

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия по
ремонту механического оборудования

Обучающийся

Н.В. Осипов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.И. Платов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.филол.н., доцент, О.В. Мурдускина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

В выпускной квалификационной работе представлены результаты выполнения проекта по электроснабжению предприятия по ремонту механического оборудования. Выпускная работа содержит семь взаимосвязанных разделов, отражающих основные проектные решения.

Представлена краткая характеристика объекта – предприятия по ремонту механического оборудования. На основании результаты анализа объекта ВКР выполнен расчет электрических нагрузок на стороне 0,4 кВ и на стороне 6 кВ. Расчет на стороне 6 кВ выполнялся так как на предприятии присутствуют высоковольтные синхронные двигатели напряжением 6 кВ.

По результатам расчета выполнен выбор трансформаторов цеховых подстанций. Трансформаторы цеховых подстанций выбраны с учетом компенсации реактивной мощности в сети предприятия. Для реализации данной функции выбраны автоматические установки компенсации реактивной мощности для каждой цеховой трансформаторной подстанции. Определено место расположения главной понизительной подстанции предприятия исходя из результатов расчета центра электрических нагрузок, однако по результатам расчета получено, что ГПП должна быть размещена на территории одного из цехов, что не допустимо. Поэтому место размещения подстанции смещено в направлении прихода питания из энергосистемы. Выбраны трансформаторы главной понизительной подстанции и рациональное напряжение со стороны линии из энергосистемы.

Пояснительная записка выполнена на 76 листах, содержит 16 таблиц и 5 рисунков. Графическая часть выполнена на 6 листах А1.

Abstract

The graduation work presents the results of the project for the power supply of an enterprise for the repair of mechanical equipment. The graduation work contains seven interrelated sections reflecting the main design decisions.

A brief description of the object is presented - an enterprise for the repair of mechanical equipment. Based on the results of the analysis of the WRC object, the calculation of electrical loads on the 0.4 kV side and on the 6 kV side was performed. The calculation on the 6 kV side was performed because the enterprise has high-voltage synchronous motors with a voltage of 6 kV.

Based on the results of the calculation, the choice of transformers for workshop substations was made. Shop substation transformers are selected taking into account reactive power compensation in the enterprise network. To implement this function, automatic reactive power compensation settings were selected for each workshop transformer substation. The location of the main step-down substation of the enterprise was determined based on the results of calculating the center of electrical loads, however, according to the results of the calculation, it was found that the GPP should be located on the territory of one of the workshops, which is not permissible. Therefore, the location of the substation is displaced in the direction of the arrival of power from the power system. The transformers of the main step-down substation and the rational voltage from the side of the line from the power system were selected.

The explanatory note is made on 76 pages, contains 16 tables and 5 figures. The graphic part is made on 6 A1 sheets.

Содержание

Введение	5
1 Характеристика объекта	6
2 Электрические нагрузки предприятия	11
3 Трансформаторы цеховых подстанций предприятия.....	33
4 Размещение главной понизительной подстанции на предприятии	47
5 Трансформаторы главной понизительной подстанции предприятия.....	55
6 Токи короткого замыкания	60
7 Выбор оборудования РУ 6 кВ ГПП.....	63
Заключение	70
Список используемых источников.....	74

Введение

Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий различных отраслей народного хозяйства является актуальной задачей так как для развития экономики страны необходимо строить промышленные предприятия, а специалисты в области электроснабжения должны иметь опыт разработки подобных проектов, знать особенности проектирования систем электроснабжения предприятий и особенности выбора оборудования.

Объектом ВКР является предприятие по ремонту механического оборудования расположенное на Средней-Волге (Приволжский ФО).

Предметом ВКР является внутризаводская система электроснабжения предприятия по ремонту механического оборудования.

Целью ВКР является разработка основных разделов проекта внутреннего электроснабжения предприятия по ремонту механического оборудования.

Согласно поставленной в рамках выполнения ВКР цели в работе поставлены следующие задачи:

- Анализ предприятия по ремонту механического оборудования, определение категорий надежности электроснабжения каждого цеха и нагрузок предприятия;
- Расчет нагрузок предприятия и выбор цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности во внутризаводской системе электроснабжения;
- Выбор место расположения главной понизительной подстанции предприятия и выбор оборудования, в том числе и силовых трансформаторов.

При выполнении ВКР используются данные для учебного проектирования и данные оборудования представленные в открытых источниках.

1 Характеристика объекта

Объект ВКР – предприятие по ремонту механического оборудования расположено в регионе Средняя Волга (Приволжский ФО). Данный регион характеризуется умеренным климатом, поэтому в применении оборудования специального климатического исполнения нет необходимости.

Генеральный план предприятия представлен на рисунке 1. В состав предприятия по ремонту механического оборудования входят, согласно генерального плана (рисунок 1) 16 цехов. Перечень цехов, их описание и категории надежности электроснабжения представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика цехов предприятия

Краткое наименование цеха	Полное наименование цеха предприятия	Определяющая категория надежности электроснабжения	Наличие потребителей I категории надежности, если основная категория надежности отличается от I
1	2	3	4
Цех №1	Котельный цех	I	-
Цех №2	Вагоноремонтный цех	II	да (эвакуационное и аварийное освещение, противопожарное оборудование)
Цех №3	Первый механический цех	II	да (эвакуационное и аварийное освещение, противопожарное оборудование)
Цех №4	Ремонтно-механический цех	II	да (эвакуационное и аварийное освещение, противопожарное оборудование)
Цех №5	Испытательный цех	II	да (эвакуационное и аварийное освещение, противопожарное оборудование)
Цех №6	Строительный цех	II	да (эвакуационное и аварийное освещение, пожарная сигнализация)
Цех №7	Второй механический цех	II	да (эвакуационное и аварийное освещение, противопожарное оборудование)
Цех №8	Первый сортировочный цех	III	да (эвакуационное и аварийное освещение, пожарная сигнализация)
Цех №9	Второй сортировочный цех	III	да (эвакуационное и аварийное освещение, пожарная сигнализация)

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Цех №10	Цех обеспечения питания	III	да (эвакуационное и аварийное освещение, противопожарное оборудование)
Цех №11	Транспортный цех	III	да (эвакуационное и аварийное освещение, пожарная сигнализация)
Цех №12	Кислородный цех	I	-
Цех №13	Заводоуправление	II	да (эвакуационное и аварийное освещение, противопожарное оборудование)
Цех №14	Склад продукции	III	да (эвакуационное и аварийное освещение, пожарная сигнализация)
Цех №15	Насосный цех	I	-
Цех №16	Заводская лаборатория	II	да (эвакуационное и аварийное освещение, пожарная сигнализация)

Основной задачей предприятия, отражающей основную производственную цепочку – это осуществление полного цикла ремонта машин и агрегатов различного назначения. Так как в ремонт могут поступать машины и агрегаты не только серийного, но и специального назначения, то в составе предприятия предусмотрены цеха для изготовления различных деталей машин и агрегатов. На территории предприятия также расположены железнодорожные пути, относящиеся к транспортному цеху, наличие которых обеспечивает возможность доставки и отгрузки крупногабаритных машин и агрегатов, а также комплектующих производство которых в рамках технологического цикла предприятия невозможно.

Для выполнения выпускной квалификационной работы использованы данные типового предприятия по ремонту механического оборудования представленные в [4]. Исходные данные по нагрузкам цехов на стороне 0,4 кВ представлены в таблице 2, а данные по нагрузке на стороне 6 кВ (данные по высоковольтным электроприемникам) представлены в таблице 3.

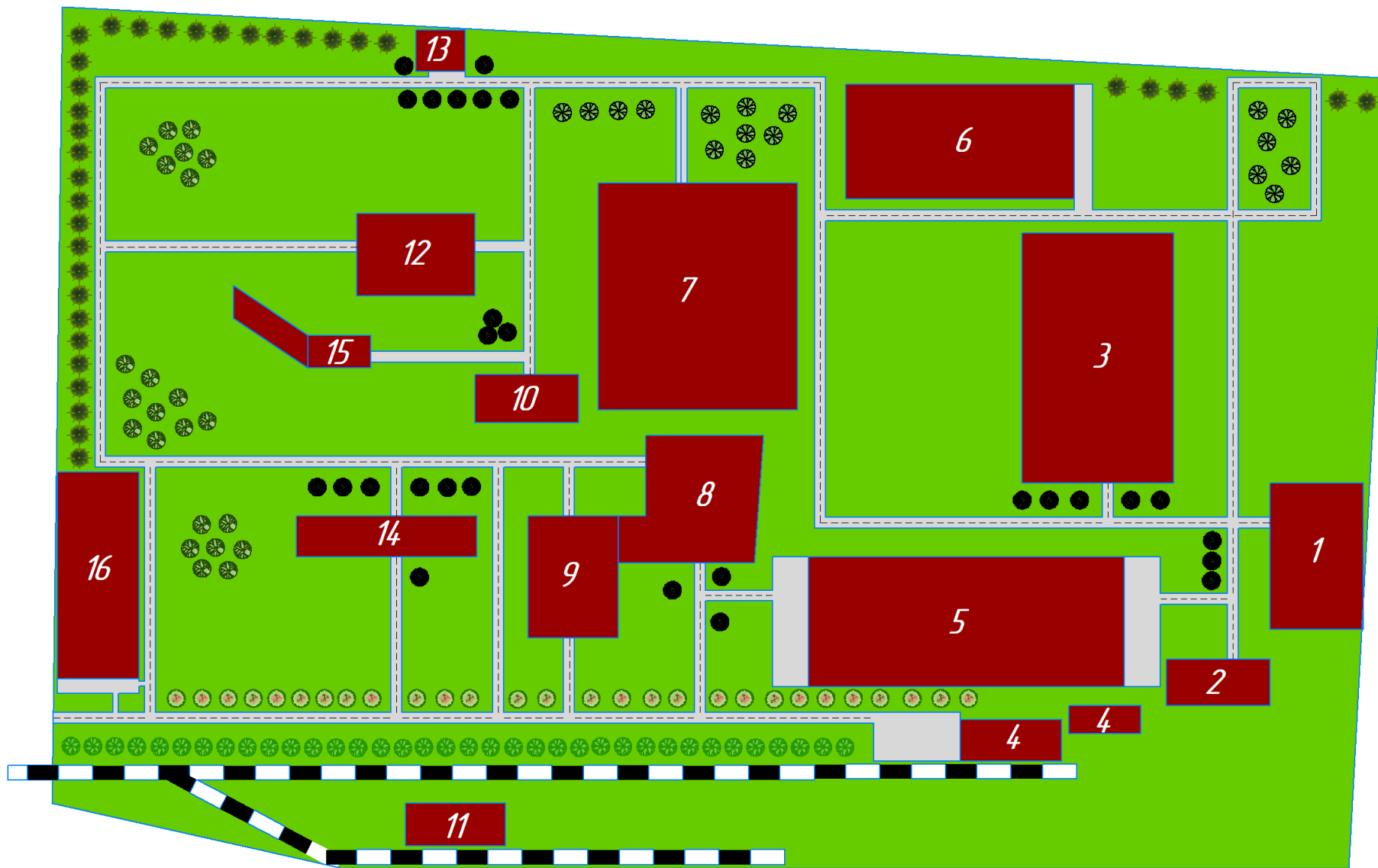


Рисунок 1 – Генеральный план предприятия

В таблицах 2 и 3 приняты следующие обозначения:

- Номинальная (установленная) мощность $P_{\text{НОМ}}$;
- Приведенное эффективное число электроприемников $n_{\text{Э}}$;

Таблица 2 - Данные по нагрузке цехов на стороне 0,4 кВ

Краткое наименование цеха	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{Э}}$, шт.
Цех №1	616	8
Цех №2	455	8
Цех №3	1794	23
Цех №4	413	21
Цех №5	699	28
Цех №6	213	19
Цех №7	1277	22
Цех №8	705	15
Цех №9	349	10
Цех №10	60	23
Цех №11	1437	27
Цех №12	240	8
Цех №13	160	16
Цех №14	491	12
Цех №15	234	1
Цех №16	270	17

Таблица 3 - Данные по нагрузке на стороне 6 кВ

Тип высоковольтного электроприемника	Цех размещения высоковольтного электроприемника	$P_{\text{уст}}$, кВт	$n_{\text{Э}}$, шт.
Синхронный электродвигатель	Цех №3 Первый механический цех	630	2
Синхронный электродвигатель	Цех №7 Второй механический цех	500	2
Синхронный электродвигатель	Цех №12 Кислородный цех	400	4

Выводы по разделу. Представлена краткая характеристика предприятия по ремонту механического оборудования. Определен регион размещения предприятия – Средняя Волга (Приволжский ФО). Согласно этим данным, применение на предприятии оборудования в системе электроснабжения, имеющего специализированные требования по климатическому исполнению, не требуется.

Составлен генеральный план предприятия по ремонту механического

оборудования, на котором отражено расположение каждого цеха предприятия, а также подъездные пути: железнодорожные и автомобильные. Для каждого цеха предприятия определены основные (определяющие) категории надежности электроснабжения, которые необходимы для определения схемы электроснабжения каждого цеха. Кроме того, для каждого цеха определены потребители относящиеся к I категории надежности электроснабжения, если таковые имеются в цехе.

Представлена краткая характеристика технологического процесса предприятия позволяющая определить перечень технологических операций выполняемых в каждом из цехов.

Для проектирования системы электроснабжения предприятия по ремонту механического оборудования определены номинальные (установленные) мощности каждого цеха предприятия на стороне 0,4 кВ и эффективное число электроприемников. Кроме того, на предприятии имеются высоковольтные электроприемники – это синхронные двигатели (СД), установленные в цехах №3, №7 и №12.

2 Электрические нагрузки предприятия

В разделе 1 ВКР таблица 2 и 3 представлены исходные данные для расчета нагрузок. Для выполнения расчета нагрузок дополним данные представленные в таблицах 2 и 3, которые сведем в таблицу 4 [18]. В таблице 4 приняты следующие обозначения:

- Коэффициент использования $K_{и}$;
- Коэффициент активной мощности $\cos \varphi$;
- Коэффициент реактивной мощности $\tan \varphi$;
- Коэффициент расчетной мощности K_p ;
- Коэффициент одновременности K_o .

Таблица 4 - Справочные данные для расчета нагрузок

Краткое наименование цеха	$P_{ном}$, кВт	$n_{э}$, шт.	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	K_p	K_o
для стороны 0,4 кВ							
Цех №1	616	8	0,6	0,75	0,88	0,92	-
Цех №2	455	8	0,4	0,8	0,75	0,94	-
Цех №3	1794	23	0,4	0,8	0,75	0,85	-
Цех №4	413	21	0,3	0,6	1,33	0,85	-
Цех №5	699	28	0,3	0,6	1,33	0,75	-
Цех №6	213	19	0,8	0,8	0,75	0,9	-
Цех №7	1277	22	0,3	0,6	1,33	0,85	-
Цех №8	705	15	0,6	0,7	1,02	0,9	-
Цех №9	349	10	0,6	0,7	1,02	0,9	-
Цех №10	60	23	0,5	0,7	1,02	0,85	-
Цех №11	1437	27	0,3	0,7	1,02	0,75	-
Цех №12	240	8	0,7	0,8	0,75	0,91	-
Цех №13	160	16	0,5	0,7	1,02	0,85	-
Цех №14	491	12	0,2	0,6	1,33	0,8	-
Цех №15	234	1	0,7	0,8	0,75	1,14	-
Цех №16	270	17	0,4	0,8	0,75	0,85	-
Итого по 0,4 кВ	8797	258	-	-	-	-	-
для стороны 6 кВ							
Цех №3	1260	2	0,4	0,8	0,75	-	0,95
Цех №7	1000	2	0,3	0,6	1,33	-	0,95
Цех №12	1600	4	0,7	0,8	0,75	-	1
Итого по 6 кВ	3860	8	-	-	-	-	-
Итого по 0,4 и 6 кВ	12657	266	-	-	-	-	-

Выполним расчет нагрузок, активной и реактивной мощностей для наиболее загруженной смены согласно методике представленной в [4], [12] и используя данные таблицы 4 по выражениям:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \quad (1)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi \quad (2)$$

где $K_{И}$ – справочное значение коэффициента использования, для каждого цеха определено в таблице 4;

$P_{НОМ}$ – номинальная (установленная) активная мощность каждого потребителя, значение определено для каждого цеха в таблице 4, кВт;

$\tan \varphi$ – справочный коэффициент реактивной мощности, для каждого цеха определен в таблице 4.

Используя выражения (1) и (2), а также данные таблицы 4 выполним расчет среднесменных нагрузок по каждому цеху.

По (1) и (2) для цеха №1 (Котельный цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,6 \cdot 616 = 369,6 \text{ (кВт)} \quad (3)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,6 \cdot 616 \cdot 0,88 = 325,6 \text{ (квар)} \quad (4)$$

По (1) и (2) для цеха №2 (Вагоноремонтный цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,4 \cdot 455 = 182 \text{ (кВт)} \quad (5)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,4 \cdot 455 \cdot 0,75 = 136,5 \text{ (квар)} \quad (6)$$

По (1) и (2) для цеха №3 (Первый механический цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,4 \cdot 1794 = 717,6 \text{ (кВт)} \quad (7)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,4 \cdot 1794 \cdot 0,75 = 538,2 \text{ (квар)} \quad (8)$$

По (1) и (2) для цеха №4 (Ремонтно-механический цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,3 \cdot 413 = 123,9 \text{ (кВт)} \quad (9)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,3 \cdot 413 \cdot 1,33 = 165,2 \text{ (квар)} \quad (10)$$

По (1) и (2) для цеха №5 (Испытательный цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,3 \cdot 699 = 209,7 \text{ (кВт)} \quad (11)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,3 \cdot 699 \cdot 1,33 = 279,6 \text{ (квар)} \quad (12)$$

По (1) и (2) для цеха №6 (Строительный цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,8 \cdot 213 = 209,7 \text{ (кВт)} \quad (13)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,8 \cdot 213 \cdot 0,75 = 127,8 \text{ (квар)} \quad (14)$$

По (1) и (2) для цеха №7 (Второй механический цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,3 \cdot 1277 = 383,1 \text{ (кВт)} \quad (15)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,3 \cdot 1277 \cdot 1,33 = 510,8 \text{ (квар)} \quad (16)$$

По (1) и (2) для цеха №8 (Первый сортировочный цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,6 \cdot 705 = 423 \text{ (кВт)} \quad (17)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,6 \cdot 705 \cdot 1,02 = 431,55 \text{ (квар)} \quad (18)$$

По (1) и (2) для цеха №9 (Второй сортировочный цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,6 \cdot 349 = 209,4 \text{ (кВт)} \quad (19)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,6 \cdot 349 \cdot 1,02 = 213,63 \text{ (квар)} \quad (20)$$

По (1) и (2) для цеха №10 (Цех обеспечения питания), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,5 \cdot 60 = 30 \text{ (кВт)} \quad (21)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,5 \cdot 60 \cdot 1,02 = 30,6 \text{ (квар)} \quad (22)$$

По (1) и (2) для цеха №11 (Транспортный цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,3 \cdot 1437 = 431,1 \text{ (кВт)} \quad (23)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,3 \cdot 1437 \cdot 1,02 = 439,81 \text{ (квар)} \quad (24)$$

По (1) и (2) для цеха №12 (Кислородный цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,7 \cdot 240 = 168 \text{ (кВт)} \quad (25)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,7 \cdot 240 \cdot 0,75 = 126 \text{ (квар)} \quad (26)$$

По (1) и (2) для цеха №13 (Заводоуправление), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,5 \cdot 160 = 80 \text{ (кВт)} \quad (27)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,5 \cdot 160 \cdot 1,02 = 81,6 \text{ (квар)} \quad (28)$$

По (1) и (2) для цеха №14 (Склад продукции), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,2 \cdot 491 = 98,2 \text{ (кВт)} \quad (29)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,2 \cdot 491 \cdot 1,33 = 130,93 \text{ (квар)} \quad (30)$$

По (1) и (2) для цеха №15 (Насосный цех), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,7 \cdot 234 = 163,8 \text{ (кВт)} \quad (31)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,7 \cdot 234 \cdot 0,75 = 122,85 \text{ (квар)} \quad (32)$$

По (1) и (2) для цеха №16 (Заводская лаборатория), используя данные таблицы 4 получим:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,4 \cdot 270 = 108 \text{ (кВт)} \quad (33)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{НОМ} \cdot \tan \varphi = 0,4 \cdot 270 \cdot 0,75 = 81 \text{ (квар)} \quad (34)$$

Далее определим значения расчетных электрических нагрузок: активной (P_p) и реактивной (Q_p) мощностей по данным, представленным в таблице 4 по выражениям [4], [5]:

– расчетная активная нагрузка определяется выражением:

$$P_p = K_p \cdot P_C \quad (35)$$

где K_p – расчетный коэффициент, значение определено для каждого цеха предприятия в таблице 4;

P_C – нагрузка цеха за наиболее загруженную смену, определено для каждого цеха по выражению (1), кВт.

- расчетная реактивная нагрузка определяется исходя из числа эффективных электроприемников ($n_{\text{Э}}$). При $n_{\text{Э}} \leq 10$ используется выражение (36), а при $n_{\text{Э}} > 10$ выражение (37):

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_C \quad (36)$$

$$Q_P = Q_C \quad (37)$$

где Q_C – реактивная нагрузка цеха, определенная по выражению, (2), квар.

Используя выражения (35), (36) и (37), а также данные полученные в выражениях (3) - (34) для каждого из цехов предприятия выполним подробный расчет расчетных нагрузок по каждому из цехов.

По (35), (36), а также данным полученным в (3) и (4), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №1 (Котельный цех) будет равна:

$$P_P = K_P \cdot P_C = 0,92 \cdot 369,6 = 340,03 \text{ (кВт)} \quad (38)$$

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_C = 1,1 \cdot 325,96 = 358,55 \text{ (квар)} \quad (39)$$

По (35), (36), а также данным полученным в (5) и (6), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №2 (Вагоноремонтный цех) будет равна:

$$P_P = K_P \cdot P_C = 0,94 \cdot 182 = 171,08 \text{ (кВт)} \quad (40)$$

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_C = 1,1 \cdot 136,5 = 150,15 \text{ (квар)} \quad (41)$$

По (35), (37), а также данным полученным в (7) и (8), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №3 (Первый механический цех) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 0,85 \cdot 717,6 = 609,96 \text{ (кВт)} \quad (42)$$

$$Q_p = Q_c = 538,2 \text{ (квар)} \quad (43)$$

По (35), (37), а также данным полученным в (9) и (10), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №4 (Ремонтно-механический цех) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 0,85 \cdot 123,9 = 105,32 \text{ (кВт)} \quad (44)$$

$$Q_p = Q_c = 165,2 \text{ (квар)} \quad (45)$$

По (35), (37), а также данным полученным в (11) и (12), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №5 (Испытательный цех) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 0,75 \cdot 209,7 = 157,28 \text{ (кВт)} \quad (46)$$

$$Q_p = Q_c = 279,6 \text{ (квар)} \quad (47)$$

По (35), (37), а также данным полученным в (13) и (14), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №6 (Строительный цех) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 0,9 \cdot 170,4 = 153,36 \text{ (кВт)} \quad (48)$$

$$Q_p = Q_c = 127,8 \text{ (квар)} \quad (49)$$

По (35), (37), а также данным полученным в (15) и (16), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №7 (Второй механический цех) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 0,85 \cdot 363,1 = 325,64 \text{ (кВт)} \quad (50)$$

$$Q_p = Q_c = 510,8 \text{ (квар)} \quad (51)$$

По (35), (37), а также данным полученным в (17) и (18), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №8 (Первый сортировочный цех) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 0,9 \cdot 423 = 380,7 \text{ (кВт)} \quad (52)$$

$$Q_p = Q_c = 431,55 \text{ (квар)} \quad (53)$$

По (35), (36), а также данным полученным в (19) и (20), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №9 (Второй сортировочный цех) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 0,9 \cdot 209,4 = 188,46 \text{ (кВт)} \quad (54)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c = 1,1 \cdot 213,63 = 235 \text{ (квар)} \quad (55)$$

По (35) и (37), а также данным полученным в (21) и (22), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №10 (Цех обеспечения питания) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ (кВт)} \quad (56)$$

$$Q_p = Q_c = 30,6 \text{ (квар)} \quad (57)$$

По (35) и (37), а также данным полученным в (23) и (24), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №11 (Транспортный цех) будет равна:

$$P_P = K_P \cdot P_C = 0,75 \cdot 431,1 = 323,33 \text{ (кВт)} \quad (58)$$

$$Q_P = Q_C = 439,81 \text{ (квар)} \quad (59)$$

По (35) и (36), а также данным полученным в (25) и (26), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №12 (Кислородный цех) будет равна:

$$P_P = K_P \cdot P_C = 0,91 \cdot 168 = 152,88 \text{ (кВт)} \quad (60)$$

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_C = 1,1 \cdot 126,6 = 138,6 \text{ (квар)} \quad (61)$$

По (35) и (37), а также данным полученным в (27) и (28), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №13 (Заводоуправление) будет равна:

$$P_P = K_P \cdot P_C = 0,85 \cdot 80 = 68 \text{ (кВт)} \quad (62)$$

$$Q_P = Q_C = 81,6 \text{ (квар)} \quad (63)$$

По (35) и (37), а также данным полученным в (29) и (30), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №14 (Склад продукции) будет равна:

$$P_P = K_P \cdot P_C = 0,8 \cdot 98,2 = 78,56 \text{ (кВт)} \quad (64)$$

$$Q_P = Q_C = 130,93 \text{ (квар)} \quad (65)$$

По (35) и (36), а также данным полученным в (31) и (32), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №15 (Насосный цех) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 1,14 \cdot 163,8 = 186,73 \text{ (кВт)} \quad (66)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c = 1,1 \cdot 122,85 = 135,14 \text{ (квар)} \quad (67)$$

По (35) и (37), а также данным полученным в (33) и (34), используя значения таблицы 4 расчетная активная и реактивная нагрузки цеха №16 (Заводская лаборатория) будет равна:

$$P_p = K_p \cdot P_c = 0,85 \cdot 108 = 91,8 \text{ (кВт)} \quad (68)$$

$$Q_p = Q_c = 81 \text{ (квар)} \quad (69)$$

Далее используя значения расчетной активной и реактивной мощностей, полученных для каждого цеха предприятия по выражениям (35) - (37), необходимо определить расчетное значение полной мощности для каждого цеха, для этого используем выражение:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (70)$$

где P_p^2 - расчетное значение активной мощности цеха, полученное по выражению (35), кВт;

Q_p^2 - расчетное значение реактивной мощности цеха, полученное в зависимости от эффективного числа электроприемников по выражению (36) или (37), квар.

По выражению (70) выполним подробный расчет значений расчетной полной мощности для каждого цеха предприятия.

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (38) и реактивной (39) мощностей для цеха №1 (Котельный цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{340,03^2 + 358,55^2} = 494,15 \text{ (кВА)} \quad (71)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (40) и реактивной (41) мощностей для цеха №2 (Вагоноремонтный цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{171,08^2 + 150,15^2} = 227,63 \text{ (кВА)} \quad (72)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (42) и реактивной (43) мощностей для цеха №3 (Первый механический цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{609,96^2 + 538,2^2} = 813,46 \text{ (кВА)} \quad (73)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (44) и реактивной (45) мощностей для цеха №4 (Ремонтно-механический цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{105,32^2 + 165,2^2} = 195,91 \text{ (кВА)} \quad (74)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (46) и реактивной (47) мощностей для цеха №5 (Испытательный цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{157,28^2 + 279,6^2} = 320,8 \text{ (кВА)} \quad (75)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (48) и реактивной (49) мощностей для цеха №6 (Строительный цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{153,36^2 + 127,8^2} = 199,63 \text{ (кВА)} \quad (76)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (50) и реактивной (51) мощностей для цеха №7 (Второй механический цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{325,64^2 + 510,8^2} = 605,77 \text{ (кВА)} \quad (77)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (52) и реактивной (53) мощностей для цеха №8 (Первый сортировочный цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{380,7^2 + 431,55^2} = 575,47 \text{ (кВА)} \quad (78)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (54) и реактивной (55) мощностей для цеха №9 (Второй сортировочный цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{188,46^2 + 235^2} = 301,23 \text{ (кВА)} \quad (79)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (56) и реактивной (57) мощностей для цеха №10 (Цех обеспечения питания) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{25,5^2 + 30,6^2} = 39,84 \text{ (кВА)} \quad (80)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (58) и реактивной (59) мощностей для цеха №11 (Транспортный цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{323,33^2 + 439,81^2} = 545,87 \text{ (кВА)} \quad (81)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (60) и реактивной (61) мощностей для цеха №12 (Кислородный цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{152,88^2 + 138,6^2} = 206,35 \text{ (кВА)} \quad (82)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (62) и реактивной (63) мощностей для цеха №13 (Заводоуправление) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{68^2 + 81,62^2} = 106,23 \text{ (кВА)} \quad (83)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (64) и реактивной (65) мощностей для цеха №14 (Склад продукции) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{78,56^2 + 130,93^2} = 152,69 \text{ (кВА)} \quad (84)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (66) и реактивной (67) мощностей для цеха №15 (Насосный цех) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{186,73^2 + 135,14^2} = 230,5 \text{ (кВА)} \quad (85)$$

По выражению (70), используя ранее полученные значения расчетной активной (68) и реактивной (69) мощностей для цеха №16 (Заводская лаборатория) получим:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{91,8^2 + 81^2} = 122,43 \text{ (кВА)} \quad (86)$$

Просуммировав значения значений активной и реактивной нагрузок по предприятию полученных в выражениях (3) - (34) получим, что суммарное значение максимальной активной нагрузки за смену составляет $\sum P_C = 3867,8$ (кВт), а реактивной $\sum Q_C = 3742,05$ (квар).

Просуммировав значения значений расчетных активной и реактивной нагрузок полученных по выражениям (38) - (69) получим, что суммарное значение расчетной активной нагрузки за смену составляет $\sum P_p = 3358,6$ (кВт), а реактивной $\sum Q_p = 3834,54$ (квар).

Определим коэффициент использования для всего предприятия используя выражение [18]:

$$K_{И} = \frac{\sum P_C}{\sum P_{НОМ}} = \frac{3867,8}{8797} = 0,439 \approx 0,44 \quad (87)$$

где $\sum P_C$ – суммарное значение активной мощности предприятия за наиболее загруженную смену, для предприятия по ремонту механического оборудования определено равным $\sum P_C = 3867,8$, кВт;

$\sum P_{\text{ном}}$ – суммарное значение всех номинальных (установленных) мощностей цехов предприятия, определено в таблице 4. Для предприятия $\sum P_{\text{ном}} = 8797$, кВт.

Определим коэффициент реактивной мощности для предприятия в целом по выражению [3]:

$$\tan \varphi = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C} = \frac{3742,05}{3867,8} = 0,97 \quad (88)$$

где $\sum Q_C$ – суммарное значение реактивной мощности предприятия за наиболее загруженную смену, для предприятия по ремонту механического оборудования определено равным $\sum Q_C = 3742,05$, квар;

$\sum P_C$ - суммарное значение активной мощности предприятия за наиболее загруженную смену, для предприятия по ремонту механического оборудования определено равным $\sum P_C = 3867,8$, кВт;

Полную мощность всех цехов предприятия определим по выражению:

$$\sum S_P = \sqrt{\sum P_P^2 + \sum Q_P^2} = \sqrt{3358,6^2 + 3834,54^2} = 5097,44 \text{ (кВА)} \quad (89)$$

где P_P - суммарное значение расчетной активной мощности всего предприятия, кВт;

Q_P – суммарное значение расчетной реактивной мощности всего предприятия, квар.

Так как на предприятии по ремонту механического оборудования имеются высоковольтные электроприемники – синхронные двигатели, то необходимо выполнить расчет нагрузки предприятия на стороне 6 кВ. Высоковольтные электроприемники расположены в трех цехах предприятия: цех №3 (Первый механический цех), цех №7 (Второй механический цех) и цех №12 (Кислородный цех).

Так как в каждом цехе предприятия расположено несколько высоковольтных электроприемников, то необходимо определить суммарную номинальную (установленную) мощность высоковольтных электроприемников каждого цеха по выражению [4], [5]:

$$\sum P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot n \quad (90)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная (установленная) мощность одного высоковольтного электроприемника, согласно данным таблицы 4, кВт;

n - число высоковольтных электроприемников данной мощности, согласно данным таблицы 4, шт.

Используя выражение (90) и данные таблицы 4 для цеха №3 (Первый механический цех) суммарная номинальная (установленная) мощность высоковольтных электроприемников составит:

$$\sum P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot n = 630 \cdot 2 = 1260 \text{ (кВт)} \quad (91)$$

Используя выражение (90) и данные таблицы 4 для цеха №7 (Второй механический цех) суммарная номинальная (установленная) мощность высоковольтных электроприемников составит:

$$\sum P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot n = 500 \cdot 2 = 1000 \text{ (кВт)} \quad (92)$$

Используя выражение (90) и данные таблицы 4 для цеха №12 (Кислородный цех) суммарная номинальная (установленная) мощность высоковольтных электроприемников составит:

$$\Sigma P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot n = 400 \cdot 4 = 1600 \text{ (кВт)} \quad (93)$$

Далее, для высоковольтных электроприемников предприятия необходимо определить среднесменную активную и реактивную нагрузки по выражениям, которые использовались при расчете среднесменной нагрузки на стороне 0,4 кВ. Это выражение (1) для расчета среднесменной активной нагрузки и выражение (2) для расчета среднесменной реактивной нагрузки.

Используя выражения (1) и (2), а также значения полученные в (91) и данные таблицы 4 для цеха №3 (Первый механический цех) получим:

$$P_{\text{С}} = K_{\text{И}} \cdot \Sigma P_{\text{НОМ}} = 0,4 \cdot 1260 = 504 \text{ (кВт)} \quad (94)$$

$$Q_{\text{С}} = K_{\text{И}} \cdot \Sigma P_{\text{НОМ}} \cdot \tan \varphi = 0,4 \cdot 1260 \cdot 0,75 = 378 \text{ (квар)} \quad (95)$$

Используя выражения (1) и (2), а также значения полученные в (92) и данные таблицы 4 для цеха №7 (Второй механический цех) получим:

$$P_{\text{С}} = K_{\text{И}} \cdot \Sigma P_{\text{НОМ}} = 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ (кВт)} \quad (96)$$

$$Q_{\text{С}} = K_{\text{И}} \cdot \Sigma P_{\text{НОМ}} \cdot \tan \varphi = 0,3 \cdot 1000 \cdot 1,33 = 400 \text{ (квар)} \quad (97)$$

Используя выражения (1) и (2), а также значения полученные в (93) и данные таблицы 4 для цеха №12 (Кислородный цех) получим:

$$P_{\text{С}} = K_{\text{И}} \cdot \Sigma P_{\text{НОМ}} = 0,7 \cdot 1600 = 1120 \text{ (кВт)} \quad (98)$$

$$Q_{\text{С}} = K_{\text{И}} \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot \tan \varphi = 0,7 \cdot 1600 \cdot 0,75 = 840 \text{ (квар)} \quad (99)$$

Просуммировав значения номинальных (установленных) мощностей всех высоковольтных электроприемников в каждом цехе предприятия полученные в выражениях (91), (92) и (93) получим суммарную номинальную (установленную) мощность всех высоковольтных электроприемников предприятия $\sum P_{\text{ном}} = 3860$ (кВт).

Просуммировав значения среднесменных активных мощностей всех высоковольтных электроприемников в каждом цехе предприятия полученные в выражениях (94), (96) и (98) получим суммарную среднесменную активную мощность всех высоковольтных электроприемников предприятия $\sum P_C = 1924$ (кВт).

Просуммировав значения среднесменных реактивных мощностей всех высоковольтных электроприемников в каждом цехе предприятия полученные в выражениях (95), (97) и (99) получим суммарную среднесменную реактивную мощность всех высоковольтных электроприемников предприятия $\sum Q_C = 1618$ (квар).

Определим результирующий коэффициент использования для всех высоковольтных электроприемников предприятия используя выражение (87):

$$K_{\text{И}} = \frac{\sum P_C}{\sum P_{\text{ном}}} = \frac{1924}{3860} = 0,5 \quad (100)$$

Определим результирующий коэффициент реактивной мощности для всех высоковольтных электроприемников предприятия используя выражение (88):

$$\tan \varphi = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C} = \frac{1618}{1924} = 0,84 \quad (101)$$

Определим расчетные нагрузки всех высоковольтных электроприемников предприятия согласно данным таблицы 4 по выражениям:

– расчетная активная мощность высоковольтных электроприемников:

$$P_p = K_0 \cdot P_c = 0,9 \cdot 1924 = 1731,6 \text{ (кВт)} \quad (102)$$

где K_0 – справочное значение коэффициента одновременности, определено для каждого высоковольтного электроприемника в таблице 4;

P_c – среднесменная активная нагрузка всех высоковольтных электроприемников, для предприятия по ремонту механического оборудования $\sum P_c = 1924$ кВт.

– расчетная реактивная мощность высоковольтных электроприемников:

$$Q_p = K_0 \cdot Q_c = 0,9 \cdot 1618 = 1456,2 \text{ (квар)} \quad (103)$$

где K_0 – справочное значение коэффициента одновременности, определено для каждого высоковольтного электроприемника в таблице 4;

Q_c – среднесменная реактивная нагрузка всех высоковольтных электроприемников, для предприятия по ремонту механического оборудования $\sum Q_c = 1618$ квар.

Используя значения расчетных мощностей, полученные в выражениях (102) и (103) определим полную расчетную мощность высоковольтных электроприемников предприятия по ремонту механического оборудования по выражению (89):

$$\sum S_p = \sqrt{\sum P_p^2 + \sum Q_p^2} = \sqrt{1731,6^2 + 1456,2^2} = 2262,5 \text{ (кВА)} \quad (104)$$

Результаты всех расчетов нагрузок выполненные в разделе 2 ВКР занесем в итоговую ведомость нагрузок, представленную в таблице 5.

Выводы по разделу. Для каждого цеха предприятия по ремонту механического оборудования определены справочные коэффициенты необходимые для проведения расчета электрических нагрузок. Расчет нагрузок выполнен для потребителей на стороне 0,4 кВ – это цеха предприятия, а также для высоковольтных электроприемников — это высоковольтные синхронные электрические двигатели установленные в: цехе № 12 (Кислородный цех), цехе № 7 (Второй механический цех) и цехе № 3 (Первый механический цех).

Выполнен подробный расчет для каждого цеха предприятия среднесменной нагрузки, т.е. значений среднесменной активной и реактивной мощностей, подробный расчет для каждого цеха предприятия расчетной нагрузки, т.е. значений расчетной активной и реактивной мощностей, а также значения расчетной полной мощности.

Для всех высоковольтных электроприемников также определены значения расчетной активной, реактивной и полной мощностей. Составлена итоговая ведомость нагрузок предприятия по ремонту механического оборудования. Итоговое значение полной расчетной мощности для предприятия составило $\sum S_p = 7341,81$ (кВА). Итоговое значение активной расчетной мощности для предприятия составило $\sum P_p = 5090,21$ (кВт). Итоговое значение реактивной расчетной мощности для предприятия составило $\sum Q_p = 5290,74$ (квар).

Таблица 5 - Итоговая ведомость нагрузок предприятия по ремонту механического оборудования

Краткое наименование цеха	Полное наименование цеха	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n_{\text{Э}},$ шт.	$\Sigma P_{\text{ном}},$ кВт	$K_{\text{И}}$	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	$P_{\text{С}},$ кВт	$Q_{\text{С}},$ квар	$K_{\text{Р}}$	$K_{\text{О}}$	$P_{\text{р}},$ кВт	$Q_{\text{р}},$ квар	$S_{\text{р}},$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
нагрузка на стороне 0,4 кВ														
Цех №1	Котельный цех	-	8	616	0,6	0,75	0,88	369,6	325,96	0,92	-	340,03	358,55	494,15
Цех №2	Вагоноремонтный цех	-	8	455	0,4	0,8	0,75	182	136,5	0,94	-	171,08	150,15	227,63
Цех №3	Первый механический цех	-	23	1794	0,4	0,8	0,75	717,6	538,2	0,85	-	609,96	538,2	813,46
Цех №4	Ремонтно-механический цех	-	21	413	0,3	0,6	1,33	123,9	165,2	0,85	-	105,32	165,2	195,91
Цех №5	Испытательный цех	-	28	699	0,3	0,6	1,33	209,7	279,6	0,75	-	157,28	279,6	320,80
Цех №6	Строительный цех	-	19	213	0,8	0,8	0,75	170,4	127,8	0,9	-	153,36	127,8	199,63
Цех №7	Второй механический цех	-	22	1277	0,3	0,6	1,33	383,1	510,8	0,85	-	325,64	510,8	605,77
Цех №8	Первый сортировочный цех	-	15	705	0,6	0,7	1,02	423	431,55	0,9	-	380,70	431,55	575,47
Цех №9	Второй сортировочный цех	-	10	349	0,6	0,7	1,02	209,4	213,63	0,9	-	188,46	234,99	301,23
Цех №10	Цех обеспечения питания	-	23	60	0,5	0,7	1,02	30	30,61	0,85	-	25,50	30,61	39,84
Цех №11	Транспортный цех	-	27	1437	0,3	0,7	1,02	431,1	439,81	0,75	-	323,33	439,81	545,87
Цех №12	Кислородный цех	-	8	240	0,7	0,8	0,75	168	126	0,91	-	152,88	138,6	206,35
Цех №13	Заводоуправление	-	16	160	0,5	0,7	1,02	80	81,62	0,85	-	68,00	81,62	106,23
Цех №14	Склад продукции	-	12	491	0,2	0,6	1,33	98,2	130,93	0,8	-	78,56	130,93	152,69
Цех №15	Насосный цех	-	1	234	0,7	0,8	0,75	163,8	122,85	1,14	-	186,73	135,14	230,50
Цех №16	Заводская лаборатория	-	17	270	0,4	0,8	0,75	108	81	0,85	-	91,80	81	122,43
Итого по 0,4 кВ		-	258	9413	0,41	-	0,97	3867,8	3742,05	-	-	3358,61	3834,54	5097,45

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
нагрузка на стороне 6 кВ														
Цех №3	Первый механический цех	630	2	1260	0,4	0,8	0,75	504	378	-	0,95	478,8	359,1	-
Цех №7	Второй механический цех	500	2	1000	0,3	0,6	1,33	300	400	-	0,95	285	380	-
Цех №12	Кислородный цех	400	4	1600	0,7	0,8	0,75	1120	840	-	1	1120	840	-
Итого по 6 кВ		-	8	3860	0,50	-	0,84	1924	1618		-	1731,6	1456,2	2262,51
нагрузка по предприятию в целом														
Итого по предприятию		-	266	13273	0,44	-	0,93	5791,8	5360,05	-	-	5090,21	5290,74	7341,81

3 Трансформаторы цеховых подстанций предприятия

При проектировании системы электроснабжения предприятия важным этапом является выбор типа, числа и мощности трансформаторов, устанавливаемых на цеховых трансформаторных подстанциях (ЦТП). При определении требуемого числа трансформаторов ЦТП используют главным образом данные по категории надежности электроснабжения [4], [10], которые должны быть определены на этапе проектирования цехов предприятия. В ВКР данные по категориям надежности электроснабжения каждого цеха предприятия представлены в таблице 1. Для всех цехов, имеющих определяющую категорию надежности электроснабжения I или II, будем выбирать только двухтрансформаторные ЦТП [13].

При выборе мощности трансформаторов ЦТП также необходимо учитывать необходимость компенсации реактивной мощности. Для компенсации реактивной мощности на предприятиях могут быть установлены установки компенсации реактивной мощности (УКРМ), применение которых позволит снизить единичную мощность трансформаторов ЦТП, а также повысить эффективность системы электроснабжения предприятия [6], [7], [8].

Так как согласно расчетам нагрузок предприятия по ремонту механического оборудования, которые выполнены в разделе 2 ВКР расчетные мощности некоторых цехов достаточно низкие для питания их от собственной цеховой ТП, примем решение минимизировать число ЦТП на предприятии. Для этого выполним группировку цехов предприятия по территориальному распределению на генеральном плане (рисунок 1). Результат территориальной группировки цехов предприятия сведем в таблицу 6.

Для каждой группы цехов определим суммарную полную расчетную мощность по выражению:

$$S_{P.гр.i} = \sum_{j=1}^n S_{p,j} \quad (105)$$

где i – номер территориальной группы цехов;

n – общее число территориальных групп цехов;

$S_{p,j}$ – полная расчетная мощность j -го цеха отнесенного к i -й территориально группе, кВА.

Для каждой группы цехов определим суммарную активную расчетную мощность по выражению:

$$P_{P.гр.i} = \sum_{j=1}^n P_{p,j} \quad (106)$$

где i – номер территориальной группы цехов;

n – общее число территориальных групп цехов;

$P_{p,j}$ – активная расчетная мощность j -го цеха отнесенного к i -й территориально группе, кВт.

Для каждой группы цехов определим суммарную реактивную расчетную мощность по выражению:

$$Q_{P.гр.i} = \sum_{j=1}^n Q_{p,j} \quad (107)$$

где i – номер территориальной группы цехов;

n – общее число территориальных групп цехов;

$Q_{p,j}$ – реактивная расчетная мощность j -го цеха отнесенного к i -й территориально группе, квар.

Результаты расчетов по выражениям (105) - (107) сведем в таблицу 6.

Таблица 6 - Распределение цехов предприятия по территориальным группам с определением расчетных мощностей каждой группы

№ группы цехов	Цеха, отнесенные к территориальной группе		S_p , кВА	P_p , кВт	Q_p , квар	P_c , кВт	Q_c , квар
	Краткое наименование	Полное наименование					
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Цех №1	Котельный цех	494,15	340,03	358,55	369,6	325,96
	Цех №2	Вагоноремонтный цех	227,63	171,08	150,15	182	136,5
	Цех №4	Ремонтно-механический цех	195,91	105,32	165,2	123,9	165,2
	Цех №5	Испытательный цех	320,8	157,28	279,6	209,7	279,6
Итого по территориальной группе			1238,49	773,71	953,5	885,2	907,26
2	Цех №3	Первый механический цех	813,46	609,96	538,2	717,6	538,2
	Цех №6	Строительный цех	199,63	153,36	127,8	170,4	127,8
Итого по территориальной группе			1013,09	763,32	666	888	666
3	Цех №7	Второй механический цех	605,77	325,64	510,8	383,1	510,8
	Цех №8	Первый сортировочный цех	575,47	380,70	431,55	423	431,55
	Цех №9	Второй сортировочный цех	301,23	188,46	234,99	209,4	213,63
	Цех №10	Цех обеспечения питания	39,84	25,50	30,61	30	30,61
Итого по территориальной группе			1522,31	920,3	1207,95	1045,5	1186,59
4	Цех №11	Транспортный цех	545,87	323,33	439,81	431,1	439,81
Итого по территориальной группе			545,87	323,33	439,81	431,1	439,81
5	Цех №12	Кислородный цех	206,35	152,88	138,6	168	126
	Цех №13	Заводуправление	106,23	68,00	81,62	80	81,62
	Цех №15	Насосный цех	230,5	186,73	135,14	163,8	122,85

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
Итого по территориальной группе			543,08	407,6 1	355,36	411,8	330,47
6	Цех №14	Склад продукции	152,69	78,56	130,93	98,2	130,93
	Цех №16	Заводская лаборатория	122,43	91,80	81	108	81
Итого по территориальной группе			275,12	170,3 6	211,93	206,2	211,93

Далее определим необходимость компенсации реактивной мощности и выберем мощность УКРМ.

Мощность УКРМ определяется по выражению:

$$Q_{\text{УКРМ}} = \alpha \cdot P_{\text{P}} \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_{\text{К.Р}}) \quad (108)$$

где α – справочный коэффициент, принимаем равным 0,9;

P_{P} – расчетная активная нагрузка на группы цехов, определена в таблице 6 по выражению (106), кВт;

$\operatorname{tg} \varphi$ – расчетное значение коэффициента реактивной мощности для группы цехов предприятия;

$\operatorname{tg} \varphi_{\text{К.Р}}$ – значение нормируемого коэффициента реактивной мощности в сети предприятия, принимается $\operatorname{tg} \varphi_{\text{К.Р}} = (0,33 \dots 0,48)$;

Расчетная полная мощность с учетом выбранной УКРМ определяется выражением:

$$S_{\text{P}} = \sqrt{P_{\text{P}}^2 + (Q_{\text{P}} - Q_{\text{УКРМ}})^2} \quad (109)$$

где P_{P} – значение расчетной активной мощности, кВт;

Q_{P} – значение расчетной реактивной мощности до компенсации, квар;

$Q_{\text{УКРМ}}$ – мощность установки компенсации реактивной мощности, квар.

В таблице 6 для каждой территориальной группы были определены суммарные значения среднесменной активной и реактивной мощностей. Используя расчетные данные таблицы 6 для каждой группы необходимо определить коэффициент реактивной мощности по выражению (88).

Используя выражение (88) и данные таблицы 6 для цехов первой территориальной группы получим:

$$\tan \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} = \frac{907,26}{885,2} = 1,02 \quad (110)$$

Используя выражение (88) и данные таблицы 6 для цехов второй территориальной группы получим:

$$\tan \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} = \frac{666}{888} = 0,75 \quad (111)$$

Используя выражение (88) и данные таблицы 6 для цехов третьей территориальной группы получим:

$$\tan \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} = \frac{1186,59}{1045,5} = 1,13 \quad (112)$$

Используя выражение (88) и данные таблицы 6 для цехов четвертой территориальной группы получим:

$$\tan \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} = \frac{439,81}{431,1} = 1,02 \quad (113)$$

Используя выражение (88) и данные таблицы 6 для цехов пятой территориальной группы получим:

$$\tan \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} = \frac{330,47}{411,8} = 0,8 \quad (114)$$

Используя выражение (88) и данные таблицы 6 для цехов шестой территориальной группы получим:

$$\tan \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} = \frac{211,93}{206,2} = 1,03 \quad (115)$$

По выражению (108) для цехов первой территориальной группы с учетом значений таблицы 6 и значения полученного в (110) расчетное значение мощности УКРМ (квар):

$$Q_{\text{УКРМ}} = \alpha P_p (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_{\text{к.р}}) = 0,9 \cdot 773,7 \cdot (1,02 - 0,33) = 480,5 \quad (116)$$

По выражению (108) для цехов второй территориальной группы с учетом значений таблицы 6 и значения полученного в (111) расчетное значение мощности УКРМ (квар):

$$Q_{\text{УКРМ}} = \alpha P_p (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_{\text{к.р}}) = 0,9 \cdot 763,32 \cdot (0,75 - 0,33) = 288,5 \quad (117)$$

По выражению (108) для цехов третьей территориальной группы с учетом значений таблицы 6 и значения полученного в (112) расчетное значение мощности УКРМ (квар):

$$Q_{\text{УКРМ}} = \alpha P_p (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_{\text{к.р}}) = 0,9 \cdot 920,3 \cdot (1,13 - 0,33) = 662,6 \quad (118)$$

По выражению (108) для цехов четвертой территориальной группы с учетом значений таблицы 6 и значения полученного в (113) расчетное значение мощности УКРМ (квар):

$$Q_{\text{УКРМ}} = \alpha P_{\text{P}}(tg\varphi - tg\varphi_{\text{К.Р}}) = 0,9 \cdot 323,33 \cdot (1,02 - 0,33) = 200,8 \quad (119)$$

По выражению (108) для цехов пятой территориальной группы с учетом значений таблицы 6 и значения полученного в (114) расчетное значение мощности УКРМ (квар):

$$Q_{\text{УКРМ}} = \alpha P_{\text{P}}(tg\varphi - tg\varphi_{\text{К.Р}}) = 0,9 \cdot 407,61 \cdot (0,8 - 0,33) = 172,4 \quad (120)$$

По выражению (108) для цехов шестой территориальной группы с учетом значений таблицы 6 и значения полученного в (115) расчетное значение мощности УКРМ (квар):

$$Q_{\text{УКРМ}} = \alpha P_{\text{P}}(tg\varphi - tg\varphi_{\text{К.Р}}) = 0,9 \cdot 170,36 \cdot (1,03 - 0,33) = 107,32 \quad (121)$$

Используя расчетные значения УКРМ, полученные в выражениях (116) - (121) составим таблицу 7 выбора УКРМ.

Таблица 7 - Выбор установок компенсации реактивной мощности

№ группы цехов	Расчетное значение УКРМ $Q_{\text{УКРМ}}$, квар	Марка УКРМ	Мощность УКРМ	Число ступеней
1	480,5	2×АУКРМ-0,4-250-25	2×250	10
2	288,5	2×АУКРМ-0,4-140-20	2×140	7
3	662,6	2×АУКРМ-0,4-325-25	2×325	13
4	200,8	2×АУКРМ-0,4-100-33,3	2×100	3
5	172,4	2×АУКРМ-0,4-87,5-12,5	2×87,5	7
6	107,32	2×АУКРМ-0,4-54-3,6	2×54	15

По выражению (109) и данным выбранных УКРМ представленных в таблице 7 определим значение расчетной полной мощности каждой территориальной группы для выбора трансформаторов ЦТП.

По выражению (109) и данным таблиц 6 и 7 для цехов первой территориальной группы получим (кВА):

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + (Q_P - Q_{УКРМ})^2} = \sqrt{773,71^2 + (953,5 - 500)^2} = 896,8 \quad (122)$$

По выражению (109) и данным таблиц 6 и 7 для цехов второй территориальной группы получим (кВА):

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + (Q_P - Q_{УКРМ})^2} = \sqrt{763,32^2 + (666 - 280)^2} = 945,5 \quad (123)$$

По выражению (109) и данным таблиц 6 и 7 для цехов третьей территориальной группы получим (кВА):

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + (Q_P - Q_{УКРМ})^2} = \sqrt{920,3^2 + (1207,95 - 650)^2} = 1076,2 \quad (124)$$

По выражению (109) и данным таблиц 6 и 7 для цехов четвертой территориальной группы получим (кВА):

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + (Q_P - Q_{УКРМ})^2} = \sqrt{323,33^2 + (439,81 - 200)^2} = 402,5 \quad (125)$$

По выражению (109) и данным таблиц 6 и 7 для цехов пятой территориальной группы получим (кВА):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{УКРМ}})^2} = \sqrt{407,61^2 + (355,36 - 175)^2} = 445,7 \quad (126)$$

По выражению (109) и данным таблиц 6 и 7 для цехов шестой территориальной группы получим (кВА):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{УКРМ}})^2} = \sqrt{170,36^2 + (211,93 - 108)^2} = 199,55 \quad (127)$$

Исходя из определяющей категории надежности электроснабжения представленной в первом разделе ВКР таблица 1 выбираем число трансформаторов на ЦТП питающих цеха каждой территориальной группы. Для I и II категорий надежности электроснабжения выбираем число трансформаторов ЦТП $n_{\text{тр}} = 2$ (шт.), а для III категории надежности электроснабжения выбираем число трансформаторов ЦТП $n_{\text{тр}} = 1$ (шт.) [12]. Для двухтрансформаторных ЦТП коэффициент загрузки трансформаторов выбираем по экономически эффективной загрузке трансформатора $K_{\text{заг}} = 0,7$, а для однотрансформаторных ЦТП коэффициент загрузки трансформаторов выбираем $K_{\text{заг}} = 0,9$ [12].

Расчетную мощность трансформаторов ЦТП определяем по выражению:

$$S_{\text{Т.расч}} = \frac{S_p}{K_{\text{заг}} \cdot n_{\text{тр}}} \quad (128)$$

где S_p – значение расчетной полной мощности цехов территориальной группы с учетом компенсации реактивной мощности по выражению (109), кВА;

$K_{\text{заг}}$ – коэффициент загрузки трансформаторов, определяемый числом трансформаторов на ЦТП;

$n_{\text{тр}}$ – число трансформаторов ЦТП, определяемое категорией надежности электроснабжения, шт.

Для ЦТП первой территориальной группы согласно выражения (128) расчетная мощность трансформаторов ЦТП с учетом значения полученного в (122):

$$S_{\text{Т.расч}} = \frac{S_{\text{р}}}{K_{\text{заг}} \cdot n_{\text{тр}}} = \frac{896,8}{0,7 \cdot 2} = 640,57 \text{ (кВА)} \quad (129)$$

Для ЦТП второй территориальной группы согласно выражения (128) расчетная мощность трансформаторов ЦТП с учетом значения полученного в (123):

$$S_{\text{Т.расч}} = \frac{S_{\text{р}}}{K_{\text{заг}} \cdot n_{\text{тр}}} = \frac{945,5}{0,7 \cdot 2} = 657,4 \text{ (кВА)} \quad (130)$$

Для ЦТП третьей территориальной группы согласно выражения (128) расчетная мощность трансформаторов ЦТП с учетом значения полученного в (124):

$$S_{\text{Т.расч}} = \frac{S_{\text{р}}}{K_{\text{заг}} \cdot n_{\text{тр}}} = \frac{1076,2}{0,7 \cdot 2} = 786,7 \text{ (кВА)} \quad (131)$$

Для ЦТП четвертой территориальной группы согласно выражения (128) расчетная мощность трансформаторов ЦТП с учетом значения полученного в (125):

$$S_{\text{Т.расч}} = \frac{S_{\text{р}}}{K_{\text{заг}} \cdot n_{\text{тр}}} = \frac{402,5}{0,9 \cdot 1} = 447,2 \text{ (кВА)} \quad (132)$$

Для ЦТП пятой территориальной группы согласно выражения (128) расчетная мощность трансформаторов ЦТП с учетом значения полученного в (126):

$$S_{Т.расч} = \frac{S_p}{K_{заг} \cdot n_{тр}} = \frac{445,7}{0,7 \cdot 2} = 318,4 \text{ (кВА)} \quad (133)$$

Для ЦТП шестой территориальной группы согласно выражения (128) расчетная мощность трансформаторов ЦТП с учетом значения полученного в (127):

$$S_{Т.расч} = \frac{S_p}{K_{заг} \cdot n_{тр}} = \frac{199,55}{0,7 \cdot 2} = 142,5 \text{ (кВА)} \quad (134)$$

По полученным в (129) - (134) значениям расчетной мощности трансформаторов ЦТП необходимо выбрать трансформаторы согласно условию [6]:

$$S_{Т.расч} \geq S_{Т.ном} \quad (135)$$

где $S_{Т.расч}$ – расчетное значение мощности трансформатора по выражению (128), кВА;

$S_{Т.ном}$ – номинальная мощность трансформатора согласно каталогам производителей, кВА.

Выбор номинальных мощностей трансформаторов ЦТП по условию (135) и значениям полученным в (129) - (134) сведем в таблицу 8.

Плотность электрической нагрузки для каждой территориальной группы определяется выражением:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{\text{ц}}} \quad (136)$$

где S_p – значение расчетной полной мощности цехов территориальной группы с учетом компенсации реактивной мощности по выражению (109), кВА;

$F_{\text{ц}}$ – площадь цехов входящих в территориальную группу, определяется согласно генеральному плану предприятия представленном на рисунке 1, м².

По выражению (136), а также используя генеральный план предприятия (рисунок 1) определим плотность электрической нагрузки для первой территориальной группы:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{\text{ц}}} = \frac{896,8}{21325} = 0,04 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (137)$$

По выражению (136), а также используя генеральный план предприятия (рисунок 1) определим плотность электрической нагрузки для второй территориальной группы:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{\text{ц}}} = \frac{945,5}{20025} = 0,05 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (138)$$

По выражению (136), а также используя генеральный план предприятия (рисунок 1) определим плотность электрической нагрузки для третьей территориальной группы:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{\text{ц}}} = \frac{1076,2}{24825} = 0,043 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (139)$$

По выражению (136), а также используя генеральный план предприятия (рисунок 1) определим плотность электрической нагрузки для четвертой территориальной группы:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}} = \frac{402,5}{1375} = 0,29 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (140)$$

По выражению (136), а также используя генеральный план предприятия (рисунок 1) определим плотность электрической нагрузки для пятой территориальной группы:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}} = \frac{445,7}{5037,5} = 0,088 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (141)$$

По выражению (136), а также используя генеральный план предприятия (рисунок 1) определим плотность электрической нагрузки для шестой территориальной группы:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}} = \frac{199,55}{8000} = 0,025 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (142)$$

Наибольшую среди всех групп цехов плотность электрической нагрузки имеет четвертая группа с плотностью, равной 0,293 кВА/м². Поэтому максимальная мощность трансформаторов не превышает 1600 кВА. Данные по плотности нагрузки для каждой территориальной группы цехов занесем в таблицу 8.

Выводы по разделу. Так как расчет полной мощности, выполненный в разделе 2 ВКР показал, что полные мощности каждого цеха недостаточно высоки для установки ЦТП в каждом цехе принято решение разделить

предприятие на группы цехов по территориальному расположению и каждые цеха территориальной группы запитать от одной ЦТП.

Таблица 8 - Сводная ведомость выбранных трансформаторов ЦТП

Номер группы цехов	Состав группы цехов		$S_{T,расч},$ кВА	$n_{тр},$ шт.	$S_{T,ном}$	$\sigma, \frac{кВА}{м^2}$
	Краткое наименование цеха	Полное наименование цеха				
1	2	3	4	5	6	7
1	Цех №1	Котельный цех	640,57	2	1000	0,04
	Цех №2	Вагоноремонтный цех				
	Цех №4	Ремонтно-механический цех				
	Цех №5	Испытательный цех				
2	Цех №3	Первый механический цех	657,4	2	1000	0,05
	Цех №6	Строительный цех				
3	Цех №7	Второй механический цех	786,7	2	1000	0,043
	Цех №8	Первый сортировочный цех				
	Цех №9	Второй сортировочный цех				
	Цех №10	Цех обеспечения питания				
4	Цех №11	Транспортный цех	447,2	1	630	0,29
5	Цех №12	Кислородный цех	318,4	2	400	0,088
	Цех №13	Заводоуправление				
	Цех №15	Насосный цех				
6	Цех №14	Склад продукции	142,5	2	160	0,025
	Цех №16	Заводская лаборатория				

Это решение позволит снизить число ЦТП на предприятии, а также снизить число оборудования ЦТП. Согласно территориальному делению цехов выполнен расчет общей полной мощности каждой территории. При выборе трансформаторов ЦТП необходимо использовать компенсацию реактивной мощности, что снизит единичную мощность трансформаторов ЦТП. Для выбора требуемой мощности УКРМ выполнен расчет согласно которому для каждой ЦТП территориальной группы выбраны установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ.

Представлен подробный расчет выбора мощности трансформаторов ЦТП с учетом компенсации реактивной мощности.

4 Размещение главной понизительной подстанции на предприятии

При проектировании системы электроснабжения предприятия необходимо уделять внимание выбору рационального места размещения главной понизительной подстанции (ГПП). Выбор места размещения ГПП производится при расчете картограммы нагрузок предприятия и определением центра электрических нагрузок.

Для определения места размещения ГПП составим исходную таблицу 9 данных, в которой отразим значения расчетных активной и реактивной мощностей для каждого цеха.

Таблица 9 - Расчетные мощности каждой ЦТП

Наименование ЦТП	Цеха, отнесенные к территориальной группе		P_p , кВт	Q_p , квар
	Краткое наименование	Полное наименование		
1	2	3	5	6
Ц1	Цех №1	Котельный цех	773,71	953,5
	Цех №2	Вагоноремонтный цех		
	Цех №4	Ремонтно-механический цех		
	Цех №5	Испытательный цех		
Ц2	Цех №3	Первый механический цех	763,32	666
	Цех №6	Строительный цех		
Ц3	Цех №7	Второй механический цех	920,3	1207,95
	Цех №8	Первый сортировочный цех		
	Цех №9	Второй сортировочный цех		
	Цех №10	Цех обеспечения питания		
Ц4	Цех №11	Транспортный цех	323,33	439,81
Ц5	Цех №12	Кислородный цех	407,61	355,36
	Цех №13	Заводоуправление		
	Цех №15	Насосный цех		
Ц6	Цех №14	Склад продукции	170,36	211,93
	Цех №16	Заводская лаборатория		

При построении картограммы нагрузок воспользуемся генеральным планом предприятия представленным на рисунке 1. На генеральный план предприятия нанесем оси X и Y с масштабом $m_r = 50$ м/см.

Далее на генеральном плане необходимо определить места расположения каждой ЦТП, при выборе расположения ЦТП необходимо

учитывать близость к точке прихода питания. «Если к цеховому ТП подключается несколько цехов, то данное ТП должно быть расположено так, чтобы до каждого цеха было примерно одинаковое расстояние» [4].

Наименьшую мощность имеет ЦТП группы 6 (Ц6), возьмем за соответствующий ей наименьший радиус $R_{A6} = 25$ м. Находим удельную плотность активной нагрузки для Ц6 по выражению:

$$m_a = \frac{P_{p.6}}{\pi \cdot R_{A6}^2} = \frac{170,36}{\pi \cdot 25^2} = 0,087 \approx 0,1 \left(\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \right) \quad (143)$$

Наибольшую нагрузку имеет ЦТП третьей группы (Ц3), определим радиус активной мощности для Ц3 по выражению:

$$R_{A3} = \sqrt{\frac{P_3}{\pi \cdot m_a}} = \sqrt{\frac{920,3}{\pi \cdot 0,1}} = 54,12 \text{ (м)} \quad (144)$$

Определим радиус активной мощности для Ц1 по выражению:

$$R_{A1} = \sqrt{\frac{P_1}{\pi \cdot m_a}} = \sqrt{\frac{773,7}{\pi \cdot 0,1}} = 49,63 \text{ (м)} \quad (145)$$

Определим радиус активной мощности для Ц2 по выражению:

$$R_{A2} = \sqrt{\frac{P_2}{\pi \cdot m_a}} = \sqrt{\frac{763,32}{\pi \cdot 0,1}} = 49,29 \text{ (м)} \quad (146)$$

Определим радиус активной мощности для Ц4 по выражению:

$$R_{A4} = \sqrt{\frac{P_4}{\pi \cdot m_a}} = \sqrt{\frac{323,33}{\pi \cdot 0,1}} = 32,08 \text{ (м)} \quad (147)$$

Определим радиус активной мощности для Ц5 по выражению:

$$R_{A5} = \sqrt{\frac{P_5}{\pi \cdot m_a}} = \sqrt{\frac{407,61}{\pi \cdot 0,1}} = 36,02 \text{ (м)} \quad (148)$$

Определим радиусы окружностей соответствующих групп, но сначала определим удельную плотность для реактивной мощности. Примем равной по значению плотности активной мощности $m_p = 0,1 \left(\frac{\text{квар}}{\text{м}^2} \right)$. Тогда радиус реактивной мощности для каждой ЦТП определится по выражению:

$$R_{Pi} = \sqrt{\frac{Q_{p,i}}{\pi \cdot m_p}} \quad (149)$$

где $Q_{p,i}$ – расчетная реактивная мощность каждой группы цехов, квар;

m_p - удельную плотность для реактивной мощности, $\left(\frac{\text{квар}}{\text{м}^2} \right)$.

По выражению (149) для Ц1 радиус реактивной мощности:

$$R_{P1} = \sqrt{\frac{Q_1}{\pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{953,5}{\pi \cdot 0,1}} = 55,09 \text{ (м)} \quad (150)$$

По выражению (149) для Ц2 радиус реактивной мощности:

$$R_{P2} = \sqrt{\frac{Q_2}{\pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{666}{\pi \cdot 0,1}} = 46,04 \text{ (м)} \quad (151)$$

По выражению (149) для Ц3 радиус реактивной мощности:

$$R_{P3} = \sqrt{\frac{Q_3}{\pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{1207,95}{\pi \cdot 0,1}} = 62 \text{ (м)} \quad (152)$$

По выражению (149) для Ц4 радиус реактивной мощности:

$$R_{P4} = \sqrt{\frac{Q_4}{\pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{439,81}{\pi \cdot 0,1}} = 37,42 \text{ (м)} \quad (153)$$

По выражению (149) для Ц5 радиус реактивной мощности:

$$R_{P5} = \sqrt{\frac{Q_5}{\pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{355,36}{\pi \cdot 0,1}} = 33,63 \text{ (м)} \quad (154)$$

По выражению (149) для Ц6 радиус реактивной мощности

$$R_{P6} = \sqrt{\frac{Q_6}{\pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{211,93}{\pi \cdot 0,1}} = 25,97 \text{ (м)} \quad (155)$$

Данные для построения картограммы нагрузок сведем в таблицу 10.

Таблица 10 - Данные для построение картограммы нагрузок

Наименование ЦТП	P_p , кВт	Q_p , квар	Координаты		R_A , м	R_p , м
			x	y		
Ц1	773,71	953,5	326,1	595,5	49,63	55,09
Ц22	763,32	666	141,6	556,66	49,26	46,04
Ц3	920,3	1207,95	22,58	318,33	54,12	62
Ц4	323,33	439,81	464,36	245,21	32,08	37,42
Ц5	407,61	355,36	130,64	180,59	36,02	33,63
Ц6	170,36	211,93	300,9	144,89	25	25,97

Определим координаты центра электрических нагрузок предприятия по активной мощности используя выражения:

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p.i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{p.i}} \quad (156)$$

$$Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p.i} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{p.i}} \quad (157)$$

По выражению (156) и (157) координаты X и Y для ЦЭН по активной мощности определим по данным таблицы 10. В результате расчетов получено, что $X_{a0} = 244,11$ (м), а $Y_{a0} = 403,79$ (м).

Далее определим координаты ЦЭН по реактивной мощности используя выражения:

$$X_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{p.i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n Q_{p.i}} \quad (158)$$

$$Y_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{p.i} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n Q_{p.i}} \quad (159)$$

По выражению (158) и (159) координаты X и Y для ЦЭН по реактивной мощности определим по данным таблицы 10. В результате расчетов получено, что $X_{p0} = 257,8$ (м), а $Y_{p0} = 397,91$ (м).

По данным таблицы 10 построим картограмму нагрузок предприятия используя генеральный план представленный на рисунке 1.

Картограмма нагрузок предприятия представлена на рисунке 2. На рисунке 2 точка А указывает на координаты ЦЭН по активной мощности, а точка В указывает на координаты ЦЭН по реактивной мощности. Так как размещение ГПП в месте с координатами ЦЭН не представляется возможным, так как координаты находятся на территории цехов, то сместим расположение ГПП предприятия в направлении точки прихода питания из энергосистемы.

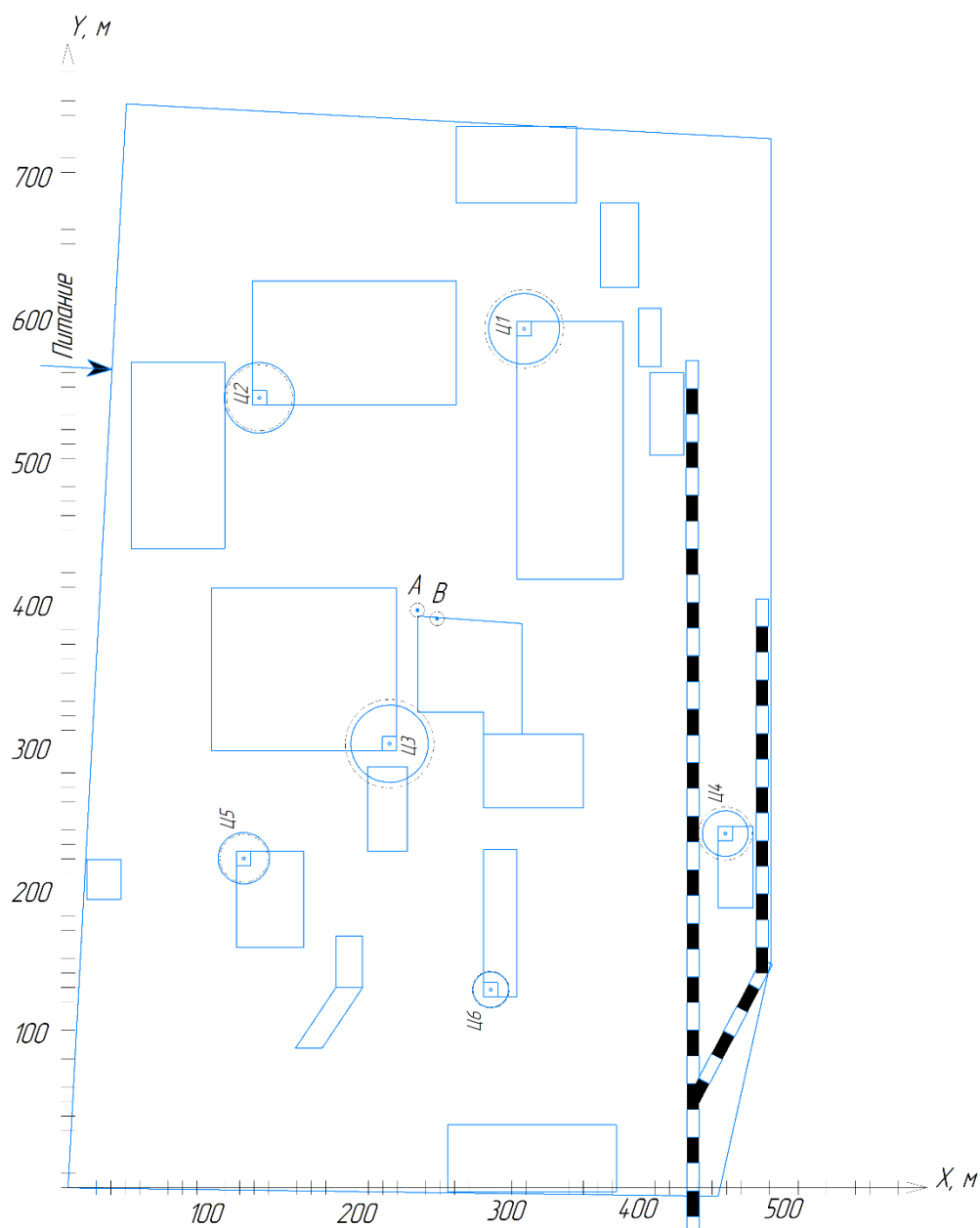


Рисунок 2 – Картограмма нагрузок

Расположение ГПП и линий, питающих все ЦТП показано на рисунке 3.

Выводы по разделу. Для определения места расположения главной понизительной подстанции предприятия выполнен расчет картограммы электрических нагрузок по условию группировки цехов предприятия по территориальным группам и питания их от общих цеховых трансформаторных подстанций. По результатам расчетов получено, что координаты ЦЭН по активной и реактивной мощностям попадают на территорию Цеха №8 (Первый сортировочный цех). Размещение ГПП в данной точке не возможно.

Смещение места размещения ГПП в сторону Цеха №3 (Первый механический цех) также не представляется возможным, так как при этом придется обеспечить подвод питания по линии 110 кВ через территорию предприятия, поэтому единственным оптимальным местом размещения ГПП принято место на границе предприятия, со стороны точки прихода питания в районе цеха №6 (Строительный цех) и цеха № 7 (Второй механический цех).

В точке между цехом № 7 (Второй механический цех) и цехом №3 (Первый механический цех) предлагается разместить распределительный пункт, так как на предприятии кроме нагрузки 0,4 кВ получающей питание от цеховых трансформаторных подстанций имеются высоковольтные потребители.

По данным расчетов картограммы нагрузок, а также по данным размещения высоковольтных электроприемников составлена карта размещения сетей напряжением 6 кВ на территории предприятия от места размещения ГПП до каждой ЦТП и РП. Также определены места расположения цеховых РП 0,4 кВ и определены места прокладки линий 0,4 кВ от ЦТП до РП 0,4 кВ каждого цеха.

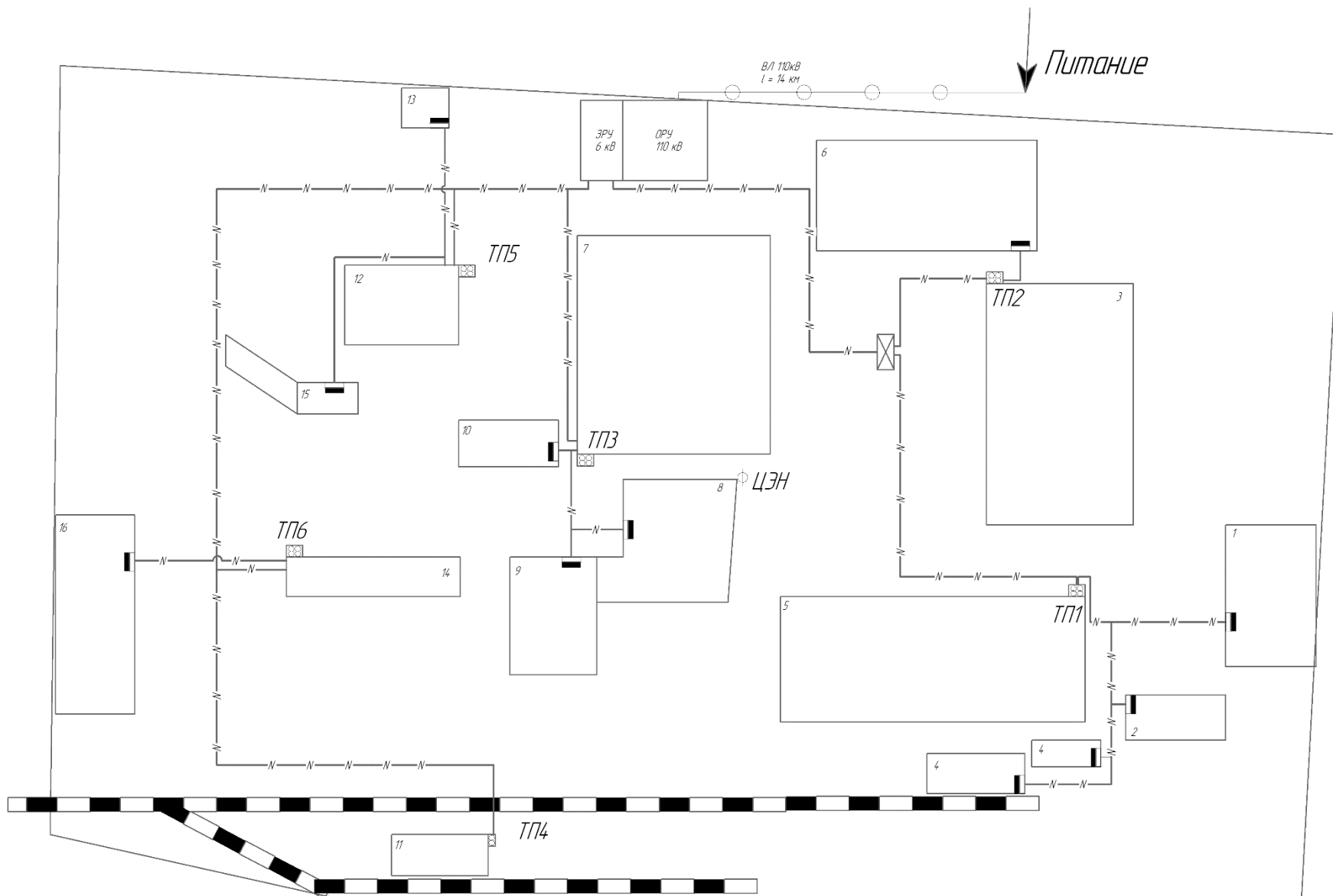


Рисунок 3 - Генеральный план предприятия с нанесенными ТП и кабельными линиями

5 Трансформаторы главной понизительной подстанции предприятия

Для выбора трансформаторов главной понизительной подстанции (ГПП) предприятия необходимо знать не только мощность нагрузок предприятия, но и напряжения распределительной сети предприятия и напряжение энергосистемы [17]. Так как заданием на ВКР не было определено напряжение энергосистемы, то на первом этапе выбора трансформатора ГПП определим рациональное напряжение используя формулу Стилла:

$$U_{\text{РАЦ}} = 4,34 \cdot \sqrt{L \cdot 0,016 \cdot P_{\text{РП}}} \quad (160)$$

где L – расстояние до подстанции энергосистемы от которой может осуществляться питание предприятия, км;

$P_{\text{РП}}$ – активная расчетная мощность всего предприятия, кВт.

Используя ранее полученные значения, а также данные рисунка 3 по выражению (160) получим (кВ):

$$U_{\text{РАЦ}} = 4,34 \cdot \sqrt{L \cdot 0,016 \cdot P_{\text{РП}}} = 4,34 \cdot \sqrt{14 \cdot 0,016 \cdot 5173,43} = 147,74 \quad (161)$$

Значение рационального напряжения по (161) получено $U_{\text{РАЦ}} = 147,74$ (кВ). Ближайшее напряжение по ГОСТ – это напряжение 150 кВ, однако данное напряжение не используется в сетях РФ, поэтому для питания предприятия предлагается использовать напряжение 110 кВ [4], [15], [25].

Так как мощность трансформаторов ГПП должна покрывать не только мощность нагрузок предприятия, но и мощность потерь во внутривоздушной распределительной сети, то необходимо определить потери активной мощности в трансформаторах ЦТП.

Потери активной мощности в цеховых трансформаторах могут упрощенно быть найдены по выражению:

$$\Delta P_T = \frac{2}{100} \cdot \sum_{i=1}^{n=6} S_{\text{ЦТП.ном.}i} \quad (162)$$

где n – число цеховых трансформаторных подстанций на предприятии, для проектируемого предприятия принимаем равным 6;

$S_{\text{ЦТП.ном.}i}$ – полная установленная мощность i -й ЦТП предприятия, кВА.

Установленная мощность ЦТП определяется выражением:

$$S_{\text{ЦТП.ном}} = S_{\text{Т.ном}} \cdot n_T \quad (163)$$

где $S_{\text{Т.ном}}$ – номинальная мощность одного трансформатора ЦТП, по данным таблицы 8, кВА.

n_T – число трансформаторов на ЦТП, по данным таблицы 8, шт.

Расчет установленных мощностей каждой ЦТП, а также определение суммарной установленной мощности всех ЦТП предприятия выполним в таблице 11.

Таблица 11 - Установленная мощность всех ЦТП

Номер группы цехов	Состав группы цехов		$n_{\text{тр}}$, шт.	$S_{\text{Т.ном}}$, кВА	$S_{\text{ЦТП.ном}}$, кВА
	Краткое наименование цеха	Полное наименование цеха			
1	2	3	4	5	6
1	Цех №1	Котельный цех	2	1000	2000
	Цех №2	Вагоноремонтный цех			
	Цех №4	Ремонтно-механический цех			
	Цех №5	Испытательный цех			
2	Цех №3	Первый механический цех	2	1000	2000
	Цех №6	Строительный цех			
3	Цех №7	Второй механический цех	2	1000	2000

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6
3	Цех №8	Первый сортировочный цех	2	1000	2000
	Цех №9	Второй сортировочный цех			
	Цех №10	Цех обеспечения питания			
4	Цех №11	Транспортный цех	1	630	630
5	Цех №12	Кислородный цех	2	400	800
	Цех №13	Заводоуправление			
	Цех №15	Насосный цех			
6	Цех №14	Склад продукции	2	160	320
	Цех №16	Заводская лаборатория			
Суммарная установленная мощность всех ЦТП, кВА					7750

Используя данные таблицы 11 по выражению (162) получим:

$$\Delta P_T = \frac{2}{100} \cdot \sum_{i=1}^{n=6} S_{\text{ЦТП.ном.}i} = \frac{2}{100} \cdot 7750 = 155 \text{ (кВт)} \quad (164)$$

Определим суммарную активную нагрузку предприятия с учетом нагрузки 0,4 кВ, 6 кВ и потерь в трансформаторов распределительной сети по выражению: 5245,21

$$P_{\text{р.пп}} = P_{\text{р.0,4}} + P_{\text{р.6}} + \Delta P_T = 3358,61 + 1731,6 + 155 = 5245,2 \text{ (кВт)} \quad (165)$$

где $P_{\text{р.0,4}}$ – расчетная активная нагрузка предприятия по стороне 0,4 кВ полученная в таблице 5 и равная $P_{\text{р.0,4}} = 3358,61$, кВт;

$P_{\text{р.6}}$ – расчетная активная нагрузка предприятия по стороне 6 кВ полученная в таблице 5 и равная $P_{\text{р.6}} = 1731,6$, кВт;

ΔP_T – потери в цеховых трансформаторных подстанция определенные в выражении (162) и равная $\Delta P_T = 155$ кВт.

Определим расчетное значение реактивной мощности потребляемой предприятием по ремонту механического оборудования из внешней энергосистемы по выражению [4]:

$$Q_{\text{ЭС}} = P_{\text{р.пп}} \cdot \tan \varphi_{\text{ЭС}} = 5245,2 \cdot 0,54 = 2832,4 \text{ (квар)} \quad (166)$$

где $\tan \varphi_{\text{ЭС}}$ – нормируемый коэффициент реактивной мощности из энергосистемы по данным [4] равен для сетей 110 кВ 0,54.

Полная расчетная мощность предприятия используя значения полученные в (165) и (166) определится по выражению:

$$S_{\text{р.пп}} = \sqrt{P_{\text{р.пп}}^2 + Q_{\text{ЭС}}^2} = \sqrt{5245,2^2 + 2832,4^2} = 5961,1 \text{ (кВА)} \quad (167)$$

Расчетная мощность трансформатора ГПП с учетом значения полученного в (167) определится по выражению [15]:

$$S_{\text{Т.расч}} = \frac{S_{\text{р.пп}} \cdot K_{1-2}}{K_{\text{ПЕР}}} \quad (168)$$

где $S_{\text{р.пп}}$ – расчетная полная мощность предприятия, кВА;

K_{1-2} – доля нагрузки первой и второй категорий на предприятии, принимаем равной 0,99, так как на предприятии только 1 из 16 цехов относится к III категории надежности электроснабжения;

$K_{\text{ПЕР}}$ – коэффициент допустимой аварийной перегрузки, для двух трансформаторных ГПП равен 1.4.

По (168) получим

$$S_{\text{Т.расч}} = \frac{S_{\text{р.пп}} \cdot K_{1-2}}{K_{\text{ПЕР}}} = \frac{5961,1 \cdot 0,99}{1,4} = 4215,35 \text{ (кВА)} \quad (169)$$

Далее, используя значение полученное в (169) исходя из условия (135) к установке на ГПП предприятия по ремонту механического оборудования принимаем два силовых трансформатора ТМН 6300/110/6 кВ.

Выводы по разделу.

Для установки на ГПП предприятия необходимо выбрать два силовых трансформатора. Число трансформаторов на ГПП определяется исходя из категории надежности электроснабжения. Так как на предприятии имеются цеха относящиеся к первой категории надежности электроснабжения и большинство цехов относятся ко второй категории надежности электроснабжения необходимо выбрать два силовых трансформатора. На первом этапе выбора силовых трансформаторов определено напряжение питания предприятия из энергосистемы, так как величина напряжения не задана. Согласно выполненному расчету для электроснабжения предприятия рационально использовать напряжение 110 кВ. Так как напряжение распределительной сети предприятия известно – это напряжение 6 кВ, то на ГПП необходимо выбрать силовые двухобмоточные трансформаторы с напряжением 110/6 кВ.

Выбор мощности силовых трансформаторов выполняется с учетом экономически эффективной потребляемой реактивной мощности из энергосистемы, а также с учетом потерь активной мощности в трансформаторах всех ЦТП.

Результаты расчетов позволили выбрать для ГПП предприятия два силовых трансформатора марки ТМН 6300/110/6 кВ [15].

6 Токи короткого замыкания

Используя методику [14] выполним расчет трехфазного тока короткого замыкания (ТКЗ) на ГПП предприятия. Для проведения расчетов ТКЗ необходимо составить расчетную схему и схему замещения. Расчет будем выполнять на стороне 6 кВ ГПП предприятия в одной расчетной точке. Расчетная схема представлена на рисунке 4, схема замещения на рисунке 5.

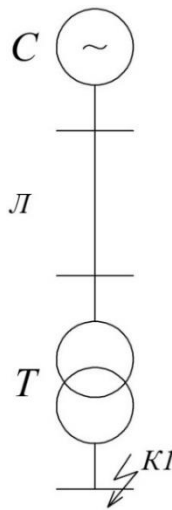


Рисунок 4 – Расчетная схема ТКЗ

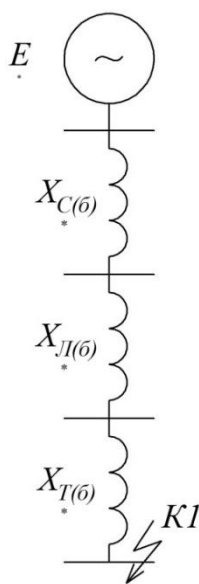


Рисунок 5 – Схема замещения

Расчет ТКЗ выполним в относительных единицах. Определим паспортные данные трансформатора марки ТМН 6300/110/6 [7] и занесем их в таблицу 12.

Таблица 12 - Параметры трансформатора ГПП

Тип	Каталожные данные					
	$S_{T.ном}, \text{кВА}$	$U_{ном}, \text{кВ}$		$U_{кз}, \%$	$P_{кз}, \text{кВт}$	$P_{хх}, \text{кВт}$
		ВН	НН			
ТМН	6300	115	6,6	10,5	35	6,5

Исходные данные для расчета ТКЗ:

- базисная мощность $S_6 = 1000$ (МВА);
- базисное напряжение $U_6 = 6,6$ (кВ);
- мощность короткого замыкания $S_{кз} = 1000$ (МВА);
- ударный коэффициент для расчетной точки К1 $k_{уд} = 1,85$;
- длина ЛЭП до подстанции энергосистемы $l = 14$ (км);
- удельное индуктивное сопротивление ЛЭП $x_0 = 0,4$ (Ом/км).

Сопротивление энергосистемы:

$$x_{*С(6)} = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{1000}{2700} = 0,37 \text{ (о. е)} \quad (170)$$

Сопротивление линии:

$$x_{*Л(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 0,4 \cdot 14 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,42 \text{ (о. е)} \quad (171)$$

Сопротивление трансформатора:

$$x_{*Т(6)} = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T.ном}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{6,3} = 16,67 \text{ (о. е)} \quad (172)$$

Сопротивление до расчетной точки К1:

$$x_{K1} = x_{*C(6)} + x_{*Л(6)} + x_{*Т(6)} = 0,37 + 0,42 + 16,67 = 17,46 \text{ (о. е)} \quad (173)$$

Базисный ток в точке К1:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,6} = 87,48 \text{ (кА)} \quad (174)$$

Периодическая составляющая трехфазного тока КЗ в точке К1:

$$I_{П,0} = \frac{E''_{*C}}{x_{рез,К1}} \cdot I_6 = \frac{1}{17,46} \cdot 87,48 = 5,01 \text{ (кА)} \quad (175)$$

Ударный ток трехфазного ТКЗ в точке К1:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{П,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 5,01 \cdot 1,85 = 13,11 \text{ (кА)} \quad (176)$$

Выводы по разделу.

Выполнен расчет трехфазного тока короткого замыкания на стороне 6 кВ ГПП предприятия. Получены значения периодической составляющей трехфазного ТКЗ $I_{П,0} = 5,01$ (кА) и значение ударного ТКЗ $i_{уд} = 13,11$ (кА).

7 Выбор оборудования РУ 6 кВ ГПП

Для установки в РУ 6 кВ ГПП предприятия примем комплектное распределительное устройство (КРУ) марки КРУ-СЭЩ-70 производства «Самарский Электроцит». Данные выбираемых КРУ сведем в таблицу 13.

Таблица 13 - Оборудование РУ 6 кВ ГПП

Параметр	Значение
Тип ячейки КРУ-СЭЩ-70 (вводная)	
Номинальное напряжение, кВ	10
Тип выключателя	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
Тип трансформатора тока	ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-750/5
Тип ячейки КРУ-СЭЩ-70 (ячейка трансформатора напряжения)	
Тип трансформатора напряжения	НАЛИ-СЭЩ-6-1-0,5-225
Номинальное напряжение, кВ	10
Ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН)	ОПНп-10
Тип ячейки КРУ-СЭЩ-70 (отходящей линии) на РП 1, ЦТП 3	
Номинальное напряжение, кВ	10
Тип выключателя	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
Тип трансформатора тока	ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-750/5
Тип ячейки КРУ-СЭЩ-70 (отходящей линии) на ЦТП 4	
Номинальное напряжение, кВ	10
Тип выключателя	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
Тип трансформатора тока	ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-750/5
Тип ячейки КРУ-СЭЩ-70 (отходящей линии) на ЦТП 5	
Номинальное напряжение, кВ	10
Тип выключателя	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
Тип трансформатора тока	ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-750/5
Тип ячейки КРУ-СЭЩ-70 (отходящей линии) на ЦТП 6	
Номинальное напряжение, кВ	10
Тип выключателя	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
Тип трансформатора тока	ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-750/5

Определим номинальный ток каждой ячейки по выражению:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} \quad (177)$$

где S – мощность подключенной нагрузки к ячейке, кВА;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение распределительной сети предприятия, принято равным 6 кВ.

По выражению (177) определим номинальный ток вводной ячейки:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{Т.НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6} = 606,2 \text{ (А)} \quad (178)$$

По выражению (178) выбираем номинальный ток выключателя 1000 А.

По выражению (177) определим номинальный ток отходящей линии на РП 1:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{РП1}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} = \frac{S_{\text{ЦТП1}} + S_{\text{ЦТП2}} + S_{\text{р.ВН}}}{\sqrt{3} \cdot 6} = \frac{2000 + 2000 + 1731,6}{\sqrt{3} \cdot 6} = 551,5 \text{ (А)} \quad (179)$$

По выражению (179) выбираем номинальный ток выключателя 1000 А.

Аналогично для всех остальных ячеек выбираем выключатели ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000 с номинальным током 1000 А.

Проверка на отключающую способность выключателя.

Симметричный ток отключения проверяется по расчетному значению периодической составляющей ТКЗ на стороне 6 кВ по условию:

$$I_{\text{П,0}} = 5,01 \text{ (кА)} \leq I_{\text{откл.НОМ}} = 20 \text{ (кА)} \quad (180)$$

где $I_{\text{П,0}}$ – периодическая составляющая ТКЗ равная 5,01 кА;

$I_{\text{откл.НОМ}}$ – паспортное значение тока отключения, 20 кА.

Проверка на отключение аperiodической составляющей ТКЗ.

Определим постоянную времени действия аperiodической составляющей:

$$\tau = t_{\text{рз}} + t_{\text{с.в.}} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ (с)} \quad (181)$$

Апериодическая составляющая ТКЗ в момент времени действия апериодической составляющей $\tau = 0,04$ (с):

$$I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,0} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 5,01 \cdot e^{-\frac{0,04}{0,03}} = 1,87 \text{ (кА)} \quad (182)$$

Номинальный ток отключения апериодической составляющей выключателя ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000:

$$I_{a,ном} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{нор}}{100} \right) \cdot I_{откл.ном} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 40}{100} \right) \cdot 20 = 11,31 \text{ (кА)} \quad (183)$$

Условие соответствия выключателя по отключению апериодической составляющей:

$$I_{a,\tau} = 1,87 \text{ (кА)} \leq I_{a,ном} = 11,31 \text{ (кА)} \quad (184)$$

Условие соответствия включающей способности выключателя ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000 расчетным параметрам РУ 6 кВ.

$$I_{п,0} = 5,01 \text{ (кА)} \leq I_{вкл.ном} = 20 \text{ (кА)} \quad (185)$$

$$i_{уд} = 13,11 \text{ (кА)} \leq i_{вкл.ном} = 50 \text{ (кА)} \quad (186)$$

Проверка на электродинамическую стойкость ТКЗ:

$$I_{п,0} = 5,01 \text{ (кА)} \leq I_{пр.с} = 20 \text{ (кА)} \quad (187)$$

$$i_{уд} = 13,11 \text{ (кА)} \leq i_{пр.с} = 50 \text{ (кА)} \quad (188)$$

Проверка на термическую стойкость выключателя ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000.

Время отключения выключателя:

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{пв.откл}} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ (с)} \quad (189)$$

Расчетный термический импульс ТКЗ в расчетной точке К1 на РУ 6 кВ (кА²·с):

$$B_{\text{К}} = I_{\text{п,0}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) = (5,01 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,06 + 0,03) = 2,26 \cdot 10^6 \quad (190)$$

Номинальный термический импульс выключателя ВВУ-СЭЦ-ПЗ-10-20/1000:

$$I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = (50 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 150 \cdot 10^6 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} \quad (191)$$

Проверка на термическую стойкость:

$$B_{\text{К}} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = 150 \cdot 10^6 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} \quad (192)$$

Условия (180), (184), (185), (186), (187), (188) и (192) выполняются, следовательно выключатель марки ВВУ-СЭЦ-ПЗ-10-20/1000 может быть принят к установке на РУ 6 кВ ГПП предприятия.

Выполним проверку трансформаторов тока ТОЛ-СЭЦ-10-0,2S-750/5 устанавливаемых в вводной ячейке РУ 6 кВ ГПП.

Номинальный ток трансформатора был определен в выражении (178) и равен 606,22 А. Условие соответствия трансформатора тока:

$$I_{\text{раб}} = 606,22 \text{ (А)} \leq I_{\text{ном}} = 750 \text{ (А)} \quad (193)$$

Проверка на термическую стойкость с учетом значений полученных в (189) и (190):

$$I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = (40 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 96 \cdot 10^6 (\text{кА}^2 \cdot \text{с}) \quad (194)$$

$$B_K = 2,26 \cdot 10^6 (\text{кА}^2 \cdot \text{с}) \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = 96 \cdot 10^6 (\text{кА}^2 \cdot \text{с}) \quad (195)$$

Нагрузка трансформатора тока:

$$Z_{2\text{НОМ}} = \frac{S_2}{I_2^2} = \frac{50}{5^2} = 2 (\text{Ом}) \quad (196)$$

Приборы подключаемые к трансформаторам тока вводной ячейки сведем в таблицу 14.

Таблица 14 - Приборы подключаемые к трансформаторам тока вводной ячейки

Тип прибора	Марка прибора	<i>n</i> , шт.	$S_{\text{приб}}$, ВА	S_{Σ} , ВА
Амперметр	ЩМ120	1	15	15
Ваттметр				
Счетчики активной и реактивной энергии	ЩМК120СП	1	10	10
Суммарное значение полной мощности всех приборов				25

Сопротивление приборов исходя из значения мощности полученной в таблице 14 $S_{\Sigma} = 25$ (ВА):

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\Sigma}}{I_2^2} = \frac{25}{5^2} = 1 (\text{Ом}) \quad (197)$$

С учетом сопротивления контактов $R_K = 0,1$ (Ом), так как во вторичной цепи трансформатора тока подключено три устройства условие примет вид:

$$R_{\text{пр}} \leq Z_{2\text{НОМ}} - R_{\text{приб}} - R_K = 2 - 1 - 0,1 = 0,9 (\text{Ом}) \quad (198)$$

Сечение проводов используемых для подключения измерительных приборов примем равным $2,5 \text{ мм}^2$.

проверим трехфазный трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,5-225 [4].

Номинальное напряжение:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \geq U_{\text{сет.ном}} = 6 \text{ кВ} \quad (199)$$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения. Определим состав приборов подключаемых к трансформатору напряжения и сведем их в таблицу 15, число приборов определяется для одной секции шин [3],[5].

Таблица 15 - Приборы подключаемые к трансформаторам напряжения РУ 6 кВ

Тип прибора	Название прибора	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$n_{\text{приб}}$, шт.	S_{Σ} , ВА
Вольтметр	ЦМ120	1	0	2	30
Ваттметр					
Счетчики активной и реактивной энергии	ЦМК120СП	0,38	0,925	7	70

$$S_{\text{ном}} = 225 \text{ ВА},$$

Мощность приборов, подключаемых к трансформатору напряжения согласно данным таблицы 15:

$$\begin{aligned} S_{2\Sigma} &= \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi)^2 + (\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi)^2} = \\ &= \sqrt{(30 + 70 \cdot 0,38)^2 + (70 \cdot 0,925)^2} = 86 \text{ (ВА)} \end{aligned} \quad (200)$$

Условие выбора трансформатора напряжения если мощность трансформатора напряжения $S_{\text{ном}} = 225 \text{ (ВА)}$:

$$S_{\text{ном}} = 225 \text{ (ВА)} \geq S_{2\Sigma} = 86 \text{ (ВА)} \quad (201)$$

Условие (201) выполняется, значит трансформатор напряжения может быть установлен в РУ 6 кВ ГПП предприятия. Паспортные данные выбранного трансформатора напряжения представлены в таблице 16.

Таблица 16 - Паспортные данные трансформатора НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,5-225

Параметр	Значение
Номинальное напряжение обмотки, В: ВН НН	$6000/\sqrt{3}$ $100/\sqrt{3}$
Вторичная нагрузка, ВА: расчетная $S_{2\Gamma}$ номинальная $S_{ном}$	86 225
Класс точности	0,5

Выводы по разделу. Для установки в распределительном устройстве 6 кВ предприятия по ремонту механического оборудования приняты ячейки комплектного распределительного устройства марки КРУ СЭЩ-70 производства «Самарский Электроцит». Ячейки КРУ СЭЩ-70 комплектуются вакуумными выключателями марки ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000. Данные выключатели устанавливаются во всех ячейках РУ 6 кВ ГПП предприятия. Кроме того выбраны измерительные трансформаторы тока. Для вводной ячейки на каждую секцию шин РУ 6 кВ выбраны трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-750/5. Выбор выполнен с учетом приборов подключаемых к трансформаторам тока. Выполнен выбор измерительных трансформаторов напряжения, а также выполнена проверка возможности использования в РУ 6 кВ трансформатора напряжения марки НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,5-225. Данный трансформатор напряжения прошел проверку и принят к установке в ячейке РУ-6 кВ ГПП предприятия.

Заключение

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы разработан проект электроснабжения предприятия по ремонту механического оборудования.

Представлена краткая характеристика предприятия по ремонту механического оборудования. Определен регион размещения предприятия – Средняя Волга (Приволжский ФО). Согласно этих данных применение на предприятии оборудования в системе электроснабжения, имеющего специализированные требования по климатическому исполнению, не требуется.

Составлен генеральный план предприятия по ремонту механического оборудования, на котором отражено расположение каждого цеха предприятия, а также подъездные пути: железнодорожные и автомобильные. Для каждого цеха предприятия определены основные (определяющие) категории надежности электроснабжения, которые необходимы для определения схемы электроснабжения каждого цеха. Кроме того, для каждого цеха определены потребители относящиеся к I категории надежности электроснабжения, если таковые имеются в цехе.

Представлена краткая характеристика технологического процесса предприятия позволяющая определить перечень технологических операций выполняемых в каждом из цехов.

Для проектирования системы электроснабжения предприятия по ремонту механического оборудования определены номинальные (установленные) мощности каждого цеха предприятия на стороне 0,4 кВ и эффективное число электроприемников. Кроме того, на предприятии имеются высоковольтные электроприемники – это синхронные двигатели (СД), установленные в цехах №3, №7 и №12.

Для каждого цеха предприятия по ремонту механического оборудования определены справочные коэффициенты необходимые для проведения расчета

электрических нагрузок. Расчет нагрузок выполнен для потребителей на стороне 0,4 кВ – это цеха предприятия, а также для высоковольтных электроприемников — это высоковольтные синхронные электрические двигатели установленные в: цехе № 12 (Кислородный цех), цехе № 7 (Второй механический цех) и цехе № 3 (Первый механический цех).

Выполнен подробный расчет для каждого цеха предприятия среднесменной нагрузки, т.е. значений среднесменной активной и реактивной мощностей, подробный расчет для каждого цеха предприятия расчетной нагрузки, т.е. значений расчетной активной и реактивной мощностей, а также значения расчетной полной мощности.

Для всех высоковольтных электроприемников также определены значения расчетной активной, реактивной и полной мощностей. Составлена итоговая ведомость нагрузок предприятия по ремонту механического оборудования. Итоговое значение полной расчетной мощности для предприятия составило $\sum S_p = 7341,81$ (кВА). Итоговое значение активной расчетной мощности для предприятия составило $\sum P_p = 5090,21$ (кВт). Итоговое значение реактивной расчетной мощности для предприятия составило $\sum Q_p = 5290,74$ (квар).

Так как расчет полной мощности, выполненный в разделе 2 ВКР показал, что полные мощности каждого цеха недостаточно высоки для установки ЦТП в каждом цехе принято решение разделить предприятие на группы цехов по территориальному расположению и каждые цеха территориальной группы запитать от одной ЦТП. Это решение позволило снизить число ЦТП на предприятии, а также снизить число оборудования ЦТП. Согласно территориальному делению цехов выполнен расчет общей полной мощности каждой территории. При выборе трансформаторов ЦТП необходимо использовать компенсацию реактивной мощности, что снизит единичную мощность трансформаторов ЦТП. Для выбора требуемой мощности УКРМ выполнен расчет, согласно которому для каждой ЦТП территориальной группы выбраны установки компенсации реактивной

мощности типа АУКРМ. Представлен подробный расчет выбора мощности трансформаторов ЦТП с учетом компенсации реактивной мощности.

Для определения места расположения главной понизительной подстанции предприятия выполнен расчет картограммы электрических нагрузок по условию группировки цехов предприятия по территориальным группам и питания их от общих цеховых трансформаторных подстанций. По результатам расчетов получено, что координаты ЦЭН по активной и реактивной мощностям попадают на территорию Цеха №8 (Первый сортировочный цех). Размещение ГПП в данной точке невозможно. Смещение места размещения ГПП в сторону Цеха №3 (Первый механический цех) также не представляется возможным, так как при этом придется обеспечить подвод питания по линии 110 кВ через территорию предприятия, поэтому единственным оптимальным местом размещения ГПП принято место на границе предприятия, со стороны точки прихода питания в районе цеха №6 (Строительный цех) и цеха №7 (Второй механический цех).

В точке между цехом №7 (Второй механический цех) и цехом №3 (Первый механический цех) предлагается разместить распределительный пункт, так как на предприятии кроме нагрузки 0,4 кВ получающей питание от цеховых трансформаторных подстанций имеются высоковольтные потребители.

По данным расчетов картограммы нагрузок, а также по данным размещения высоковольтных электроприемников составлена карта размещения сетей напряжением 6 кВ на территории предприятия от места размещения ГПП до каждой ЦТП и РП. Также определены места расположения цеховых РП 0,4 кВ и определены места прокладки линий 0,4 кВ от ЦТП до РП 0,4 кВ каждого цеха.

Для установки на ГПП предприятия необходимо выбрать два силовых трансформатора. Число трансформаторов на ГПП определяется исходя из категории надежности электроснабжения. Так как на предприятии имеются цеха относящиеся к первой категории надежности электроснабжения и

большинство цехов относятся ко второй категории надежности электроснабжения необходимо выбрать два силовых трансформатора. На первом этапе выбора силовых трансформаторов определено напряжение питания предприятия из энергосистемы, так как величина напряжения не задана. Согласно выполненному расчету для электроснабжения предприятия рационально использовать напряжение 110 кВ. Так как напряжение распределительной сети предприятия известно – это напряжение 6 кВ, то на ГПП необходимо выбрать силовые двухобмоточные трансформаторы с напряжением 110/6 кВ. Выбор мощности силовых трансформаторов выполняется с учетом экономически эффективной потребляемой реактивной мощности из энергосистемы, а также с учетом потерь активной мощности в трансформаторах всех ЦТП. Результаты расчетов позволили выбрать для ГПП предприятия два силовых трансформатора марки ТМН 6300/110/6 кВ [15].

Выполнен расчет трехфазного тока короткого замыкания на стороне 6 кВ ГПП предприятия. Получены значения периодической составляющей трехфазного ТКЗ $I_{п,0} = 5,01$ (кА) и значение ударного ТКЗ $i_{уд} = 13,11$ (кА).

Для установки в распределительном устройстве 6 кВ предприятия по ремонту механического оборудования приняты ячейки комплектного распределительного устройства марки КРУ СЭЩ-70 производства «Самарский Электроцит». Ячейки КРУ СЭЩ-70 комплектуются вакуумными выключателями марки ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000. Данные выключатели устанавливаются во всех ячейках РУ 6 кВ ГПП предприятия. Кроме того, выбраны измерительные трансформаторы тока. Для вводной ячейки на каждую секцию шин РУ 6 кВ выбраны трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-750/5. Выбор выполнен с учетом приборов, подключаемых к трансформаторам тока. Выполнен выбор измерительных трансформаторов напряжения, а также выполнена проверка возможности использования в РУ 6 кВ трансформатора напряжения марки НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,5-225. Данный трансформатор напряжения прошел проверку и принят к установке в ячейке РУ-6 кВ ГПП предприятия.

Список используемых источников

1. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. 122 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/78780.html>
2. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебник. М.: ИНФРА-М, 2018. 414 с. URL: <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=345168>
3. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защиты и кабелей в сетях 0,4 кВ. Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. 176 с.
4. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий. Методические указания к курсовому проектированию. Тольятти: ТГУ, 2006. 78 с.
5. Вахнина В.В. Системы электроснабжения: электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 46 с. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
6. ГОСТ 9680 – 77 Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВА и более.
7. ГОСТ Р 52719 – 2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
8. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов. М.: НЦ ЭНАС, 2009. 456 с.
9. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник. М.: Интермент Инжиниринг, 2006. 672 с.
10. Методические рекомендации для определения категорийности потребителей по надежности электроснабжения // Электроэнергетический Совет Содружества Независимых Государств. Исполнительный Комитет. 2019.

URL: <http://energo-cis.ru/wyswyg/file/RGN-new/Метод по категор.потр.pdf> (дата обращения: 30.03.2021).

11. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. М788-1090 // Информационно-справочная система «GOSTRF.COM» : [сайт]. – URL: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294847/4294847066.pdf> (дата обращения: 10.01.2021).

12. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2020. 416 с. URL: <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=345761>

13. Правила устройства электроустановок. 7-е-е изд. Москва: Издательство Проспект, 2020. 832 с.

14. РД 153-34.0-20.527–98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбор электрооборудования. – Москва : НЦ ЭНАС, 2002. – 152 с.

15. Рожкова Л. Д., Корнеева Л. К., Чиркова Т. В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М. Издательский центр «Академия», 2005. 448 с.

16. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по определению электрических нагрузок –М.:ВНИИПИТяжпромэлектропроект, 1992. –14 с.

17. СО 153-34.20.186-2003 Рекомендации по техническому проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше : утверждены приказом Министерства энергетики Российской Федерации № 284 от 30 июня 2003 года. – Москва : НЦ ЭНАС, 2004. – 40 с.

18. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

19. Сумарокова Л.П. Основы расчета систем внутривзаводского электроснабжения: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 119 с.

20. Федоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий: учебник для вузов. М.: Энергия, 1979. 408 с.
21. Chapman S.J. Instructor's Manual to accompany Electric Machinery and Power System Fundamentals, Second Edition. USA: McGraw-Hill, 2011. 307 p.
22. Giridharan M.K. Electrical Systems Design: 2nd edition. I K International Publishing House, 2015. 405 p.
23. Keith H. Billings. Switchmode Power Supply Handbook, Keith H. Billings second edition: Holon McGraw-Hill book company, 2012. 656 p.
24. Maity K. K. Electrical system design calculation: Electrical engineering. Independently published, 2018. 122 p.
25. Whitaker J.C. AC power systems. 4rd ed. California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014. 428 p.