

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 машиностроительного завода

Обучающийся

А.Ю. Сальников

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2023

Аннотация

Машиностроение является одной из системообразующих индустрий, в состоянии оказать стабильное технологическое развитие субъектов экономики страны. Российское машиностроение на данном этапе испытывает потребность во внедрении современных технологий и инноваций. Отсутствие капиталовложений, морально изношенный парк техники, жесткая конкурентная борьба на внутреннем и международном рынках, кадровый недостаток сводят на нет перспективы роста машиностроительных предприятий.

Развитие машиностроительной отрасли не может быть реализовано без современной системы электроснабжения.

Следовательно, цель данной работы проектирование системы электроснабжения машиностроительного завода.

Для осуществления указанной цели требуется:

- изучить имеющиеся сведения об объекте исследования;
- реализовать проект по обеспечению электроэнергией машиностроительного завода;
- провести исследование техники безопасности и электробезопасности на предприятии.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 56 стр., дополняемой 8 таблицами, 5 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика и общие сведения о предприятии.....	6
2 Разработка системы электроснабжения предприятия.....	10
2.1 Расчет электрических нагрузок предприятия.....	10
2.2 Выбор числа и мощности трансформаторных трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности	15
2.3 Определение центра электрических нагрузок.....	20
2.4 Расчет распределительной сети предприятия и выбор кабельных линий 10 кВ	23
2.5 Выбор схемы и оборудования распределительного устройства ГПП .	27
2.6 Расчет токов КЗ и выбор коммутационной и защитной аппаратуры ..	34
3 Охрана труда и электробезопасность.....	45
Заключение	54
Список используемых источников.....	55

Введение

На данный момент среди основных проблем машиностроительного комплекса - совокупный амортизационный износ главных фондов, по данным экспертных расчетов превосходящий 40%. Темпы обновления в последние годы равняются 2-2,5%. При этом показатель доли установок более чем 20-летней давности достигает более 30%. Объем вложений в основной капитал в сфере машиностроения занимает лишь малую часть в структуре их общего размера в экономическом секторе, причем 65% прироста в основной капитал складывается из собственных источников предприятий, 35% – являются заемные средства. В течение длительного периода в России была распространена концепция, согласно которой компании должны самостоятельно обеспечивать развитие и повышение технического уровня за собственные финансовые средства. Благодаря этому уровень и скорость проведения технологической реновации достигла небывало низкой скорости практически по всем направлениям в машиностроительном секторе [9].

Ключевым условием эффективного промышленного роста в стране выступает «не сырьевая», а ориентированная на производство конечного продукта экономика, включающая в себя инновации. Машиностроительные предприятия взаимодействуют с энергетическими, металлообрабатывающими и приборостроительными предприятиями, а также с научно-исследовательскими учреждениями. Слаженная деятельность машиностроительных предприятий создает практически все условия для развития организаций, взаимодействующих с данным сектором экономики.

Машиностроение, отрасль, формирующая рабочие места и прирост добавленной стоимости.

Таким образом, без надежной системы электроснабжения подобные масштабные цели решить крайне затруднительно. Следовательно, проектирование электроснабжения занимает важнейшее место при вводе в эксплуатацию машиностроительных предприятий.

В данной выпускной квалификационной работе выполняется проектирование системы электроснабжения машиностроительного завода. Продукция этой отрасли: генераторы к паровым, газовым и гидравлическим турбинам, электродвигатели; трансформаторы и преобразователи, светотехническое, электросварочное и электротермическое оборудование.

Системы электроснабжения являются важной частью энергетического сектора страны и входящих в нее субъектов.

Применения новейшего оборудования, технологических схем для осуществления выпуска различной продукции машиностроительной отрасли позволяет обеспечить технологический процесс предприятия мощностями, которые затруднительно реализовать при использовании несовершенных технологий и оборудования.

По этой причине в настоящей работе необходимо изучить одну из указанных систем электроснабжения машиностроительного завода.

Цель работы – разработка проекта системы электроснабжения машиностроительного завода.

Объект исследования – машиностроительный завод.

Предмет исследования – система электроснабжения машиностроительного завода.

Задачи работы:

- анализ исходных сведений по объекту проектирования с изучением ключевых теоретических положений для того, чтобы решить основные задачи. Полученные сведения используются для обоснования необходимости использовать изменения в исходной схеме всех электрических соединений на проектируемом объекте;
- разработка проекта системы снабжения объекта электрической энергией;
- исследование техники безопасности и электробезопасности на предприятии.

1 Характеристика и общие сведения о предприятии

Машиностроительный завод необходимо размещать в промышленной зоне, где отсутствуют жилые кварталы, населенные пункты. Причины данного размещения: «прямым и косвенным загрязнением окружающей среды вредными выбросами и веществами; влияние на атмосферный воздух; высокой опасностью прохождения по территории городской застройки воздушных линий электропередач высоких классов напряжений; влияние мощных шумов на здоровье и людей, и экологическую систему в целом» [18].

«Климатические условия, в которых расположено рассматриваемое предприятие, являются умеренно-континентальными. Средняя годовая температура воздуха находится на отметке плюс 5 °С. В зимний период года средняя температура составляет минус 10 °С, в летний – плюс 20 °С. Амплитуда температурных колебаний в течение года имеет высокое значение и может достигать 30 °С, что может негативно повлиять на работу электрооборудования, находящегося на открытом воздухе. Среднегодовая скорость ветра составляет 4 м/с. Максимальная скорость может достигать 30 м/с. Среднее давление, которое оказывает ветер – 35 Н/м.

Уровень осадков, выпадающих за год, колеблется от 500 до 600 мм, при этом их распределение в течение года равномерное. Количество грозных дней в году – 40-60. В зимний период ледяной покров может достигать 5 мм, что необходимо учитывать при выборе проводов воздушных линий и тросов по механической прочности. При проектировании кабельных линий необходимо учитывать, что промерзание почвы в местах отсутствия снежного покрова составляет в среднем 180-200 см.

Рельеф местности, на которой расположена подстанция ровный. Высота над уровнем моря находится на уровне 180 м.

На основании анализа окружающей среды можно сделать вывод, что электрическое оборудование ОРУ высокого напряжения, размещаемое на открытом воздухе должно иметь первую категорию климатического

исполнения типа УХЛ. Оборудование этого исполнения предназначено для эксплуатации в умеренном климате. Оно располагается на открытом воздухе и подвержено воздействию всех неблагоприятных факторов окружающей среды. Распределительные устройства напряжением 6 -10 кВ будут выполняться закрытого типа, поэтому оборудование, применяемое в них допускается эксплуатировать в условиях климатического исполнения типа УХЛ-3. Эти условия предполагают наличие крытого помещения без регулирования температурных условий с естественной вентиляцией, в котором температура практически не отличается от уличной, отсутствуют брызги воды, наблюдается незначительное количество пыли.

Подстанция энергосистемы удалена от завода на расстояние 4,2 км. Так как на заводе установлены высоковольтные двигатели (10 кВ), то распределение электроэнергии по территории завода осуществляется на напряжении 10 кВ» [17].

В состав машиностроительного завода входят производственные и вспомогательные цеха, где выполняются преимущественно основные и дополнительные виды технологического производства продукции соответственно.

«Рассматриваемое предприятие включает 6 производственных цехов, участков, участвующих в изготовлении продукции.

В данную группу цехов, корпусов, производств машиностроительного завода, согласно технологии производства, к основным цехам относятся» [18]: заготовительный корпус, механический цех, сборочный цех, гальванический цех, термическое отделение, штамповочный цех.

Группа вспомогательных цехов: обмоточный цех, лаборатория, административный корпус, насосная станция, склад готовой продукции – обслуживают все технологические цеха данного предприятия приборами, инструментами, а также осуществляют ремонт аппаратуры основных производственных мастерских и корпусов.

«Все указанные вспомогательные участки, цеха влияют на технологический вспомогательный процесс реализации, производства продукции завода, поэтому требует включение их в разрабатываемую СЭС завода.

Надежность электроснабжения всех потребителей должна находиться в соответствии с требованиями» [8].

«Классификация электроприемников по уровню надежности электроснабжения: первая категория, первая особая категория, вторая категория, третья категория» [8].

«I категория по надёжности снабжения электрической энергией - основные производственные участки/цеха технологического основного производства завода: заготовительный корпус, механический цех, сборочный цех, гальванический цех, термическое отделение, штамповочный цех, насосная станция» [18].

«II категория по надёжности снабжения электрической энергией - основные вспомогательные участки/цеха завода, обеспечивающие функционирование основного технологического производства» [8]: обмоточный цех, лаборатория, административный корпус.

III категория по надёжности снабжения электрической энергией – иные объекты [8].

В таблице 1 цеха и участки систематизированы по техническим сведениям, категориям надежности и производственной среде.

Таблица 1 – Результаты анализа технологических процессов цехов/корпусов завода

Номер по плану	Наименование цехов/корпусов	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт	Категория ЭП	Производственная среда
1	Заготовительный корпус	1250	I	Пыльная, сухая
2	Механический цех	850	I	Пыльная, сухая
3	Сборочный цех	960	I	Пыльная, сухая
4	Гальванический цех	145	I	Пыльная, сухая

Продолжение таблицы 1

Номер по плану	Наименование цехов/корпусов	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт	Категория ЭП	Производственная среда
5	Термическое отделение	1500	I	Пыльная, жаркая, сухая
6	Штамповочный цех	980	I	Пыльная, сухая
7	Обмоточный цех	250	II	Пыльная, сухая
8	Лаборатория	180	II	Нормальная
9	Административный корпус	130	II	Нормальная
10	Насосная станция: - 0,4 кВ - АД 10 кВ	95 2×630	I	Влажная
11	Склад готовой продукции	95	III	Пыльная, сухая

Выводы по разделу 1.

В данном разделе проведен анализ расположения машиностроительного завода, на основании этого анализа принято решение о его размещении за чертой населенного пункта. Кроме того, здесь указываются климатические условия, в которых будет размещаться рассматриваемый объект.

Подробно рассмотрены и систематизированы цеха/корпуса предприятия в соответствии с их уровнем надежности электроснабжения и условиями производства.

2 Разработка системы электроснабжения предприятия

2.1 Расчет электрических нагрузок предприятия

Для расчетов на стадии задания на проектирование активная нагрузка определяется по формуле, кВт:

$$P_p = K_c \cdot P_n, \quad (1)$$

где P_p – «расчётная активная мощность цеха (участка), кВт» [4];

K_c – «коэффициент спроса цеха (участка), о.е. [4]».

Расчетная реактивная нагрузка силовых ЭП, квар:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где Q_p – «расчетная реактивная мощность цеха (участка), квар» [4];

$\operatorname{tg} \varphi$ – «коэффициент реактивной мощности цеха (участка), о.е.» [4].

Расчетная активная нагрузка освещения вычисляется по формуле, кВт:

$$P_{PO} = K_c \cdot F \cdot \sigma, \quad (3)$$

где K_c – «коэффициент спроса для осветительных нагрузок» [5];

F – «площадь цеха (определяется по генплану предприятия), м²» [5];

σ – «удельная мощность освещения для люминесцентных ламп, Вт/м²» [5].

Реактивная нагрузка освещения вычисляется по формуле, квар:

$$Q_{PO} = \operatorname{tg} \varphi \cdot P_{PO}. \quad (4)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – «коэффициент реактивной мощности освещения цеха» [5].

«Полная нагрузка осветительных, силовых приёмников каждого соответствующего участка/цеха завода вычисляется следующим образом» [5]:

$$S_p. = \sqrt{(P_{н.} + P_{p.o})^2 + (Q_{н.} + Q_{p.o})^2}. \quad (5)$$

После этого по формулам (1) - (5), которые приведены выше, рассчитывается нагрузка на примере заготовительного корпуса (номер 1 на генплане).

Расчётная активная нагрузка силовых ЭП:

$$P_p. = K_c P_{н} = 0,6 \cdot 1250 = 750 \text{ кВт.}$$

Реактивная силовая нагрузка цехов/участков на напряжении 0,4 кВ:

$$Q_p. = P_p. \cdot tg\varphi = 750 \cdot 0,88 = 660 \text{ квар.}$$

Расчётная осветительная нагрузка цеха:

$$P_{PO} = K_c \cdot F \cdot \sigma = 0,95 \cdot 4416 \cdot 12 = 50,34 \text{ кВт,}$$

$$Q_{PO} = tg\varphi \cdot P_{PO} = 0,48 \cdot 50,34 = 24,16 \text{ квар.}$$

«Суммарные активная, реактивная и полные мощности 0,4 кВ» [5]:

$$P_{PЦ} = P_p + P_{PO} = 750 + 50,34 = 800,34 \text{ кВт,}$$

$$Q_{PЦ} = Q_p + Q_{PO} = 660 + 24,16 = 684,16 \text{ квар,}$$

$$S_{PЦ} = \sqrt{800,34^2 + 684,16^2} = 1052,91 \text{ кВА.}$$

Расчет электрических нагрузок приводится в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты вычисления электрических нагрузок всех потребителей СЭС завода

Наименование потребителя	Силовая нагрузка							Осветительная нагрузка					Суммарная нагрузка		
	P _н , кВт	cosφ	tgφ	Kc	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	σ, Вт/м ²	F, м ²	P _{ро} , кВт	Q _{ро} , квар	S _{ро} , кВА	P _{рц} , кВт	Q _{рц} , квар	S _{рц} , кВА
Заготовительный корпус	1250	0,75	0,88	0,6	750	660	999,05	12	4416	50,34	24,16	55,84	800,34	684,16	1052,91
Механический цех	850	0,75	0,88	0,6	510	448,8	679,35	10	2592	24,62	11,82	27,31	534,62	460,62	705,68
Сборочный цех	960	0,75	0,88	0,6	576	506,88	767,27	12	4320	49,25	23,64	54,63	625,25	530,52	819,99
Гальванический цех	145	0,8	0,75	0,6	87	65,25	108,75	10	2304	21,89	10,51	24,28	108,89	75,76	132,65
Термическое отделение	1500	0,95	0,33	0,8	1200	396	1263,65	10	4416	41,95	20,14	46,53	1241,95	416,14	1309,81
Штамповочный цех	980	0,65	1,17	0,65	637	745,29	980,42	10	2592	24,62	11,82	27,31	661,62	757,11	1005,46
Обмоточный цех	250	0,65	1,17	0,5	125	146,25	192,39	8	2880	21,89	10,51	24,28	146,89	156,76	214,83
Лаборатория	180	0,8	0,75	0,5	90	67,5	112,5	12	2592	29,55	14,18	32,78	119,55	81,68	144,79
Административный корпус	130	0,8	0,75	0,5	65	48,75	81,25	12	4194	47,81	22,95	53,03	112,81	71,7	133,67
Насосная станция 0,4 кВ	95	0,85	0,62	0,8	76	47,12	89,42	10	4416	41,95	20,14	46,53	117,95	67,26	135,78
Склад готовой продукции	95	0,8	0,75	0,4	38	28,5	47,5	12	1152	13,13	6,3	14,56	51,13	34,8	61,85
Итого 0,4 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	35874	-	-	-	4521	3336,51	5618,87
Насосная станция 10 кВ	2×630	0,86	0,59	0,85	1071	631,89	1243,51	-	-	-	-	-	1071	631,89	1243,51
Итого 0,4+10 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5592	3968,4	6857,02

При расчете мощности всего завода требуется учитывать мощность, которая расходуется на наружное освещение.

Расчётная активная и реактивная мощность освещения территории:

$$P_{\text{РОТ}} = F_{\text{ТЕР}} \cdot K_{\text{СОТ}} \cdot \sigma \quad (6)$$

$$Q_{\text{РОТ}} = P_{\text{РОТ}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (7)$$

$$F_{\text{ТЕР}} = F_{\text{ЗАВ}} - \Sigma F_{\text{Ц}} \quad (8)$$

где $F_{\text{ТЕР}}$ – освещаемая территория, м²;

$K_{\text{СОТ}}$ – «коэффициент спроса освещаемой территории» [1];

σ – «удельная плотность освещения для газоразрядных ламп» [10], Вт/м²;

$\text{tg}\varphi$ – «коэффициент реактивной мощности освещения территории» [11].

$F_{\text{ЗАВ}}$ – площадь завода (определяется по генплану предприятия), м²;

$\Sigma F_{\text{Ц}}$ – суммарная площадь цехов (определяется по таблице 2), м².

$$P_{\text{РОТ}} = F_{\text{ТЕР}} \cdot K_{\text{СОТ}} \cdot \sigma = 124126 \cdot 1 \cdot 0,04 = 4,97 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{РОТ}} = P_{\text{РОТ}} \cdot \text{tg}\varphi = 4,97 \cdot 0,48 = 2,39 \text{ квар},$$

$$F_{\text{ТЕР}} = F_{\text{ЗАВ}} - \Sigma F_{\text{Ц}} = 160000 - 35874 = 124126 \text{ м}^2.$$

Дальше определяются потери в трансформаторе. Так как тип силового трансформатора ещё не определён, можно принимать:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{\text{РЦ}}, \quad (9)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{\text{РЦ}} \quad (10)$$

где ΔP_T – «потери активной мощности в трансформаторе» [9], кВт;

$S_{\text{РЦ}}$ – полная расчетная цеховая мощность (из таблицы 2), кВт;

ΔQ_T – «потери реактивной мощности в трансформаторе» [9].

Опираясь на расчетные сведения нагрузок, которые были получены ранее, размеры потерь в силовых трансформаторах составят:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{PЦ} = 0,02 \cdot 5618,87 = 112,38 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{PЦ} = 0,1 \cdot 5618,87 = 561,89 \text{ квар}.$$

Суммарные нагрузки на напряжениях 0,4 кВ и 10 кВ, включая потери в трансформаторах, а также с учетом мощности, потребляемой на освещение территории завода, рассчитываются по следующим формулам:

$$P_{PЗ} = (\Sigma P_{P0.4} + \Sigma P_{P10}) \cdot K_{PМ} + P_{POT} + \Delta P_T \quad (11)$$

$$Q_{PЗ} = (\Sigma Q_{P0.4} + \Sigma Q_{P10}) \cdot K_{PМ} + Q_{POT} + \Delta Q_T \quad (12)$$

где $\Sigma P_{P0.4}$ – активная расчетная цеховая мощность на 0,4 кВ, кВт;

ΣP_{P10} – активная расчетная цеховая мощность на 10 кВ, кВт;

$K_{PМ}$ – «коэффициент разновременности максимумов» [15];

P_{POT} – активная расчётная мощность освещения территории, кВт;

$\Sigma Q_{P0.4}$ – реактивная расчетная цеховая на 0,4 кВ, квар;

ΣQ_{P10} – реактивная расчетная цеховая мощность на 10 кВ, квар;

Q_{POT} – реактивная расчётная мощность освещения территории, квар.

$$P_{PЗ} = (4521 + 1071) \cdot 0,95 + 4,97 + 112,38 = 5429,75 \text{ кВт},$$

$$Q_{PЗ} = (3336.51 + 631.89) \cdot 0,95 + 2,39 + 561,89 = 4334,26 \text{ квар}.$$

Полная расчетная мощность завода:

$$S_{PЗ} = \sqrt{P_{PЗ}^2 + Q_{PЗ}^2} \quad (13)$$

$$S_{PЗ} = \sqrt{5429,75^2 + 4334,26^2} = 6947,52 \text{ кВА}.$$

Исходя из полученных выше расчетов электрической нагрузки, будут подобраны и проверены на возможные перегрузки в аварийном режиме цеховые трансформаторные подстанции и трансформаторы главной понижающей подстанции, а также подобраны и проверены токоведущие элементы и защитные устройства на всех уровнях СЭС машиностроительного завода.

2.2 Выбор числа и мощности трансформаторных трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности

В соответствии с требованиями современной технической литературы [8], для питания цеховых потребителей категории I и II необходимо устанавливать, как минимум два трансформатора.

«Коэффициенты загрузки трансформаторов на двухтрансформаторных подстанциях:

- в нормальном режиме - от 0,6 до 0,7;
- в послеаварийном режиме - не более 1,4» [17].

«Выбор числа цеховых ТП осуществляется согласно нижеперечисленным требованиям по удельной плотности цеховой нагрузки» [17]:

- $\sigma < 0,1$ кВА/м², то $S_{\text{тр}} < 400$ кВА;
- $\sigma < 0,1 \dots 1,5$ кВА/м², то $S_{\text{тр}} < 630$ кВА;
- $\sigma < 0,15 \dots 2$ кВА/м², то $S_{\text{тр}} < 1000$ кВА;
- $\sigma < 0,2 \dots 2,5$ кВА/м², то $S_{\text{тр}} < 1600$ кВА;
- $\sigma > 3$ кВА/м², то можно выбирать трансформаторы любой мощности, включая трансформаторы мощностью 2500 кВА и появившиеся в современной линейке мощностей 3200 кВА.

«Удельная плотность нагрузки определяется по следующей формуле» [14]:

$$\sigma = \frac{S_{\text{РЦ}}}{F_{\text{ц}}} \quad (14)$$

где $S_{\text{РЦ}}$ – полная расчетная мощность цехов предприятия, кВА;

$F_{\text{ц}}$ – «площадь всех цехов предприятия, м²» [14].

$$\sigma = \frac{5618,87}{35874} = 0,16 \text{ кВА/м}^2.$$

При плотности нагрузки $\sigma = 0,15 \dots 2$ кВА/м² целесообразно применять трансформаторы мощностью до 1000 кВА.

Выбираем трансформатор мощностью 1000 кВА.

Минимальное число цеховых трансформаторов N_{min} одинаковой мощности S_{HT} для питания технологически связанных нагрузок:

$$N_{\text{min}} = \frac{P_{\text{p}}}{\beta_{\text{T}} S_{\text{HT}}} + \Delta N, \quad (15)$$

где P_{p} – «суммарная активная мощность предприятия на напряжении 0,4 кВ, кВт» [14];

β_{T} – «коэффициент загрузки трансформаторов» [14];

S_{HT} – «номинальная мощность трансформатора, кВА» [14].

$$N_{\text{min}} = \frac{4521}{0,6 \cdot 1000} + 0,5 = 8.$$

После чего заводские цеха/корпуса делятся между трансформаторными подстанциями в соответствии с потребляемой мощностью и с учетом расположения на местности.

Результаты распределения потребителей машиностроительного завода отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение цехов/корпусов по трансформаторным подстанциям

№ ТП	Номинальная мощность и кол-во трансформаторов	Номер цеха согласно генплану	Суммарная мощность, кВт
ТП-1	2×1000	1,4,10	1027,18
ТП-2	2×1000	2,7,8,9,11	965
ТП-3	2×1000	5	1241,95
ТП-4	2×1000	3,6	1286,87

Ещё на этапе проектирования следует обеспечить минимальные потери электрической энергии (ЭЭ) в питающих и распределительных линиях завода. Уровень потерь ЭЭ складывается из двух принципиально значимых элементов: активно и реактивной. Сокращение потерь первого элемента не дает значительного экономического эффекта, а, наоборот, приводит к ухудшению пропускной способности линий и трансформаторных подстанций. На данный момент самым простым и дешевым способом снижения потерь является использование компенсирующих аппаратов.

«Величина максимальной реактивной мощности, передавать которую через трансформаторы рационально в сетях с напряжением до 1 кВ, устанавливается по формуле» [14]:

$$Q_{\text{мах.тр}} = \sqrt{(N_{\text{опт}} \cdot \beta \cdot S_{\text{ном.т}})^2 - P_{0,4 \text{ кВ}}^2}, \quad (15)$$

где $N_{\text{опт}}$ – «количество трансформаторов, установленных на ТП» [14];

β – «коэффициент загрузки трансформаторов, принятый при расчете минимального количества трансформаторов одного типоразмера» [14];

$S_{\text{ном.т}}$ – «номинальная мощность трансформаторов, установленных на ТП, кВА» [14];

$P_{0,4 \text{ кВ}}$ – «суммарная активная мощность потребителей, присоединенных к ТП, кВт» [14].

Пример расчета ТП - 1, в соответствии с условием (15):

$$Q_{\text{мах.тр}} = \sqrt{(2 \cdot 0,6 \cdot 1000)^2 - 1027,18^2} = 620,4 \text{ квар.}$$

Так как

$$Q_{\text{мах.тр}} < Q_{0,4 \text{ кВ}}, \quad (16)$$

$$620,4 \text{ квар} < 684,16 \text{ квар.}$$

где $Q_{0,4 \text{ кВ}}$ — «суммарная реактивная мощность потребителей, присоединенных к ТП, квар» [14].

Общая мощность конденсаторных батарей при питании напряжением до 1 кВ будет следующей, квар:

$$Q_{\text{НК1}} = Q_{0,4 \text{ кВ}} - Q_{\text{мах.тр}}, \quad (17)$$

$$Q_{\text{НК1}} = 684,16 - 620,4 = 63,76 \text{ квар.}$$

К установке принимаются две конденсаторных батареи мощностью 50 квар каждая.

Полная мощность на ТП-1 после компенсации:

$$S_{\text{ТП1}} = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p - Q_{\text{НК1}})^2} \quad (18)$$

$$S_{\text{ТП1}} = \sqrt{(1343,7)^2 + (1920,18 - 350)^2} = 2066,64 \text{ кВА.}$$

По выбранной мощности трансформаторов необходимо определить действительные коэффициенты загрузки в нормальном и послеаварийном режимах работы ТП с учетом компенсации реактивной мощности:

$$K_{з.ном} = \frac{S_{ТП1}}{N_T \cdot S_{ном.т}}, \quad (19)$$

$$K_{з.п.ав} = \frac{S_{ТП1}}{(N_T - 1) \cdot S_{ном.т}}. \quad (20)$$

где $S_{ТП1}$ – полная мощность ТП с учетом компенсации, кВА;

$S_{ном.т}$ – номинальная мощность установленного в ТП трансформатора, кВА.

В нормальном режиме для ТП-1:

$$K_{з.ном} = \frac{1181,67}{2 \cdot 1000} = 0,59.$$

В послеаварийном режиме для ТП-1:

$$K_{з.п.ав} = \frac{1181,67}{1000} = 1,18$$

Расчеты показывают, что значения в нормальном и послеаварийном режимах не превышают рекомендуемых значений. Следовательно, выбранные трансформаторы удовлетворяют условиям взаимного резервирования.

Для оставшихся потребителей расчеты выполняются аналогично, результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет и выбор конденсаторных батарей

Подстанция	Начальные параметры						Результирующие параметры				
	$N_{тр}$, шт	$S_{ном.тр}$, кВА	$P_{р.ТП}$, кВт	$Q_{р.ТП}$, квар	$Q_{мах.тр}$, квар	$Q_{БК}$, квар	$Q_{КУ.ном}$, квар	$n_{ку}$, шт	$S_{ТП}$, кВА	$K_{з.ном}$	$K_{з.п.ав}$
ТП-1	2	1000	1027,18	684,16	620,4	63,76	50	2	1181,67	0,59	1,18
ТП-2	2	1000	965	460,62	713,28	-252,66	0	0	1069,3	0,55	1,1
ТП-3	2	1000	1241,95	416,14	384,14	32	50	2	1281,56	0,64	1,28
ТП-4	2	1000	1286,87	1287,63	184,3	1103,33	600	2	1289,85	0,64	1,29

2.3 Определение центра электрических нагрузок

Для определения местоположения точки приема электроэнергии на заводе на этапе проектирования составляется картограмма электрических нагрузок. Картограмма - это некоторое количество окружностей на плане предприятия, соответствующее расчетным нагрузкам цехов в заданном масштабном отношении. Для случая, когда компенсация реактивной мощности решается централизованно (для этого используются синхронные компенсаторы), находится центр реактивных электрических нагрузок.

Для визуализации процесса распределения нагрузок по площади завода создается картограмма нагрузок. Это набор кругов, начерченных на цехах генплана. Площадь окружности в данном масштабе соответствует расчетной нагрузке цеха. Как правило, картограмма составляется лишь для активных мощностей. Чтобы наглядно показать соотношение силовой и осветительной нагрузки, для всех кругов определяется сектор, относящийся к осветительной нагрузке.

«Радиус окружности» [14]:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{РЦ,i}}{\pi t}}, \quad (21)$$

где t — «масштаб, выбранный для последующих расчетов, кВт/мм²» [14].

Общая доля осветительной нагрузки от цеховой нагрузки завода 0,4 кВт:

$$\alpha_{i0} = 360^\circ \frac{P_{Р0 i}}{P_{РЦ i}}, \quad (22)$$

где $P_{Р0 i}$ — «осветительная нагрузка цеха, кВт» [14];

$P_{РЦ i}$ — «общая нагрузка цеха, кВт» [14].

«ГПП будет располагаться вблизи центра электрических нагрузок. Для его нахождения требуется определить координаты цехов. Для этого необходимо установить оси координат с началом в левом нижнем углу завода» [14]:

$$X_0 = \frac{\sum P_{\text{РЦ}} \cdot X_i}{\sum P_{\text{РЦ}}}, \quad (23)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_{\text{РЦ}} \cdot Y_i}{\sum P_{\text{РЦ}}}. \quad (24)$$

где X_i, Y_i – «координаты центра нагрузки каждого цеха, м» [14];

$\sum P_{\text{РЦ}}$ – «расчетные нагрузки цехов, кВт» [14].

$$X_0 = \frac{800,34 \cdot 167 + 534,62 \cdot 182 + \dots + 51,13 \cdot 312}{800,34 + 534,62 + \dots + 51,13} = 255,6 \text{ м};$$

$$Y_0 = \frac{800,34 \cdot 44 + 534,62 \cdot 124 + \dots + 51,13 \cdot 283}{800,34 + 534,62 + \dots + 51,13} = 147,4 \text{ м}.$$

Итоги вычислений отражены в таблице 5.

Таблица 5 – Итоги расчетов для построения картограммы электрических нагрузок и определения ЦЭН

Цех/корпус	$P_{\text{РЦ}i}$, кВт	$P_{\text{РО}i}$, кВт	X, м	Y, м	r, м	α_{i0} , град
0,4 кВ						
Заготовительный корпус	800,34	50,34	167	44	22,58	22,64
Механический цех	534,62	24,62	182	124	18,45	16,58
Сборочный цех	625,25	49,25	427	265	19,96	28,36
Гальванический цех	108,89	21,89	297	37	8,33	72,37
Термическое отделение	1241,9 5	41,95	24	200	28,13	12,16
Штамповочный цех	661,62	24,62	445	170	20,53	13,4
Обмоточный цех	146,89	21,89	179	271	9,67	53,65
Лаборатория	119,55	29,55	182	197	8,73	88,98
Административный корпус	112,81	47,81	334	172	8,48	152,57
Насосная станция 0,4 кВ	117,95	41,95	398	80	8,67	128,04

Продолжение таблицы 5

Цех/корпус	$P_{РЦ\ i}$, кВт	$P_{РО\ i}$, кВт	X, м	Y, м	r, м	α_{i0} , град
Склад готовой продукции	51,13	13,13	312	283	5,71	92,45
Итого 0,4 кВ	4521	367	-	-	-	-
10 кВ						
Насосная станция (АД 2×630)	1071	-	398	80	26,12	-
Итого 0,4+10 кВ	5592	367	-	-	-	-

Исходя из расчетов, можно сделать вывод, что ЦЭН находится на подведомственной заводу территории, однако ГПП необходимо немного сместить в направлении питающей ЛЭП, чтобы не создавать помех для проезда заводского транспорта. Кроме того, данное расположение ГПП обеспечивает коридор шириной 50 м для двухцепной ЛЭП [2].

На рисунке 1 показана картограмма электрических нагрузок.

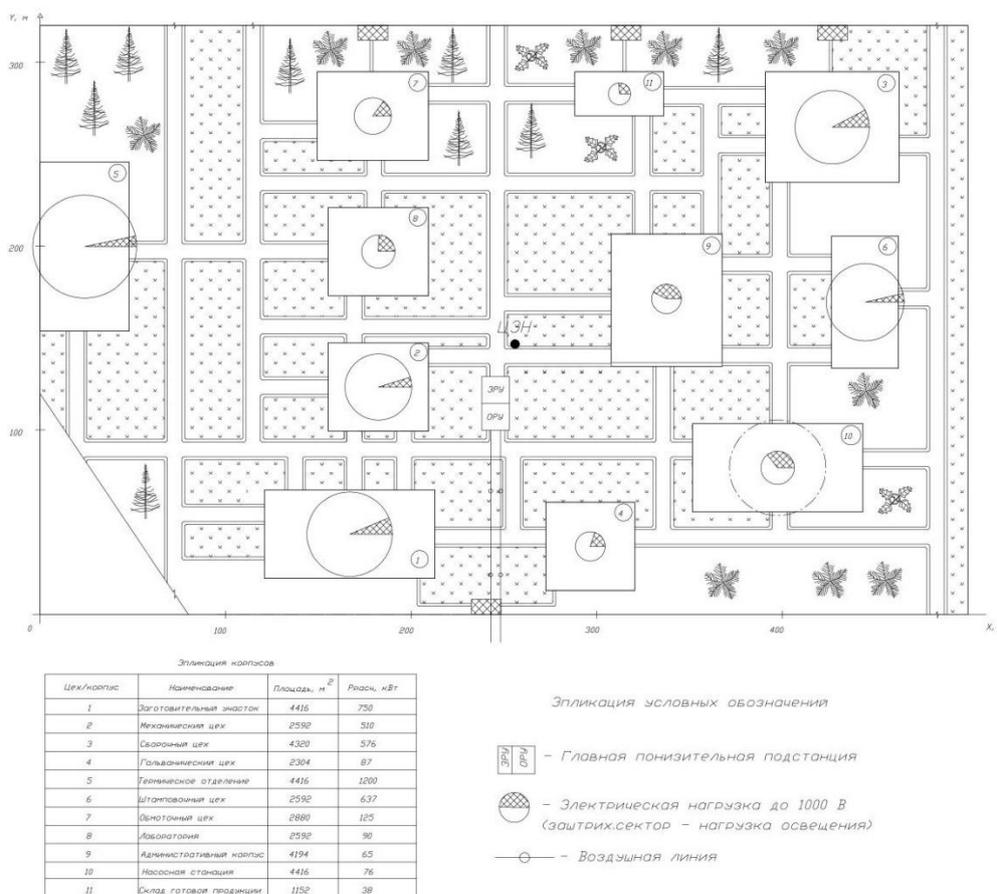


Рисунок 1 - Картограмма и центр электрических нагрузок машиностроительного завода

2.4 Расчет распределительной сети предприятия и выбор кабельных линий 10 кВ

Внутризаводское электроснабжение осуществляется с использованием радиальных и магистральных схем электрических сетей, выбор которых обусловлен особенностями территориального расположения и величиной нагрузок, требуемой надежностью электроснабжения, наличием нескольких типов источников питания, а также особенностями проектируемого предприятия, в том числе наличием на предприятии потребителей с резко переменным графиком нагрузки, необходимостью отделения потребителей электроэнергии от освещения и др.. Система распределения кабельных трасс представлена на рисунке 2.

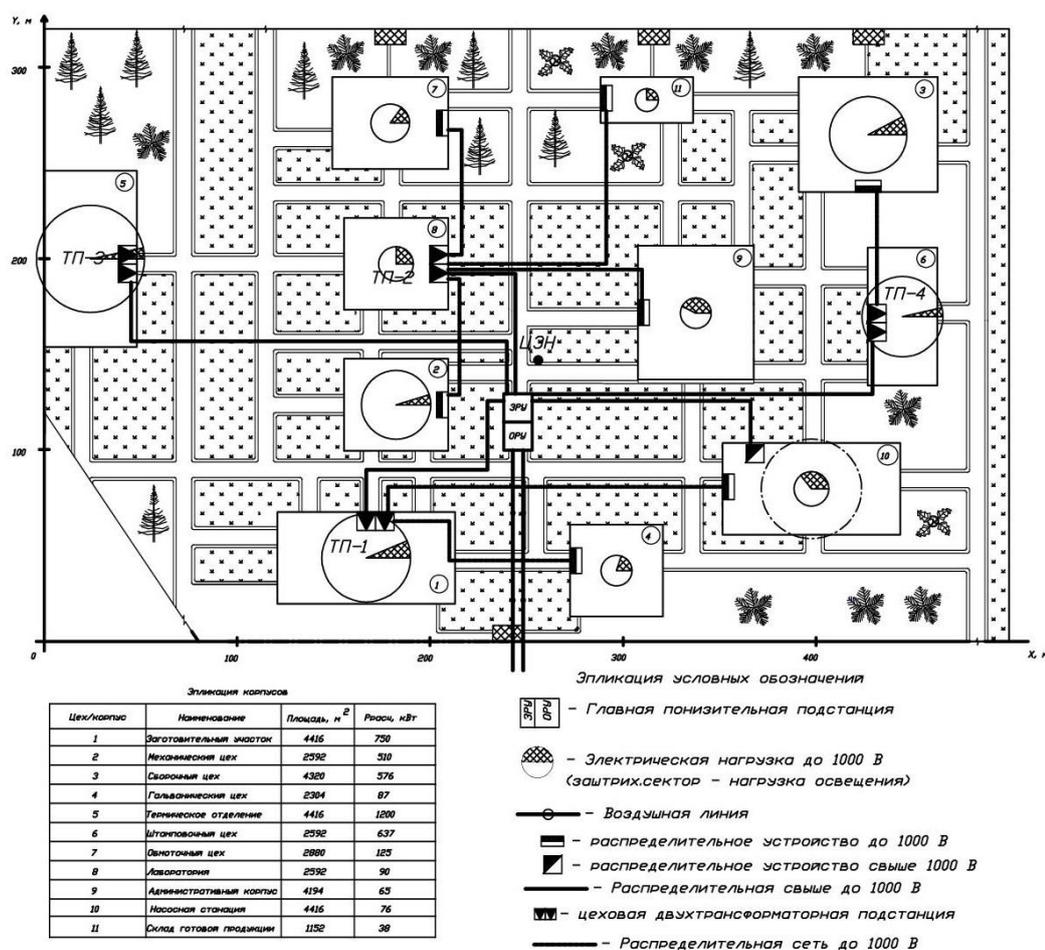


Рисунок 2 - План размещения ТП и кабельных трасс завода

На данном объекте применяется радиальная схема электроснабжения, так как преимуществом, по сравнению с магистральной линией, является повышенная степень надежности энергоснабжения и более удобная эксплуатация. При замыканиях в сети один или несколько потребителей, подключенных к поврежденной линии, перестают функционировать, а все другие объекты продолжают свою работу.

«По территории завода кабельные линии прокладываются по возможности по технологическим эстакадам, стенам зданий и сооружений, а при их отсутствии вдоль трассы линий - в земле. Внутри зданий кабельные линии прокладываются по конструкциям зданий или в кабельных каналах» [13].

Для обеспечения достаточно длительного срока службы кабельных линий не рекомендуется прокладывать в одной траншее более шести кабелей, так как наличие более чем шести единиц кабельных линий может вызывать повышенный нагрев изоляции и в свою очередь привести к сокращению срока службы кабеля, а также может спровоцировать возникновение аварийных ситуаций.

Выбирать и проверять силовые кабели необходимо, руководствуясь [8].

«Условия выбора КЛ следующие: по току, в нормальном режиме, в послеаварийном режиме, по номинальному напряжению» [8].

«Проверяются кабельные линии по нормативной (экономической) плотности тока» [7]:

$$F_{\Sigma} = I_H / j_H, \quad (25)$$

где j_H – нормированная плотность тока равная 1,2 А/мм² (при работе предприятия с T_m более 5000 час/год и питания кабелями с алюминиевыми жилами марки ААШв) [7].

В системе распределения предприятия предполагается использовать кабели, имеющие алюминиевые жилы с бумажной и ПВХ изоляцией.

«Допустимая токовая нагрузка на жилу кабеля в нормальном режиме определяется по формуле» [8]:

$$I_{\text{доп}} = k_1 k_2 k_3 I_{\text{доп табл}}, \quad (26)$$

где k_1 – «поправочный коэффициент для кабелей в зависимости от температуры среды» [8], принимается равным 1;

k_2 – «поправочный коэффициент снижения нагрузки при совместной прокладке кабелей в траншее, принят для расстояния между ними равного 300 мм» [8];

k_3 – «коэффициент, учитывающий фактическое тепловое сопротивление грунта» [8], принимается равным 1;

$I_{\text{доп табл}}$ – «допустимый табличный длительный ток» [8].

Найдя значения поправочных коэффициентов, требуется соблюсти следующее условие:

$$I_{\text{доп}} \geq I_P. \quad (27)$$

На период ликвидации послеаварийного режима для кабелей с бумажной изоляцией допускается перегрузка до 30% от номинальной при их прокладке в земле и до 20 % при прокладке в воздухе [7].

«Условие проверки по длительному току послеаварийного режима» [7]:

$$I_{\text{доп}} K_{\text{пер}} \geq I_{\text{па}}. \quad (28)$$

«Для выбора кабелей необходимо определить их расчетные токи, которые зависят от состава подключенной к кабельной линии нагрузки» [7].

Расчётный ток кабеля в нормальном режиме работы:

$$I_p = \frac{S_{\text{ТП}}}{n\sqrt{3}U_H}, \quad (29)$$

где $S_{\text{ТП}}$ – мощность трансформатора, установленного на ТП, кВт;

n – число параллельно работающих кабелей в нормальном режиме.

Расчётный ток кабеля в послеаварийном режиме работы:

$$I_{\text{ПА}} = \frac{1,4S_{\text{ТП}}}{(n-1)\sqrt{3}U_H}, \quad (30)$$

Дальше осуществляется расчет по формулам (25) - (30) на примере ТП- 1:

$$I_p = \frac{S_{\text{ТП}}}{n\sqrt{3}U_H} = \frac{1000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 28,87 \text{ А},$$

$$I_{\text{ПА}} = \frac{1,4S_{\text{ТП}}}{(n-1)\sqrt{3}U_H} = \frac{1,4 \cdot 1000}{(2-1)\sqrt{3} \cdot 10} = 80,83 \text{ А},$$

$$F_{\text{Э}} = I_H / j_H = 28,87 / 1,2 = 24,06 \text{ мм}^2.$$

Предварительно выбирается кабель ближайшего стандартного сечения марки ААШв $F = 25 \text{ мм}^2$, $I_{\text{доп табл}} = 90 \text{ А}$, [12].

$$I_{\text{доп}} = k_1 k_2 k_3 I_{\text{доп табл}} = 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 90 = 81 \text{ А},$$

$$I_{\text{доп}} = 81 \text{ А} \geq I_p = 28,87 \text{ А},$$

$$I_{\text{доп}} K_{\text{пер}} = 1,3 \cdot 81 = 105,3 \text{ А} \geq I_{\text{ПА}} = 80,83 \text{ А}.$$

Все условия были выполнены, поэтому кабель марки ААШв 3×25 принят для дальнейших расчетов.

Результаты расчетов остальных кабельных линий представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты расчетов нагрузок линий СЭС цеховых ТП завода

Участок	Количество линий	Расчетная нагрузка на один кабель		Длина линии, км	Способ прокладки	Поправочный коэффициент	Марка и сечение кабеля	Допустимая нагрузка на один кабель		F _{эс} , мм ²
		I _p , А	I _{па} , А					В длительном режиме	В аварийном режиме	
ГПП-ТП1	2	28,87	80,83	0,129	В траншее	0,9	ААШВ (3×25)	81	105,3	24,06
ГПП-ТП2	2	28,87	80,83	0,097		0,9	ААШВ (3×25)	81	105,3	24,06
ГПП-ТП3	2	28,87	80,83	0,253		0,9	ААШВ (3×25)	81	105,3	24,06
ГПП-ТП4	2	28,87	80,83	0,203		0,9	ААШВ (3×25)	81	105,3	24,06
ГПП-АД 10 кВ (цеха №10)	2	44	-	0,135		0,9	ААШВ (3×35)	103,5	134,55	36,67

2.5 Выбор схемы и оборудования распределительного устройства ГПП

На начальном этапе необходимо выбрать схему ГПП.

«Схему электрических соединений подстанции выбирают на основании общей схемы электроснабжения предприятия и схемы развития энергосистемы. При этом она должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать надежность электроснабжения потребителей подстанции в соответствии с категориями электроприемников;
- учитывать перспективу развития подстанции; допускать возможность поэтапного расширения;
- обеспечивать возможность проведения ремонтных и эксплуатационных работ на отдельных элементах схемы без отключения соседних присоединений;

- обеспечивать наглядность, простоту, экономичность и автоматичность, т.е. возможность восстановления питания потребителей в послеаварийном режиме средствами автоматики.

Главная схема электрических соединений выбирается среди типовых схем, нашедших широкое применение при проектировании. Нетиповая главная схема применяется при наличии технико-экономического обоснования или специального требования заказчика. В настоящем проекте какие-либо условия, способствующие применению нетиповой схемы, отсутствуют» [13].

«Чтобы сократить количество коммутационных аппаратов, следует использовать телеотключающий импульс. Так же его основная роль, отключать головной выключатель линии. Рекомендации по его использованию отмечают, что его использование целесообразно только при загрязненной атмосфере. Проектирование в данной работе происходит в чистой среде, поэтому такой вариант не подходит. Поэтому была выбрана блок-схема линия-выключатель с неавтоматической перемычкой» [13]. Она изображена на рисунке 3.

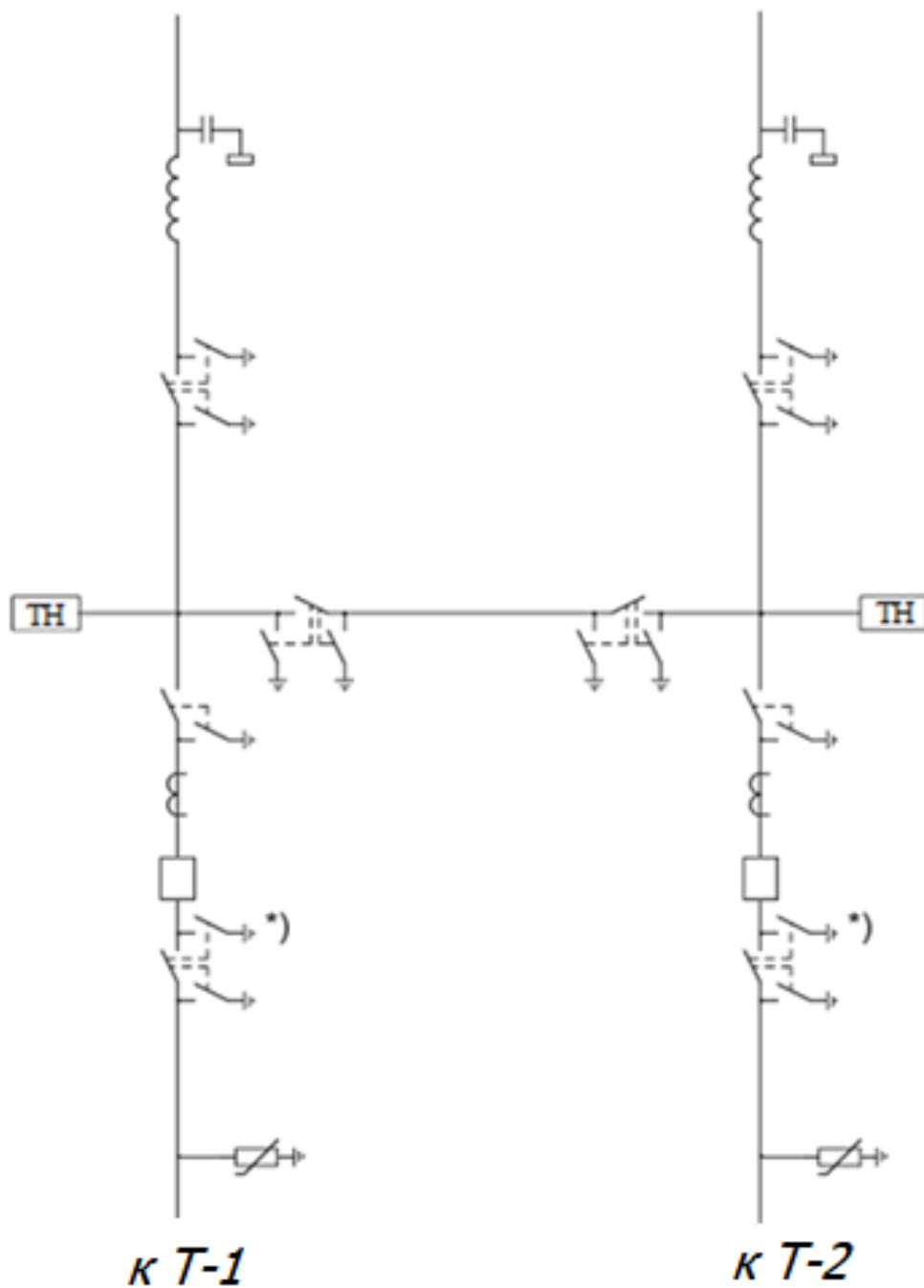


Рисунок 3 – Схема устройства высшего напряжения ГПП

Далее рассчитывается рациональное напряжение для питания ГПП.

В данном случае рациональное напряжение находили по формуле Илларионова для напряжения:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_{рвгпп}}}}, \quad (31)$$

где $P_{рвгпп}$ – расчетная активная нагрузка завода, МВт;

L – расстояние от завода до подстанции энергосистемы, км.

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{4,2} + \frac{2500}{5,43/2}}} = 31 \text{ кВ.}$$

Поскольку по результатам расчета рациональное напряжение близко к 35 кВ, значит, окончательно принято (35 кВ), на основании расчета полученного рационального значения уровня напряжения по формуле Илларионова.

Далее необходимо выбрать трансформатор главной понижающей подстанции.

Мощность силовых трансформаторов ГПП рассчитывается на основе требуемой активной мощности для завода и нормированного уровня реактивной мощности:

$$S_{рз} = \sqrt{P_{рз}^2 + Q_{э}^2}, \quad (32)$$

где $Q_{э}$ – «экономически целесообразная реактивная мощность на стороне высшего напряжения ГПП, потребляемая заводом от энергосистемы, квар» [15].

Экономически обоснованная величина реактивной мощности, потребляемая из энергосистемы в часы максимальной активной нагрузки, определяется выражением:

$$Q_{\text{э}} = P_{\text{рз}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{э}}, \quad (33)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{\text{э}}$ – экономически целесообразный тангенс реактивной мощности [15].

Для проектируемой системы электроснабжения:

$$Q_{\text{э}} = 5429,75 \cdot 0,4 = 2171,9 \text{ квар},$$

$$S_{\text{рз}} = \sqrt{5429,75^2 + 2171,9^2} = 5848,02 \text{ кВА}.$$

Мощность трансформаторов на ГПП определяется по формуле:

$$S_{\text{н.т.}} \geq \frac{S_{\text{рз}}}{\beta_{\text{т}} \cdot n}, \quad (34)$$

где $S_{\text{рз}}$ – «полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП, кВА» [15];

$\beta_{\text{т}}$ – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП;

n – число трансформаторов на ГПП.

$$S_{\text{н.т.}} \geq \frac{5848,02}{0,7 \cdot 2} = 4177,2 \text{ кВА}.$$

Таким образом, приняты к установке два трансформатора типа ТМН - 6300/35.

Далее производится выбор линий электропередачи ГПП.

«Так как на заводе имеются электроприемники I категории, то из условия бесперебойности питания электроснабжение обеспечивается от двух независимых взаимно резервирующих друг друга источников питания. При прохождении ВЛ по территории городов и промышленных районов в справочнике [13] рекомендуется использовать двухцепные опоры. При этом электроприемники первой категории резервируются по сети вторичного напряжения. Предпочтение следует отдавать стальным опорам. Намечаем к

использованию унифицированные стальные опоры типа П-35-2 со сталеалюминевыми проводами» [13].

Номинальный ток в линии:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{рз}}}{2\sqrt{3}U_{\text{Н}}}, \quad (35)$$

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{5848.02}{2\sqrt{3} \cdot 35} = 48,23 \text{ А.}$$

Ток в послеаварийном режиме увеличивается вдвое [13]:

$$I_{\text{ПАР}} = 2 \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (36)$$

$$I_{\text{ПАР}} = 2 \cdot 48,23 = 96,46 \text{ А.}$$

По нормированной (экономической) плотности тока:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{НОМ}}}{j_{\text{Н}}}, \quad (37)$$

где $I_{\text{НОМ}}$ – расчетный ток, А;

$j_{\text{Н}}$ – «плотность тока для алюминиевых неизолированных проводов для ВЛ, А/мм²» [7].

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{48,23}{1} = 48,23 \text{ мм}^2.$$

Принимается провод марки АС-120/19 по условию механической прочности согласно [8] ВЛ 35 кВ и выше, сооружаемые на двухцепных опорах с применением сталеалюминевых проводов, должны иметь сечение не менее 120 мм².

«Проверка по длительно-допустимому току послеаварийного режима работы:

$$I_{\text{ДОП}} \geq I_{\text{ПАР}}, \quad (38)$$

$$I_{\text{ДОП}} = 390\text{А} \geq I_{\text{ПАР}} = 96,46\text{А} \text{ [15].}$$

«Выбранное сечение провода проходит проверку по длительно-допустимому току» [13].

Проверка потери напряжения в ЛЭП выполняется по формуле:

$$\Delta U = \frac{P_3 R_{\text{ВЛ}} + Q_3 X_{\text{ВЛ}}}{U_{\text{Н}}}, \quad (39)$$

где $R_{\text{ВЛ}}$ – активное сопротивление линии, Ом;

$X_{\text{ВЛ}}$ – индуктивное сопротивление линии, Ом.

«Согласно справочнику [12] удельное сопротивление линий 35 кВ на единицу длины при применении провода» [12] АС-120:

- активное: 0,244 Ом/км;
- индуктивное: 0,414 Ом/км:

$$R_{\text{ВЛ}} = \frac{r_0 L}{n}, \quad (40)$$

$$X_{\text{ВЛ}} = \frac{x_0 L}{n}, \quad (41)$$

где L – длина ВЛ, км;

n – количество параллельно работающих линий.

Расчёт потерь в линии согласно формулам (39) - (41):

$$R_{\text{ВЛ}} = \frac{4,2 \cdot 0,244}{2} = 0,512 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{ВЛ}} = \frac{4,2 \cdot 0,414}{2} = 0,869,$$

$$\Delta U = \frac{5429,75 \cdot 0,512 + 2171,9 \cdot 0,869}{35} = 0,133 \text{ кВ.}$$

Потеря напряжения в процентах:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_H}, \quad (42)$$
$$\Delta U\% = \frac{0,133 \cdot 100}{35} = 0,38\%.$$

Сечение высоковольтной линии электропередач, которое было выбрано, выполняет условия по проверке на потери напряжения.

2.6 Расчет токов КЗ и выбор коммутационной и защитной аппаратуры

Самой главной проблемой повреждения системы электроснабжения считается возникновение в электросети короткого замыкания (КЗ).

Чтобы сократить объем причиненного материального вреда в результате отказов электрооборудования в случае возникновения КЗ, а также для оперативного решения задачи по восстановлению работоспособности системы энергоснабжения, следует корректно установить токи КЗ и только после этого осуществлять выбор электротехнической аппаратуры, защитную аппаратуру и средства ограничения токов КЗ. Когда имеет место КЗ, отмечается возрастание значений токов в фазах сети на порядок выше их величин при нормальной работе [15].

«Расчётная схема для определения токов КЗ (рисунок 4) представляет собой схему в однолинейном исполнении, в которую введены элементы, оказывающие влияние на ток КЗ, связывающие источники электроэнергии с местом КЗ. Расчётная схема должна учитывать перспективу развития внешних сетей и генерирующих источников, с которыми электрически связывается рассматриваемая установка» [15].

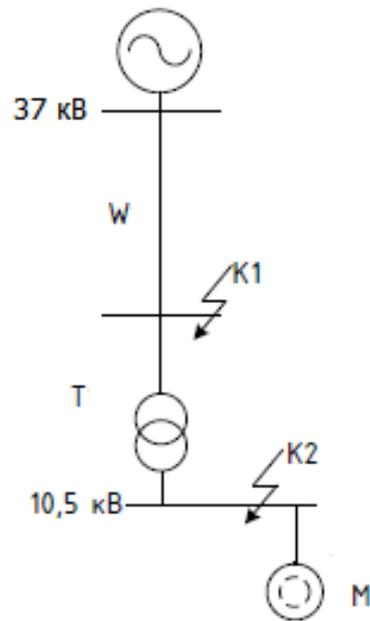


Рисунок 4 - Расчётная схема для расчетов токов КЗ

Чтобы вычислить токи КЗ, следует построить схему замещения (рисунок 5).

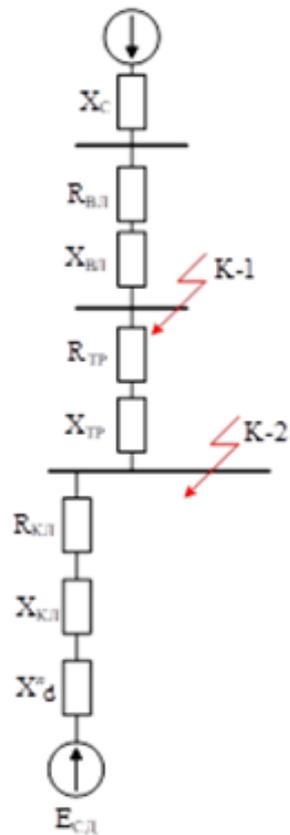


Рисунок 5 - Схема замещения для расчетов токов КЗ

«Принимаются следующие базисные условия:

$$S_6 = 1000 \text{ МВА.}$$

$$U_{6.ВН} = 37 \text{ кВ.}$$

$$U_{6.НН} = 10,5 \text{ кВ}» [13].$$

«Базисные токи определяются из выражений» [13]:

$$I_B = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (43)$$

$$I_{Б.ВН} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15,6 \text{ кА.}$$

$$I_{Б.НН} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА.}$$

«Реактивное сопротивление воздушной линии, приведенное к базисным условиям» [14]:

$$X_{W1} = X_0 \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_6}{U_B^2}, \quad (44)$$

где X_0 – «удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км» [14];

L – «суммарная длина питающей ВЛ, км» [14]

Реактивное сопротивление ВЛ 35 кВ равно:

$$X_{W1} = 0,414 \cdot 4,2 \cdot \frac{100}{37^2} = 1,27 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление воздушной линии, приведенное к базисным условиям» [14]:

$$R_{W1} = R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_6}{U_B^2}, \quad (45)$$

где R_0 – «удельное активное сопротивление воздушной линии» [14].

Активное сопротивление ВЛ 35 кВ равно:

$$R_{W1} = 0,244 \cdot 4,2 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,749 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора» [14]:

$$X_{T1} = \frac{U_{к.з.}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.т.}} \quad (46)$$

Сопротивление трансформатора марки ТМН-6300/35:

$$X_{T1} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{1000}{6,3} = 11,9 \text{ о.е.}$$

Необходимо учесть подпитку от двигателей АД 10 кВ [13].

Из справочных данных [13] находим (сверхпереходное сопротивление АД) и T_a (постоянная времени СД):

$$\begin{aligned} x_d'' &= 0,2; \\ E_d &= E'' = 1. \end{aligned}$$

В насосной установлены двигатели марки 2×А4-85/43-4У3:

$$P_H = 630 \text{ кВт}; \quad S_H = 766 \text{ кВА}; \quad \cos\phi = 0,87; \quad \eta = 0,945.$$

Сопротивление двигателя, приведенное к базисным условиям [14]:

$$x_D = x_d'' \cdot \frac{S_B}{n \cdot S_H}, \quad (47)$$

$$x_D = 0,2 \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{2 \cdot 766} = 130,5 \text{ о.е.}$$

«Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1» [13].

Полное сопротивление до точки [13]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{W1}^2}. \quad (48)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0+1,77)^2 + 0,749^2} = 1,47 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока от системы в точке К1» [13]:

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_6. \quad (49)$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{1}{1,47} \cdot 15,6 = 10,6 \text{ кА.}$$

«Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2 (на шинах 10 кВ ГПП) без учёта подпитки от АД» [13]:

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_{T1})^2 + R_{W1}^2}. \quad (50)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0+1,27+11,9)^2 + 0,749^2} = 13,2 \text{ о.е.}$$

$$I_{k2\text{БП}}^{(3)} = \frac{1}{13,2} \cdot 55 = 4,17 \text{ кА.}$$

«Начальное значение периодической составляющей трехфазного тока подпитки при КЗ от СД в точке К2» [12]:

$$I_{\text{Д}}^{(3)} = \frac{E''}{x_{\text{Д}}} \cdot I_{\text{б}}. \quad (51)$$

$$I_{\text{Д}}^{(3)} = \frac{1}{130,5} \cdot 55 = 0,421 \text{ кА}.$$

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К2 с учётом подпитки от высоковольтных СД 10 кВ» [12]:

$$I_{\text{к2}}^{(3)} = I_{\text{к2БП}}^{(3)} + I_{\text{Д}}^{(3)}, \text{ кА}.$$

$$I_{\text{к2}}^{(3)} = 4,17 + 0,421 = 4,59 \text{ кА}.$$

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [13]:

$$I_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (52)$$

где $K_{\text{уд}}$ – «значение ударного коэффициента» [7].

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ в точке К1» [13]:

$$I_{\text{уд,к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 10,6 = 23,99 \text{ кА}.$$

«Ток двухфазного короткого замыкания» [12]:

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к}}^{(3)}. \quad (53)$$

«В расчётной точке К1» [13]:

$$I_{\text{к1}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10,6 = 9,18 \text{ кА}.$$

«Результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках схемы в проектируемой системе электроснабжения завода приведены в работе в форме таблицы 7» [18].

Таблица 7 - Результаты расчета токов короткого замыкания

Точка КЗ	Описание	$U_{НОМ}$, кВ	$I^{(3)}$, кА	$I^{(2)}$, кА	$I_{уд}$, кА
К1	Линейные выводы ВН трансформатора ГПП	35	10,6	9,18	23,99
К2	Секция шин НН ГПП	10	4,59	3,98	10,39

Исходя из результатов токов короткого замыкания, следующим шагом является выбор и тестирование на работоспособность в аварийном и штатном режиме защитных и коммутационных устройств.

Установленные на изучаемом объекте аппараты испытываются в режимах номинальной нагрузки, перегрузки, а также проверяются на стойкость к воздействию токов короткого замыкания в случае возникновения нештатной ситуации. Кроме того, следует учитывать условия окружающей среды, т.е. место установки устройств (наружная или внутренняя установка), температуру окружающей среды, вероятность возникновения запыленности и т.д. На основе требований нормативно-технической литературы все устройства выбираются по их номинальным параметрам.

«Номинальное напряжение аппарата соответствует классу его изоляции. Всегда имеется определенный запас электрической прочности, оговариваемый техническими условиями на изготовление и позволяющий аппарату работать длительное время при напряжении 10-15% выше номинального (максимальное рабочее напряжение аппарата). Отклонения напряжения на практике обычно не превышают этих значений. Поэтому при выборе аппарата достаточно соблюсти условие» [13]:

$$U_{уст} \leq U_{н}; \quad (54)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_{н}. \quad (55)$$

Проверка коммутационных аппаратов на симметричные токи отключения [14]:

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (56)$$

В этом случае рассматривается симметричный (трехфазный) ток замыкания [14].

Для устройств отключения в рамках этой работы должны быть проведены испытания на отключение апериодической составляющей тока короткого замыкания [14]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (57)$$

где $\beta_{ном}$ - «номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе» [14];

$i_{а.ном}$ - «номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени» [14].

Испытание электрического оборудования на электродинамическую стойкость [14]:

- «по условию номинального тока отключения» [14]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (58)$$

- «по величине ударного тока» [14]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (59)$$

где $i_{дин.}$ - «номинальный ток электродинамической стойкости аппарата» [14].

Проведение проверок электрических приборов на термическую стойкость [14]:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (60)$$

где I_T – «предельный ток термической стойкости по каталогу» [14];

t_T – «длительность протекания тока термической стойкости, с» [14].

Процесс выбора аппаратов для рассматриваемого завода в первую очередь начинается с определения на основе принятой электрической схемы расчетных условий, а именно рабочих токов отходящих линий, токов короткого замыкания и т.д. Все эти мероприятия были выполнены в предыдущих разделах, что позволяет перейти к выбору аппаратуры и сопоставлению рассчитанных значений с номинальными параметрами подобранного оборудования.

В соответствии с заданными условиями проведения испытаний, выбираются электрические аппараты, они подбираются с учетом результатов, отображенных в таблице 8, где сопоставлены вычисленные, заводские данные аппаратов, а также электросети, в которых они устанавливаются.

Таблица 8 - Сводная таблица по выбору аппаратов РУ 35 и 10 кВ

Тип оборудования	Условие выбора	Расчётные величины	Каталожные данные	Проверка условия
РУ ВН				
Выключатель ВВН-35 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \cdot t_T \geq B_K$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$ $I_{макс} = 96,46 \text{ А}$ $I_{по} = 10,6 \text{ кА}$ $i_{уд} = 23,99 \text{ кА}$ $B_K = 10,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $I_{отк.в} = 25 \text{ кА}$ $i_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I^2_T \cdot t_T = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$ $1000 \text{ А} > 96,46 \text{ А}$ $25 \text{ кА} > 10,6 \text{ кА}$ $63 \text{ кА} > 23,99 \text{ кА}$ $1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 10,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Трансформатор тока ТВ-35 150/5	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $(k \cdot I_{ном})^2 \cdot t_T \geq B_K$ $Z_{2 ном} \geq Z_2$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$ $I_{макс} = 96,46 \text{ А}$ $i_{уд} = 23,99 \text{ кА}$ $B_K = 10,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $Z_2 = 0,495 \text{ Ом}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 150 \text{ А}$ $i_{дин} = 80 \text{ кА}$ $(k \cdot I_{ном})^2 \cdot t_T = 3675 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $Z_{2 ном} = 0,8 \text{ Ом}$	$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$ $150 \text{ А} > 96,46 \text{ А}$ $80 \text{ кА} > 23,99 \text{ кА}$ $3675 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 10,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $0,8 \text{ Ом} > 0,495 \text{ Ом}$
РГП-35/630У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \cdot t_T \geq B_K$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$ $I_{макс} = 96,46 \text{ А}$ $i_{уд} = 23,99 \text{ кА}$ $B_K = 10,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $i_{дин} = 31,5 \text{ кА}$ $I^2_T \cdot t_T = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$ $630 \text{ А} > 96,46 \text{ А}$ $31,5 \text{ кА} > 23,99 \text{ кА}$ $469 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 10,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Ограничитель перенапряжений ОПН-35-УХЛ1.	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$
Ограничитель перенапряжений в нейтрали ОПН-35-УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = \frac{35}{\sqrt{3}} \text{ кВ}$	$U_{ном} = \frac{35}{\sqrt{3}} \text{ кВ}$	$\frac{35}{\sqrt{3}} \text{ кВ} = \frac{35}{\sqrt{3}} \text{ кВ}$
РУ НН				
Вводной выключатель и выключатель отходящей линии ВВУ-10-20/1000	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \cdot t_T \geq B_K$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$ $I_{макс} = 337,6 \text{ А}$ $I_{по} = 4,59 \text{ кА}$ $i_{уд} = 10,39 \text{ кА}$ $B_K = 2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $I_{отк.в} = 20 \text{ кА}$ $i_{дин} = 52 \text{ кА}$ $I^2_{пт} \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}$ $1000 \text{ А} > 337,6 \text{ А}$ $20 \text{ кА} > 4,59 \text{ кА}$ $52 \text{ кА} > 10,39 \text{ кА}$ $1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Трансформатор тока ТЛМ-10-300/5	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \cdot t_T \geq B_K$ $Z_{ном} \geq Z_{макс}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$ $I_{макс} = 337,6 \text{ А}$ $i_{уд} = 10,39 \text{ кА}$ $B_K = 2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $Z_{макс} = 0,185 \text{ Ом}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 300 \text{ А}$ $i_{дин} = 125 \text{ кА}$ $I^2_{пт} \cdot t_T = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $Z_{ном} = 1,2 \text{ Ом}$	$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}$ $300 \text{ А} > 337,6 \text{ А}$ $125 \text{ кА} > 10,39 \text{ кА}$ $2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $1,2 \text{ Ом} > 0,185 \text{ Ом}$
Трансформатор напряжения ЗНОЛ-10У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $S_{ном} \geq S_{макс}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$ $S_{макс} = 19,6 \text{ ВА}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $S_{2ном} = 150 \text{ ВА}$	$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}$ $150 \text{ ВА} > 19,6 \text{ ВА}$
Ограничитель перенапряжений ОПН-КР/TEL-10УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10,5 \text{ кВ}$	$10,5 \text{ кВ} > 10 \text{ кВ}$

Выводы по разделу 2.

Руководствуясь полученными данными при исследовании общей исходной информации источников электроэнергии, особенностей производственного процесса потребителей, в рамках работы были приняты и реализованы конкретные мероприятия, касающиеся разработки проекта СЭС «машиностроительного завода» [9], которые обеспечили возможность внедрения, а также проверки таких видов инженерно-технических мероприятий, как:

- выполнены все необходимые расчеты электрических нагрузок в энергосистеме машиностроительного завода, в том числе отдельный расчет силовой, осветительной и общей мощности всех помещений и цехов завода;
- определены главные направления технических решений в отношении архитектуры запроектированной сети электроснабжения;
- детально изучен такой вопрос, как компенсация реактивной мощности на машиностроительном заводе;
- было установлено необходимое число, а также мощность трансформаторов для питания цехов машиностроительного производства;
- были выбраны и испытаны трансформаторы ГПП-35/10 кВ на соответствие потребляемой мощности при работе в режиме аварии и в штатном режиме эксплуатации;
- выбраны и проверены сечения проводников. В качестве кабеля используется современная марка ААШв-10 с напряжением 10 кВ, питающая воздушная линия выполнена с использованием провода АС-120/19 с напряжением 35 кВ.

Реализация предлагаемых инженерных мероприятий осуществляется исходя из требований нормативно-технических документов.

3 Охрана труда и электробезопасность

Охрана труда - выстроенная работодателем и созданная специально для работников трудовая система гарантированного обеспечения сохранности жизни и здоровья, работающих в процессе трудовой деятельности, состоящая из правовых, социально-экономических, организационно-технических, психофизиологических, санитарно-противоэпидемических, лечебно-профилактических, восстановительных и прочих мер и средств.

«Правила по охране труда - технический нормативный правовой акт, содержащий требования по охране труда, направленные на обеспечение здоровых и безопасных условий труда работающих, обязательные для исполнения всеми работодателями при выполнении ими любых видов работ, осуществлении деятельности, в том числе при строительстве (проектировании, реконструкции) и эксплуатации объектов, конструировании машин, механизмов и другого оборудования, разработке технологических процессов, организации производства и труда» [3].

«Электробезопасность – это целый комплекс мероприятий, нормативных документов, предписаний и защитного снаряжения, который направлен на уменьшение вероятности воздействия на людей электрического тока, статического электричества, электромагнитного поля и других факторов, которые могут вызвать травмы различной степени тяжести и даже привести к летальному исходу» [3].

«Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках, - оформление наряда или распоряжения на работу, допуск к работе, надзор во время работы, изменение состава бригады, оформление перерывов в работе, перевода на другое рабочее место и окончания работы и т.д. Работы в электроустановках должны проводиться по устному или письменному распоряжению (наряду). Работы без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, кратковременные и небольшие по объему работы с полным или частичным снятием напряжения,

а также без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением, выполняемые оперативным персоналом или под его наблюдением, можно проводить по устному распоряжению. Работы с полным или частичным снятием напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением, следует выполнять по наряду. В наряде указывают место работы, время начала и окончания работы, условия безопасного проведения работы, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность работ с электрооборудованием» [3].

Лицами, ответственными за обеспечение производственной безопасности, выступают: лицо, выдающее наряд или отдающее распоряжение; допускающий (ответственное лицо оперативного персонала); ответственный руководитель работ; производитель работ; наблюдающий; члены бригады. Право выдачи нарядов предоставляется лицам электротехнического персонала предприятия и уполномоченным на выдачу нарядов распоряжением ответственного за электрохозяйство (энергетика) предприятия. Эти лица должны иметь пятую квалификационную группу, а в электроустановках напряжением до 1000 В. Право отдавать распоряжения на производство работ, перечень которых определен главным энергетиком предприятия, предоставляется также лицам оперативного персонала с квалификационной группой не ниже четвертой.

Контроль в процессе выполнения работ. Получив разрешение на выполнение работ, производитель работ или наблюдающий ответственен за соблюдение членами бригады норм и правил охраны труда. По факту устранения установленных нарушений и недочетов, бригада заново получает разрешение на работу под контролем ответственного руководителя, с регистрацией допуска в журнале нарядов.

«Регистрация временных перерывов на рабочем месте. Перерывы в течение рабочего дня. При перерыве в работе на протяжении рабочего дня (на обед, по условиям производства работ) бригада удаляется из закрытого или открытого распределительного устройства. Наряд остается на руках у

производителя работ (наблюдающего). Плакаты, ограждения и заземления остаются на месте. Ни один из членов бригады не имеет права войти после перерыва в закрытое или открытое распределительное устройство в отсутствие производителя работ или наблюдающего» [3].

Эксплуатационный персонал не допускает бригаду к работе после такого перерыва. Наблюдающий самостоятельно определяет место проведения работ для бригады.

«Оперативный персонал до возвращения производителем работ наряда с отметкой о полном окончании работ не имеет права производить включение выведенного для ремонта оборудования или вносить в схему изменения, сказывающиеся на условиях производства работ. В аварийных случаях при необходимости такого включения оперативный персонал может произвести включение оборудования в отсутствие бригады без получения обратно наряда при соблюдении следующего:

- временные ограждения, заземления и плакаты должны быть сняты, постоянные ограждения установлены на место, плакаты «Работать здесь» должны быть заменены плакатами «Стоять -- высокое напряжение» или «Стоять - опасно для жизни»;
- до прибытия производителя работ и возвращения им наряда в местах производства работы должны быть расставлены люди, обязанные предупреждать как производителя работ, так и членов бригады о том, что произведено включение установки и возобновление работ недопустимо» [3].

«Пробное включение оборудования на рабочее напряжение до полного окончания работы может быть произведено после выполнения следующих условий:

- бригада должна быть удалена из распределительного устройства, наряд у производителя работ должен быть отобран и в наряде в таблице «Оформление ежедневного допуска к работе, окончания

работы, перевода на другое рабочее место» должен быть оформлен перерыв;

- временные ограждения, заземления и плакаты должны быть сняты, а постоянные ограждения установлены на свое место. Указанные операции выполняются оперативным персоналом» [3].

При подготовке места проведения работ и допуска бригады после тестового пуска осуществляется в штатном порядке во главе с ответственным руководителем работ, который ставит свою подпись в наряде-допуске в той же графе, где расписывается производитель работ. По завершению трудового дня необходимо навести надлежащий порядок на рабочем месте, оставить на своих местах плакаты, заземления, ограждения.

«Окончание работы, сдача-приемка рабочего места, закрытие наряда и включение оборудования в работу. После полного окончания работы рабочее место приводят в порядок, принимает его ответственный руководитель, который после вывода бригады производителем работ расписывается в наряде об окончании работы и сдает его оперативному персоналу, а при отсутствии последнего оставляет в папке действующих нарядов. Оборудование можно включать только после закрытия наряда, а если работы на присоединении проводились по нескольким нарядам - после закрытия всех нарядов» [3].

«Без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением (когда не требуется установка переносных заземлений), разрешается работа на кожухах оборудования (чистка, мелкий ремонт арматуры), а также измерение нагрузки электроизмерительными клещами, смена предохранителей до 1000 В, проверка штангой нагрева контактов (к рабочей части оперативной штанги прикрепляется кусок воска или термосвеча) и определение штангой места вибрации шин, фазировка трансформаторов. Эти работы выполняются не менее чем двумя лицами, включая работника из числа оперативного персонала с квалификационной группой по ЭБ не ниже четвертой, который ведет непрерывный надзор за работающими. Второе лицо должно иметь группу по ЭБ не ниже третьей» [3].

«В электроустановках до 1000 В допускается без наряда (по распоряжениям) работа, выполняемая с полным или частичным снятием напряжения, а именно:

- ремонт магнитных пускателей, автоматов, рубильников, реостатов, контакторов и других аппаратов, установленных вне щитов и сборок;
- ремонт отдельных электроприемников, отдельно расположенных станций и блоков управления;
- ремонт осветительной электропроводки и замена плавких вставок предохранителей открытого типа» [3].

Обычно этими работами занимаются два человека из состава ремонтного штата, причем одному обязательно требуется обладать квалификационной группой как минимум третьей, а другому - четвертой. С разрешения лица, выдававшего распоряжение, в определенных обстоятельствах дозволено проводить данную операцию одному человеку из состава ремонтного персонала, имеющего 4-ю группу допуска. Расширить список данных работ имеет право лицо, ответственное за электрооборудование (главный энергетик).

Оперативно-ремонтным персоналом указанные выше работы проводятся в порядке текущей эксплуатации.

«Для подготовки рабочего места при работах со снятием напряжения (ремонт оборудования, чистка, замена пускорегулирующей аппаратуры) выполняют в указанной последовательности следующие технические мероприятия:

- проводят необходимые отключения и принимают меры, препятствующие ошибочному или произвольному включению коммутационной аппаратуры;
- вывешивают запрещающие плакаты на приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационной аппаратурой и устанавливают ограждения рабочего места;

- проверяют отсутствие напряжения на токоведущих частях, на которые накладывают заземление для защиты работающих от поражения электрическим током;
- накладывают заземление (включением заземляющих ножей или установкой переносных заземлений);
- вывешивают предостерегающие и разрешающие плакаты, ограждают при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части (токоведущие части ограждают до или после наложения заземлений в зависимости от местных условий)» [3].

При работах со снятием напряжения в электроустановках выше 1000 В должны быть отключены токоведущие части, на которых проводится работа, а также токоведущие части, к которым не исключено случайное прикосновение или приближение. Расстояния должны быть не менее допустимых для номинального напряжения.

В случае невозможности отсоединения токоведущих частей, необходимо установить ограждение. Защитные ограждения изготавливаются из диэлектрических элементов, причём дистанция между ними и токоведущими частями по правилам должна равняться как минимум 5 метров.

«Переносные заземления, предназначенные для защиты работающих от поражения током при ошибочной подаче напряжения, должны быть наложены на токоведущие части всех фаз отключенной для производства работ части электроустановки со всех сторон, откуда может быть подано напряжение, в том числе и вследствие обратной трансформации. Достаточно наложить одно заземление с каждой стороны. Эти заземления должны быть отделены от токоведущих частей, на которых непосредственно проводится работа, отключенными разъединителями, отделителями или выключателями, снятыми предохранителями, рубильниками, автоматами, демонтированными шинами. Наложение заземлений непосредственно на токоведущие части, на которых проводится работа, требуется в тех случаях, когда эти части могут

оказаться под наведенным напряжением или на них может быть подано напряжение опасной величины от постороннего источника. Места наложения заземлений следует выбирать так, чтобы заземления были отделены видимым разрывом от находящихся под напряжением токоведущих частей данного присоединения» [3].

Выполнение работ по предотвращению аварий и устранению их последствий. Восстановительные работы в аварийных случаях, а также кратковременные, срочные работы по устранению таких неисправностей оборудования, которые могут привести к аварии (зачистка и подтяжка нагревательных контактов, очистка загрязненной изоляции и т.п.), разрешается выполнять обслуживающему персоналу под руководством оперативного персонала без распоряжения, если выдача и выполнение распоряжения связаны с задержкой устранения последствий аварии.

«Квалификационные группы лиц, выполняющих работы, должны соответствовать требованиям: ремонтному персоналу под наблюдением и ответственностью обслуживающего данную электроустановку административного электротехнического персонала с квалификационной группой пять (в установках до 1000 В - четыре) без наряда в случае занятости оперативного персонала» [3].

Пожароопасность электрооборудования вызвана, с одной стороны, нахождением легковоспламеняющихся веществ в корпусах электрических машин, приборов, аппаратов, изделий кабельной индустрии и так далее, а с другой стороны, вероятностью возникновения искровых пробоев в электрических цепях и сверхнормативного повышения температуры токоведущих частей, выступающих в роли источников пожара.

«Очагами повышенного нагрева являются плохие контактные соединения с большим переходным сопротивлением, в которых образуются очаги повышенного тепловыделения, длительное протекание токов короткого замыкания вследствие несрабатывания защиты, перегревы обмоток

электрических машин и аппаратов, электрическая дуга в коммутационных аппаратах и др.» [3]

Для исключения пожарной угрозы в электрооборудовании в первую очередь следует осуществлять его правильный выбор с соблюдением всех необходимых требований [8].

«Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организационные мероприятия: предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского транспорта, правильное содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж и тому подобное.

Технические мероприятия: соблюдение противопожарных правил и норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Режимные мероприятия: запрещение курения в неустановленных местах, запрещение сварочных и других огневых работ в пожароопасных помещениях.

Эксплуатационные мероприятия: своевременная профилактика, осмотры, ремонты и испытание технологического оборудования» [3].

К числу наиболее распространенных факторов, вызывающих пожары на электроустановках, в первую очередь относятся нарушения требований инструкций и правил технической эксплуатации электроустановок потребителей, в частности, нельзя допускать возникновения аварийного перегрева обмоток и магнитопроводов в электрических машинах и трансформаторах под влиянием постоянных перегрузок, что может вызвать возгорание части изоляции; чрезмерной нагрузки на провода и кабельные линии, продолжительная эксплуатация сети в режиме короткого замыкания из-за отказа защиты; чрезмерное нагревание элементов контактов в проводных соединениях и их подключений к зажимам электропотребителей; наличие электрической дуги в сетях в случае замыканий на землю или между фазами.

«Соответственно, во время работы электроустановок следует осуществлять контроль температуры нагревания электрических машин, аппаратов, токоведущих проводов и контактов. Также каждый вновь прибывший на работу должен пройти противопожарный инструктаж, т.е. ознакомиться с действующими правилами и инструкциями, с имеющимися средствами вызова пожарной помощи и тушения пожара, с основными противопожарными мероприятиями, а именно:

- запрещается применять открытый огонь для отогревания трубопроводов с замерзшими жидкостями;
- запрещается загромождать сырьем, полуфабрикатами или готовой продукцией подходы к технологическому оборудованию, средствам связи и пожаротушения, а также проходы и выходы из помещения;
- в цехе запрещается хранить бензин, керосин, спирт, масло, нитрокраску и др. легковоспламеняющиеся и горючие жидкости - следует хранить только в закрытых металлических сосудах;
- на пожароопасных участках вывешивают предупреждающий плакат «Курить запрещается». Курение разрешается только в специально отведенных местах, где имеются урны и бочки с водой для окурков.

В этих местах устанавливаются надписи «Место для курения» [3].

Во время возгорания в помещении цеха необходимо обеспечить быструю и безопасную эвакуацию сотрудников посредством запасных эвакуационных выходов - через двери, проходы, проезды. В качестве средств тушения огня используют песок, огнетушители, лопаты, пожарные гидранты и т.д.

Выводы по разделу 3.

Рассмотрены важнейшие меры обеспечения безопасности труда для коллектива машиностроительного завода.

Заключение

С целью выполнения задач бакалаврской работы была осуществлена оценка прогнозируемых проектных нагрузок для нужд каждого цеха в отдельности, в том числе сделаны вычисления нагрузок 0,4 кВ и 10 кВ.

По результатам расчетов для энергоснабжения цехов и участков завода были приняты два трансформатора марки ТМН - 6300/35. Эти трансформаторы устанавливаются на ГПП завода.

В целях проверки новых видов электротехнического оборудования, предусмотренного для размещения на ПС, проводились расчеты значений токов КЗ на стороне 35 кВ у оборудования, размещенного в ОРУ ПС, а также на стороне 10 кВ у оборудования, размещенного в ЗРУ ПС.

Изучив всю доступную информацию по объекту, была проанализирована и выбрана принципиальная схема ГПП. Учитывая тот факт, что ГПП относится к группе тупиковых подстанций, была выбрана наиболее простая и надежная схема, состоящая из двух блоков (линия-выключатель) с неавтоматической перемычкой.

Энергоснабжение данного завода обеспечивается от энергосистемы через двухцепную линию электропередачи 35 кВ с площадью поперечного сечения 120 мм².

Проектная мощность цеховых трансформаторов выбрана равной 1000 кВА, при этом минимальное расчетное количество трансформаторов цеховых ТП - восемь.

На территории всего предприятия распределительная сеть выше 1000 В выполняется трехжильными кабельными линиями с алюминиевыми проводниками марки ААШв, с непосредственной прокладкой в земле.

По окончании выпускной квалификационной работы разработана система электроснабжения, полностью соответствующая современным требованиям нормативных документов.

Список используемых источников

1. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. 122 с.
2. Вахнина В.В. Системы электроснабжения: электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 46 с.
3. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
4. Грунин В.К., Диев С.Г., Карпов В.В., Небускин В.Ф., Федоров В.К., Щекочихин А.В. Расчет электрических нагрузок, выбор главных схем и оборудования промышленных предприятий. Учебное пособие. – Омск: ОмГТУ, 2001. 104 с.
5. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1992. – 650 с.
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник. М.: Интермент Инжиниринг, 2006. 672 с.
7. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей / Под редакцией В.М.Блок. – М.: Высшая школа, 1981. 304 с.
8. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – СПб.: Издательство ДЕАН., 2002. 928 с.
9. Развитие машиностроения в России [Электронный ресурс]. – <https://www.grandars.ru/shkola/geografiya/razvitie-mashinostroeniya.html/> (дата обращения: 15.03.2023).
10. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учеб.для сред. проф. образования - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 448 с.

11. Степкина Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб. метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования. Тольятти: ТГУ, 2007. 124 с.
12. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995. 528 с.
13. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.А. Файбисовича. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. 352 с.
14. Справочник по проектированию электрических сетей и систем / Под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат. 1985.
15. Тищенко Ю.Н. Справочник по проектированию электроснабжения. Электрические установки промышленных предприятий / Под общ.ред. Ю.Н. Тищенко; Под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
16. Туркин Д.Г., Щанникова С.А. Системы электроснабжения: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. 250 с.
17. Твердохлебов К. И. Рекомендации по выбору проектных решений при разработке подстанций 10...500 кВ: Учебное пособие. – Хабаровск 2020. – 205 с.
18. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов.- 4-е изд., переработ. и доп. –М.: Энергоатомиздат, 1984. 472 с.
19. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: учеб. пособие. Москва: Форум, Инфра-М, 2020. 216 с.
20. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. – <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения: 15.03.2023).