

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 Электроснабжение авиаремонтного завода

Обучающийся

А.Н. Бачинский

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная квалификационная работа связана с разработкой внутризаводской системы электроснабжения предприятия авиационной промышленности – авиаремонтного завода.

В пояснительной записке представлено описание актуальности тематики выпускной квалификационной работы, определены цель, задачи, объект и предмет выпускной квалификационной работы.

Представлена краткая характеристика объекта выпускной квалификационной работы и определены исходные данные для разработки проекта внутризаводского электроснабжения. Проведен расчет электрических нагрузок объекта с учетом мощности силовых электроприемников и мощности системы освещения. Рассчитана и построена картограмма электрических нагрузок объекта позволившая определить место размещения главной понижающей подстанции. Выполнен расчет параметров и выбор оборудования главной понижающей подстанции предприятия. Выполнен расчет количества и мощности распределительных подстанций внутризаводской системы электроснабжения с учетом компенсации реактивной мощности. Выбраны автоматические установки компенсации реактивной мощности, распределительные трансформаторы, а также кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Пояснительная записка выполнена на 51 листе формата А4, содержит 14 таблиц и 2 рисунк. Список используемых источников содержит 23 наименования. Графическая часть, отражающая основные результаты проекта внутризаводского электроснабжения выполнена на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Характеристика авиаремонтного завода	6
2 Электрические нагрузки авиаремонтного завода	10
2.1 Электрические нагрузки на напряжении 0,4 кВ	10
2.2 Электрические нагрузки на высоковольтных потребителей на стороне 10 кВ.....	12
3 Выбор трансформаторов цеховых подстанций	16
4 Электрические нагрузки авиаремонтного завода с учетом высоковольтных установок компенсации реактивной мощности.....	31
5 Выбор месторасположения и мощности трансформаторов главной понижительной подстанции	36
6 Выбор кабельных линий распределительной сети авиаремонтного завода	43
Заключение.....	47
Список используемых источников	50

Введение

Авиационная промышленность является крупной отраслью России, относящейся к машиностроению. Предприятия и компании, связанные с авиационной промышленностью, занимаются производством компонентов для авиационной техники, исследованиями в области авиационной техники, строительством и испытаниями серийных и опытных образцов летательных аппаратов и т.д. В целом авиационная промышленность, как и любая отрасль машиностроения включает в себя большую цепочку предприятий и компаний.

Предприятия авиационной промышленности выпускают летательную технику гражданского и военного назначений. К летательной технике выпускаемой предприятиями авиационной промышленности относятся вертолеты, самолеты и беспилотные летательные аппараты.

По различным оценкам, авиационная промышленность в России развита достаточно хорошо. На долю российских предприятий авиационной промышленности приходится второе место в мире по качеству и объему выпускаемой продукции.

Гражданские летательные аппараты, производимые на территории Российской Федерации, востребованы не только на внутреннем рынке, но и экспортируются за рубеж. Правительство РФ заинтересовано в развитии авиационной промышленности так как авиационная промышленность оказывает мультипликативный эффект на развитие всех отраслей экономики Российской Федерации. Развитие авиационной промышленности требует строительства новых производств и предприятий, отвечающих современным требованиям по эффективности производства.

Главными задачами при строительстве новых предприятий авиационной промышленности является и последующим обеспечением качества производимой продукции является проектирование систем электроснабжения этих предприятий с учетом требуемой электрической мощности, учитывая

категории надежности электроснабжения, а также учитывая требования энергетической эффективности.

В связи с этим тематика выпускной квалификационной работы, направленная на электроснабжение авиаремонтного завода, как сегмента авиационной промышленности, является актуальной.

Объектом выпускной квалификационной работы является авиаремонтный завод, расположенный в Приволжском федеральном округе.

Предметом выпускной квалификационной работы является внутризаводская система электроснабжения авиаремонтного завода.

Для выполнения выпускной квалификационной работы поставлена цель – разработка проекта электроснабжения завода по ремонту авиационной техники.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

- анализ структуры и производственного цикла объекта выпускной квалификационной работы;
- определение значений расчетных нагрузок основных и вспомогательных производственных цехов объекта выпускной квалификационной работы;
- разработка внутризаводской системы электроснабжения объекта с учетом требований надежности электроснабжения потребителей;
- выбор оптимального оборудования системы электроснабжения объекта выпускной квалификационной работы с учетом требуемых параметров.

Учитывая специфику авиационной отрасли необходимо выполнять выбор оптимального оборудования преимущественно российского производства с высоким уровнем локализации. Все оборудование и спроектированная внутризаводская система электроснабжения должна отвечать всем действующим стандартам в части разработки и проектирования внутризаводских систем электроснабжения.

1 Характеристика авиаремонтного завода

Авиаремонтный завод является предприятием машиностроительной отрасли. Регион расположения авиаремонтного завода – приволжский федеральный округ, характеризуется как регион с умеренным климатом и нормальной окружающей средой. В месте размещения авиаремонтного завода имеется развитая инфраструктура: сеть автомобильных дорог, железнодорожные пути, которые облегчают доставку оборудования, комплектующих и авиатехники для выполнения ремонтов. Кроме того, на расстоянии 10,2 км от авиаремонтного завода расположена государственная районная электрическая станция (ГРЭС) с номинальным напряжением 110 кВ. Данный источник – ГРЭС, будет использован для питания проектируемой системы электроснабжения авиаремонтного завода. Параметры ГРЭС необходимые для проектирования системы электроснабжения авиаремонтного завода представлены в таблице 1 [23].

Таблица 1 - Параметры источника питания

Наименование параметра	Значение параметра	Обозначение параметра	Единица измерения
Расстояние до объекта ВКР	10,2	$l_{\text{ГРЭС}}$	км
Номинальное напряжения распределительного устройства	110	$U_{\text{ном.ГРЭС}}$	кВ
Мощность короткого замыкания на шинах распределительного устройства	1950	$S_{\text{кз.ГРЭС}}$	МВА
Предельное значение коэффициента реактивной мощности	0,48	$\text{tg } \varphi_{\text{кз.ГРЭС.max}}$	-

Территория, занимаемая авиаремонтным заводом, составляет 65 га. На территории авиаремонтного завода размещены 22 цеха, среди которых цеха, относящиеся к основному производству и цеха относящиеся к вспомогательным. Генеральный план авиаремонтного завода, с размещенными на нем цехами, представлен на рисунке 1 [23].

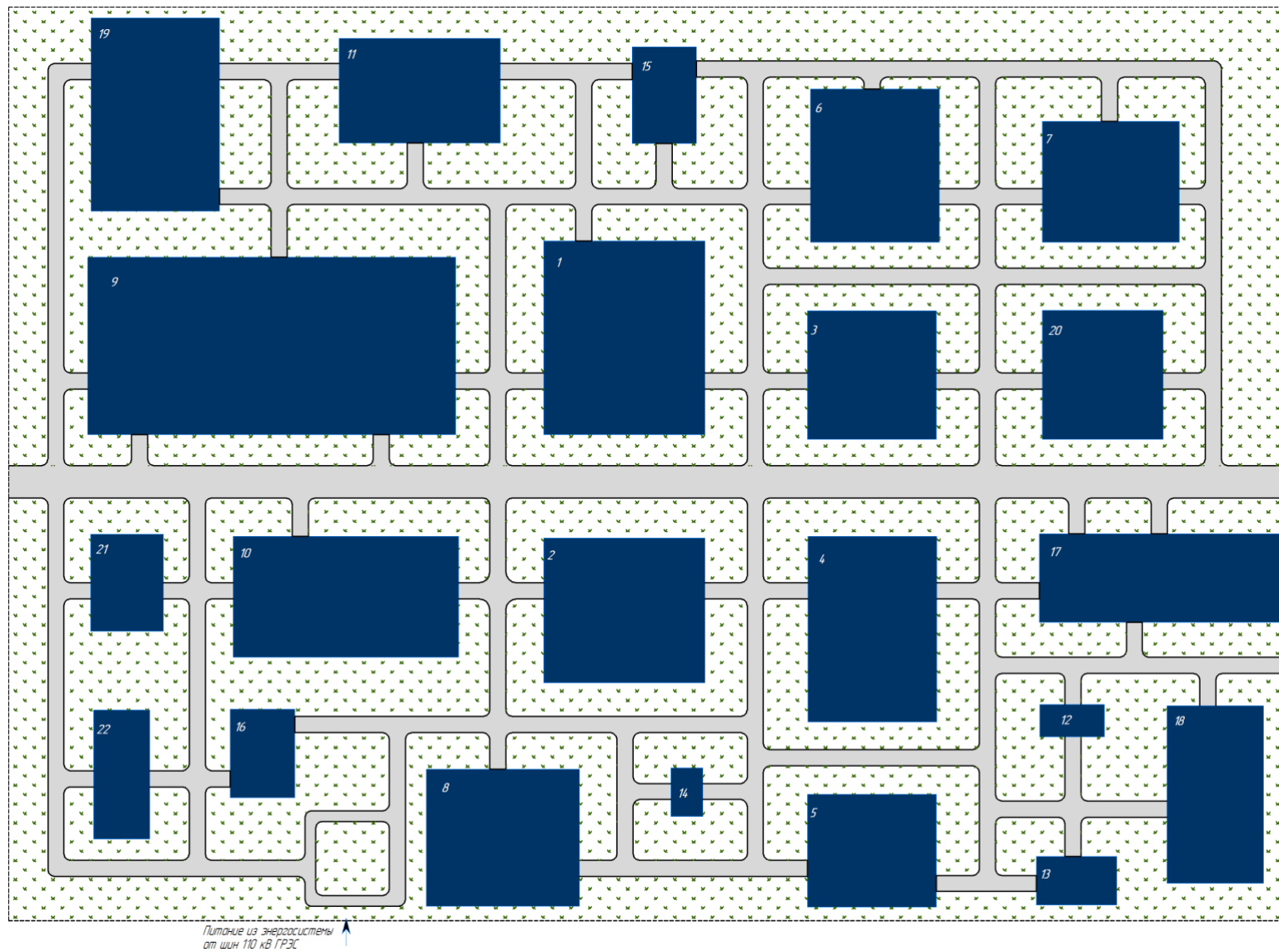


Рисунок 1 - Генеральный план авиаремонтного завода

Перечень цехов авиаремонтного завода представлен в таблице 2. Число часов использования максимума нагрузки для проектируемой системы электроснабжения авиаремонтного завода $T_{max} = 4370$ (ч) [20]. Авиаремонтный завод осуществляет работы в две смены. Основной категорией надежности электроснабжения является вторая категория. Однако на объекте также присутствуют потребители первой категории надежности, категории надежности каждого цеха, у указанием установленной мощности представлены в таблице 2 [16].

Таблица 2 - Перечень цехов авиаремонтного завода

Номер цеха по плану	Наименование цеха	Площадь цеха, м ²	Данные нагрузок, $P_{ном.i}$, кВт
1	Механический цех №1	17280	6802
2	Механический цех №2	12960	6267
3	Сборочно-производственный корпус №1	9216	4969
4	Сборочно-производственный корпус №2	13248	5281
5	Сборочно-производственный корпус №3	8064	3104
6	Сборочно-производственный корпус №4	10944	4388
7	Модельно-испытательный корпус	9180	3632
8	Штампово-заготовительный цех	11628	3855
9	Термический цех	36168	8980
10	Литейный цех	15120	3856
11	Цех лакокрасочных покрытий	9360	3052
12	Электроремонтный цех	1152	350
13	Ремонтно-механический цех	2160	651
14	Деревообрабатывающий цех	864	327
15	Компрессорная	3456	830
16	Котельная	3168	984
17	Аэродромное хозяйство	19800	561
18	Автотранспортное хозяйство	9504	149
19	Складской комплекс	13824	435
20	Ангарный комплекс	8640	208
21	Конструкторское бюро	3888	67
22	Административный корпус	4032	111

На авиаремонтном предприятии находятся потребители получающие питание на напряжении 10 кВ. Данные потребители расположены не во всех цехах авиаремонтного завода. Перечь высоковольтных потребителей представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Исходные данные для высоковольтных электроприемников

Номер цеха	Наименование высоковольтного потребителя	Данные высоковольтных потребителей			
		$P_{ном.i}$, кВт	$K_{и.i}$	$\cos \varphi_i$	$\operatorname{tg} \varphi_i$
7	Высоковольтный асинхронный двигатель	2×2500	0,8	0,89	0,512
10	Высоковольтный асинхронный двигатель	6×400	0,8	0,86	0,593
	Индукционная печь типа ИСТ-1	4×850	0,7	0,95	0,33
	Индукционная печь типа ИСТ-2,5	4×1500	0,7	0,95	0,33
	Дуговая сталеплавильная печь типа ДСП-1,5	4×1600	0,5	0,8	0,75
	Дуговая сталеплавильная печь типа ДСП-3	4×2500	0,75	0,9	0,484

Выводы по разделу.

Представлены исходные данные необходимые для выполнения выпускной квалификационной работы и проектирования системы электроснабжения авиаремонтного завода. Определена общая площадь территории, занимаемой авиаремонтным заводом, которая составляет 65 га. Определено, что на расстоянии 10,2 км от авиаремонтного завода расположена государственная районная электрическая станция (ГРЭС) с номинальным напряжением 110 кВ, которая будет использована для питания проектируемой системы электроснабжения авиаремонтного завода.

2 Электрические нагрузки авиаремонтного завода

В рамках второго раздела необходимо выполнить расчет электрических нагрузок авиаремонтного завода с учетом нагрузок, питающихся на напряжении 0,4 кВ и высоковольтных нагрузок на напряжении 10 кВ.

2.1 Электрические нагрузки на напряжении 0,4 кВ

Расчет электрических нагрузок выполним по методу коэффициента спроса [3]. Используя метод коэффициента спроса, расчетная активная мощность определяется выражением:

$$P_{\text{расч.}i} = P_{\text{max.}i} = K_{\text{с.}i} \cdot P_{\text{ном.}i} \quad (1)$$

где $P_{\text{max.}i}$ – максимальная активная мощность i -го цеха авиаремонтного предприятия, кВт;

$K_{\text{с.}i}$ – коэффициент спроса i -го цеха авиаремонтного предприятия;

$P_{\text{ном.}i}$ – номинальная (установленная) мощность потребителей i -го цеха авиаремонтного предприятия. Определяется исходными данными, представленными в таблице 2 кВт.

Расчетная реактивная мощность определяется на основании результатов, полученных по выражению (1) [4]:

$$Q_{\text{расч.}i} = Q_{\text{max.}i} = P_{\text{расч.}i} \cdot \text{tg } \varphi \quad (2)$$

где $\text{tg } \varphi$ - средневзвешенный коэффициент реактивной мощности i -го цеха авиаремонтного предприятия.

Полная мощность цеха с учетом значений полученных в (1) и (2) определится по выражению [4]:

$$S_{\text{расч.}i} = \sqrt{P_{\text{расч.}i}^2 + Q_{\text{расч.}i}^2} \quad (3)$$

По (1), (2) и (3) получим для цеха №1 (механический цех №1) с учетом данных таблицы 2 получим:

$$P_{\text{расч.}1} = K_{с.1} \cdot P_{\text{ном.}1} = 0,26 \cdot 6802 = 1801,4 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{расч.}1} = Q_{\text{max.}1} = 1801,4 \cdot 1,28 = 2215,2 \text{ (квар)}$$

$$S_{\text{расч.}1} = \sqrt{P_{\text{расч.}1}^2 + Q_{\text{расч.}1}^2} = 2924,4 \text{ (кВА)}$$

Для всех остальных цехов авиаремонтного завода расчеты выполняются аналогично расчетам для цеха №1 (механический цех №1). Результаты расчета нагрузок на стороне 0,4 кВ с учетом нагрузок освещения для всех цехов авиаремонтного завода сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет нагрузок на стороне 0,4 кВ авиаремонтного завода

Номер цеха	$P_{\text{расч.}i}$, кВт	$Q_{\text{расч.}i}$, квар	$S_{\text{расч.}i}$, кВА	$\cos \varphi_i$	$\text{tg } \varphi_i$
1	1801,4	2215,2	2924,4	0,61599	1,278843
2	1535,85	2038,79	2607,83	0,588938	1,372264
3	1216,79	1432,37	1928,37	0,630994	1,229469
4	1131,31	1547,56	1953,67	0,579069	1,407912
5	650,93	901,44	1134,39	0,573815	1,427263
6	998,66	1300,56	1678,21	0,595075	1,350538
7	717,01	728,78	1051,53	0,681873	1,072737
8	1791,72	1574,68	2414,13	0,74218	0,903015
9	5641,81	3102,27	6536,63	0,863107	0,58512
10	2381,2	1500,4	2842,21	0,837799	0,651683
11	1811,1	756,98	1982,4	0,91359	0,445099
12	104,1	117,27	161,7	0,643785	1,188606
13	195,43	253,38	327,15	0,597371	1,34249
14	114,5	98,03	152,38	0,751411	0,878127
15	539,1	400,78	671,89	0,802363	0,743847
16	719,55	496,01	877,03	0,820439	0,696862
17	250,4	249,02	368,43	0,679641	1,079313
18	52,09	57,56	79,96	0,651451	1,164618
19	149,2	154,62	217,22	0,686861	1,05813
20	115,6	84,03	143,27	0,806868	0,732129

Продолжение таблицы 4

Номер цеха	$P_{\text{расч.}i}$, кВт	$Q_{\text{расч.}i}$, квар	$S_{\text{расч.}i}$, кВА	$\cos \varphi_i$	$\text{tg } \varphi_i$
21	38,95	17,99	43,14	0,902874	0,476151
22	60,75	27,13	66,91	0,907936	0,461606
Итого по заводу	22017,45	19054,85	30162,85	-	-

Получены расчетные значения для активной, реактивной и полной мощности потребителей авиаремонтного завода для каждого цеха на стороне 0,4 кВ. По результатам расчетов получено, что суммарная активная мощность по потребителям на стороне 0,4 кВ составила $P_{\text{расч.}\Sigma} = 22017,45$ (кВт), $Q_{\text{расч.}\Sigma} = 19054,85$ (квар), $S_{\text{расч.}\Sigma} = 30162,85$ (кВА).

2.2 Электрические нагрузки на высоковольтных потребителей на стороне 10 кВ

Расчет нагрузок высоковольтных потребителей выполним по методике коэффициента использования [8].

Используя метод коэффициента использования расчетное значение активной мощности определяется на основании исходных данных, представленных в таблице 4 по выражению:

$$P_{\text{расч.ВП.}i} = K_{\text{и}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном.}i} \cdot n_{\text{ЭП}} \quad (4)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования;

n – число высоковольтных электроприемников, шт.;

$P_{\text{ном.}i}$ – номинальная активная мощность высоковольтного электроприемника, кВт;

$n_{\text{ЭП}}$ – число высоковольтных электроприемников.

Расчетное значение реактивной мощности определяется на основании исходных данных, представленных в таблице 4 и значения полученного в (4) по выражению:

$$Q_{\text{расч.ВП.}i} = P_{\text{расч.ВП.}i} \cdot \text{tg } \varphi_i \quad (5)$$

Расчетное значение полной мощности определяется на основании значения полученного в (4) и (5) по выражению:

$$S_{\text{расч.ВП.}i} = \sqrt{P_{\text{расч.ВП.}i}^2 + Q_{\text{расч.ВП.}i}^2} \quad (6)$$

По (4), (5) и (6) используя данные таблицы 2 для цеха №7 (Модельно-испытательный корпус) получим:

$$P_{\text{расч.ВП.7}} = 0,8 \cdot \sum_{i=1}^2 2500 = 0,8 \cdot 5000 = 4000 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{расч.ВП.7}} = P_{\text{расч.ВП.7}} \cdot \text{tg } \varphi_7 = 4000 \cdot 0,512 = 1936 \text{ (квар)}$$

$$S_{\text{расч.ВП.}i} = \sqrt{P_{\text{расч.ВП.7}}^2 + Q_{\text{расч.ВП.7}}^2} = \sqrt{4000^2 + 1936^2} = 4443,88 \text{ (кВА)}$$

Для всех остальных высоковольтных электроприемников расчет выполняется аналогично расчету для высоковольтных асинхронных электродвигателей, расположенных в цехе №7 (Модельно-испытательный корпус). Результаты расчета нагрузок высоковольтных электроприемников сведем в таблицу 5.

Таблица 5 - Исходные данные для высоковольтных электроприемников

Номер цеха	Данные высоковольтных потребителей				Расчетные значения		
	$P_{ном.i}$, кВт	$K_{и.i}$	$\cos \varphi_i$	$\operatorname{tg} \varphi_i$	$P_{расч.ВП.i}$, кВт	$Q_{расч.ВП.i}$, квар	$S_{расч.ВП.i}$, кВА
7	2×2500	0,8	0,89	0,512	4000	1936	4443,88
10	6×400	0,8	0,86	0,593	1920	929,28	2133,06
	4×850	0,7	0,95	0,33	6580	2171,4	6929,02
	4×1500	0,7	0,95	0,33			
	4×1600	0,5	0,8	0,75	3200	2400	4000
	4×2500	0,75	0,9	0,484	7500	3630	8332,28
Итого по заводу					14700	7966	16719,66

В результате расчета нагрузок высоковольтных электроприемников получено, что суммарная активная мощность $P_{расч.ВП.Σ} = 14700$ (кВт), $Q_{расч.ВП.Σ} = 7966$ (квар), $S_{расч.ВП.Σ} = 16719,66$ (кВА).

Для определения итоговых нагрузок по всему заводу складываются соответствующие значения мощностей по стороне 0,4 кВ и по стороне 10 кВ.

Итоговая активная нагрузка авиаремонтного завода составит с учетом значений, полученных в таблице 4 и 5:

$$P_{расч.АВЗ.Σ} = P_{расч.ВП.Σ} + P_{расч.Σ} = 14700 + 22017,45 = 36717,45 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{расч.АВЗ.Σ} = Q_{расч.ВП.Σ} + Q_{расч.Σ} = 7966 + 19054,85 = 27020,85 \text{ (квар)}$$

$$S_{расч.АВЗ.Σ} = \sqrt{P_{расч.АВЗ.Σ}^2 + Q_{расч.АВЗ.Σ}^2} = \sqrt{36717,45^2 + 27020,85^2}$$

$$S_{расч.АВЗ.Σ} = 45588,348 \text{ (кВА)}$$

Полученные значения могут быть снижены после выбора мощности установок компенсации реактивной мощности [12].

Выводы по разделу.

Определены расчетные значения нагрузок для потребителей 0,4 кВ авиаремонтного завода методом коэффициента спроса. Суммарная нагрузка потребителей 0,4 кВ с учетом системы внутреннего освещения каждого цеха составила: активная мощность $P_{расч.Σ} = 22017,45$ (кВт), реактивная мощность $Q_{расч.Σ} = 19054,85$ (квар) и полная мощность $S_{расч.Σ} = 30162,85$ (кВА).

Нагрузки высоковольтных потребителей рассчитаны методом коэффициента использования. Высоковольтные электроприемники расположены только в двух цехах авиаремонтного завода.

По результатам расчета получены суммарные значения мощностей высоковольтных потребителей по всему заводу: активной $P_{\text{расч.ВП.}\Sigma} = 14700$ (кВт), реактивной $Q_{\text{расч.ВП.}\Sigma} = 7966$ (квар) и полной $S_{\text{расч.ВП.}\Sigma} = 16719,66$ (кВА).

Общее по заводу расчетное значение нагрузок составило: полная $S_{\text{расч.АВЗ.}\Sigma} = 45588,348$ (кВА), реактивная $Q_{\text{расч.АВЗ.}\Sigma} = 27020,85$ (квар) и активная $P_{\text{расч.АВЗ.}\Sigma} = 36717,45$ (кВт). Значения полной и реактивной мощности могут быть далее снижены при расчете необходимости компенсации реактивной мощности.

3 Выбор трансформаторов цеховых подстанций

Выбор трансформаторов цеховых подстанций необходимо выполнить исходя из значений расчетных нагрузок, полученных во втором разделе выпускной квалификационной работы. Мощность трансформаторов цеховых подстанций необходимо выбирать из условия использования в проектируемой системе электроснабжения установок компенсации реактивной мощности [11]. Поэтому на первом этапе выбора трансформаторов цеховых подстанций необходимо уточнить значения полной мощности каждого цеха авиаремонтного завода.

Установки компенсации реактивной мощности предполагается использовать на стороне 0,4 кВ цеховых трансформаторных подстанций [9]. Для выбора мощности и необходимости использования установок компенсации реактивной мощности выполним группировку цехов авиаремонтного завода по подключению к цеховым трансформаторным подстанциям.

Для предварительного распределения нагрузок между цеховыми подстанциями воспользуемся методикой удельной плотности нагрузки.

Удельная плотность нагрузки определяется выражением [10]:

$$S_{\text{уд.нагр.}i} = \frac{S_{\text{расч.}i}}{F_{\text{цеха.}i}} \quad (7)$$

где $S_{\text{расч.}i}$ – расчетное значение полной мощности i -го цеха авиаремонтного завода. Определено для каждого цеха авиаремонтного предприятия в таблице 4, кВА;

$F_{\text{цеха.}i}$ – площадь i -го цеха авиаремонтного завода. Определено исходными данными в таблице 2, м².

Мощность трансформаторов цеховой подстанции определяется на основании величины $S_{\text{уд.нагр.}i}$.

Экономически выгодная мощность трансформатора цеховой подстанции $S_{э.в} = 1000$ (кВА) принимается при условии [13]:

$$s_{уд.нагр.i} < 0,2 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (8)$$

Экономически выгодная мощность трансформатора цеховой подстанции $S_{э.в} = 1600$ (кВА) принимается при условии [13]:

$$0,2 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \leq s_{уд.нагр.i} \leq 0,3 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (9)$$

Экономически выгодная мощность трансформатора цеховой подстанции $S_{э.в} = 2500$ (кВА) принимается при условии [13]:

$$s_{уд.нагр.i} > 0,3 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (10)$$

Минимальное число трансформаторов на подстанции определяется выражением [18]:

$$n_{тр.min.i} = \frac{S_{расч.i}}{K_{з.тр} \cdot S_{э.в.i}} + \Delta n \quad (11)$$

где $S_{расч.i}$ – расчетное значение полной мощности i -го цеха авиаремонтного завода. Определено для каждого цеха авиаремонтного предприятия в таблице 4, кВА;

$K_{з.тр}$ – нормируемый коэффициент загрузки трансформаторов.

Рекомендуется использовать значения в пределах $K_{з.тр} \in [0,65, 0,7]$

при установке двух трансформаторов на подстанции и $K_{з.тр} \in$

$[0,85, 0,9]$ при установке одного трансформатора на подстанции;

$S_{э.в.i}$ – экономически выгодная мощность трансформатора цеховой подстанции. Определяется исходя из условий (8) - (10) для i -го цеха авиаремонтного завода, кВА;

Δn – добавка до ближайшего большего целого числа.

Оптимальное число трансформаторов на подстанции определяется по выражению [5]:

$$n_{тр.опт.i} = n_{тр.мин.i} + m \quad (12)$$

где m – дополнительное число цеховых трансформаторов, шт.

Фактический коэффициент загрузки трансформаторов на цеховой подстанции определяется выражением [5]:

$$K_{з.тр.факт.i} = \frac{S_{расч.i}}{S_{транс.ном.i} \cdot n_{тр.опт.i}} \quad (13)$$

где $S_{транс.ном.i}$ – номинальная мощность трансформатора i -й трансформаторной подстанции авиаремонтного завода определенная по каталогам производителя трансформаторного оборудования, кВА.

Согласно представленной методике, выполним расчет для цеха №1 (Механический цех №1).

Удельная плотность нагрузки цеха №1 по (7):

$$s_{уд.нагр.1} = \frac{S_{расч.1}}{F_{цеха.1}} = \frac{2924,41}{17280} = 0,169 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right)$$

Значение плотности нагрузки $s_{уд.нагр.1} = 0,169 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right)$ соответствует условию (8):

$$S_{\text{уд.нагр.1}} = 0,169 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) < 0,2 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right)$$

Поэтому принимаем экономически выгодную мощность трансформатора цеховой подстанции для цеха №1 $S_{\text{э.в.1}} = 1000$ (кВА). Тогда минимальное число трансформаторов на подстанции цеха №1 по (11):

$$n_{\text{тр.мин.1}} = \frac{S_{\text{расч.1}}}{K_{\text{э.тр}} \cdot S_{\text{э.в.1}}} + \Delta n = \frac{2924,41}{0,85 \cdot 1000} + 0,56 = 4 \text{ (шт.)}$$

Фактический коэффициент загрузки трансформаторов цеховой подстанции цеха №1 по (13):

$$K_{\text{э.тр.факт.1}} = \frac{S_{\text{расч.1}}}{S_{\text{транс.ном.1}} \cdot n_{\text{тр.опт.1}}} = \frac{2924,41}{1000 \cdot 4} = 0,731$$

Распределение и предварительный выбор трансформаторов авиаремонтного завода сведем в таблицу 6.

Согласно предварительному выбору трансформаторов цеховых подстанций в таблице 6 к установке принимаются два типа трансформаторов [7]:

- трехфазный масляный герметичный с защитой масла типа ТМЗ/1600/10/0,4;
- трехфазный масляный герметичный с защитой масла типа ТМЗ/1000/10/0,4.

Таблица 6 – Результаты предварительного выбора трансформаторов цеховых подстанций

Номер цеха	Номер подстанции	$F_{\text{цеха},i}, \text{ м}^2$	$S_{\text{расч},i}, \text{ кВА}$	$S_{\text{транс.ном},i}, \text{ кВА}$	$n_{\text{тр.опт},i}, \text{ шт.}$	$K_{\text{э.тр.факт},i}$
9	ЦТП 1, ЦТП 2, ЦТП 3, ЦТП 4	36168	6536,63	1000	8	0,817
11						
19	ЦТП 5, ЦТП 6	23184	2199,62	1000	3	0,733
1						
15	ЦТП 7, ЦТП 8, ЦТП 9	20736	3596,3	1000	5	0,719
6						
7	ЦТП 10, ЦТП 11	20124	2729,74	1000	4	0,682
3						
20	ЦТП 12, ЦТП 13	17856	2071,64	1000	3	0,691
4						
12	ЦТП 14, ЦТП 15	15264	2267,75	1000	3	0,756
14						
5	ЦТП 16, ЦТП 17	39528	1909,93	1000	3	0,637
13						
18						
17						
8	ЦТП 18, ЦТП 19	14796	3291,16	1600	3	0,686
16						
2	ЦТП 20	12960	2607,83	1600	2	0,815
10	ЦТП 21, ЦТП 22	23040	2952,26	1000	4	0,738
21						
22						

После определения числа цеховых подстанций необходимо выбрать установки компенсации реактивной мощности. Согласно таблице 1 предельное значение коэффициента реактивной мощности источника питания $\text{tg } \varphi_{\text{КЗ.ГРЭС.max}} = 0,48$. Исходя из этого значения произведем расчет требуемой мощности установок компенсации.

Для расчета требуемой мощности установок компенсации по минимуму приведенных затрат используется выражение [21]:

$$Q_{\text{УКРМ.ЦТП.j}} = (\text{tg } \varphi_j - \text{tg } \varphi_{\text{КЗ.ГРЭС.max}}) \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{расч.i}} \quad (14)$$

где $\text{tg } \varphi_i$ – коэффициент реактивной мощности j -й цеховой подстанции.

Определяется на основании данных таблицы 4;

n - число цехов подключенных к j -й цеховой подстанции, шт.;

$P_{\text{расч.i}}$ – расчетная активная мощность i -го цеха подключенного к j -й цеховой подстанции. Определяется на основании данных таблицы 4, кВт.

Коэффициент реактивной мощности для цеховой подстанции определяется выражением [12]:

$$\text{tg } \varphi_j = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{расч.i}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.i}}} \quad (15)$$

где n - число цехов подключенных к j -й цеховой подстанции, шт.;

$Q_{\text{расч.i}}$ - расчетная реактивная мощность i -го цеха подключенного к j -й цеховой подстанции. Определяется на основании данных таблицы 4, квар;

$P_{\text{расч.i}}$ – расчетная активная мощность i -го цеха подключенного к j -й цеховой подстанции. Определяется на основании данных таблицы 4, кВт.

Для расчета требуемой мощности установок компенсации по минимуму потерь и суммарных затрат используется результат, вычисленный по выражению (14) и результат выражения [12]:

$$Q_{\text{транс.}j} = \sqrt{(n_{\text{тр.опт.}j} \cdot K_{\text{з.тр}} \cdot S_{\text{транс.ном.}j})^2 - \left(\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i}\right)^2} \quad (16)$$

По расчетному значению (16) определяется суммарная мощность установок компенсации:

$$Q_{\text{КУ.1.}j} = \left(\sum_{i=1}^n Q_{\text{расч.}i}\right) - Q_{\text{транс.}j} \quad (17)$$

Использование установок компенсации реактивной мощности на подстанции не требуется если для значения, полученного по выражению (17) выполняется условие [16]:

$$Q_{\text{КУ.1.}j} < 0 \quad (18)$$

Уточненная мощность установок компенсации по условию минимума потерь и суммарных затрат определится на основании выражения:

$$Q_{\text{КУ.2.}j} = \left(\sum_{i=1}^n Q_{\text{расч.}i}\right) - Q_{\text{КУ.1.}j} - \gamma \cdot n_{\text{тр.опт.}j} \cdot S_{\text{транс.ном.}j} \quad (19)$$

где γ – справочный коэффициент [22].

Определим мощность установок компенсации реактивной мощности используя методику (14) - (19) для ЦТП 5 и ЦТП 6 питающих цех № 11 (Цех лакокрасочных покрытий) и цех №19 (Складской комплекс).

Коэффициент реактивной мощности по (15):

$$\operatorname{tg} \varphi_{5,6} = \frac{\sum_{i=1}^2 Q_{\text{расч.}i}}{\sum_{i=1}^2 P_{\text{расч.}i}} = \frac{911,6}{1960,3} = 0,47$$

Требуемая мощности установок компенсации по минимуму приведенных затрат по (14):

$$Q_{\text{УКРМ.ЦТП.5,6}} = (\operatorname{tg} \varphi_{5,6} - \operatorname{tg} \varphi_{\text{КЗ.ГРЭС.max}}) \cdot \sum_{i=1}^2 P_{\text{расч.}i}$$

$$Q_{\text{УКРМ.ЦТП.5,6}} = (0,47 - 0,48) \cdot 1960,3 = -19,6 \text{ (квар)}$$

Для ЦТП 5 и ЦТП 6 использование установок компенсации реактивной мощности не требуется. Для всех остальных цеховых подстанций авиаремонтного завода выбор мощности установки компенсации по (14) - (19) сведем в таблицу 7.

По результатам выбора установок компенсации реактивной мощности необходимо уточнить мощность трансформаторов выбранных предварительно на цеховых подстанциях в таблице 6. Для этого необходимо рассчитать уточненное значение полной мощности для каждой цеховой подстанции с учетом данных таблиц 6 и 7 используя выражение:

$$S_{\text{расч.}j.\text{ут.}} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i}\right)^2 + Q_{\text{ЦТП.}j}} \quad (20)$$

где $Q_{\text{ЦТП.}j}$ – уточненное значение реактивной мощности j -й подстанции после компенсации реактивной мощности, по таблице 7, квар.

Таблица 7 - Результаты выбора установок компенсации и уточнение значений реактивной мощности для каждой цеховой подстанции

Номер цеха	Номер подстанции	$Q_{\text{УКРМ.ЦТП.НОМ}}$, квар	Марка УКРМ	$n_{\text{КУ}}$, шт.	$Q_{\text{УКРМ.ЦТП.Э}}$	$Q_{\text{УКРМ.ЦТП.Ј}}$, квар	$Q_{\text{ЦТП.Ј}}$, квар
9	ЦТП 1, ЦТП 2, ЦТП 3, ЦТП 4	0	-	-	-	3102,27	3102,27
11	ЦТП 5, ЦТП 6	0	-	-	-	911,6	911,6
19							
1	ЦТП 7, ЦТП 8, ЦТП 9	116	УКМ58-0,4-20	5	100	2616	2516
15							
6	ЦТП 10, ЦТП 11	29,34	УКМ58-0,4-20	1	20	2029,34	2009,34
7							
3	ЦТП 12, ЦТП 13	879,38	УКМ58-0,4-268	3	804	1516,4	712,4
20							
4	ЦТП 14, ЦТП 15	1120,43	УКМ58-0,4- 337,5	3	1012,5	1762,86	750,36
12							
14							
5	ЦТП 16, ЦТП 17	907,59	УКМ58-0,4-300	3	900	1461,4	561,4
13							
18							
17							
8	ЦТП 18, ЦТП 19	853,83	УКМ58-0,4-268	3	804	2070,69	1266,9
16							
2	ЦТП 20	1305,47	УКМ58-0,4-603	2	1206	2038,79	832,79
10	ЦТП 21, ЦТП 22	0	-	-	-	1545,52	1545,52
21							
22							

Далее определяется уточненный коэффициент загрузки трансформаторов выбранных предварительно в таблице 6 используя выражение [16]:

$$K_{з.тр.ут.j} = \frac{S_{расч.j.ут.}}{S_{транс.ном.j} \cdot n_{тр.опт.j}} \quad (21)$$

При несоответствии значения коэффициента загрузки для j -й цеховой подстанции определенное для выражения (11), то мощность трансформатора снижается до ближайшего близкого значения.

Представим расчет для ЦТП №20 питающей цех №2 (механический цех №2).

Уточненное значение полной мощности цеховой подстанции ЦТП №20 питающей цех №2 (механический цех №2) с учетом данных таблиц 6 и 7 по выражению (20):

$$S_{расч.20.ут.} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^1 P_{расч.i}\right)^2 + Q_{ЦТП.20}^2}$$

$$S_{расч.20.ут.} = \sqrt{1535,85^2 + 832,79^2} = 1747,1 \text{ (кВА)}$$

По (21) проверим коэффициент загрузки для двух трансформаторов мощностью $S_{транс.ном.20} = 1600$ (кВА) по (13):

$$K_{з.тр.факт.20} = \frac{S_{расч.20.ут.}}{S_{транс.ном.20} \cdot n_{тр.опт.20}} = \frac{1747,1}{1600 \cdot 2} = 0,54$$

Рассмотрим возможность использования на ЦТП №20 двух подстанций с общим числом трансформаторов $n_{тр.20} = 3$ (шт.), тогда по (13) получим:

$$K_{з.тр.20} = \frac{S_{расч.20.ут.}}{S_{транс.ном.20} \cdot n_{тр.20}} = \frac{1747,1}{1000 \cdot 3} = 0,58$$

Применение двух цеховых подстанций для цеха большой площади позволит эффективнее распределить нагрузки и снизить потери в цеховой системе электроснабжения. Распределение подстанций по цехам авиаремонтного завода после корректировки мощностей и числа трансформаторов на цеховых подстанциях выполним в итоговой ведомости, представленной в таблице 8.

По результатам компенсации реактивной мощности на стороне 0,4 кВ удалось снизить мощности цеховых подстанций, а также уменьшить общее число цеховых подстанций с 22 (шт.) до 20 (шт.)

После корректировки и уточнения числа и мощности цеховых трансформаторов на подстанциях к установке на всех ЦТП приняты трансформаторы типа ТМЗ/1000/10/0,4 - трехфазный масляный герметичный с защитой масла [15].

Далее для всех трансформаторов цеховых подстанций необходимо определить расчетные значения потерь активной и реактивной мощности так как эти значения должны учитываться в итоговом расчете нагрузок по всему авиаремонтному заводу.

Потери активной мощности в трансформаторах цехов подстанций определяется выражением:

$$\Delta P_{ЦТП.j} = (\Delta P_0 + K_{з.тр.факт.j} \cdot \Delta P_k) \cdot n_{тр.j} \quad (22)$$

где ΔP_0 – паспортное значение потерь в магнитопроводе трансформатора j -й ЦТП, кВт;

$K_{з.тр.факт.j}$ – коэффициент загрузки трансформаторов j -й ЦТП;

ΔP_k – паспортное значение потерь в обмотках трансформатора на j -й ЦТП, кВт;

$n_{тр.j}$ – число трансформаторов на j -й ЦТП, шт.

Таблица 8 – Итоговая ведомость цеховых подстанций

Номер цеха	Номер подстанции	$F_{\text{цеха},i}, \text{ м}^2$	$S_{\text{расч.},j,\text{ут.}}, \text{ кВА}$	$S_{\text{уд.нагр.},i}, \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$	$S_{\text{транс.ном.},j}, \text{ кВА}$	$K_{\text{э.тр.факт.},j}$	$n_{\text{тр.},j}$
9	ЦТП 1, ЦТП 2, ЦТП 3, ЦТП 4	36168	6438,49	0,178	1000	0,805	8
11 19	ЦТП 5, ЦТП 6	9360	2161,90	0,093	1000	0,721	3
1 15	ЦТП 7, ЦТП 8, ЦТП 9	17280	3436,37	0,166	1000	0,687	5
6 7	ЦТП 10, ЦТП 11	17280	2642,15	0,131	1000	0,661	4
3 20	ЦТП 12	10944	1510,89	0,085	1000	0,755	2
4 12 14	ЦТП 13	28980	1544,44	0,101	1000	0,772	2
5 13 18 17	ЦТП 14	17856	1278,68	0,032	1000	0,639	2
8 16	ЦТП 15, ЦТП 16	15264	2812,74	0,190	1000	0,703	4
2 10	ЦТП 17, ЦТП 18	19728	1747,10	0,135	1000	0,582	3
21 22	ЦТП 19, ЦТП 20	11628	2922,93	0,127	1000	0,731	4

Потери реактивной мощности в трансформаторах цехов подстанций определяется выражением:

$$\Delta Q_{\text{ЦТП},j} = \left(\sqrt{\left(\frac{i_0 \cdot S_{\text{транс.ном},j}}{100}\right)^2 - \Delta P_0^2} + K_{\text{з.тр.факт},j}^2 \cdot \frac{u_k \cdot S_{\text{транс.ном},j}}{100} \right) \cdot n_{\text{тр},j} \quad (23)$$

где i_0 – паспортная величина тока холостого хода, %;

u_k – паспортная величина напряжения короткого замыкания, %.

Величина полной мощности потерь в трансформаторах цеховых подстанций определяется выражением:

$$\Delta S_{\text{ЦТП},j} = \sqrt{\Delta Q_{\text{ЦТП},j}^2 + \Delta P_{\text{ЦТП},j}^2} \quad (24)$$

Выполним расчет потерь в трансформаторах цеховых подстанций для ЦТП 1, ЦТП 2, ЦТП 3, ЦТП 4 питающих цех №9 (термический цех) согласно паспортных данных трансформатора представленных в таблице 9.

Таблица 9 - Паспортные данные трансформатора ТМЗ/1000/10/0,4

Параметр	Единица измерения	Обозначение параметра	Значение параметра
Номинальная мощность	кВА	$S_{\text{транс.ном}}$	1000
Напряжение обмотки ВН	кВ	$U_{\text{НН}}$	10
Напряжение обмотки НН	кВ	$U_{\text{ВН}}$	0,4
Паспортные потери в магнитопроводе	Вт	ΔP_0	2450
Паспортные потери в обмотках	Вт	ΔP_k	11000
Напряжение короткого замыкания	%	u_k	5,5
Ток холостого хода	%	i_0	1,4

По (22) с учетом данных таблицы 9 получим:

$$\Delta P_{\text{ЦТП.1,2,3,4}} = (2,45 + 0,805^2 \cdot 11) \cdot 8 = 76,63 \text{ (кВт)}$$

По (23) с учетом данных таблицы 9 получим:

$$\Delta Q_{\text{ЦТП.1,2,3,4}} = \left(\sqrt{\left(\frac{1,4 \cdot 1000}{100} \right)^2 - 2,45^2 + 0,805^2 \cdot \frac{5,5 \cdot 1000}{100}} \right) \cdot 8 = 395,4 \text{ (квар)}$$

По (24) получим:

$$\Delta S_{\text{ЦТП.1,2,3,4}} = \sqrt{\Delta Q_{\text{ЦТП.1,2,3,4}}^2 + \Delta P_{\text{ЦТП.1,2,3,4}}^2}$$

$$\Delta S_{\text{ЦТП.1,2,3,4}} = \sqrt{395,4^2 + 76,63^2} = 402,757 \text{ (кВА)}$$

Для всех остальных цеховых подстанций расчеты потерь выполняются аналогично, результаты расчета потерь сведем в таблицу 9.

Таблица 10 - Расчет потерь в цеховых трансформаторах

Номер подстанции	$\Delta P_{\text{ЦТП.}j}$, кВт	$\Delta Q_{\text{ЦТП.}j}$, квар	$\Delta S_{\text{ЦТП.}j}$, кВА
ЦТП 1, ЦТП 2, ЦТП 3, ЦТП 4	76,63	395,4	402,7571
ЦТП 5, ЦТП 6	24,50	127,13	129,4693
ЦТП 7, ЦТП 8, ЦТП 9	38,21	198,71	202,3504
ЦТП 10, ЦТП 11	29,02	151,26	154,0187
ЦТП 12	17,44	90,27	91,93925
ЦТП 13	18,01	93,13	94,85545
ЦТП 14	13,88	72,48	73,79705
ЦТП 15, ЦТП 16	31,55	163,86	166,8697
ЦТП 17, ЦТП 18	18,53	97,24	98,98979
ЦТП 19, ЦТП 20	33,31	172,70	175,883

Выводы по разделу.

В третьем разделе выполнен выбор трансформаторов цеховых подстанций. Выбор произведен с учетом компенсации реактивной мощности в сети 0,4 кВ цехов авиаремонтного завода.

Для выбора мощности и числа установок компенсации предварительно определено число трансформаторных подстанций. Предварительный расчет трансформаторов выполнен по методу удельной плотности нагрузки. Результатом расчета стало 22 цеховых подстанции с трансформаторами мощностью 1000 и 1600 кВА.

Выбор мощности и числа установок компенсации реактивной мощности позволил снизить общее число трансформаторных подстанций до 20 штук. При этом на всех цеховых подстанциях установлены однотипные трансформаторы марки ТМЗ/1000/10/0,4. Это позволило унифицировать систему электроснабжения авиаремонтного завода.

Выбор установок компенсации реактивной мощности также позволил снизить расчетную мощность потерь активной, реактивной и полной мощности на цеховых подстанциях. По результатам расчета суммарное значение потерь в трансформаторах цеховых подстанций системы электроснабжения авиаремонтного завода составили: по активной мощности 301,08 (кВт), по реактивной мощности 1562,18 (квар) по полной мощности 1590,93 (кВА). Результаты третьего раздела будут использованы для выбора мощности трансформаторов главной понизительной подстанции авиаремонтного завода, выборе установок компенсации реактивной мощности на стороне 10 кВ, а также для проектирования распределительной сети напряжением 10 кВ авиаремонтного завода.

4 Электрические нагрузки авиаремонтного завода с учетом высоковольтных установок компенсации реактивной мощности

Определим расчетные электрические нагрузки авиаремонтного завода с учетом значений, полученных в предыдущих разделах выпускной квалификационной работы.

Суммарную активную нагрузку авиаремонтного завода определим по выражению:

$$P_{\Sigma.АВЗ} = \sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i} + \sum_{j=1}^m P_{\text{расч.ВП.}j} + \sum_{q=1}^k \Delta P_{\text{ЦТП.}q} \quad (25)$$

где n – число цехов авиаремонтного завода, шт.;

$P_{\text{расч.}i}$ – расчетная нагрузка на стороне 0,4 кВ i -го цеха авиаремонтного завода, кВт;

m – число высоковольтных электроприемников, установленных на авиаремонтном заводе, шт.;

$P_{\text{расч.ВП.}j}$ – расчетная активная мощность j -го высоковольтного электроприемника, кВт;

k – число цеховых подстанций в системе электроснабжения авиаремонтного завода, шт.;

$\Delta P_{\text{ЦТП.}p}$ – потери активной мощности в k -й цеховой подстанции, кВт.

Расчетная активная нагрузка авиаремонтного завода с учетом значения полученного в (25):

$$P_{\Sigma,\text{расч.}АВЗ} = K_{\text{max}} \cdot P_{\Sigma.АВЗ} \quad (26)$$

где K_{max} – коэффициент одновременности максимумов нагрузки, принимаем для авиаремонтного завода $K_{\text{max}} = 0,85$.

Суммарную реактивную нагрузку авиаремонтного завода определим по выражению:

$$Q_{\Sigma.AB3} = \sum_{j=1}^n (Q_{\text{цтп.}j} + \Delta Q_{\text{цтп.}j}) + \sum_{i=1}^m Q_{\text{расч.ВП.}i} \quad (27)$$

где n – число цеховых подстанций, шт.;

$Q_{\text{цтп.}j}$ – реактивная мощность на j -й цеховой подстанции с учетом компенсации реактивной мощности на стороне 0,4 кВ, квар;

$\Delta Q_{\text{цтп.}j}$ – потери реактивной мощности в трансформаторах j -й цеховой подстанции, квар;

m – число высоковольтных электроприемников, шт.;

$Q_{\text{расч.ВП.}i}$ – расчетная реактивная мощность i -го высоковольтного электроприемника, квар.

С учетом значений полученных в (26) и (27) полная мощность авиаремонтного завода без учета компенсации реактивной мощности на стороне 10 кВ определится по выражению:

$$S_{\Sigma.AB3} = \sqrt{P_{\Sigma.\text{расч.}AB3}^2 + Q_{\Sigma.AB3}^2} \quad (28)$$

Расчет итоговых нагрузок по авиаремонтному заводу выполним с использованием MS Excel. Результаты расчета сведем в таблицу 11.

Для проверки возможности компенсации реактивной мощности в сети 10 кВ авиаремонтного завода определим требуемую мощность для компенсации:

$$Q_{\text{КУ.10.}AB3.Э} = P_{\Sigma.\text{расч.}AB3} \cdot \text{tg } \varphi_{\text{КЗ.ГРЭС.max}}$$

$$Q_{\text{КУ.10.}AB3.Э} = 38690,7505 \cdot 0,48 = 18571,56 \text{ (квар)}$$

Таблица 11 – Расчет общей нагрузки по авиаремонтному заводу

Номер цеха	$P_{расч.i},$ кВт	$P_{расч.ВП.j},$ кВт	$Q_{расч.ВП.i},$ квар	Номер подстанции	$\Delta Q_{цтп.j},$ квар	$Q_{цтп.j},$ квар	$\Delta P_{цтп.q},$ кВт	Расчетные значения	
								$P_{\Sigma.i},$ кВт	$Q_{\Sigma.i},$ квар
9	5641,81	-	-	ЦТП 1, ЦТП 2, ЦТП 3, ЦТП 4	395,4	3102,27	76,63	5718,44	3497,67
11	1811,1	-	-	ЦТП 5, ЦТП 6	127,13	911,6	24,50	1984,8	1038,73
19	149,2	-	-						
1	1801,4	-	-	ЦТП 7, ЦТП 8, ЦТП 9	198,71	2516	38,21	2378,71	2714,71
15	539,1	-	-						
6	998,66	-	-	ЦТП 10, ЦТП 11	151,26	2009,34	29,02	5744,69	4096,6
7	717,01	4000	1936						
3	1216,79	-	-	ЦТП 12	90,27	712,4	17,44	1349,83	802,67
20	115,6	-	-						
4	1131,31	-	-	ЦТП 13	93,13	750,36	18,01	1367,92	843,49
12	104,1	-	-						
14	114,5	-	-	ЦТП 14	72,48	561,4	13,88	1162,73	633,88
5	650,93	-	-						
13	195,43	-	-						
18	52,09	-	-						
17	250,4	-	-	ЦТП 15, ЦТП 16	163,86	1266,9	31,55	2542,82	1430,76
8	1791,72	-	-						
16	719,55	-	-	ЦТП 17, ЦТП 18	97,24	832,79	18,53	1554,38	930,03
2	1535,85	-	-						
10	2381,2	19200	9130,68	ЦТП 19, ЦТП 20	172,70	1545,52	33,31	21714,21	10848,9
21	38,95	-	-						
22	60,75	-	-						
Итого по авиаремонтному заводу								45518,53	26837,44
С учетом $K_{max} = 0,85$								38690,7505	-
Полная мощность авиаремонтного завода, кВА								47087,39067	

Требуемая мощность высоковольтных установок компенсации:

$$Q_{\text{расч.ВКУ}} = Q_{\Sigma.\text{AB3}} - Q_{\text{КУ.10.АВ3.Э}}$$
$$Q_{\text{расч.ВКУ}} = 26837,44 - 18571,56 = 8265,87976 \text{ (квар)}$$

Принимаем к установке в сети 10 кВ авиаремонтного завода установки компенсации реактивной мощности типа УКРМ-10-1950-150-13-У3 с номинальной мощностью $Q_{\text{ном.ВКУ}} = 1950$ (квар) в количестве 4-х шт.

Тогда расчетная реактивная мощность авиаремонтного завода составит:

$$Q_{\Sigma.\text{AB3.ВКУ}} = Q_{\Sigma.\text{AB3}} - n_{\text{ВКУ}} \cdot Q_{\text{ном.ВКУ}}$$
$$Q_{\Sigma.\text{AB3.ВКУ}} = 26837,44 - 4 \cdot 1950 = 19037,44 \text{ (квар)}$$

Тогда полная мощность авиаремонтного завода после компенсации реактивной мощности в сети 10 кВ составит:

$$S_{\Sigma.\text{AB3.ВКУ}} = \sqrt{P_{\Sigma.\text{расч.АВ3}}^2 + Q_{\Sigma.\text{AB3.ВКУ}}^2}$$
$$S_{\Sigma.\text{AB3.ВКУ}} = \sqrt{38690,75^2 + 19037,44^2} = 43120,74 \text{ (кВА)}$$

Выводы по разделу.

В четвертом разделе выполнен расчет итоговых значений нагрузок по всему заводу с учетом нагрузок на стороне 0,4 кВ, потерь в трансформаторе, а также использования установок компенсации реактивной мощности на цеховых подстанциях. В результате расчета получены значения нагрузок по заводу: полная суммарная нагрузка $S_{\Sigma.\text{AB3}} = 47087,39$ (кВА), активная суммарная расчетная нагрузка $P_{\Sigma.\text{расч.АВ3}} = 38690,75$ (кВт), суммарная расчетная реактивная нагрузка $Q_{\Sigma.\text{AB3}} = 26837,44$ (квар).

По результатам проверки необходимости компенсации реактивной мощности в сети 10 кВ авиаремонтного завода обусловленной наличием

высоковольтных электроприемников с высокими коэффициентами реактивной мощности, а именно дуговых сталеплавильных печей и высоковольтных асинхронных электродвигателей выбраны тип, число и мощность высоковольтных конденсаторных батарей.

Для компенсации реактивной мощности выбрано четыре установки типа УКРМ-10-1950-150-13-У3 с номинальной мощностью $Q_{\text{ном.ВКУ}} = 1950$ (квар) каждая.

Применение в проектируемой системе электроснабжения авиаремонтного завода высоковольтных установок компенсации реактивной мощности позволило существенно снизить полную расчетную мощность завода с 47087,39 кВА (без компенсации) до 43120,74 кВА (с компенсацией).

Полученные расчетные значения будут использованы для выбора оптимальной мощности силовых трансформаторов главной понизительной подстанции авиаремонтного завода.

5 Выбор месторасположения и мощности трансформаторов главной понизительной подстанции

Для выбора расположения главной понизительной подстанции используется метод позволяющий определить условный центр электрических нагрузок. Размещение главной понизительной подстанции в центре электрических нагрузок позволяет оптимально спроектировать распределительную сеть, т.е. минимизировать уровень потерь мощности в распределительной сети и снизить расход кабельной продукции для питания цехов. Однако размещение главной понизительной подстанции в условном центре электрических нагрузок не всегда позволит расположить цехов. Однако на координаты условного центра электрических нагрузок необходимо ориентироваться при выборе расположения главной понизительной подстанции на территории завода [20].

Для определения координаты по оси абсцисс используется выражение [20]:

$$X_{\text{расч.ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot (S_{\text{расч.}i} + S_{\text{расч.ВП.}i})}{\sum_{i=1}^n (S_{\text{расч.}i} + S_{\text{расч.ВП.}i})} \quad (29)$$

где n – число цехов, принимается для авиаремонтного завода согласно исходным данным $n = 22$, шт;

X_i – координаты центра электрических нагрузок i -го цеха авиаремонтного завода по оси абсцисс, м;

$S_{\text{расч.}i}$ – расчетная полная мощность на стороне 0,4 кВ i -го цеха авиаремонтного завода, кВА;

$S_{\text{расч.ВП.}i}$ – расчетная полная мощность высоковольтного потребителя при наличии его в i -ом цехе авиаремонтного завода, кВА.

Для определения координаты по оси ординат используется выражение [20]:

$$Y_{\text{расч.ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot (S_{\text{расч.}i} + S_{\text{расч.ВП.}i})}{\sum_{i=1}^n (S_{\text{расч.}i} + S_{\text{расч.ВП.}i})} \quad (30)$$

где n – число цехов, принимается для авиаремонтного завода согласно исходным данным $n = 22$, шт;

Y_i – координаты центра электрических нагрузок i -го цеха авиаремонтного завода оси ординат, м;

$S_{\text{расч.}i}$ – расчетная полная мощность на стороне 0,4 кВ i -го цеха авиаремонтного завода, кВА;

$S_{\text{расч.ВП.}i}$ – расчетная полная мощность высоковольтного потребителя при наличии его в i -ом цехе авиаремонтного завода, кВА.

Для построения картограммы нагрузок авиаремонтного завода на генеральный план наносятся окружности отражающие нагрузку каждого цеха. Радиус окружности определяется выражением [20]:

$$r_i = \sqrt{\frac{(S_{\text{расч.}i} + S_{\text{расч.ВП.}i})}{\pi \cdot m}} \quad (31)$$

где m – это масштаб построения картограммы нагрузки, для картограммы авиаремонтного завода принимаем $m = 0,5, \frac{\text{кВА}}{\text{мм}^2}$.

Координаты центров нагрузки каждого цеха примем как геометрический центр цеха, а значения координат определим с помощью генерального плана предприятия выполненного с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР) Компас. Все координаты центров цехов по оси абсцисс и оси ординат сведем в таблицу 12. Расчеты координат центра электрических нагрузок по выражениям (29) и (30), а также радиуса окружностей картограммы нагрузок по выражению (31) для каждого цеха авиаремонтного завода выполним с использованием MS Excel. Результаты расчета представим в таблице 12. Картограмму покажем на рисунке 2.

Таблица 12 - Определеии условного центра электрических нагрузок

№ цеха	$S_{расч.i}$, кВА	X_i , м	Y_i , м	r_i , мм	$X_i \cdot (S_{расч.i} + S_{расч.ВП.i})$, кВА м	$Y_i \cdot (S_{расч.i} + S_{расч.ВП.i})$, кВА м,
1	2924,41	485,53	438,55	43,16	1419888,79	1282500,01
2	2607,83	485,53	235,6	40,76	1266179,70	614404,75
3	1928,37	670,13	410,85	35,05	1292258,59	792270,81
4	1953,67	670,25	221,6	35,28	1309447,32	432933,27
5	1134,39	670,13	56,61	26,88	760188,77	64217,82
6	1678,21	672,25	566,68	32,69	1128176,67	951008,04
7	1051,53	848	554,67	25,88	891697,44	583252,15
8	2414,13	395,16	66,35	39,21	953967,61	160177,53
9	6536,63	229,96	432,55	64,52	1503163,43	2827419,31
10	2842,21	278,31	245,86	42,55	791015,47	698785,75
11	1982,4	333,15	622,59	35,53	660436,56	1234222,42
12	161,7	819,04	153,55	10,15	132438,77	24829,04
13	327,15	822,45	34,39	14,44	269064,52	11250,69
14	152,38	532,13	100,3	9,85	81085,97	15283,71
15	671,89	515,4	619,3	20,69	346292,11	416101,48
16	877,03	216,06	129,07	23,64	189491,10	113198,26
17	368,43	896,68	259,72	15,32	330363,81	95688,64
18	79,96	925,78	98,61	7,14	74025,37	7884,86
19	217,22	136,2	604,8	11,76	29589,71	131383,34
20	143,27	841,86	411,07	9,55	120613,28	58894,00
21	43,14	115,2	256,22	5,24	4969,73	11053,33
22	66,91	111,2	113,42	6,53	7440,39	7588,93
ВП7	4443,88	848	554,67	53,20	3768410,24	2464886,92
ВП 10	12282,14	278,31	245,86	88,45	3418242,38	3019686,94
$\sum_{i=1}^n (S_{расч.i} + S_{расч.ВП.i})$, кВА	46888,88	$\sum_{i=1}^n X_i \cdot (S_{расч.i} + S_{расч.ВП.i})$, кВА м			20748447,72	-
		$\sum_{i=1}^n Y_i \cdot (S_{расч.i} + S_{расч.ВП.i})$, кВА м				16018921,98

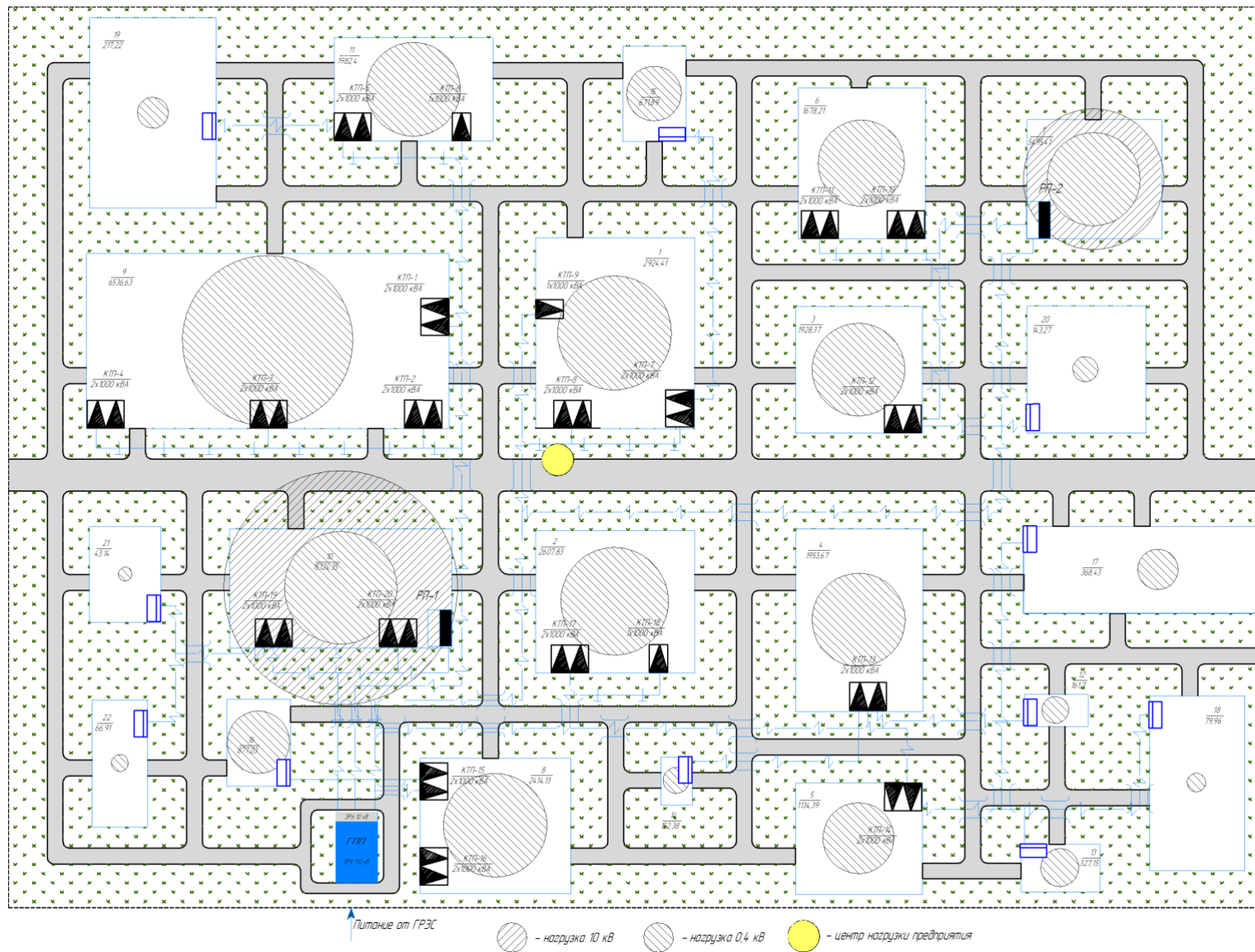


Рисунок 1 - Картограмма нагрузок авиаремонтного завода

Используя данные таблицы 12 по (29) получим:

$$X_{\text{расч.ЦЭН}} = \frac{20748447,72}{46888,88} = 442,5 \text{ (м)}$$

Используя данные таблицы 12 по (30) получим:

$$X_{\text{расч.ЦЭН}} = \frac{16018921,98}{46888,88} = 341,64 \text{ (м)}$$

Расчетный условный центр электрических нагрузок (рисунок 1) с координатами (442,5; 341,64) приходится на автодорогу между цехами №1 и №2. Так как размещение главной понизительной подстанции (ГПП) в расчетном центре электрических нагрузок невозможно, то размещение ГПП выполним в точке с координатами (298; 51), т.е. перенесем размещение ГПП в направлении линии от внешней электроэнергетической системы – ГРЭС 110 кВ. Также картограмму нагрузок (рисунок 2) дополним размещением цеховых подстанций и кабельными трассами 10 кВ.

Для питания системы электроснабжения авиаремонтного завода на главной понизительной подстанции необходимо установить силовые трансформаторы (СТ) с классами напряжения обмоток 110 кВ и 10 кВ. Мощность трансформаторов главной понизительной подстанции авиаремонтного завода определяется выражением:

$$S_{\text{расч.СТ}} = \frac{S_{\Sigma.\text{АВЗ.ВКУ}}}{K_{\text{ДАП}}} \quad (32)$$

где $S_{\Sigma.\text{АВЗ.ВКУ}}$ – суммарная полная мощность авиаремонтного завода с учетом установок компенсации реактивной мощности на стороне 10 кВ, по результатам четвертого раздела $S_{\Sigma.\text{АВЗ.ВКУ}} = 43120,74$, кВА;

$K_{ДАП}$ – коэффициент допустимой аварийной перегрузки трансформатора. Для подстанций с установленными двумя трансформаторами $K_{ДАП} = 1,4$.

По (32) получим:

$$S_{расч.СТ} = \frac{43120,74}{1,4} = 30800,529 \text{ (кВА)}$$

Исходя из расчетного значения СТ принимаем к установке трансформатор с номинальной установленной мощностью $S_{НОМ.СТ} = 32000$ (кВА).

Коэффициент загрузки СТ мощностью $S_{НОМ.СТ} = 32000$ (кВА) в нормальном режиме работы при числе трансформаторов находящихся в работе $n_{СТ} = 2$ (шт.) составит:

$$K_{загр.норм.} = \frac{S_{\Sigma.АВЗ.ВКУ}}{n_{СТ} \cdot S_{НОМ.СТ}} = \frac{43120,74}{2 \cdot 32000} = 0,67$$

Коэффициент загрузки СТ мощностью $S_{НОМ.СТ} = 32000$ (кВА) в послеаварийном режиме работы при числе трансформаторов находящихся в работе $n_{СТ} = 1$ (шт.) составит:

$$K_{загр.ПАР.} = \frac{S_{\Sigma.АВЗ.ВКУ}}{n_{СТ} \cdot S_{НОМ.СТ}} = \frac{43120,74}{1 \cdot 32000} = 1,3$$

Коэффициент загрузки выбранного трансформатора мощностью $S_{НОМ.СТ} = 32000$ (кВА) в нормальном режиме не превышает 0,7, а в послеаварийном режиме (ПАР) не превышает 1,4 [6]. Исходя из этого трансформатор мощностью $S_{НОМ.СТ} = 32000$ (кВА)

Может быть использован для питания системы электроснабжения авиаремонтного завода. Паспортные данные выбранного трансформатора представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Паспортные данные трансформатора ТРДН-32000/110/10/10

Параметр	Единица измерения	Обозначение параметра	Значение параметра
Номинальная мощность	кВА	$S_{\text{НОМ.СТ}}$	32000
Напряжение обмотки ВН	кВ	$U_{\text{НН}}$	110
Напряжение обмотки НН	кВ	$U_{\text{ВН}}$	10
Паспортные потери в магнитопроводе	кВт	ΔP_0	44
Паспортные потери в обмотках	кВт	ΔP_k	145
Напряжение короткого замыкания	%	u_k	10,5
Ток холостого хода	%	i_0	0.75

Выбранный трансформатор имеет расщепленную обмотку низкого напряжения [14].

Выводы по разделу.

В пятом разделе выпускной квалификационной выполнен расчет картограммы электрических нагрузок авиаремонтного завода. По результатам расчета условный расчетный центр электрических нагрузок попал на автомобильную дорогу между цехом №1 и цехом №2. Так как в данном месте размещение ГПП не возможно, то размещение ГПП смещено в направлении питания по линии 110 кВ от внешней электроэнергетической системы.

Для установки на ГПП авиаремонтного завода приняты два силовых трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения марки ТРДН-32000/110/10/10. Выбранные трансформаторы прошли проверку по коэффициентам загрузки в нормальном и послеаварийном режимах.

6 Выбор кабельных линий распределительной сети авиаремонтного завода

Для питания высоковольтных электроприемников, а также цеховых подстанций от главной понизительной подстанции необходимо выбрать кабельные линии. Выбор кабельных линий выполним по нагреву и длительно допустимому току в нормальном и аварийных режимах работы цеховых подстанций [19].

Расчетное сечение кабельной линии по экономической плотности тока определяется выражением [17]:

$$S_{\text{ЭПТ.расч.}} = \frac{I_{\text{расч.КЛ.норм}}}{J_{\text{э}}} \quad (33)$$

где $I_{\text{расч.КЛ.норм}}$ – ток кабельной линии в нормальном режиме, А;

$J_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока зависящая от типа линии и числа часов использования максимума нагрузки, $\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$.

Ток кабельной линии в нормальном режиме определяется выражением [8]:

$$I_{\text{расч.КЛ.норм}} = \frac{K_{\text{з.тр.факт.}i} \cdot S_{\text{транс.ном.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.РС}}} \quad (34)$$

где $K_{\text{з.тр.факт.}i}$ – коэффициент загрузки трансформатора i -й цеховой подстанции в нормальном режиме. Определен в таблице 8;

$S_{\text{транс.ном.}}$ – номинальная установленная мощность трансформатора цеховой подстанции. Для всех цеховых подстанций в третьем разделе ВКР принято $S_{\text{транс.ном.}} = 1000$, кВА;

$U_{\text{ном.РС}}$ – номинальное напряжение распределительной сети авиаремонтного завода, принято $U_{\text{ном.РС}} = 10$, кВ.

Ток кабельной линии в послеаварийном режиме определяется выражением [8]:

$$I_{\text{расч.КЛ.ПАР}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{транс.ном.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.РС}}} \quad (35)$$

Для проверки сечения кабельной линии по нагреву используется условие [8]:

$$I_{\text{расч.КЛ.ПАР}} \leq K_1 \cdot I_{\text{ДД}} \quad (36)$$

где K_1 – коэффициент учитывающий допустимую перегрузку кабеля по току. Для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена $K_1 = 1,1$, а для кабелей с бумажной изоляцией $K_1 = 1,3$;

$I_{\text{ДД}}$ – длительно допустимый ток кабеля выбранного по расчетному сечению.

Выполним выбор кабельной линии по методике (33) - (36) питающей цеховую подстанцию ЦТП №4 (Термический цех).

По (34) для линии ГПП-ЦТП №4 получим:

$$I_{\text{расч.КЛ.норм}} = \frac{0,805 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46,48 \text{ (А)}$$

По (35) для линии ГПП-ЦТП №4 получим:

$$I_{\text{расч.КЛ.ПАР}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,83 \text{ (А)}$$

По (33) для линии ГПП-ЦТП №4 получим:

$$S_{\text{ЭПТ.расч.}} = \frac{46,48}{1,4} = 33,2 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Расчетному сечению $S_{\text{ЭПТ.расч.}} = 33,2 \text{ (мм}^2\text{)}$ для кабельной линии ГПП-ЦТП №4 соответствует сечения кабеля $S_{\text{КЛ.кат}} = 35 \text{ (мм}^2\text{)}$. Для катталожного сечения $S_{\text{КЛ.кат}} = 35 \text{ (мм}^2\text{)}$ длительно допустимый ток $I_{\text{ДД}} = 147 \text{ (А)}$. Принмая для прокладки кабель с бумажной изоляцией условие (36) выполняется:

$$I_{\text{расч.КЛ.ПАР}} = 80,83 \text{ (А)} < 1,3 \cdot 147 \text{ (А)}$$

Поэтому для линии ГПП-ЦТП №4 может быть принят трехжильный кабель сечением $S_{\text{КЛ.кат}} = 3 \times 35$ и длительно допустимым током 147 А [2].

Для всех остальных кабельных линий выбор произведем аналогично линии ГПП-ЦТП №4. Результаты выбора кабельных линий сведем в таблицу 14.

Таблица 14 - Кабли распределительной сети авиаремонтного завода

Название линии		$I_{\text{расч.КЛ.ПАР}}$, А	$I_{\text{расч.КЛ.норм}}$, А	$S_{\text{ЭПТ.расч.}}$, мм ²	$S_{\text{КЛ.кат}}$, мм ²	$I_{\text{ДД}}$, А	Марка кабеля
Начало	Конец						
ГПП	КТП-1	242,49	139,43	99,59	120	13	АПвПу 3×150/25-10
ЦТП №1	ЦТП №2	161,66	92,95	66,40	70	322	АПвПу 3×70/16-10
ЦТП №2	ЦТП №3	80,83	46,48	33,20	35	210	АПвПу 3×70/16-10
ГПП	ЦТП №4	80,83	46,48	33,20	35	210	АПвПу 3×35/16-10
ГПП	ЦТП №5	161,66	83,25	59,47	70	210	АПвПу 3×70/16-10
ЦТП №5	ЦТП №6	80,83	41,63	29,73	35	210	АПвПу 3×70/16-10
ГПП	ЦТП №7	242,49	118,99	84,99	95	210	АПвПу 3×150/25-10
ЦТП №7	ЦТП №8	161,66	79,33	56,66	70	322	АПвПу 3×70/16-10
ЦТП №8	ЦТП №9	80,83	39,66	28,33	35	210	АПвПу 3×70/16-10
ГПП	ЦТП №13	161,66	89,14	63,67	70	210	АПвПу 3×70/16-10
ЦТП №13	ЦТП №14	80,83	36,89	26,35	35	210	АПвПу 3×70/16-10
ГПП	ЦТП №15	161,66	81,18	57,98	70	210	АПвПу 3×70/16-10
ЦТП №15	ЦТП №16	80,83	40,59	28,99	35	210	АПвПу 3×70/16-10
ГПП	ЦТП №17	161,66	67,20	48,00	50	210	АПвПу 3×70/16-10
ЦТП №17	ЦТП №18	80,83	33,60	24,00	35	210	АПвПу 3×70/16-10
ГПП	ЦТП №19	161,66	84,41	60,29	70	210	АПвПу 3×70/16-10
ЦТП №19	ЦТП №20	80,83	42,20	30,15	35	210	АПвПу 3×70/16-10

Продолжение таблицы 14

Название линии		$I_{\text{расч.КЛ.ПАР}}$, А	$I_{\text{расч.КЛ.норм}}$, А	$S_{\text{ЭПТ.расч.}}$, мм ²	$S_{\text{КЛ.кат}}$, мм ²	$I_{\text{дд}}$, А	Марка кабеля
Начало	Конец						
ГПП	ВВД 400 кВт	23,09	23,09	16,50	35	210	АПвПу 3×70/16-10
ГПП	ИСТ-1	49,07	49,07	35,05	50	210	АПвПу 3×95/16-10
ГПП	ИСТ-2,5	86,60	86,60	61,86	70	253	АПвПу 3×95/16-10
ГПП	РП1	946,85	490,69	350,49	400	253	АПвПу 3×(1×630/35-10)
ГПП	РП2	635,09	328,98	234,99	240	1026	АПвПу 3×(1×300/35-10)
РП1	ДСП-1,5	92,38	92,38	65,98	70	693	АПвПу 3×70/16-10
РП1	ДСП-3	144,34	144,34	103,10	120	210	АПвПу 3×120/16-10
РП2	ВВД 2500 кВт	144,34	144,34	103,10	120	288	АПвПу 3×120/16-10
РП2	ЦТП №10	161,66	76,33	54,52	70	288	АПвПу 3×70/16-10
ЦТП №10	ЦТП №11	80,83	38,16	27,26	35	210	АПвПу 3×70/16-10
РП2	ЦТП №12	80,83	43,59	31,14	35	210	АПвПу 3×70/16-10

Выводы по разделу.

В шестом разделе выпускной квалификационной работы выполнен расчет и выбор типа и сечения кабельных линий распределительной сети авиаремонтного завода. Для распределительной сети выбраны кабели с бумажной изоляцией марки АПвПу с сечениями от 35 до 150 мм² [2]. Все выбранные кабели соответствуют току в нормальном и послеаварийном режимах. Прокладка кабельных линий смешанная, часть линий прокладывается в земле, а часть линий по ограждающим конструкциям цехов авиаремонтного завода [1].

Заключение

В выпускной квалификационной работе представлены результаты проектирования системы электроснабжения авиаремонтного завода.

В первом разделе ВКР представлены исходные данные необходимые для выполнения выпускной квалификационной работы и проектирования системы электроснабжения авиаремонтного завода. Определена общая площадь территории, занимаемой авиаремонтным заводом, которая составляет 65 га. Определено, что на расстоянии 10,2 км от авиаремонтного завода расположена государственная районная электрическая станция (ГРЭС) с номинальным напряжением 110 кВ, которая будет использована для питания проектируемой системы электроснабжения авиаремонтного завода.

Во втором разделе ВКР определены расчетные значения нагрузок для потребителей 0,4 кВ авиаремонтного завода методом коэффициента спроса. Суммарная нагрузка потребителей 0,4 кВ с учетом системы внутреннего освещения каждого цеха составила: активная мощность $P_{\text{расч.}\Sigma} = 22017,45$ (кВт), реактивная мощность $Q_{\text{расч.}\Sigma} = 19054,85$ (квар) и полная мощность $S_{\text{расч.}\Sigma} = 30162,85$ (кВА).

Нагрузки высоковольтных потребителей рассчитаны методом коэффициента использования. Высоковольтные электроприемники расположены только в двух цехах авиаремонтного завода. По результатам расчета получены суммарные значения мощностей высоковольтных потребителей по всему заводу: активной $P_{\text{расч.ВП.}\Sigma} = 14700$ (кВт), реактивной $Q_{\text{расч.ВП.}\Sigma} = 7966$ (квар) и полной $S_{\text{расч.ВП.}\Sigma} = 16719,66$ (кВА).

Общее по заводу расчетное значение нагрузок составило: полная $S_{\text{расч.АВЗ.}\Sigma} = 45588,348$ (кВА), реактивная $Q_{\text{расч.АВЗ.}\Sigma} = 27020,85$ (квар) и активная $P_{\text{расч.АВЗ.}\Sigma} = 36717,45$ (кВт).

В третьем разделе выполнен выбор трансформаторов цеховых подстанций.

Выбор цеховых трансформаторов произведен с учетом компенсации реактивной мощности в сети 0,4 кВ цехов авиаремонтного завода.

Для выбора мощности и числа установок компенсации предварительно определено число трансформаторных подстанций. Предварительный расчет трансформаторов выполнен по методу удельной плотности нагрузки. Результатом расчета стало 22 цеховых подстанции с трансформаторами мощностью 1000 и 1600 кВА. Выбор мощности и числа установок компенсации реактивной мощности позволил снизить общее число трансформаторных подстанций до 20 штук. При этом на всех цеховых подстанциях установлены однотипные трансформаторы марки ТМЗ/1000/10/0,4. Это позволило унифицировать систему электроснабжения авиаремонтного завода. Выбор установок компенсации реактивной мощности также позволил снизить расчетную мощность потерь активной, реактивной и полной мощностей на цеховых подстанциях. По результатам расчета суммарное значение потерь в трансформаторах цеховых подстанций системы электроснабжения авиаремонтного завода составили: по активной мощности 301,08 (кВт), по реактивной мощности 1562,18 (квар) по полной мощности 1590,93 (кВА).

В четвертом разделе выполнен расчет итоговых значений нагрузок по всему заводу с учетом нагрузок на стороне 0,4 кВ, потерь в трансформаторах, а также использования установок компенсации реактивной мощности на цеховых подстанциях. В результате расчета получены значения нагрузок по заводу: полная суммарная нагрузка $S_{\Sigma, АВЗ} = 47087,39$ (кВА), активная суммарная расчетная нагрузка $P_{\Sigma, расч. АВЗ} = 38690,75$ (кВт), суммарная расчетная реактивная нагрузка $Q_{\Sigma, АВЗ} = 26837,44$ (квар).

По результатам проверки необходимости компенсации реактивной мощности в сети 10 кВ авиаремонтного завода обусловленной наличием высоковольтных электроприемников с высокими коэффициентами реактивной мощности, а именно дуговых сталеплавильных печей и высоковольтных асинхронных электродвигателей выбраны тип, число и

мощность высоковольтных конденсаторных батарей. Для компенсации реактивной мощности выбрано четыре установки типа УКРМ-10-1950-150-13-УЗ с номинальной мощностью $Q_{\text{ном.ВКУ}} = 1950$ (квар) каждая.

Применение в проектируемой системе электроснабжения авиаремонтного завода высоковольтных установок компенсации реактивной мощности позволило существенно снизить полную расчетную мощность завода с 47087,39 кВА (без компенсации) до 30800,529 кВА (с компенсацией).

В пятом разделе выпускной квалификационной выполнен расчет картограммы электрических нагрузок авиаремонтного завода. По результатам расчета условный расчетный центр электрических нагрузок попал на автомобильную дорогу между цехом №1 и цехом №2. Так как в данном месте размещение ГПП невозможно, то размещение ГПП смещено в направлении питания по линии 110 кВ от внешней электроэнергетической системы.

Для установки на ГПП авиаремонтного завода приняты два силовых трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения марки ТРДН-32000/110/10/10. Выбранные трансформаторы прошли проверку по коэффициентам загрузки в нормальном и послеаварийном режимах.

В шестом разделе выпускной квалификационной работы выполнен расчет и выбор типа и сечения кабельных линий распределительной сети авиаремонтного завода. Для распределительной сети выбраны кабели с бумажной изоляцией марки АПвПу с сечениями от 35 до 150 мм². Все выбранные кабели соответствуют току в нормальном и послеаварийном режимах. Прокладка кабельных линий смешанная, часть линий прокладывается в земле, а часть линий по ограждающим конструкциям цехов авиаремонтного завода.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы выполнен проект электроснабжения авиаремонтного завода. Цель выпускной работы достигнута, задачи выполнены.

Список используемых источников

- 1 Акимов, Е.Г. Проектирование и монтаж электроустановок зданий/Е.Г. Акимов. – М.: СмартБук, 2020 г.
- 2 Алиев, И.И. Кабельные изделия. – 2-е изд. Перераб. и доп./Справочник. – М.: РадиоСофт, 2019. — 225 с.
- 3 Барыбина, Ю.Г. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования/ Ю.Г.Барыбина. – М.: Энергоатомиздат, 1991. - 464 с.
- 4 Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий. Методические указания к курсовому проектированию. Тольятти: ТГУ, 2006. 78 с.
- 5 Галимова А.А. Критерии выбора коэффициента загрузки силового трансформатора при проектировании подстанций распределительных сетей // Проблемы энергетики, Т. 5, № 6, 2013. С. 66-71.
- 6 ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91). Руководство по нагрузке силовых масляных.
- 7 ГОСТ 9680-77. Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВ·А и более. Ряд номинальных мощностей. М.: Издательство стандартов, 1977. 4 с.
- 8 Кабышев, А.В. Расчет и проектирование систем электроснабжения /А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. Учебник. – М. : Энергоатомиздат, 2020. —336с.
- 9 Карякин, Р.Н. Нормы устройства электроустановок производственных зданий/ Р.Н. Карякин. – М.: Энергосервис, 1998.
- 10 Конюхова Е.А. Электроснабжение. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. 510 с.
- 11 Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. – 2-е издание/ Б.И. Кудрин. Учебник. - М.: Теплотехник, 2009. — 698 с.
- 12 Кускин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

- 13 Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Высшая Школа, 1990. 366 с.
- 14 Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е изд. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014. 607 с.
- 15 ООО "Тольяттинский Трансформатор". Трансформаторы силовые // Официальный сайт производителя трансформаторного оборудования ООО "Тольяттинский Трансформатор". 2014. URL: https://www.transformator.com.ru/upload/iblock/6e1/2014_Transformatory-silovye-serii-TMG.pdf (дата обращения: 05.02.2024).
- 16 Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. М.: Форум, 2020. 416 С.
- 17 Правила устройств электроустановок (ПУЭ). С.Пб.: Энергоатомиздат, 2002.
- 18 Рекус, Г.Г. Электрооборудование производств/ Г.Г. Рекус. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2007г.
- 19 Рожин, А.Н. Внутрицеховое электроснабжение/ А.Н. Рожин, Н.С.Бакшаева. Учебное пособие. – Киров: 2006 г.
- 20 Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий/ Ю.Д. Сибикин. Учебник. – Академия, 2009 г.
- 21 Смирнов АГ, редактор. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. М: ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ, 1992. 12
- 22 Файбисович Д.Л., Карапетян И.Г., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей. 4-е изд. М.: ЭНАС, 2012.
- 23 Федоров А.А., Вершинина С.И. Сборник заданий для курсового проектирования по основам электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие. 2-е изд. Чебоксары: Изд-во Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова, 1998.