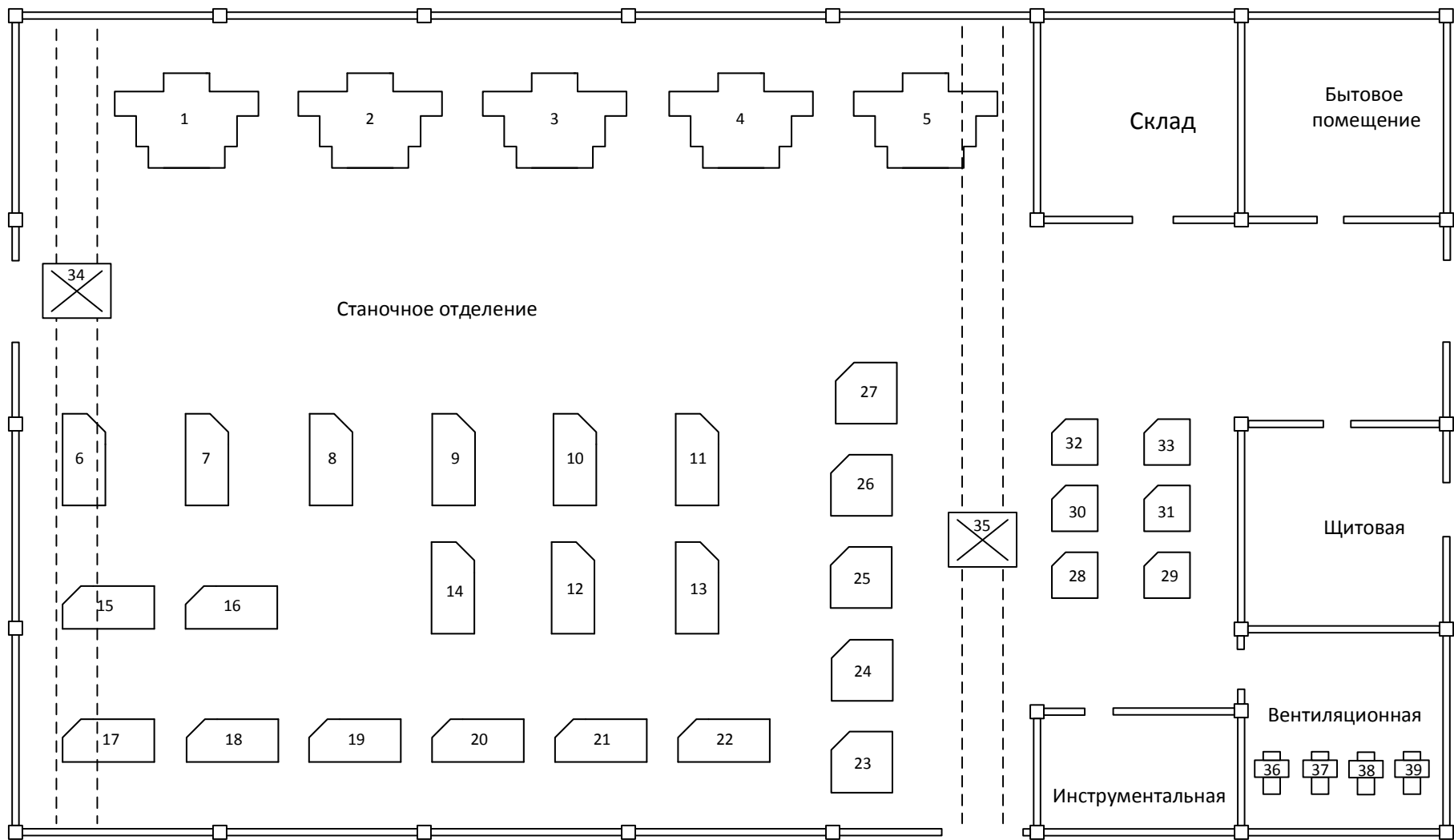


Рисунок 1.1 – План расположения оборудования механического цеха машиностроительного завода

2 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок завода

2.1 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок МЦ

На первом этапе реконструкции схемы электроснабжения завода произведём расчёт ожидаемой электрической нагрузки завода.

Расчётная максимальная мощность, потребляемая электроприёмниками завода, меньше суммарной паспортной мощности всех приёмников. Связано это неполной загрузкой оборудования электропотребителей (ЭП), и разновременностью их работы.

Основные заданные параметры ЭП МЦ указаны в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Заданные параметры ЭП МЦ

Наименование Электрооборудования	Кол.	$P_{\text{пасп}}$, кВт	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$K_{\text{и}}$	ПВ %
1	2	3	4	5	6	7
Шлифовальные станки	5	88,5	0,5	1,73	0,14	100
Обдирочные станки РТ-341	5	45	0,5	1,73	0,14	100
Кран мостовой	2	30	0,5	1,73	0,25	25
Обдирочные станки РТ-250	7	35	0,5	1,73	0,12	100
Анодно-механические станки МЭ-31	8	18,4	0,4	2,36	0,12	100
Анодно-механические станки МЭ-12	9	10	0,4	2,36	0,12	100
Приточно-вытяжная вентиляция	4	19,5	0,8	0,75	0,7	50

Приведём нагрузку потребителей повторно-кратковременного режима работы (ПКР) к длительному режиму работы по следующей выражению 2.1:

$$P_{\text{НОМ}} = P_{\text{ПОТ}} \overline{\text{ПВ}}, \quad (2.1)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная активная мощность;

$P_{\text{пасп}}$ – паспортная активная мощность;

ПВ – продолжительность включения относительно 1.

Воспользуемся выражением 2.1 для расчета крана мостового:

$$P_{\text{ном}} = 60 \cdot \overline{0,25} = 30 \text{ кВт}$$

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

Коэффициент использования – это значение, которое характеризует степень использования установленного и работающего оборудования по времени и по мощности.

$\text{tg}\varphi$ – это значение показывающие угол потерь в ЭП

Рассчитаем суммарную активную мощность каждого типа ЭП на основании таблицы 2.1 по выражению 2.2:

$$P_{\text{ном}\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n, \quad (2.2)$$

Для шлифовальных станков:

$$P_{\text{ном}\Sigma} = 88,5 \cdot 5 = 442,5 \text{ кВт},$$

Остальные электроприёмники рассчитываем аналогичным методом и полученные результаты заносим в таблицу 2.2.

Рассчитаем коэффициент силовой сборки для всех ЭП МЦ по выражению 2.3:

$$m = \frac{P_{\text{ном макс}}}{P_{\text{ном мин}}}, \quad (2.3)$$

где m – коэффициент силовой сборки,

$P_{\text{ном макс}}$ – это номинальная максимальная активная мощность ЭП МЦ;

$P_{\text{ном мин}}$ – это номинальная минимальная активная мощность ЭП МЦ.

$$m = \frac{88,5}{10} = 8,85 > 3,$$

Далее рассчитываем среднюю активную и реактивную мощность для каждой подгруппы электроприемников по выражениям 2.3, 2.4:

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{ном}\Sigma} \cdot K_{\text{и}}, \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{ср}} = P_{\text{ср}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2.4)$$

где $P_{\text{ср}}$ – средняя активная мощность ЭП,

$Q_{\text{ср}}$ – средняя реактивная мощность ЭП,

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования.

Для шлифовальных станков:

$$P_{\text{ср}} = 442,5 \cdot 0,14 = 61,95 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ср}} = 61,95 \cdot 1,73 = 107,17 \text{ квар},$$

Остальные расчётные данные оборудование рассчитываем аналогичным методом и полученные результаты заносим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Расчётные данные потребителей МЦ

Тип оборудования	$P_{\text{ном}\Sigma}$	$P_{\text{ср}}$ кВт	$Q_{\text{ср}}$ квар
1	2	3	4
Шлифовальные станки	442,5	61,95	107,7
Обдирочные станки типа РТ-341	225	31,5	54,49

Обдирочные станки типа РТ-250	210	25,2	43,59
Кран мостовой	30	7,5	12,9
Анодно-механические станки типа МЭ-31	147,4	17,66	41,68
Анодно-механические станки типа МЭ-12:	90	10,8	25,49
Приточно-вытяжная вентиляция	78	54,6	40,95
Σ	1222,7	209,21	326,34

На основании таблицы 2.2 рассчитаем средний коэффициент использования и средний $\text{tg}\varphi$ по выражению 2.5, 2.6:

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{\sum P_{\text{ср}\Sigma}}{\sum P_{\text{ном}\Sigma}}, \quad (2.5)$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_{\text{ср}\Sigma}}{\sum P_{\text{ср}\Sigma}}, \quad (2.6)$$

где $K_{\text{и.ср}}$ – средний коэффициент использования,

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{209,21}{1222,7} = 0,17,$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{326,34}{209,21} = 1,56,$$

Рассчитаем эффективное число ЭП по выражению 2.7:

$$n_{\text{э}} = \frac{2P_{\text{пасп}\Sigma}}{P_{\text{н max}}}, \quad (2.7)$$

где $n_{\text{э}}$ – эффективное число электроприёмников.

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 334,9}{88,5} = 7,6 \approx 8 \text{ шт.}$$

Согласно [1] определяем коэффициент максимума:

$$K_{\text{макс}} = 1,$$

Найдем расчетные активные и реактивные нагрузки трехфазных электроприемников:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{ср}} \cdot K_{\text{макс}} = 209,21 \cdot 1 = 209,21 \text{ кВт}$$

Так как эффективное число ЭП $n_{\text{э}} < 10$, тогда по выражению 2.8

$$Q_{\text{расч}} = \sum 1,1 \cdot P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{макс}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{расч}} = 1,1 \cdot 326,34 = 358,9 \text{ квар},$$

Определяем полную расчетную мощность нагрузки рассчитываем по выражению 2.9:

$$S_{\text{рас}} = \sqrt{P_{\text{рас}}^2 + Q_{\text{рас}}^2}, \quad (2.9)$$

$$S_{\text{рас}} = 415,4 \text{ кВА},$$

Рассчитываем ток для ЭП узла нагрузки МЦ по выражению 2.10:

$$I_{\text{рас}} = \frac{S_{\text{рас}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (2.10)$$

где $I_{\text{рас}}$ – расчётный ток МЦ.

$$I_{\text{рас}} = \frac{415,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 599,6 \text{ А.}$$

2.2 Расчёт электрических нагрузок освещения МЦ

В процессе расчета электрического освещения цеха определяем необходимое количество ламп и расчётную мощность, необходимую для получения заданной освещенности при выбранном типе, расположении и числе светильников.

Расчет электрического освещения МЦ будем производить по методу коэффициента использования светового потока.

Для упрощения расчёта общая площадь считаем без учета внутреннего деления на станочное отделение и вспомогательные и бытовые помещения.

Рассчитываем общую площадь помещения МЦ по выражению:

$$S = a \cdot b = 56 \cdot 32 = 1792 \text{ м}^2,$$

Где a – длина помещения, м,

b – ширина помещения, м.

Рассчитываем индекс помещения по выражению 2.11:

$$i = \frac{S}{H_1 - h_2 \cdot (a + b)}, \quad (2.11)$$
$$i = \frac{1792}{(9 - 1) \cdot (56 + 32)} = 2,54,$$

где i – индекс помещения,

H_1 – высота цеха минус один метр, м,

h_2 – высота рабочей поверхности, м,

Определяем коэффициент запаса, зависящий от рода загрязнения помещения, степени технического обслуживания светильников, согласно [9]:

$$K_3 = 1,5$$

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

Для потолка принимаем – 50%, стен – 30%, пола – 10%.

Для освещения цеха, а также для вспомогательных помещений, в целях экономии электроэнергии, в согласно нормативным данным указанных [11] выполняем люминесцентными светильниками промышленного назначения, производимыми самарским светотехническим заводом, марки LZ 136 мощностью 36 Вт, $\Phi_{л}$ – 3250 ЛМ.

Рассчитываем требуемое количество светильников по выражению 2.12:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{л}}, \quad (2.12)$$

где E – требуемая горизонтальная освещаемость, лк равная 300 лк, согласно СНиП от 23.05.95;

S – площадь цеха, м²;

η – коэффициент использования;

K_3 – коэффициент запаса 1,5;

n – количество ламп в светильнике 2;

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

$$N = \frac{300 \cdot 1792 \cdot 1,5}{0,44 \cdot 2 \cdot 3250} = 282 \text{ шт.},$$

Рассчитаем активные и реактивные нагрузки освещения, при $\cos\varphi = 0,85$ $\text{tg}\varphi = 0,63$, по выражению 2.13, 2.14:

$$P_{\text{осв}} = n \cdot N \cdot P_{л}, \quad (2.13)$$
$$P_{\text{осв}} = 2 \cdot 282 \cdot 0,036 = 20,3 \text{ кВт}$$

где $P_{л}$ – мощность одной лампы

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2.14)$$

$$Q_{\text{осв}} = 20,3 \cdot 0,63 = 12,8 \text{ кВар}$$

Определяем расчетную нагрузку:

$$S_{\text{рас.осв}} = \sqrt{P_{\text{рас}}^2 + Q_{\text{рас}}^2} = \sqrt{20,3^2 + 12,8^2} = 23,9 \text{ кВА}$$

Найдем расчетный ток для освещения цеха:

$$I_{\text{рас.осв}} = \frac{S_{\text{рас.осв}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{23,9}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 27,3 \text{ А}$$

Все расчётные данные занесены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Расчётные данные освещения для МЦ.

Наименование осветительного прибора	$\Phi_{\text{л}}$, ЛМ	$P_{\text{свет}}$, Вт	N	$P_{\text{рас.осв}}$ кВт	$Q_{\text{рас.осв}}$ кВар	$S_{\text{рас.осв}}$ кВА	$I_{\text{рас.осв}}$ А
1	2	3	4	5	6	7	8
LZ 136	3250	36	282	20,3	12,8	23,9	27,3

Далее произведем расчет суммарной электрической нагрузки по цеху.

Определяем суммарную активную и реактивную мощность:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{осв}} + P_{\text{р}} = 209,21 + 20,3 = 229,51 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{осв}} + Q_{\text{р}} = 574,69 + 12,8 = 587,49 \text{ кВар},$$

Определяем полную суммарную нагрузку по цеху:

$$S_{\text{рас}\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma} + Q_{Q\Sigma}} = \sqrt{229,51^2 + 587,49^2} = 630,7 \text{ кВА},$$

Определяем суммарный расчетный ток:

$$I_{\text{рас}\Sigma} = \frac{S_{\text{рас}\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{630,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 910 \text{ А}.$$

Используя результаты расчетов, проведенных в предыдущих разделах, составим сводную ведомость нагрузок по цеху и заносим в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Сводная ведомость нагрузок по МЦ

Наименование узла питания или групп электроприёмников	Р _{уст} , приведенная к ПВ=100%		К _и	Cos/tgφ	Средняя нагрузка		Расчетная нагрузка			
	1 ЭП, кВт	∑ кВт			Р _{см} кВт	Q _{см} квар	Р _р кВт	Q _р квар	S _р кВА	I _р А
Шлифовальные станки	88,5	442,5	0,14	0,5/1,73	61,95	107,17				
Обдирочные станки типа РТ-341	45	225	0,14	0,5/1,73	31,50	54,49				
Кран мостовой	30	30	0,25	0,5/1,73	7,50	12,97				
Обдирочные станки типа РТ-250	35	210	0,12	0,5/1,73	25,20	43,59				
Анодно-механические станки МЭ-31	18,4	147,2	0,12	0,4/2,36	17,66	41,68				
Анодно-механические станки МЭ-12	10	90	0,12	0,4/2,36	10,80	25,49				
Приточно-вытяжная вентиляция	19,5	78	0,7	0,8/0,75	54,6	40,95				
Итого по цеху без освещения	304,9	1222,7	0,17	0,53/1,56	209,21	326,34	209,21	358,9	415,4	600,6
Освещение							20,3	12,8	20,3	27,3
Итого							229,51	371,7	434,5	627,9

Остальные цеха и производственные здания рассчитаны аналогичным методом и полученные значения занесены в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Сводные данные нагрузки завода

Наименование объекта	$P_{расч}$ кВт	$Q_{расч}$ квар	$S_{расч}$ кВА	$I_{расч}$ А	Категория потреб.
1	2	3	4	5	6
Механический цех	229,5	371,7	434,5	627,9	II
Заготовительный цех	154,3	115,7	192,9	278,8	III
Сборочный цех	137,7	118,4	183,6	265,3	III
Вспомогательное производство	97,5	83,9	130	187,9	III
Конструкторский корпус	84,3	63,225	105,38	152,3	II
Склад материалов	82,8	62,1	103,5	149,6	III
Склад готовой продукции	79,4	59,55	99,25	143,4	III
Освещение территории завода	3,3	2	3,6	5,2	III
Σ	865,5	874,58	1249	1802,7	III

3 Расчёт электрической нагрузки на освещение территории завода

Основной задачей наружного освещения проезжей части внутризаводской территории является обеспечение безопасности движения транспорта и работников в темное время суток.

Уличное освещение должно обеспечивать нормированную величину освещенности или величину средней яркости дорожного покрытия.

Линию сети наружного освещения подключаем к пункту питания с расчётом равномерного распределения нагрузки на каждую фазу трансформаторов, для этого подключение светильники или отдельные линии присоединяю к разным фазам, с соответствующим чередованием фаз.

Для наружного освещения применяем газоразрядные высокоэкономичные натриевые лампы высокого давления (НЛВД).

Опоры для установки светильников, размещаем по односторонней схеме, так как ширина проезжей части, с пешеходной зоной занимает в ширину менее 12 м, с высотой опоры в пределах 6-10 м.

Среднюю горизонтальную освещенность на уровне покрытия пешеходной зоны определяем согласно строительным нормам по выражению 3.1:

$$\Phi_{пч} = \frac{L \times k \times \pi}{n_L}, \quad (3.1)$$
$$\Phi_{пч} = \frac{0,3 \times 1,6 \times 3,14}{0,056} = 26,9 \text{ Лм/м}^2,$$

где Φ' – необходимый световой поток;

L – нормированная яркость, кд/м^2 , для улиц и дорог местного значения категории «В» составляет $0,3 \text{ кд/м}^2$ при средней горизонтальной освещенности покрытия 4 Лк;

$k = 1,6$ – коэффициент запаса, для улиц и дорог местного значения;

η_L – коэффициент использования по яркости светильника.

Световой поток лампы ДНаТ 70 Вт равен $\Phi = 6800$ Лм, может осветить площадь $6800/26,9 = 251 \text{ м}^2$, что при ширине проезжей части 7 метров соответствует расстоянию между светильниками 35 м.

При определении расчётной нагрузки на освещение с лампы ДНаТ, учитываем потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА), которые принимаем равные 10% мощности лампы.

Общая длина проезжей части на территории завода составляет 1500 м, что составляет с шагом установки светильников 35 метров 43 светильника типа ДНаТ 70.

Расчетную нагрузку проезжей части, питающей осветительной сети, рассчитываем, как:

$$P_{\text{уст.п.ч}} = 70 \times 43 = 3 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{Рас.Осв.П.ч}} = P_{\text{уст}} \times K_C \times K_{\text{ПРА}} = 3 \times 1 \times 1,1 = 3,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{Рас.Осв.П.ч}} = P_{\text{р.о.п.ч}} \times \text{tg}\phi = 3,3 \times 0,61 = 2 \text{ квар},$$

$$S_{\text{Рас.Осв.П.ч}} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3,3^2 + 2^2} = 3,6 \text{ кВА},$$

где $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность ламп, Вт;

$\text{tg}\phi$ – коэффициент реактивной мощности для данных светильников равен 0,61;

K_C – коэффициент спроса для наружного освещения равен 1;

$K_{\text{ПРА}}$ – коэффициент потери мощности в пускорегулирующем аппарате равный 1,1;

$S_{\text{рас.Осв.П.ч}}$ – расчётная полная мощность проезжей части.

4 Выбор места расположения КТП

Так, как потребляемая мощность завода сравнительно небольшая применено одноступенчатая схема распределения электроэнергии, которая выполнена с подключением ТП непосредственно к источнику питания с напряжением 10 кВ и далее по стороне с напряжением питания 0,4 кВ распределяется по всем объектам завода.

Цеха и производственные сооружения размещены по территории завода компактно и в пределах 100 метров.

Наиболее целесообразно в условиях развития завода как сборки сельскохозяйственной техники уже из готовых узлов и силовых агрегатов с расчётом на дальнейшее развитие завода в целом разместить трансформаторную ПС-10/0,4 кВ в отдельно стоящем исполнении с внутренним расположением силовых трансформаторов и компенсирующих устройств реактивной мощности и распределительного устройства 0,4 кВ.

Рассмотрим вариант электроснабжения от одной ПС, одно или двух трансформаторного исполнения с одним распределительным устройством с напряжением питания 10/0,4 кВ.

Для того чтобы приблизить источник питания к центру потребления электроэнергии и сократить протяженность линий с низким напряжением, место расположение ТП, экономически выгодно располагать как можно ближе к центру электрических нагрузок.

Определяем ориентировочное место расположения ТП, для этого используем графоаналитический метод с сеткой координат (X, Y) показанной на рисунке 4.1 и производим расчёты пользуясь таблицей 4.1.

Таблица 4.1 – Координаты расположения производственных помещений

Объект	X, м	Y, м	S _p кВА
Конструкторский корпус	55	130	105,38
Вспомогательное производство	210	130	130
Сборочный цех	45	80	183,6
Механический цех	130	80	434,5
Заготовительный цех	210	80	192,9
Склад готовой продукции	95	35	99,25
Склад материалов	210	35	103,5

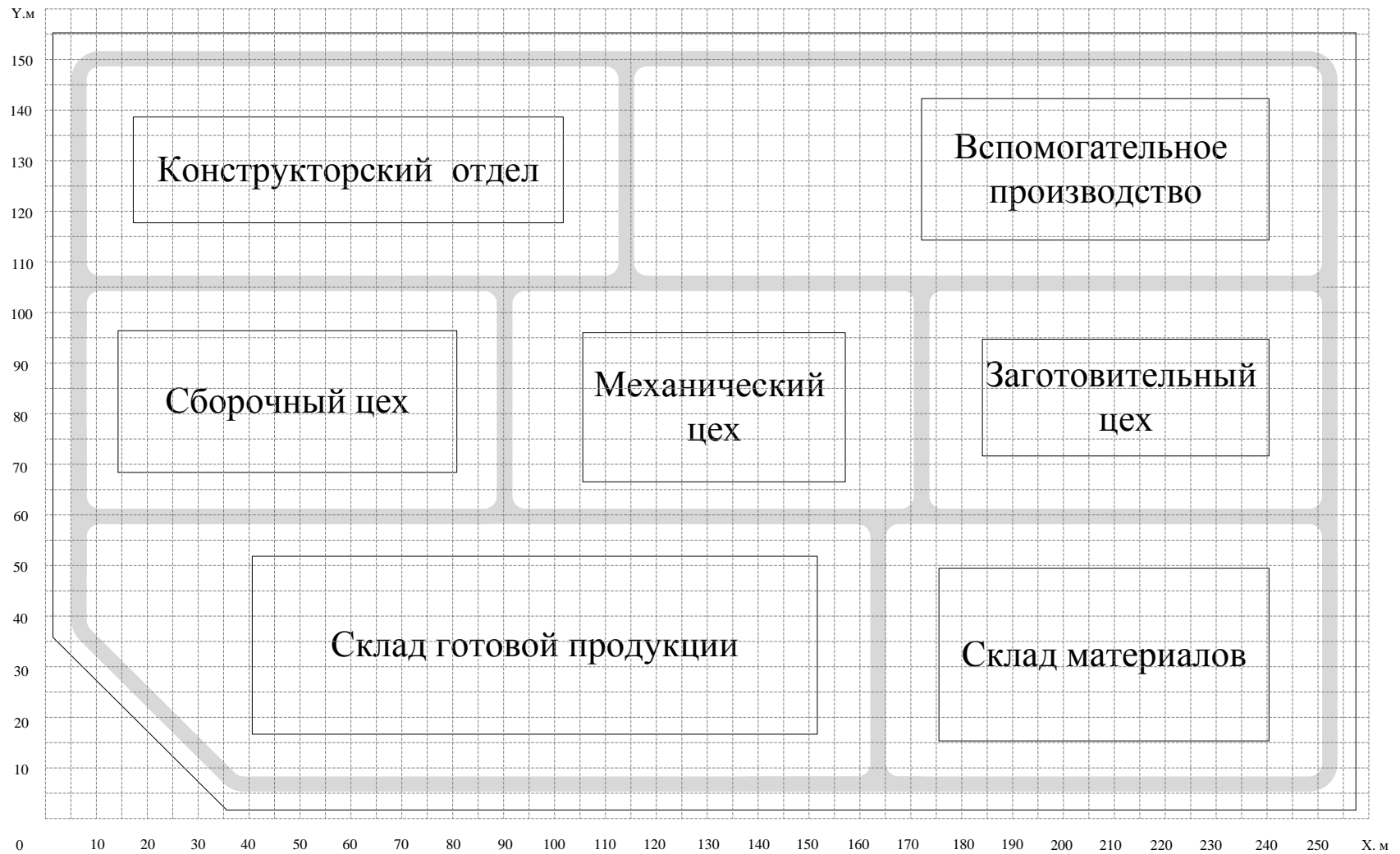


Рисунок 4.1 – Координатная система расположения центра нагрузок

Рассчитываем координаты центра нагрузок по выражению 4.1, 4.2:

$$X = \frac{\sum_i S_i \times X_i}{\sum S_{\text{рас}}}, \quad (4.1)$$

$$Y = \frac{\sum_i S_i \times Y_i}{\sum S_{\text{рас}}}, \quad (4.2)$$

где X_i , Y_i – абсцисса, ордината координатной сетке i -го потребителя;

S_i – максимальная мощность i -го потребителя кВА;

$$X = \frac{105,38 \times 55 + 130 \times 210 + 183,6 \times 45 + 434,5 \times 130 + 192,9 \times 210 + 99,25 \times 95 + 103,5 \times 210}{1802,7} = 94 \text{ м}$$

$$Y = \frac{105,38 \times 130 + 130 \times 130 + 183,6 \times 80 + 434,5 \times 80 + 192,9 \times 80 + 99,25 \times 35 + 103,5 \times 35}{1802,7} = 105,9 \text{ м}$$

По расчётам координаты центра расположения нагрузок находятся по $X=94$, по $Y=105,9$.

Согласно произведённым расчётам вблизи данного центра нагрузок находится не используемое хозяйственное помещение, которое будет снесено, а на данном участке установлена комплектная трансформаторная ПС.

В данном случае рекомендуется сместить ТП в сторону питающего центра, то есть в сторону механического цеха и здания вспомогательного производства.

Также выбранное место соответствует всем нормам ПУЭ, по условию подъезда транспортной техники и минимально допустимому расстоянию до технологических построек и зданий.

5 Выбор числа и мощности трансформаторов подстанции с учетом устройства компенсации реактивной мощности

Правильный подход к выбору числа и мощности трансформаторов на подстанциях промышленных предприятий является основным вопросом эффективности электроснабжения и построения наиболее рациональных сетей. При нормальных условиях, работа трансформаторов представляет собой снабжение питанием всех потребителей предприятия при их номинальной нагрузке.

Количество трансформаторов на подстанции зависит от категории надёжности электроснабжения. С таким подходом наилучшим является вариант с установкой двух трансформаторов, обеспечивающий надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей цеха любых категорий. Однако если в цехе установлены приёмники только II и III категории, то более экономичными, являются однострансформаторные подстанции.

Для ЭП III категории перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента, не превышают одних суток, и перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недовыпуску продукции, массовым простоям рабочих. Для них допустим перерыв электроснабжения также, как и для II категории потребителей питание осуществляется от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Допускается питание от одного трансформатора.

5.1 Расчёт варианта однострансформаторного КТП и УКРМ

Предварительный выбор трансформаторов производится по суммарной расчетной активной мощности цеха на основании таблицы 3.1:

$$P_{\text{рас}\Sigma} = 865,55 \text{ кВт}$$

При проектировании внутризаводских сетей установка однострансформаторных подстанций рациональна в случае, когда обеспечивается резервирование всех потребителей по сети низкого напряжения, а также когда возможна замена повреждённого трансформатора в течение установленного категорией надёжности времени.

В случае одного трансформатора на ПС принимаем согласно требованиям ПУЭ коэффициент загрузки трансформатора равный 0,9.

$$K_3 = 0,9$$

Рассчитываем необходимую мощность трансформатора по выражению 5.1:

$$S_{\text{ном.Тр}} = \frac{P_{\text{ср.}\Sigma}}{K_3 \cdot N_{\text{Тр}}}, \quad (5.1)$$

$$S_{\text{ном.Тр}} = \frac{865,5}{0,9 \cdot 1} = 961,6 \text{ кВА},$$

Согласно [9] выбираем трансформатор ТМ–1000/10/0,4 с номинальными данными указанными в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Номинальные данные трансформатора ТМ-1000/10/0,4

Тип	S _{ном} , кВА	Напряжение, кВ		Потери, кВт		U _{кз} , %	I _{хх} , %	Цена тыс. руб
		ВН	НН	P _{хх}	P _{кз}			
ТМ-1000	1000	10	0,4	0,95	5,5	4,5	2,1	525

Рассчитываем потери в трансформаторе по выражениям 5.2, 5.3 пользуясь данными указанные в таблице 5.1:

$$\Delta P_{\text{Тр}} = N_{\text{Тр}} \cdot P_{\text{хх}} + K_3^2 \cdot P_{\text{кз}}, \quad (5.2)$$

$$\Delta Q_{\text{Тр}} = N_{\text{Тр}} \cdot I_{\text{хх}} + K_3^2 \cdot P_{\text{кз}}, \quad (5.3)$$

$$\Delta P_{\text{Тр}} = 1 \cdot 0,95 + 0,9^2 \cdot 5,5 = 5,41 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{Тр}} = N_{\text{Т}} \cdot I_{\text{хх}} + K_3^2 \cdot P_{\text{кз}} = 1 \cdot 2,1 + 0,9^2 \cdot 5,5 = 6,56 \text{ кВар}$$

где $N_{\text{Т}}$ – количество трансформаторов

$\Delta P_{\text{хх}}$ – потери активной мощности одного трансформатора, кВт;

$\Delta Q_{\text{т}}$ – потери реактивной мощности одного трансформатора, квар.

Рассчитываем нагрузку цеха с учетом потерь в трансформаторе по выражениям 5.4, 5.5:

$$P_{\text{рас}} = \Delta P_{\text{Тр}} + P_{\Sigma}, \quad (5.4)$$

$$Q_{\text{рас}} = \Delta Q_{\text{Тр}} + Q_{\Sigma}, \quad (5.5)$$

$$P_{\text{рас}} = 5,41 + 865,5 = 870 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{рас}} = 6,56 + 874,58 = 880 \text{ кВар},$$

Рассчитываем реактивную мощность в часы минимума нагрузки завода:

$$Q_{\text{мин}} = Q_p \cdot 0,5 = 870 \cdot 0,5 = 435 \text{ кВар}$$

Произведём экономическое обоснования значения реактивной мощности в режиме максимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э1}}^1 = Q_p - 0,7Q_{\text{сд}} = 880 \text{ кВар},$$

$$Q_{\text{э1}}^{11} = P_p \cdot \alpha = 870 \cdot 0,28 = 243,6 \text{ кВар},$$

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

Так как напряжение в часы максимальных нагрузок понижено, то принимаем наименьшее значение:

$$Q_{\text{э1}} = 243,6 \text{ кВар}$$

Произведем экономическое обоснование реактивной мощности в режимы наименьших нагрузок по выражению 5.6:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{э}2}^1 &= Q_{\text{мин}} + Q_{\text{к}} = 435 \text{ кВар}, \\
 Q_{\text{э}2}^{11} &= Q_{\text{мин}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{мин}} - Q_{\text{р}} - Q_{\text{э}1}, \\
 Q_{\text{э}2}^{11} &= 435 - 880 - 243,6 = -201,4 \text{ кВар}
 \end{aligned}
 \tag{5.6}$$

где $Q_{\text{к}} = 0$ кВар

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

$$Q_{\text{э}2} = 435 \text{ кВар}$$

Рассчитываем мощности компенсирующего устройства по выражению:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{КУмакс}} &= 1,1Q_{\text{р}} - Q_{\text{э}1} = 1,1 \cdot 880 - 243,6 = 724,4 \text{ кВар}, \\
 Q_{\text{КУмин}} &= Q_{\text{мин}} - Q_{\text{э}2} = 435 - 435 = 0 \text{ кВар},
 \end{aligned}$$

Так, как реактивная мощность, которая передаётся из сети 10 кВ в сеть 0,4 кВ компенсироваться не должна, поэтому производим расчёт по выражению 5.7:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{эн}} &= Q_{\text{э}1} - (Q_{\text{р}} - Q_{\Sigma}), \\
 Q_{\text{эн}} &= 243,6 - (880 - 874,58) = 238 \text{ кВар}
 \end{aligned}
 \tag{5.7}$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть, 0,4 кВ рассчитываем по выражению 5.8:

$$Q_{\text{Тр}} = \sqrt{K_{\text{з}} \cdot N_{\text{Т}} \cdot S_{\text{Н}}^2 - P_{\Sigma}^2}, \tag{5.8}$$

$$Q_{Tp} = \sqrt{0,9 \cdot 1 \cdot 1000^2 - 865,5^2} = 246,7 \text{ кВар},$$

Рассчитываем мощность КУ установке на стороне 0,4 кВ:

$$Q_{кун} = Q_{\Sigma} - Q_T = 874,58 - 246,7 = 628 \text{ кВар},$$

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

Согласно [9] выбираем 2 КУ типа УКЗ-0,4-300 мощностью 300 кВар со ступенями регулирования по 50 кВар.

Рассчитаем мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ:

$$Q_{кув} = Q_{ку\text{макс}} - Q_{кун} = 724,4 - 628 = 96,4 \text{ кВар}$$

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

Производим расчет финансовых затрат на установку однострансформаторной КТП с КУ.

Затраты на установку КУ мощностью $2 \times 300/75 \text{ кВар}$ 344 т.руб.

Затраты на установку КТП с силовым трансформатором ТМ–1000/10/0,4 рассчитываем по выражениям 5.9, 5.10, 5.11, 5.12:

$$Z_{КТП} = E \cdot K_{ТП} + C \cdot \Delta P_{Tp}, \quad (5.9)$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot P_{кз}, \quad (5.10)$$

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot T_p, \quad (5.11)$$

$$C = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot \tau, \quad (5.12)$$

где E – суммарный коэффициент отчислений от капитала вложения в КТП,

$K_{\text{ТП}}$ – стоимость одного силового трансформатора 525 т.руб,

C – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь,

C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора;

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

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

T_p – время работы трансформатора в году принимаем 8760 часов,

T_m – время использования максимальной нагрузки предприятием в год принимаем 4500 часов,

τ – время максимальных потерь рассчитываем по выражению 5.13:

$$\tau = 0,124 + \frac{T_m^2}{1000} \cdot T_p, \quad (5.13)$$

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

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

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

$$C \cdot \Delta P_T = 148,92 \cdot 0,95 + 49,066 \cdot 5,5 \cdot 0,9^2 = 360,06 \text{ руб,}$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 525000 + 360,06 = 117435 \text{ руб}$$

Рассчитываем затраты на установку КТП с учетом КУ:

$$Z_{\text{общ1}} = 344000 + 117435 = 461435 \text{ руб.}$$

5.2 Расчёт варианта двухтрансформаторного КТП и УКРМ

Рассчитаем мощность трансформаторов согласно выражению 5.1 с коэффициентом загрузки трансформаторов 0,8:

$$S_{\text{ном.Тр}} = \frac{865,55}{0,8 \cdot 2} = 541 \text{ кВА},$$

Согласно [9] выбираем два трансформатора ТМ–630/10/0,4 с номинальными данными указанными в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Номинальные данные трансформатора ТМ-630/10/0,4

Тип	S _{ном} , кВА	Напряжение, кВ		Потери, кВт		U _{кз} , %	I _{хх} , %	Цена тыс. руб
		ВН	НН	P _{хх}	P _{кз}			
ТМ-630	630	10	0,4	0,51	2,65	4,5	2,4	307

Производим расчеты потерь в трансформаторе активной и реактивной мощности согласно выражениям 5.2 – 5.8:

$$\Delta P_{\text{Тр}} = 2 \cdot 0,51 + 0,8^2 \cdot 2,65 = 4,41 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{Тр}} = 2 \cdot 2,4 + 0,8^2 \cdot 2,65 = 8,19 \text{ кВар}$$

Рассчитываем нагрузку завода с учетом потерь в трансформаторах согласно выражениям 5.4, 5.5:

$$P_{\text{рас}} = 4,41 + 865,5 = 870 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{рас}} = 8,19 + 874,58 = 882 \text{ кВар}$$

Рассчитываем реактивную мощность в часы минимума нагрузки завода:

$$Q_{\text{мин}} = 882 \cdot 0,5 = 441 \text{ кВар},$$

$$Q_{\text{э1}}^1 = Q_p - 0,7Q_{\text{сд}} = 870 \text{ кВар},$$

$$Q_{\text{э1}}^{11} = P_p \cdot \alpha = 441 \cdot 0,28 = 123,5 \text{ кВар},$$

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

$$Q_{\varepsilon 1} = 123,5 \text{ кВар},$$

Произведем экономическое обоснование реактивной мощности в режимы наименьших нагрузок:

$$Q_{\varepsilon 2}^1 = Q_{\text{мин}} + Q_{\text{к}} = 441 \text{ кВар},$$

$$Q_{\varepsilon 2}^{11} = Q_{\text{мин}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{мин}} - Q_{\text{р}} - Q_{\varepsilon 1} = 441 - 874,58 - 123,5 =$$

$$= -310 \text{ кВар}$$

где $Q_{\text{к}} = 0 \text{ кВар}$

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

$$Q_{\varepsilon 2} = 441 \text{ кВар},$$

Рассчитываем суммарную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{КУмакс}} = 1,1 \cdot 882 - 123,5 = 838,5 \text{ кВар},$$

$$Q_{\text{КУмин}} = 441 - 441 = 0 \text{ кВар},$$

Реактивную мощность, которая передаётся из сети 10 кВ в сеть, 0,4 кВ компенсироваться не должна:

$$Q_{\varepsilon \text{н}} = 123,5 - 882 - 874,58 = 116 \text{ кВар},$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть, напряжение до 1 кВ:

$$Q_{\text{Т}} = \sqrt{0,8 \cdot 2 \cdot 630^2 - 865,5^2} = 517 \text{ кВар},$$

Рассчитываем мощность КУ на стороне до 0,4 кВ с двумя силовыми трансформаторами:

$$Q_{\text{кун}} = 874,58 - 517 = 357 \text{ кВар}$$

Согласно [9] выбираем 2 КУ типа УКЛ-0,4-200 мощностью 200 кВар и ступенью регулирования 50 кВар.

Рассчитываем мощность КУ, на необходимость на стороне 10 кВ:

$$Q_{\text{кув}} = Q_{\text{КУмакс}} - Q_{\text{кун}} = 838,5 - 357 = 481,5 \text{ кВар}$$

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

Производим расчет финансовых затрат на установку двухтрансформаторной КТП с КУ по выражениям 5.9 – 5.13 и таблицей 5.2.

Затраты на установку КУ мощностью 2×200 кВар 206 т. руб.

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

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

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

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

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 307000 + 159,17 \cdot 2 = 68779 \text{ руб}$$

Рассчитываем суммарные затраты на установку двухтрансформаторной КТП с КУ:

$$Z_{\text{общ2}} = 206000 + 68779 = 274779 \text{ руб}$$

Сравниваем суммарные затраты на установку КТП для 1 и 2 вариантов:

$$(Z_{\text{общ1}} = 461435 \text{ руб}) > (Z_{\text{общ2}} = 274779 \text{ руб})$$

В результате произведенных расчетов видно, что с экономической точки зрения, а также надежности электроснабжения данного машиностроительного завода наиболее рациональным решением будет применение двухтрансформаторной подстанции с трансформаторами типа ТМ–630/10/0,4 с двумя компенсирующими устройствами типа УКЛ-0,4-200 мощностью 200 кВар.

6 Выбор и обоснование схемы электроснабжения завода

6.1 Основные требования к сети электроснабжения

Системой электроснабжения завода (СЭС) называется совокупность электрооборудования, предназначенного для обеспечения потребителей электроэнергией. Для рационального выполнения современной система электроснабжения цехов и промышленного оборудования необходимо выполнить следующие требования:

- обеспечить надежность электроснабжения;
- поддерживать качество электроэнергии, соответствующим требованиям ГОСТ Р54149-2010;
- экономичность схемы;
- создать условия для возможности частых перестроек технологии производства и развития завода в целом;
- не создавать вредного влияния на окружающую среду;
- обеспечить безопасность работ персонала.

На предприятии преобладают электроприёмники II и III категории.

Для ЭП II категории перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недовыпуску продукции, массовым простоям рабочих, для них допустимы перерывы электроснабжения на время включения резервного источника питания действиями дежурного персонала. Питание осуществляется от двух независимых взаимно резервируемых источников питания.

Так, как ТП выполнена двухтрансформаторного исполнения мощность нагрузок завода, подключаемой к каждой секции РУ будем распределять с наиболее равномерным распределением загруженности трансформаторов.

Электрические осветительные установки представляют собой однофазную нагрузку, но при правильном распределении осветительных приборов можно достичь достаточно равномерную нагрузку по фазам с неравномерностью не более 5 – 10 %. На производстве, где отключение

освещения угрожает безопасности людей, применяются специальные системы аварийного освещения или установки автоматического включения резервного питания.

Линии электропередач для питания как самой ПС, так и объектов электроснабжения для меньшего загромождения территории и технологических проездов выполняем кабельными линиями проложенными в земле.

6.2 Выбор схемы электроснабжения ТП по стороне 10 кВ

Согласно выше изложенным требованиям, схема электроснабжения завода, по стороне 10 кВ от источника питания, выполнена по радиальной схеме кабельной линией проложенной в земле.

Также на источнике питания выполнена схема АВР-10 кВ, что в нашем случае удешевляет схему ТП-10/0,4 кВ по стороне 10 кВ.

6.3 Выбор схемы электроснабжения внутризаводской сети по стороне 0,4 кВ

Наиболее экономичной схемой электроснабжения потребителей электроэнергии по стороне 0,4 кВ являются магистральная схема. Данную схему применяют когда потребители небольшой мощности и их большое количество.

Также при выборе сечения токопроводящих жил линии электропередач по магистральной схеме электроснабжения, большое внимание уделяют термической стойкости токам короткого замыкания по сравнению с расчётным сечением по току нагрузки в нормальном режиме.

Радиальная схема электроснабжения наиболее надёжная так, как при возникновении повреждения в сети отключается только один потребитель электроэнергии, но данный вид схемы дороже так как требует большего количества коммутационных аппаратов.

В нашем случае объекты электроснабжения завода расположены в разных направлениях и согласно расчётным данным нагрузок потребуется большое сечение токопроводящей жилы кабельных линий, поэтому наиболее рационально использовать радиальную схему электроснабжения.

Сеть 0,4 кВ для питания наружного освещения проезжей части завода выбираем магистрального типа.

6.4 Выбор схемы электроснабжения внутрицеховой сети 0,4 кВ

Магистральная схема отличие от радиальной схемы, являются более гибкой при замене технологического оборудования или его добавления, нет необходимости выполнять демонтаж существующей сети. У современных комплектных магистральных шинопроводов надежность очень высока и не сильно уступает своему радиальному аналогу

Стоимость магистральной сети в среднем ниже стоимости радиальной за счет использования меньшего количества устанавливаемой коммутационной аппаратуры, а также меньшей стоимости монтажа питающих линий.

7 Расчёт кабельных линий

7.1 Выбор марки кабеля в сети 10 и 0,4 кВ.

Кабельные линии электропередач для электроснабжения завода по стороне 10 кВ и производственных цехов по стороне 0,4 кВ применяем хорошо зарекомендовавший себя современный кабель, с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Кабельную линию 10 кВ от ГПП до ТП-10/0,4 кВ рассмотрим на возможность применения трёхжильный алюминиевый кабель марки АПвБП.

Данный бронированный кабель с изоляцией из шитого полиэтилена между жилами и внешней оболочкой из ПВХ пластиката выполнен с оцинкованной стальной ленточной бронёй.

Внешний вид кабеля указан на рисунках 7.1, 7.2.



Рисунок 7.1 – Внешний вид кабеля АПвБП

Кабельные линии 0,4 кВ от ТП до цехового распределительного устройства рассмотрим на возможность применения пятижильный кабель с медными жилами марки ПвБбШв, выполненный также из ПВХ изоляции и бронёй из оцинкованной ленты.

Выбранные для рассмотрения тип кабеля выполнен специально для прокладки в траншеях при высокой коррозионной активности грунтов.

Внешний вид кабеля указан на рисунке 7.2.



Рисунок 7.2 – Внешний вид кабеля ПвБбШв

7.2 Расчёт сечения жилы КЛ 10 кВ.

Для расчёта примем ток нагрузки завода в максимальном послеаварийном режиме, когда питание завода производится от одного фидера ГПП, пользуясь таблицей расчётных данных, указанных в таблице 3.1.

Максимально аварийный ток рассчитываем по выражению 7.1:

$$I_{\text{авар.}} = \frac{S_{\text{расч.}}}{\sqrt{3} \times (n - 1) \times U_{\text{ном}}}, \quad (7.1)$$

где n – количество кабельных линий;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электросети.

Длительно допустимый ток в линии рассчитываем по выражению 7.2:

$$I_{\text{доп.}} = \frac{I_{\text{авар.}}}{k_{\text{пер.}} \times k_{\text{сниж.}} \times k'}, \quad (7.2)$$

где $k_{\text{пер.}}$ – коэффициент перегрузки для кабеля с ПВХ изоляцией, продолжительностью до 6 часов равен 15%;

$k_{\text{сниж.}}$ – коэффициент снижения, согласно ПУЭ зависит от температуры земли (+15)°С, воздуха (+21)° , а также нормированной температуры жил кабеля в нашем случае равный (+80)°С – до 0,92;

k – коэффициент зависимости от количества проложенных КЛ в одной траншее, в нашем случае 2 кабеля с расстоянием между ними в свету 200 мм, согласно ПУЭ принимаем равный 0,92.

$$I_{\text{авар.}} = \frac{1249}{\sqrt{3} \times (2 - 1) \times 10} = 72 \text{ А,}$$

$$I_{\text{доп.}} = \frac{72}{1,15 \times 0,92 \times 0,92} = 74 \text{ А,}$$

По справочным данным ПУЭ для прокладки в земле выбираем трёхжильный кабель марки АПвБП 3×16 мм², данные кабеля указаны в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Номинальных данные кабеля АПвБП 3×16 мм²

Марка кабеля	АПвБП 3×16	
$U_{\text{ном}}$	кВ	10
$U_{\text{макс}}$	кВ	15
$I_{\text{ном}}$ в земле	А	90
Строительная длина	метр	400
r_0 кабеля	Ом/км	0,258
x_0 кабеля	Ом/км	1,94

7.3 Расчёт сечения жилы КЛ 0,4 кВ.

Расчёт токовой нагрузки линии 0,4 кВ от ТП до РУ-0,4 производственных помещений производим аналогично КЛ-10 кВ по выражению 7.1, 7.2 и таблицы 3.1 и полученные данные заносим в таблицу 7.2:

Таблица 7.2 – Токовая нагрузка для КЛ – 0,4 кВ

Наименование объекта	$S_{расч}$ кВА	$I_{расч}$ А	S жилы мм ²
1	2	3	4
Механический цех	434,5	645,1	2×5×95
Заготовительный цех	192,9	286,4	5×70
Сборочный цех	183,6	272,6	5×70
Вспомогательное производство	130	193,0	5×35
Конструкторский корпус	105,38	156,5	5×35
Склад материалов	103,5	153,7	5×35
Склад готовой продукции	99,25	147,3	5×35
Освещение территории	3,6	5,3	5×4

По расчётным значениям токовых нагрузок выбираем кабель с сечением жилы согласно требованиям ПУЭ [1]. Технические характеристики выбранного кабеля указываем в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Номинальных данные пятижильного медного кабеля ПвБбШв

Параметр	Ед. измерения	ПвБбШв			
		4	35	70	95
S	мм ²	4	35	70	95
$U_{ном}$	кВ	1	1	1	1
$U_{макс}$	кВ	1,2	1,2	1,2	1,2
$I_{ном}$ в земле	А	49	180	275	330
Строительная длина	метр	450	300	200	200
R_0 кабеля	Ом/км	4,5	0,51	0,26	0,19
X_0 кабеля	Ом/км	0,1	0,06	0,06	0,06

7.4 Проверка выбранного сечение жил кабельных линий по потере напряжения

В точке передачи электроэнергии, согласно ПУЭ уровень напряжения должен составлять $\pm 10\%$ от номинального напряжения [1]. Согласно данным требованиям, допустимые потери напряжения от шин 0,4 кВ ТП до самого удаленного потребителя 6 %, для кабельных линий 10 кВ при в нормальном режиме работы 4 %, а в аварийном режиме 10 %.

Выполняя данные требования расчёты выполняем по выражениям 7.3, 7.4, 7.5:

для сети 10 кВ

$$\Delta U_{\text{доп } 10 \text{ кВ}} = \frac{\Delta U_{\text{доп } 10 \%}}{100} \times U_{\text{ном}}, \quad (7.3)$$

$$\Delta U_{\text{авар } 10 \text{ кВ}} = \frac{\Delta U_{\text{доп } 10 \%}}{100} \times U_{\text{ном}}, \quad (7.4)$$

$$\Delta U_{\text{доп } 10 \text{ кВ}} = \frac{4}{100} \times 10 = 0,4 \text{ кВ},$$

$$\Delta U_{\text{авар } 10 \text{ кВ}} = \frac{10}{100} \times 10 = 1 \text{ кВ},$$

для сети 0,4 кВ

$$\Delta U_{\text{доп } 0,4 \text{ кВ}} = \frac{\Delta U_{\text{доп } 0,4 \%}}{100} \times U_{\text{ном}}, \quad (7.5)$$

$$\Delta U_{\text{доп } 0,4 \text{ кВ}} = \frac{6}{100} \times 0,4 = 0,022 \text{ кВ},$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимое падение напряжения в нормальном режиме работы электроснабжения;

$\Delta U_{\text{авар}}$ – допустимое падение напряжения в аварийном режиме работы.

Потерю напряжения в КЛ 10 кВ и 0,4 кВ рассчитываем по выражениям 7.6, 7.7, 7.8:

$$\Delta U = \frac{r_0}{U} \times M_a + \frac{x_0}{U} \times M_p, \quad (7.6)$$

где r_0 – активное сопротивление КЛ Ом/км;

x_0 – индуктивное сопротивление КЛ Ом/км;

M_a – суммарный момент активной мощности на участке КЛ, кВт/км;

M_p – суммарный момент реактивной мощности на участке КЛ, кВар/км;

$$M_a = \sum_{i=1}^n P_i \times l_i, \quad (7.7)$$

$$M_p = \sum_{i=1}^n Q_i \times l_i, \quad (7.8)$$

где P_i – активная мощность расчетного участка, кВт;

Q_i – реактивная мощность расчетного участка, кВар;

l_i – длина расчетного участка, км;

n – число участков.

Рассчитываем падение напряжения в КЛ 10 кВ:

$$M_a = 865,5 \times 1,2 = 1038 \frac{\text{кВт}}{\text{км}},$$

$$M_p = 874,58 \times 1,2 = 1049 \frac{\text{кВар}}{\text{км}},$$

$$\Delta U = \frac{0,258}{10} \times 1038 + \frac{1,94}{10} \times 1049 = 230,4 \text{ В},$$

Остальные расчёты падения напряжения в 0,4кВ производим аналогичным методом, а полученные значения заносим в таблицу 7.4.

Таблица 7.4 – Расчётные данные падения напряжения в КЛ 0,4 кВ

КЛ 0,4 кВ	ΣP расч кВт	$\Sigma Q_{расч}$ кВАр	R_0	X_0	L км	M_a кВт/км	M_p кВАр/км	ΔU В
Механический цех	229,5	371,7	0,95	0,06	55	0,055	12,6	20,4
Заготовительный цех	154,3	115,7	0,26	0,06	80	0,08	12,3	9,3
Сборочный цех	137,7	118,4	0,26	0,06	95	0,095	13,1	11,2
Вспомогательное производство	97,5	83,9	0,51	0,06	30	0,03	2,9	2,5
Конструкторский корпус	84,3	63,225	0,51	0,06	35	0,035	3,0	2,2
Склад материалов	82,8	62,1	0,51	0,06	115	0,115	9,5	7,1
Склад готовой продукции	79,4	59,55	0,51	0,06	120	0,12	9,5	7,1

По произведённым расчётам уровень падения напряжения в сети 10/0,4 кВ всех режимах работы останется в пределах нормы [18] а выбранное сечение кабельных линий подходит по всем параметрам.

8 Выбор шинпровода 0,4 кВ для электроснабжения МЦ

8.1 Распределение нагрузки по секциям согласно выбранной схеме

Производим равномерное распределение нагрузки по секциям полученные значения заносим в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Предварительное распределение нагрузки по секциям

Секция 1	Нагрузка приведенная, кВт		Секция 2
	2	3	
1	20,3	78	4
ЩО	-	-	РП1
-	-	78	Вентиляция 4×19,5
ШРА1			ШРА2
Шлифовальные станки 88,5×5	442,5	135	Обдирочные станки типа РТ-341 45х3
Обдирочные станки типа РТ-341 45×2	90	210	Обдирочные станки типа РТ-250 35х6
Анодно-механические станки типа МЭ-12 10×9	90	147,2	Анодно-механические станки типа МЭ-31 18,4х8
Кран мостовой 2×15	30	–	
ИТОГО	668,84	570,20	ИТОГО

Согласно предварительно выбранному перераспределению нагрузок производим расчет мощности и тока аналогично производится аналогично расчету, представленному в пункте 2.1, а все полученные значения заносим в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – Сводная ведомость перераспределенных нагрузок

Наименование ЭП	Нагрузка установленная							Нагрузка ср. за смену				Нагрузка максимальная			
	P _н , кВт	n	P _н , кВт	K _и	cosφ	tgφ	M	P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар	n _э	K _{акс}	P _м , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА	I _р , А
РП1															
Вентилятор вытяжной	78	1	28	0,7	0,8	0,75									
ШРА1															
Шлифовальные станки	88,5	5	442,5	0,14	0,5	1,73									
Обдирочные станки РТ-341	45	2	90	0,14	0,5	1,73									
Анодно-механические станки МЭ-12	10	9	90	0,12	0,4	2,36									
Кран мостовой	30	1	30	0,25	0,5	1,73									
∑ ШРА1	173,5	17	652,5	0,14	0,45	1,8	>3	92,85	167,43	49	0,85	78,92	167,43	185,10	281,23
ШРА2															
Обдирочные станки РТ-341	45	3	135	0,14	0,5	1,73									
Обдирочные станки РТ-250	35	6	210	0,12	0,5	1,73									
Анодно-механические станки МЭ-31	18,4	8	147,2	0,12	0,4	2,36									
∑ ШРА2							≤3	61,76	117,97	63	0,65	40,15	117,97	124,62	189,33

8.2 Расчёт сечения шинпровода и КЛ 0,4 кВ согласно выбранной схеме

Для внутрицехового питания используем ШРА и всех электропотребителей выбираем кабель марки АВВГ. Сечение жил КЛ рассчитываем исходя из расчетных токов указанных в таблице 8.2.

Для кабельной линии от шин РУ-0,4 кВ к ШРА1 с расчетным током 281,23 А согласно [10] выбираем кабель АВВГ-5×150, для ШРА – шину алюминиевую АД31 Т 8×80×2000 (четырёхполюсный комплект шин с вертикальным расположением шин) с рабочим током 1320 А.

Кабель питания РП1:

Расчетный ток равен 107,55 А, значит принимаем сечение жил кабеля 3х35 мм².

Кабель питания ШРА2:

Расчетный ток равен 189,33 А, значит принимаем сечение жил кабеля 1х70 мм².

Кабель питания ЩО:

Расчетный равен 29,34 А, значит принимаем сечение жил кабеля 1х2,5 мм².

Выбор питающего кабеля подключенных электроприемников будет произведен для самого мощного потребителя (шлифовального станка).

Рассчитаем рабочий ток потребителя

$$I_{\text{рас}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi} = \frac{88,5}{1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,5} = 252,8 \text{ А}$$

Расчетный ток 252,8 А.

Выбираем сечение жил 3×120 мм².

9 Выбор типа и исполнения ТП-10/0.4 кВ

Для электроснабжения планируется использовать ПС-10/0,4 кВ комплектного типа российского производства. В качестве производителя будем рассматривать хорошо зарекомендовавшего себя на отечественном рынке – АО «Электронмаш», Также данное предприятия предлагает эффективные решения в области электроснабжения и автоматизации предприятий.

КТП планируется установить блочного исполнения, преимущество данного типа здания в том, что КТП на место установки доставляется блоком не требующий перед установкой подготовительных работ на площадке.

Вводные ячейки сторон 10 и 0,4 кВ согласно выбранной схеме выполняем с кабельными вводами, для удобства заводки кабеля в КТП, выполним установку блока выше уровня земли на 0,75 метров.

Вводные ячейки со стороны 10 кВ выполняем без сборных шин с одним коммутационным аппаратом, для создания видимого разрыва и заземления силового трансформатора во время ремонта, для этих целей используем выключатель нагрузки с блоком предохранителей для защиты трансформатора от перегрузки и токов КЗ.

Распределительное устройство стороны 0,4 кВ (РУ-0,4) выполняем щитами с двусторонним обслуживанием, состоящим из вводной секции, и секции отходящих кабельных линий, с щитом секционирования.

В них будет встроено:

1. устройства управление вводными автоматическими выключателями с встроенной микропроцессорной защитой от перегрузки и внешних коротких замыканий схема АВР;

2. измерительные приборы и средства учёта электроэнергии;

В РУНН будут устанавливаться автоматические выключатели отходящих линий выдвижного исполнения для создания видимого разрыва, фирмы «ABB».

10 Расчет токов короткого замыкания

10.1 Составление схемы замещения

При выборе оборудования для электроснабжения цеха, учитываем возможность появления в электросети повреждений, которые приводят к коротким замыканиям (КЗ), сопровождающихся характерным скачком силы тока.

При расчёте токов КЗ, расчётное место КЗ выбираем, чтобы при КЗ расчётный участок электросети находился в наиболее тяжёлых условиях.

Для расчета токов КЗ составляем расчётную схему и схему замещения расчётной схемы, указанной на рисунке 10.1, 10.2.

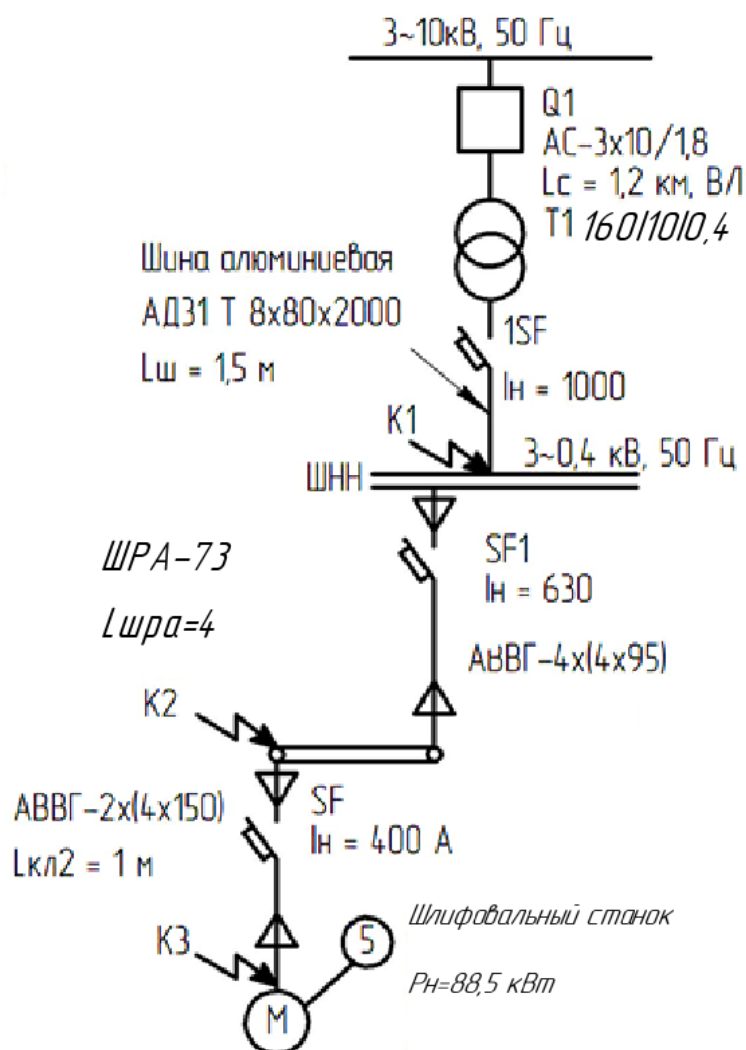


Рисунок 10.1 – Расчетная схема ЭСН

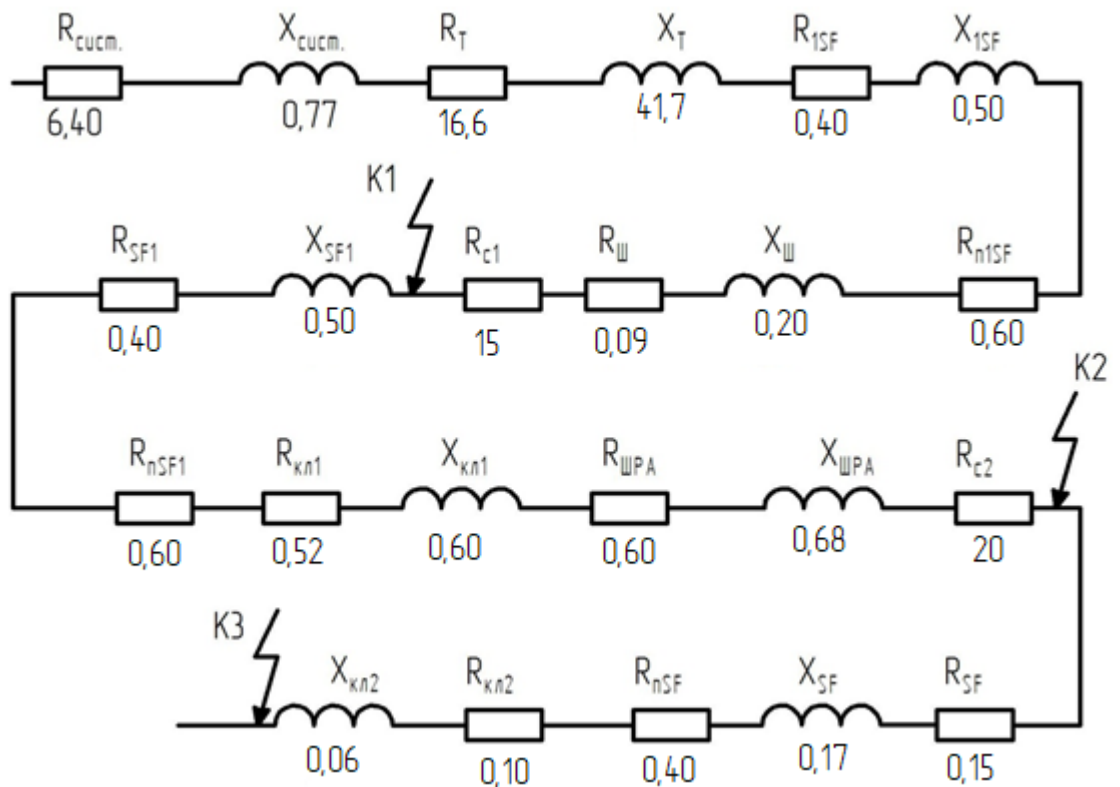


Рисунок 10.2 – Схема замещения расчетной схемы ЭСН

Токи КЗ рассчитываются в трех точках согласно схеме, изображенной на рисунке 10.1.

К1 - непосредственно в РУ 0,4 кВ;

К2 - на вводных контактах шинпровода;

К3 - для самого самого близкого к РУ-0,4 ЭП.

Наиболее мощным и близкорасположенным к РУ-0,4 электроприемником для данного МЦ является шлифовальный станок, подключенный к ШРА1. Расчётную точку повреждения примем вблизи данного станка.

Рассчитываем сопротивление выбранного оборудования.

Сопротивление системы рассчитываем по выражению 10.1:

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$$

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

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

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

Длины КЛ, ШРА:

$$L_{\text{ВН}} = 1,2 \text{ км}$$

$$L_{\text{ш}} = 1,5 \text{ м}$$

$$L_{\text{КЛ1}} = 10 \text{ м}$$

$$L_{\text{ШРА}} = 4 \text{ м}$$

$$L_{\text{КЛ2}} = 1 \text{ м}$$

Приводим сопротивления системы НН по выражениям 10.2, 10.3:

$$R_c = R'_c \cdot \frac{V_{\text{НН}}^2}{V_{\text{ВН}}^2}, \quad (10.2)$$

$$X_c = X'_c \cdot \frac{V_{\text{НН}}^2}{V_{\text{ВН}}^2}, \quad (10.3)$$

$$R_c = 4000 \cdot \frac{0,4^2}{10} \cdot 10^3 = 6,40 \text{ мОм},$$

$$X_c = 480 \cdot \frac{0,4^2}{10} \cdot 10^3 = 0,77 \text{ мОм}$$

Рассчитываем сопротивление силового трансформатора ТМ–630/10/0,4 на основании таблицы 5.2:

Для силовых трансформаторов:

$$R_{\text{Тр.}} = 16,6 \text{ мОм}, X_{\text{Тр.}} = 41,7 \text{ мОм}, Z_{\text{Тр.}} = 45 \text{ мОм}, Z_{\text{Тр.}}^{(1)} = 486 \text{ мОм}.$$

Для автоматических выключателей по [10]:

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

$$\text{SF1} \quad R_{\text{SF1}} = 0,40 \text{ мОм}; X_{\text{SF1}} = 0,50 \text{ мОм}; R_{\text{нSF1}} = 0,60 \text{ мОм}$$

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

Для шин алюминиевых:

$$r_0 = 0,055 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}; x_0 = 0,126 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}$$

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

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

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

Для кабельных линий 0,4 кВ [10]

КЛ1:

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

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]:

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

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

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

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

Для ступеней распределения по [10]:

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

Вычисляем эквивалентные сопротивления между точками КЗ и нанесем их на упрощённую схему показанной на рисунке 10.3

$$R_{\text{э}1} = R_{\text{сист}} + R_T + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{\text{Ш}} + R_{c1}$$

$$R_{\text{э}1} = 6,40 + 16,60 + 0,40 + 0,60 + 0,09 + 15 = 39,09 \text{ мОм}$$

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

$$R_{\text{э}2} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{\text{КЛ}1} + R_{\text{ШПА}} + R_{c2}$$

$$R_{\text{э}2} = 0,40 + 0,60 + 0,52 + 0,60 + 20 = 22,12 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{э}2} = X_{SF1} + X_{\text{КЛ}1} + X_{\text{ШПА}} = 0,50 + 0,60 + 0,68 = 1,78 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{э}3} = R_{SF} + R_{nSF} + R_{\text{КЛ}2} = 0,15 + 0,60 + 0,10 = 0,85 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{э}3} = X_{SF} + X_{\text{КЛ}2} = 0,17 + 0,06 = 0,23 \text{ мОм}$$

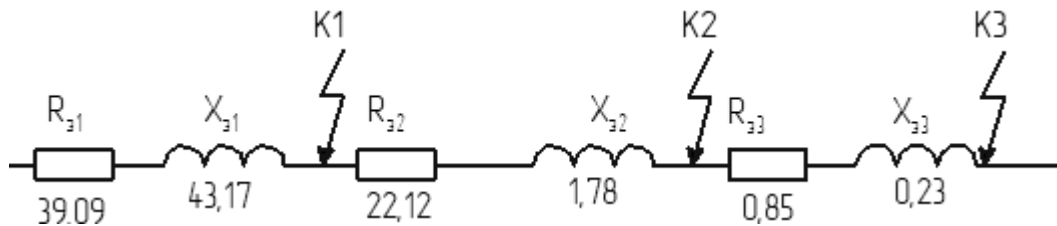


Рисунок 10.3 – Упрощенная схема замещения

Рассчитываем сопротивление до каждой точки КЗ и занесем их в сводную таблицу 10.1.

$$R_{K1} = R_{\text{э}1} = 39,09 \text{ мОм}$$

$$X_{K1} = X_{\text{э}1} = 43,17 \text{ мОм}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

10.2 Расчет токов короткого замыкания

Определим коэффициенты K_y и q по [10] по выражениям 10.3 – 10.6:

$$K_{y1} = F \cdot \frac{R_{K1}}{X_{K1}} = F \cdot 1,40 = 1, \quad (10.3)$$

$$K_{y2} = F \cdot \frac{R_{K2}}{X_{K2}} = F \cdot 2,06 = 1, \quad (10.4)$$

$$K_{y3} = F \cdot \frac{R_{K3}}{X_{K3}} = F \cdot 2,43 = 1, \quad (10.5)$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 K_{y1} - 1} = \sqrt{1 + 2 \cdot 1,0 - 1} = 1, \quad (10.6)$$

$$q_2 = q_3 = 1$$

Рассчитываем 3-х фазные и 2-х фазные токи КЗ и заносим в таблицу

10.1:

$$I_{K1}^3 = \frac{U_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 58,24} = 3,77 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^3 = \frac{U_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 75,94} = 2,89 \text{ кА},$$

$$I_{K3}^3 = \frac{U_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 76,76} = 2,86 \text{ кА},$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Составляем схему замещения для однофазных КЗ

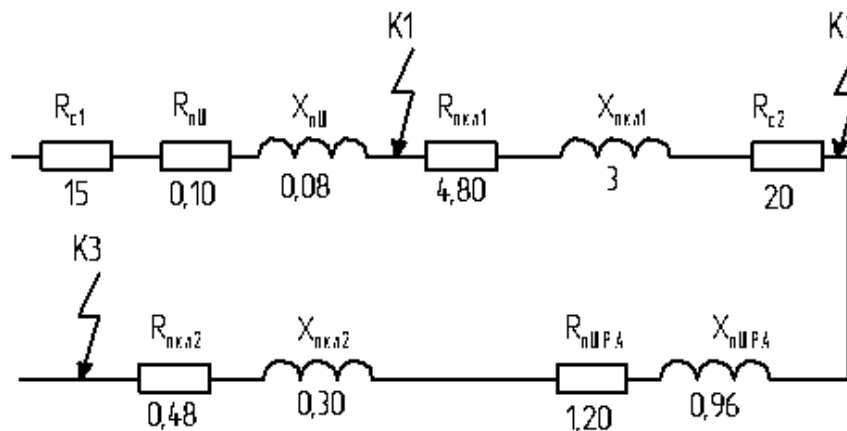


Рисунок 10.3 – Схема замещения для расчета однофазных токов КЗ

Для КЛ:

$$X_{пкЛ1} = x_{оп} \cdot L_{кЛ1} = 0,30 \cdot 10 = 3 \text{ мОм},$$

$$R_{пкЛ1} = 2r_0 \cdot L_{кЛ1} = 2 \cdot 0,24 \cdot 10 = 4,80 \text{ мОм},$$

$$X_{пкЛ2} = x_{оп} \cdot L_{кЛ2} = 0,30 \cdot 1 = 0,30 \text{ мОм},$$

$$R_{пкЛ2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{кЛ2} = 2 \cdot 0,24 \cdot 1 = 0,48 \text{ мОм},$$

Для алюминиевых шин:

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

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

Для ШРА:

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

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

$$Z_{\text{п1}} = 15 \text{ мОм},$$

$$R_{\text{п2}} = R_{c1} + R_{\text{пкЛ1}} + R_{\text{пш}} + R_{\text{пшРА}} + R_{c2} = 15 + 4,80 + 0,10 + 1,20 + 20 = 41,1 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{п2}} = X_{\text{пкЛ1}} + X_{\text{пш}} + X_{\text{пшРА}} = 3 + 0,08 + 0,96 = 4,04 \text{ мОм},$$

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

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

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

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

$$I_{k1}^1 = \frac{V_{k\phi}}{\frac{Z_{\text{T}}^1}{3} + Z_{\text{п1}}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{486}{3} + 15} = 1,24 \text{ кА},$$

$$I_{k2}^1 = \frac{V_{k\phi}}{\frac{Z_{\text{T}}^1}{3} + Z_{\text{п2}}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{486}{3} + 41,30} = 1,09 \text{ кА},$$

$$I_{k3}^1 = \frac{V_{k\phi}}{\frac{Z_{\text{T}}^1}{3} + Z_{\text{п3}}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{486}{3} + 41,81} = 1,08 \text{ кА},$$

Все полученные расчётные значения занесены в таблицу 10.1.

Таблица 10.1 – Расчётных данных токов КЗ

Точка КЗ	$R_{\text{к}}$, мОм	$X_{\text{к}}$, мОм	$Z_{\text{к}}$, мОм	$R_{\text{к}}/X_{\text{к}}$	K_{y}	$I_{\text{к}}^{(3)}$, кА	i_{y} , кА	$I_{\infty}^{(3)}$, кА	$I_{\text{к}}^{(2)}$, кА	$Z_{\text{п}}$, мОм	$I_{\text{к}}^{(1)}$, кА
К1	39,09	43,17	58,24	0,91	1	3,77	5,32	3,77	3,28	15	1,24
К2	61,21	44,95	75,94	1,36	1	2,89	4,08	2,89	2,51	41,30	1,09
К3	62,06	45,18	76,76	1,37	1	2,86	4,03	2,86	2,49	41,81	1,08

11 Выбор коммутационного оборудования на напряжения 10 и 0,4 кВ

Выбор коммутационного оборудования производим по расчетным значениям номинальных токов, указанных в таблице 2.4,3.1, а также на устойчивость к токам КЗ указанных в таблице 10.1.

Для защиты и быстрого надёжного отключения, а также защиты от токов перегрузки и коротких замыканий по стороне 0,4 кВ применяем автоматические выключатели. Для защиты силовых трансформаторов от токов перегруза и токов КЗ применяем предохранители, а для отделения трансформатора от сети 10 кВ во время ремонтных работ применяем выключатели нагрузки.

11.1 Выбор плавкой вставки предохранителей 10 кВ

Плавкую вставку для предохранителя 10 кВ рассчитываем по выражению 11.1:

$$U_{\text{ном.пл.вст}} \geq U_{\text{ном.ЭС}}, \quad (11.1)$$
$$12 \text{ кВ} > 10 \text{ кВ},$$

Номинальный ток плавкой вставки для трансформаторов с номинальной мощностью 630 кВА рассчитываем по выражению 11.2:

$$I_{\text{ном.пл.вст.}} = \frac{S_{\text{ном.Тр}} \times 2}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}}}, \quad 11.2$$
$$I_{\text{ном.пл.вст.}} = \frac{630 \times 2}{\sqrt{3} \times 10} = 72 \text{ А},$$

Расчётные значения округляем до ближайшего большего стандартного значения 100 А.

Ток электродинамической стойкости патрона предохранителя проверяем на соответствие условия:

$$I_{\text{откл.пл.вст.}} \geq i_{\text{уд.ЭС 10кВ}},$$

$$20 \text{ кА} > 3,28 \text{ кА}.$$

11.2 Расчёт номинальных данных выключателей нагрузки 10 кВ

Рассчитываем номинальные данные выключателей нагрузки 10 кВ производим согласно данным указанным в таблице 11.1 и расчётным данным указанным в таблице 10.1.

Таблица 11.1 – Каталожные данные ВНА СЭЩ-П-М-10/630-20-3У2

$U_{\text{ном}}$, кВ	10
$I_{\text{ном}}$, А	630
$I_{\text{дин}}$, кА 3 сек	5
$I_{\text{период КЗ}}$, кА	20
t - окружающего воздуха, С	(+40), (-45)

Так как ВН не предусмотрены для отключения токов КЗ, поэтому на отключающую способность не проверяем.

Рассчитываем номинальные данные ВН по условиям 11.3, 11.4, 11.5:

$$U_{\text{ном.ВН}} \geq U_{\text{ном.ЭС}}, \quad (11.3)$$

$$i_{\text{макс.откл}} \geq I_{\text{макс.раб}}, \quad (11.4)$$

$$I_{\text{Тер.ст.}}^2 \times t_{\text{Ткр.ст.}} \geq I_{\text{КЗ}}^2 \times t_{\text{КЗ}}, \quad (11.5)$$

где $t_{\text{КЗ}}$ – время действия тока трехфазного КЗ по стороне 10 кВ.

$$I_{\text{КЗ}}^2 \times t_{\text{КЗ}} = 3,28^2 \times 2 = 21,5 \text{ кА}^2,$$

$$I_{\text{Тер.ст.}}^2 \times t_{\text{Тер.ст.}} = 5^2 \times 3 = 75 \text{ кА}^2$$

Полученные расчётные значения выключателя нагрузки занесены в таблицу 11.2.

Таблица 11.2 – Расчётные значения выбора ВН

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} > U_{\text{ном.ЭС}}, \text{кВ}$	10	12
$I_{\text{ном}} > I_{\text{макс.раб}}, \text{А}$	37	630
$I_{\text{Тер.ст}}^2 \times t_{\text{Тер.ст}} \geq I_{\text{КЗ}}^2 \times t_{\text{КЗ}}, \text{кА}^2\text{сек.}$	21,5	75
$I_{\text{дин.ст}} > i_y, \text{кА}$	3,28	20

Выбранный ВНА СЭЩ-П-М-10/630-20 соответствует все требованиям.

11.3 Расчёт номинальных данных АВ на стороне 0,4 кВ

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по номинальному току трансформатора

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 909 \text{ А}$$

Согласно полученным расчётам по [9] выбираем ВА 57– 35

$$I_{\text{н.р}} = 1250 \text{ А}$$

$$I_{\text{н.а}} = 1250 \text{ А}$$

$$U_{\text{н.а}} = 380 \text{ В}$$

$$I_{\text{откл}} = 30 \text{ кА}$$

$$I_{y(\text{к})} = 1,25 I_{\text{н.р}}$$

$$I_{y(\text{кз})} = 7 I_{\text{н.р}}$$

Автоматические выключатели питающие ШРА выбираем аналогичным методом.

Выбираем автоматические выключатели для защиты отдельного потребителя, подключенного к ШРА1 расчёт производим на примере самого мощного потребителя – шлифовального станка.

Рассчитываем рабочий ток шлифовального станка:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{88,5}{1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,5} = 269,24 \text{ A}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 52 – 37.

$$I_{н.р} = 400 \text{ A}$$

$$I_{н.а} = 400 \text{ A}$$

$$U_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{откл} = 30 \text{ кА}$$

$$I_{у(к)} = 1,5I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7I_{н.р}$$

Технические данные всех выбранных выключателей по стороне 0,4 кВ занесены в таблицу 11.3.

Таблица 11.3 – 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 52– 35	250	250	380	30	$1,25I_{н.р}$	$7I_{н.р}$
ВА 51– 33	55	160	380	12,5	$1,25I_{н.р}$	$10I_{н.р}$
ВА 52 – 37	400	400	380	30	$1,5I_{н.р}$	$7I_{н.р}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе выполнена реконструкция системы электроснабжения завода сельскохозяйственного машиностроения.

Согласно данным по произведённым расчётам как цеховой, так и заводской потребляемой электроэнергии, а также на основании расчётов экономической выгоды установки двухтрансформаторной ПС, произведён перевод питания цехов с цеховых ПС-10/0,4 кВ на вновь смонтированную общезаводскую ПС-10/0,4 кВ мощностью 2×630 кВА.

Выбор мощности силовых трансформаторов производился с расчётом установки компенсирующих устройств реактивной мощности на стороне 0,4 кВ.

Произведены расчёты и выбрана оптимальная схема электроснабжения производственных цехов от РУ-0,4 кВ КТП, а также схема внутрицехового электроснабжения. Произведены расчёты токовых нагрузок в нормальном и аварийном режиме работы электроснабжения и выбраны коммутационные и защитные аппараты как оборудования КТП так и производственных цехов, отвечающие всем требованиям надёжности.

Данная реконструкция схемы электроснабжения завода привела к удешевлению схемы электроснабжения, уменьшению потерь электроэнергии, так и к уменьшению штата обслуживающего персонала, а за счёт того, что старые цеховые ТП подлежат демонтажу, увеличится полезная производственная площадь цеха.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование системы электроснабжения цеха предприятия: Методические указания для курсового проектирования. Тольятти: ТГУ, 2012. С.80.
2. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие/В.В. Вахнина. -Изд. 2-е, стер. Тольятти: ТГУ, 2014. 69 с.
3. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: Учебное пособие. М.: ФОРУМ, 2011. 105 с.
4. 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.
5. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2011. 69 с.
6. Деревянко А.Ю. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). СПб.: ДЕАН, 2015 г. 704 с.
7. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: Учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2012. 106 с.
8. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования (РД153–34. 0–20. 527–98) // Под ред. Б. Н. Неклепаева. М.: НЦ ЭНАС, 2013.
9. Анчарова, Т.В. М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: [Текст]. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2012. 416 с.
10. Синюкова Т.В. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практическим и курсовым работам [Текст] /

Липецкий государственный технический университет. Липецк: ЛГТУ, 2014. - 46 с.

11. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения: учебное пособие; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 180 с.

12. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. 2-е изд М. : ФОРУМ, 2011 136 с.

13. Секретарев Ю. А. Надежность электроснабжения: Учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, 2013. 104 с.

14. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проекта. М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2010 214 с.

15. Harlow James. Electric Power Transformer Engineering, 2004, p. 357

16. Keith H. Billings. Switchmode Power Supply Handbook/ Keith H. Billings second edition, Holon McGraw-Hill book company 2012 656 p.

17. Steinmetz C. P. Theory and Calculation of Transient Electric Phenomena and Oscillations: HardPress Publishing 2013, p. 740.

18. Каталог электрооборудования «Электрощит» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://electroshield.ru>

19. Электрические сети. Оборудование электроустановок [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://forca.ru>

20. Power System Protection Forum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forum.pearlabs.com/>