

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение ОАО «ВТЗ»

Студент	<u>А.С. Тузов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>В.П. Тараканов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	_____	_____	(личная подпись)
	_____	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Аннотация

Темой выпускной квалификационной работы является электроснабжение ОАО «ВТЗ».

В ходе выполнения бакалаврской работы произведен расчет силового и осветительного электрооборудования укрупнено для всех цехов, выполнен выбор цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности, выполнено технико-экономическое обоснование выбора силовых трансформаторов ГПП, определено целесообразное напряжение питания предприятия, рассчитаны токи короткого замыкания; выбрано и проверено на стойкость к токам КЗ основное оборудование ГПП, произведен расчет заземления.

Выпускная квалификационная работа выполнена на 58 листах. Содержит 9 таблиц и 3 рисунка. Графическая часть состоит из 6 чертежей на формате А1.

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика предприятия	6
2 Расчет электрических нагрузок	10
3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	15
4 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП	22
5 Выбор схемы внешнего электроснабжения предприятия	31
6 Выбор напряжения и схемы внутреннего электроснабжения предприятия	32
7 Расчёт токов короткого замыкания	33
8 Расчет и выбор электрического оборудования и проводников	38
9 Расчет заземления подстанции	53
Заключение	56
Список использованных источников	57

Введение

Системой электроснабжения (СЭС) называются взаимосвязанные электроустановки, предназначенные для обеспечения электрической энергией потребителей [1-4].

Система ЭСПП как часть электроэнергосистемы в энергетическом плане является более простой за счет использования более низких напряжений, меньшего сечения и протяженности линий электропередач, как правило отсутствия замкнутых контуров и т.д. и более сложной в плане использования и преобразования ЭЭ в технологическом процессе промышленного производства. Электроприемники как составная часть технологического оборудования являются неотъемлемыми элементами системы электроснабжения промышленного предприятия и оказывают сильное влияние на параметры и работу этой системы.

Электроэнергетика является критической в плане жизнеобеспечения отраслью промышленности и обладает своими особенностями функционирования, которые отличают ее от остальных отраслей промышленности [5].

Первой особенностью электроэнергетики является неразрывность и малое время между процессами производства, распределения и потребления электроэнергии.

Второй особенностью является относительно высокая скорость протекания переходных процессов в системе электроснабжения. Переходные процессы могут происходить в тысячные доли секунды. Эти процессы вызваны короткими замыканиями (КЗ), включениями и отключениями оборудования, резкими изменениями нагрузки, нарушениями устойчивости в электроэнергосистеме.

Третьей особенностью является обеспечение ЭЭ всех отраслей промышленности, которые различаются применяемой технологией производства продукции, используемыми методами преобразования

электроэнергии в другие виды энергии и широким разнообразием применяемых ЭП.

Целью работы является разработка системы электроснабжения ОАО «ВТЗ» для обеспечения надежного электроснабжения и качества электроэнергии.

1 Краткая характеристика предприятия

Основную долю производства ОАО «Волгоградский тракторный завод» (ВТЗ) составляют гусеничные сельскохозяйственные тракторы.

Волгоградский тракторный завод производит гусеничные тракторы общего назначения с тяговым классом 3-6, бульдозеры на их базе, различное навесное и съемное оборудование, а также запасные части для тракторной техники.

Гусеничный сельскохозяйственный трактор ДТ-75 пользуется заслуженной популярностью благодаря простоте своего устройства, хорошей ремонтпригодности и невысокой стоимости. Новая версия трактора ДТ-75 выпускается в комплекте с двигателем А-41 или Д-245 и может оснащаться бульдозерным и прочим навесным оборудованием.

Гусеничный трактор Агромаш 90ТГ является модернизированной версией популярного трактора ДТ-75, с измененными кабиной и капотом, а также с новым экономичным двигателем. Трактор может комплектоваться бульдозерным оборудованием, ходоуменьшителем, реверс-редуктором и валом отбора мощности.

Предприятие предлагает широкий выбор сменного навесного оборудования для гусеничных тракторов Агромаш 90ТГ и ДТ-75, существенно расширяющих область применения техники. Дополнительное навесное оборудование позволяет использовать трактор для сельскохозяйственных работ, планирования местности и прочих работ.

На заводе ведется непрерывный процесс улучшения качества производимой техники посредством модернизации и выпуска наиболее востребованных современных тракторов нового поколения. Конструкторский отдел завода уделяет значительное внимание проектированию промышленных версий тракторов с последующей организацией их выпуска. Преимущества волгоградских тракторов перед аналогичной иностранной и отечественной

тракторной техникой доказаны многочисленными наградами престижных агропромышленных конкурсов и выставок.

Качество производимой заводом продукции можно обеспечить только при условии ответственного подхода к разработке технологий и конструкций, при закупке качественных комплектующих и материалов, четком соблюдении технологии производства.

Завод нацелен на повышение надежности техники и удобства ее использования. Для этих целей функционирует система обратной связи, которая позволяет быстро устранять отказы и повышать надежность технических компонентов. Каждый год проводится более одной тысячи мероприятий в целях улучшения технологий и конструкций. Завод прошел сертификацию на предмет соответствия международным стандартам качества серии ISO9000.

1.1 Характеристика потребителей электроэнергии предприятия

Перечень высоковольтных электроприемников предприятия приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Перечень высоковольтных электроприемников

№ п/п	Наименование цеха, отделения, участка	Вид высоковольтных электроприемников	Установленная мощность одного электроприемника, кВт	Кол-во электроприемников	Напряжение электроприемников, кВ
2	Компрессорная	Синхронные ЭД	1600	4	10

Генплан завода представлен на рисунке 1.1, сведения об установленной мощности электроприемников по цехам предприятия приведены в таблице 1.2.

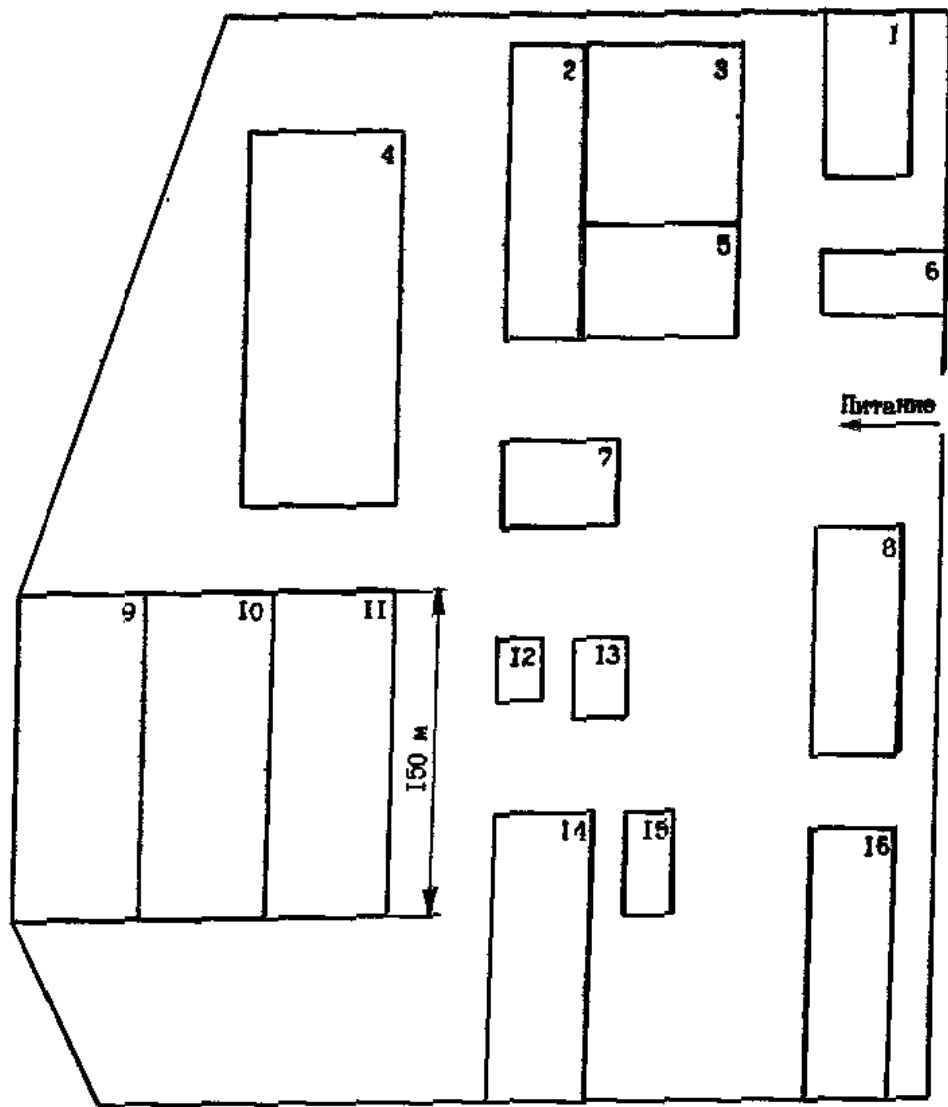


Рисунок 1.1 - Генплан завода

Таблица 1.2 - Сведения об установленной мощности электроприемников по цехам предприятия

№ п/п	Наименование цеха, отделения, участка	Установленная мощность РН электроприемников напряжением 0,4кВ,кВт	Приведенное число электроприемников, пэ
1	2	3	4
1	Станция балансировки	934	13
2	Кузнечно-прессовый цех	1794	9
3	Механосборочный цех №1	3050	24
4	Механосборочный цех №2	4171	29
5	Химико-термический цех	1483	25
6	Насосная	750	12
7	Компрессорная	735	8
8	Термический цех	2403	31
9	Цех тракторных агрегатов №1	2453	138
10	Цех тракторных агрегатов №2	2050	150
11	Цех нагнетателей	3554	50
12	Столовая	219	16
13	Заводоуправление	70	13
14	Цех испытания двигателей	3313	50
15	Ремонтно-механический цех	399	23
16	Механический цех	2850	104

2 Расчет электрических нагрузок

Верное определение величин электрических нагрузок является одним из основополагающих факторов на стадии проектирования и при дальнейшей эксплуатации электрических сетей предприятия [3, 6-8].

Обычно расчет электрических нагрузок ведется от первого уровня к шестому. При проектировании же крупного предприятия иногда стоит задача определения расчетной нагрузки сразу на высшем уровне. Тогда применяют комплексный метод расчета нагрузки. За основу берется информационная база аналогичного завода.

Применение комплексного метода предусматривает совместное использование нескольких способов определения расчетной нагрузки $P_{расч}$ по: энергоемкости продукции; общегодовому энергопотреблению; удельным мощностям нагрузок; среднегодовому коэффициенту спроса; средней мощности и коэффициенту максимума.

Для первых трех способов не всегда имеются исходные данные, они являются наименее точными и используются на 4-6 уровнях системы электроснабжения, поэтому наиболее распространены метод коэффициента спроса и метод коэффициента максимума, который является наиболее точным, но требует наличия исходной информации о каждом электроприемнике.

Расчет нагрузок выполняем в следующем порядке:

Исходя из предполагаемого электрооборудования цехов предприятия, находим по справочным данным значения коэффициентов использования и коэффициентов мощности характерных электроприемников цеха.

Для каждого цеха предприятия определяются средние за наиболее загруженную смену активные и реактивные электрические нагрузки:

$$P_c = K_u \cdot P_n, \quad (2.1)$$

$$Q_c = K_u \cdot P_n \cdot tg\varphi. \quad (2.2)$$

Используя найденные по формулам значения эффективного числа электроприемников и групповой коэффициент использования, по справочным таблицам определяем значение коэффициента максимума и находим расчетные активную и реактивную нагрузки:

$$P_p = K_m \cdot P_c, \quad (2.3)$$

$$Q_p = 1.1Q_c \text{ при } n_g \leq 10, \quad (2.4)$$

$$Q_p = Q_c \text{ при } n_g > 10. \quad (2.5)$$

Расчетную нагрузку от системы освещения определяем по следующей формуле:

$$P_{осв} = K_c \cdot P_{yo} \cdot F_n, \quad (2.6)$$

Суммируем расчетные активные нагрузки от силовых ЭП и от системы освещения, суммируем расчетные реактивные нагрузки и определяем полную расчетную нагрузку в целом по цеху на стороне 0,4 кВ.

Рассчитываем строку «Итого по нагрузке 0,4 кВ».

Расчетную нагрузку высоковольтных электроприемников определяем также, как и для низковольтных.

Рассчитываем строку «Итого по высоковольтной нагрузке».

Рассчитываем строку «Итого по предприятию».

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчета нагрузок по предприятию

№	Название цеха	P_n , кВт	$P_{н.э.}$, кВт	$n_э$	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_M	P_P , кВт	$P_{P.O.}$, кВт	$P_P + P_{P.O.}$, кВт	Q_P , квар	S_P , кВт·А
Нагрузка 0,4 кВ															
1	Станция балансировки	934	71.85	13	0.1	0.5	1.73	93.4	161.77	2.24	209.22	20.44	229.66	161.77	280.91
2	Кузнечно-прессовый цех	1794	199.33	9	0.3	0.65	1.17	538.2	629.23	1.65	888.03	28.44	916.47	692.15	1148.47
3	Механосборочный цех №1	3050	127.08	24	0.16	0.55	1.52	488	741.02	1.55	756.40	37.78	794.18	741.02	1086.20
4	Механосборочный цех №2	4171	143.83	29	0.17	0.6	1.33	709.07	945.43	1.46	1035.24	78.58	1113.82	945.43	1460.97
5	Химико-термический цех	1483	59.32	25	0.5	0.8	0.75	741.5	556.13	1.17	867.56	22.66	890.22	556.13	1049.65
6	Насосная	750	62.50	12	0.7	0.8	0.75	525	393.75	1.15	603.75	6.44	610.19	393.75	726.20
7	Компрессорная	735	91.88	8	0.6	0.75	0.88	441	388.93	1.3	573.30	7.36	580.66	427.82	721.24
8	Термический цех	2403	77.52	31	0.75	0.8	0.75	1802.3	1351.69	1.07	1928.41	28.44	1956.85	1351.69	2378.30

Продолжение таблицы 2.1

№	Название цеха	P_n , кВт	$P_{н.э.}$, кВт	$n_э$	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_M	P_P , кВт	$P_{P.O.}$, кВт	$P_P + P_{P.O.}$, кВт	Q_P , квар	S_P , кВ·А
9	Цех тракторных агрегатов №1	2453	17.78	138	0.3	0.6	1.33	735.9	981.20	1.08	794.77	52.00	846.77	981.20	1296.06
10	Цех тракторных агрегатов №2	2050	13.67	150	0.35	0.4	2.29	717.5	1644.00	1.07	767.73	52.00	819.73	1644.00	1837.03
11	Цех нагнетателей	3554	71.08	50	0.2	0.5	1.73	710.8	1231.14	1.23	874.28	52.00	926.28	1231.14	1540.69
12	Столовая	219	13.69	16	0.7	0.6	1.33	153.3	204.40	1.12	171.70	2.76	174.46	204.40	268.73
13	Заводоуправление	70	5.38	13	0.4	0.7	1.02	28	28.57	1.36	38.08	5.15	43.23	28.57	51.82
14	Цех испытания двигателей	3313	66.26	50	0.5	0.65	1.17	1656.5	1936.66	1.11	1838.72	35.55	1874.27	1936.66	2695.10
15	Ремонтно-механический цех	399	17.35	23	0.3	0.64	1.20	119.7	143.71	1.28	153.22	6.22	159.44	143.71	214.65
16	Механический цех	2850	27.40	104	0.2	0.55	1.52	570	865.53	1.12	638.40	32.89	671.29	865.53	1095.34

Продолжение таблицы 2.1

№	Название цеха	P_n , кВт	$P_{н.э.}$, кВт	$n_э$	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_M	P_P , кВт	$P_{P.O.}$, кВт	$P_P + P_{P.O.}$, кВт	Q_P , квар	S_P , кВт·А
	Освещение территории	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	71.59	---	---	71.59
	Итого по нагрузке 0,4 кВ	30228	5,38...199,3	695	0.39	0.63	1.28	10030	12203.15	1	10030.1	540.30	10570	12304.96	16221.77
Нагрузка 10 кВ															
7	Компрессорная станция (СТД-1600-23УХЛ4)	6400	1600	4	0.8	0.9	-0.48	5120	-2479.73	1.14	5836.8	---	5836.8	-2479.73	6341.71
	Итого по предприятию	36628	5,38...1600	699	0.41	0.65	1.18	15150	9723.42	1	15150.1	540.30	15690	9825.23	18512.82

3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

Комплектные трансформаторные подстанции можно разделить [3, 9-12]:

- на однотрансформаторные;
- на двухтрансформаторные.

Однотрансформаторные подстанции применяются:

- для питания потребителей III категории по надежности электроснабжения;

- для электропитания части потребителей второй категории надежности, для которых возможен перерыв электроснабжения на период замены силового трансформатора;

- при наличии складского резерва для питания потребителей всех категорий надежности, даже I категории, если их нагрузка не выше 20% суммарной нагрузки, а скорость резервирования обеспечивается автоматическим включением резервирующих переключателей на стороне низкого напряжения. Резервирующие переключатели также могут быть использованы для питания в период минимального режима при отключении одного из трансформаторов.

Двухтрансформаторные подстанции:

- применяются (вне зависимости от категории надежности потребителей) при неравномерности графика нагрузки, когда экономически обосновано уменьшение числа подключенных силовых трансформаторов при длительном снижении нагрузки [13];

- применяются для питания потребителей I и II категории;

- применяются для питания отдельностоящих объектов общезаводского назначения (например, компрессорные и насосные станции).

Плотность электрической нагрузки цеха:

$$\sigma = \frac{S_P}{F_{Ц}}, \quad (3.1)$$

Величина σ рассчитывается в предположении, что электрические нагрузки распределены равномерно по площади цеха.

Найдем общее количество силовых трансформаторов на цеховых подстанциях в целом по цеху:

$$N_0 = \frac{P_P}{K_3 \cdot S_{НОМ.Т}} \quad (3.2)$$

где P_P – величина расчетной активной нагрузки в целом по цеху от низковольтных электроприемников;

K_3 – допустимый коэффициент загрузки цеховых силовых трансформаторов в нормальном режиме работы;

$S_{НОМ.Т}$ – выбранная номинальная мощность силового трансформатора.

К установке принимаем ближайшее большее целое число силовых трансформаторов N .

Количество силовых трансформаторов, устанавливаемых на одной подстанции, определяется в зависимости от категории надежности подключенных к ней электроприемников [14].

Выбираем внутрицеховые комплектные трансформаторные подстанции как наиболее экономичные.

3.1 Выбор силовых трансформаторов для ремонтно-механического цеха

Распределение мощности:

$$\delta = S_P / F_{ц}, \quad (3.3)$$

$$\bar{b} = 214.65 / 778 = 0,276.$$

Так как \bar{b} меньше, чем 0.3, то выбираем трансформаторы мощностью до 1600 кВА.

Выбираем трансформатор мощностью 250 кВА.

По справочным таблицам каталогов производителей находим $\Delta P_{TP} = 1.8$ кВт ; $\Delta Q_{TP} = 9.7$ квар;

$$P_P = P_{P\Sigma} + n_m \cdot \Delta P_{mp}, \quad (3.4)$$

$$P_P = 159.4 + 1 \cdot 1.8 = 161.2 \text{ кВт},$$

$$Q_P = Q_{P\Sigma} + n_m \cdot \Delta Q_{mp}, \quad (3.5)$$

$$Q_P = 143.7 + 1 \cdot 9.7 = 153.4 \text{ квар}.$$

1. Значение входных реактивных мощностей:

$$a) \quad Q'_{\text{э}1} = Q_P - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.6)$$

$$Q'_{\text{э}1} = 153.4 - 0,7 \cdot 0 = 153.4 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э}1} = \alpha P_P, \quad (3.7)$$

$$Q''_{\text{э}1} = 0,28 \cdot 161.2 = 45.1 \text{ квар}.$$

Принимаем меньшее из значений: $Q_{\text{э}1} = 45.1$ квар.

$$б) \quad Q_{\text{min}} = 0,4 \cdot 143.7 = 57,5 \text{ квар}.$$

$$Q_{\text{э}2,\text{в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_P - Q_{\text{э}1}), \quad (3.8)$$

$$Q_{\text{э}2,\text{в}} = 57,5 - (153.4 - 45.1) = -50,8 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{э}2,\text{н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{э}2,\text{н}} = 57,5 + 0 = 57,5 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{к}} = 0.$$

Исходя из повышенного напряжения в часы минимума нагрузок принимаем $Q_{\text{э}2} = Q_{\text{э}2,н} = 57,5$ квар.

2. Суммарная мощность КУ:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\text{э}1}, \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 153,4 - 45,1 = 131,3 \text{ квар.}$$

Мощность нерегулируемых КУ:

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э}2}, \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{куmin}} = 57,5 - 57,5 = 0.$$

т.е. все КУ должны быть регулируемые.

3. Выбираем мощность трансформаторов

$$\delta = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{S_{\text{ц}}}, \quad (3.12)$$

$$\delta = \frac{\sqrt{161,2^2 + 153,4^2}}{778} \approx 0,29 \text{ кВА/м}^2 \Rightarrow S_{\text{HT}} = 250 \text{ кВА.}$$

4. Определяем число трансформаторов

$$N_T = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 S_{\text{HT}}}, \quad (3.13)$$

$$N_T = \frac{159,4}{0,9 \cdot 250} = 0,71$$

где $K_3 = 0,9$ (для однотрансформаторных ТП при питании потребителей III категории).

Принимаем ближайшее большее $N_T=1$.

5. Определяем РМ, которую можно передать через силовые трансформаторы из сети 10кВ в сеть 0,4кВ, и которая не должна компенсироваться

$$Q_{эH} = Q_{э1} - Q_6, \quad (3.14)$$

$$Q_{эH} = 45.1 - (153.4 - 143.7) = 35.4 \text{ квар.}$$

где Q_6 -реактивная мощность потребителей 6...10кВ.

6. Находим РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть U до 1000 В:

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.15)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 250)^2 - 159,4^2} = 158,8 \text{ квар,}$$

$$Q_{KVH} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (3.16)$$

$$Q_{KVH} = 143,7 - 158,8 = -15,1 \text{ квар,}$$

$$Q_{KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (3.17)$$

$$Q_{KVB} = 131,32 < 800 \text{ квар.}$$

Установка БК на стороне 10 кВ нецелесообразна.

Принимаем однитрансформаторную КТП с трансформатором типа ТМГ 1х250/10. Компенсация РМ не осуществляется.

Для остальных цехов расчеты выполняем аналогично, результаты сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты выбора трансформаторов КТП предприятия

№	Сокращенное наименование цехов предприятия	σ , кВА/м ²	P_p , кВт	Категория надежности электроснаб.	Принято к установке		
					$S_{ном.т}$	n_t	$n_{ТП}$
1	Станция балансировки	0.110	229.66	2	160	2	1
2	Кузнечно-прессовый цех	0.323	916.47	2	630	2	1
3	Механосборочный цех №1	0.230	794.18	2	630	2	1
4	Механосборочный цех №2	0.149	1113.82	2	630	2	1
5	Химико-термический цех	0.371	890.22	1	630	2	1
6	Насосная	0.494	610.19	1	630	2	1
7	Компрессорная	0.451	580.66	1	630	2	1
8	Термический цех	0.634	1956.85	1	1600	2	1
9	Цех тракторных агрегатов №1	0.199	846.77	2	630	2	1
10	Цех тракторных агрегатов №2	0.283	819.73	2	630	2	1
11	Цех нагнетателей	0.237	926.28	2	630	2	1

Продолжение таблицы 3.1

№	Сокращенное наименование цехов предприятия	σ , кВА/м ²	P_p , кВт	Категория надежности электроснаб.	Принято к установке		
					$S_{ном.т}$	$S_{ном.т}$	$S_{ном.т}$
12 +13	Столовая Заводоуправление	0,417 0,065	174,45 43,23	3 3	250	1	1
14	Цех испытания двигателей	0.606	1874.27	2	1600	2	1
15	Ремонтно-механический цех	0.276	159.44	3	250	1	1
16	Механический цех	0.266	671.29	2	630	2	1

4 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП

Величина напряжения питания ГПП промышленного предприятия зависит от напряжения возможного источника питания, расстояния от подстанции предприятия до этого источника питания, возможности размещения высоковольтных воздушных и кабельных линий электропередачи, условий окружающей среды и ряда других факторов [15-17].

Величина рационального напряжения может быть определена по формуле Стилла:

$$U_{РАЦi} = 4.34 \cdot \sqrt{L_i + 0.016 \cdot P_{PI}}, \quad (4.1)$$
$$U_{РАЦi} = 4.34 \cdot \sqrt{5 + 0.016 \cdot 16548} = 71.3 \text{ кВ}$$

где L_i – длина линии от главной понизительной подстанции предприятия до источника питания;

P_{PI} – значение активной расчетной нагрузки промышленного предприятия на стороне низкого напряжения главной понизительной подстанции предприятия.

Найдем активную расчетную нагрузку промышленного предприятия:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + P_{OCB} + \Delta P_{T\Sigma}, \quad (4.2)$$
$$P_{PI} = 10570 + 5837 + 141 = 16548 \text{ кВт}$$

где P_{PH} – суммарное расчетное значение активной нагрузки 0,4 кВ всех цехов предприятия и сторонних потребителей получающих питание от данной ГПП;

P_{PB} – суммарное расчетное значение активной нагрузки высоковольтных электроприемников предприятия;

P_{OCB} - суммарное расчетное значение активной нагрузки системы внутрицехового электрического освещения и установок наружного освещения предприятия;

$\Delta P_{T\Sigma}$ - суммарное значение потерь активной мощности в цеховых силовых трансформаторах.

Определим значение полной расчетной мощности промышленного предприятия:

$$S_{P\Pi i} = \sqrt{P_{P\Pi}^2 + Q_{\text{ЭCi}}^2}, \quad (4.3)$$

$$S_{P\Pi i} = \sqrt{16548^2 + 3806^2} = 16980 \text{ кВА}$$

где $Q_{\text{ЭCi}}$ - значение экономически целесообразной реактивной мощности, потребляемой предприятием из энергосистемы, на стороне ВН ГПП.

$$Q_{\text{ЭCi}} = P_{P\Pi} \cdot \operatorname{tg} \phi_i, \quad (4.4)$$

$$Q_{\text{ЭCi}} = 16548 \cdot 0.23 = 3806 \text{ квар}$$

Поскольку на предприятии присутствуют потребители, относящиеся к первой категории по надежности электроснабжения, то принимаем к установке на ГПП два силовых трансформатора. Номинальную мощность силовых трансформаторов определяем, учитывая возможную 40% перегрузку в послеаварийном режиме и коэффициента участия в нагрузке потребителей, относящихся к первой категории по надежности электроснабжения:

$$S_{\text{номт}} \approx K_{1-2} \cdot S_{\text{max ПС}} \frac{1}{K_{\text{пер}}}, \quad (4.5)$$

$$S_{\text{номт}} \approx 0,8 \cdot 16980 \cdot \frac{1}{1,4} = 9703 \text{ кВА}$$

Согласно полученному значению полной мощности предприятия принимаем для последующего рассмотрения силовые трансформаторы с $S_{номт}$ равной 10 МВА и двумя смежными классами напряжения 35 и 110 кВ.

Выбираем по каталогу производителя силовые трансформаторы марок: ТДН-10000/35/10 и ТДН-10000/110/10.

4.1 Технико-экономическое обоснование оптимальной номинальной мощности силового трансформатора ГПП

4.1.1 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТДН-10000/35/10.

Технические характеристики силового трансформатора ТДН-10000/35/10 приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Технические характеристики силового трансформатора ТДН-10000/35/10

Марка СТ	$S_{ном}$, МВА	Данные из каталога производителя						Стоимость 1го тр-ра, тыс.руб
		$U_{ном}$, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	
		ВН	НН					
ТДН-10000/35	10	37	10,5	8	60	12	0.75	3500

Определим приведенные потери активной и реактивной мощности в стали силового трансформатора на холостом ходу:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{um} \cdot \Delta Q_x, \quad (4.6)$$

$$\Delta P_x' = 12 + 0,05 \cdot 75 = 15,75 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{xx\%} + S_{ном.т} / 100, \quad (4.7)$$

$$\Delta Q_x = 0,75 \cdot 10\,000 / 100 = 75 \text{ квар},$$

$$K_{ин} = 0,05 \text{ кВт/квар}.$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

$$\Delta Q_{\kappa} = u_{k\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (4.8)$$

$$\Delta Q_{\kappa} = 8 \cdot 10\,000 / 100 = 800 \text{ квар},$$

$$\Delta P'_{\kappa} = \Delta P_{\kappa} + K_{ин} \cdot \Delta Q_{\kappa}, \quad (4.9)$$

$$\Delta P'_{\kappa} = 60 + 0,05 \cdot 800 = 100 \text{ кВт}.$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_{нагр}}{S_{ном,Т}}, \quad (4.10)$$

$$K_3 = \frac{16.980}{10} = 1.698 .$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P'_m = \Delta P'_x + K_3^2 \cdot \Delta P'_{\kappa}, \quad (4.11)$$

$$P'_m = 15.75 + 1.698^2 \cdot 100 = 304.1 \text{ кВт}.$$

На основании суммарного годового графика нагрузки ГПП (рисунок 4.1) определяются потери электроэнергии в трансформаторах ПС ΔW и их стоимость $I_{\Delta W}$:

$$\Delta W = \sum n_i \cdot \Delta P'_x \cdot T_i + \sum \frac{1}{n_i} \cdot K_{36}^2 \cdot \Delta P'_{\kappa} \cdot T_i = \Delta W_x + \Delta W_{\kappa} \quad (4.12)$$

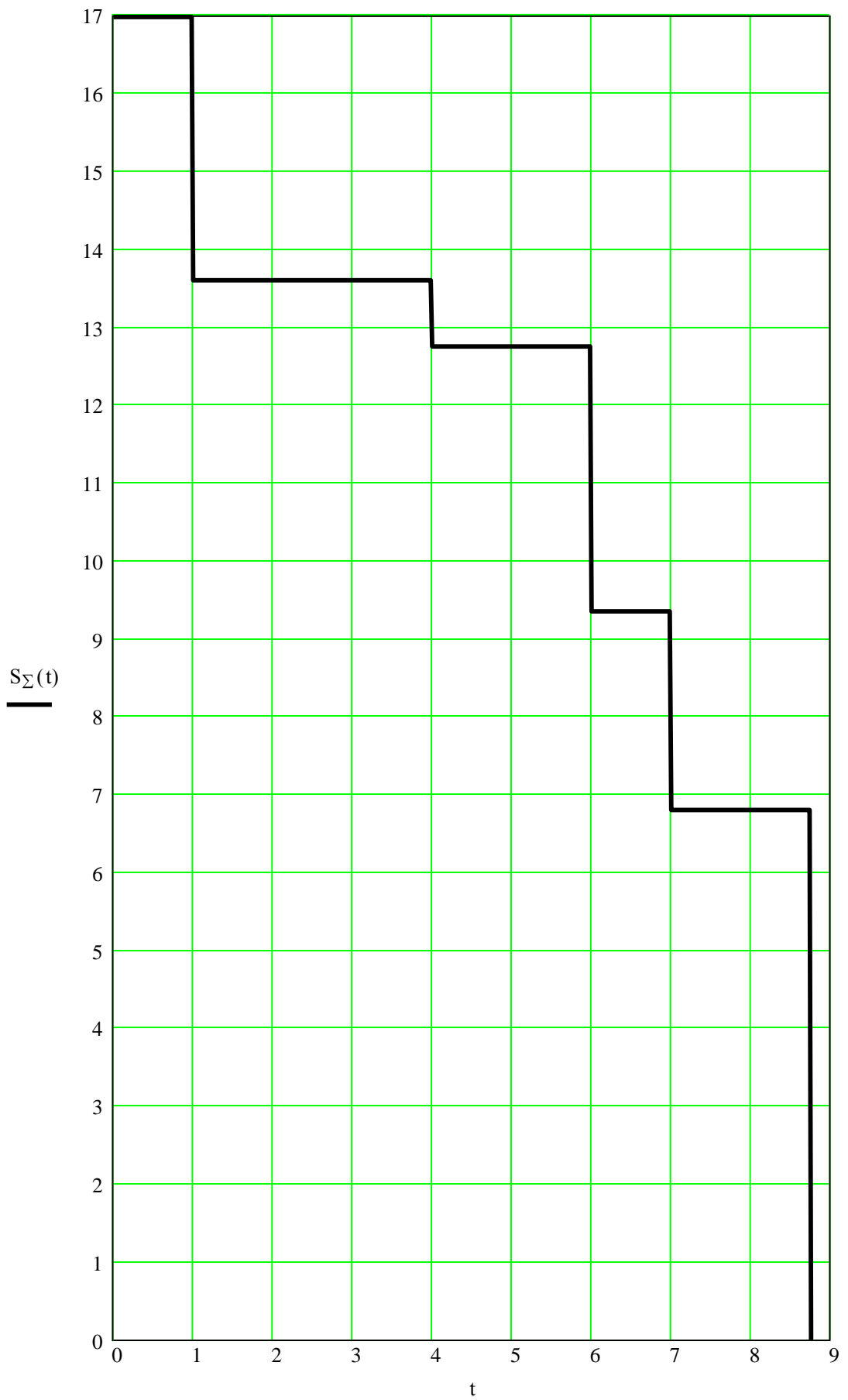


Рисунок 4.1 - Годовой график нагрузки ГПП

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 10000/35/10 заносим в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 10000/35/10

i	S_{Bi} , МВА	T_i , ч	$K_{зBi}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	16.980	1000	1.698	144160	31500
2	13.584	3000	1.358	276787	94500
3	12.735	2000	1.274	162180	63000
4	9.339	1000	0.934	43608	31500
5	6.792	1760	0.679	40595	55440
		$\Sigma \Delta W_{кBi} = 667332$		$\Sigma \Delta W_{xi} = 275940$	

По значениям суммарных значений потерь холостого хода и короткого замыкания находим стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе ГПП за год:

$$I_{\Delta W_{ПЦ}} = \Delta W_{nc} \cdot C_э, \quad (4.13)$$

$$I_{\Delta W_{ПЦ}} = (667332 + 275940) \cdot 0,197 = 185,8 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_э = 0,197$ руб/кВт·ч - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_э + I_{\Delta W_{ПЦ}} \quad (4.14)$$

$$Z_{прив} = 0,25 \cdot 7000 + 658 + 185,8 = 2593,8 \text{ тыс.руб.}$$

где $E_n = 0,25$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K = 2 \cdot 3500 = 7000$ тыс.руб. – стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_э = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 7000 = 658$ тыс.руб. – ежегодные отчисления.

4.1.2 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТДН - 10000/110/10.

Технические характеристики силового трансформатора ТДН - 10000/110/10 приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Технические характеристики силового трансформатора ТДН - 10000/110/10

Марка СТ	$S_{ном}$, МВА	Данные из каталога производителя						Стоимость 1го тр-ра, тыс.руб
		$U_{ном}$, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	
		ВН	НН					
ТДН-10000/110	10	115	10,5	10.5	58	14	0.9	5000

Определим приведенные потери активной и реактивной мощности в стали силового трансформатора на холостом ходу:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{un} \cdot \Delta Q_x, \quad (4.15)$$

$$\Delta P_x' = 14 + 0,05 \cdot 90 = 18.5 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{xx\%} + S_{ном.т} / 100, \quad (4.16)$$

$$\Delta Q_x = 0,9 \cdot 10\,000 / 100 = 90 \text{ квар},$$

$$K_{un} = 0,05 \text{ кВт/квар}.$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

$$\Delta Q_k = u_{k\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (4.17)$$

$$\Delta Q_k = 10.5 \cdot 10\,000 / 100 = 1050 \text{ квар},$$

$$\Delta P_k' = \Delta P_k + K_{un} \cdot \Delta Q_k, \quad (4.18)$$

$$\Delta P'_k = 58 + 0,05 \cdot 1050 = 110.5 \text{ кВт.}$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_{нагр}}{S_{ном,Т}}, \quad (4.19)$$

$$K_3 = \frac{16.980}{10} = 1.698.$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_3^2 \cdot \Delta P_k^{\dot{}}, \quad (4.20)$$

$$P_m^{\dot{}} = 18.5 + 1.698^2 \cdot 110.5 = 337.1 \text{ кВт.}$$

На основании суммарного годового графика нагрузки ГПП (рисунок 4.1) определяются потери электроэнергии в трансформаторах ПС ΔW и их стоимость $I_{\Delta W}$:

$$\Delta W = \sum n_i \cdot \Delta P'_x \cdot T_i + \sum \frac{1}{n_i} \cdot K_{36}^2 \cdot \Delta P'_k \cdot T_i = \Delta W_x + \Delta W_k \quad (4.21)$$

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 10000/110/10 заносим в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 10000/110/10

i	S_{Bi} , МВА	T_i , ч	K_{3Bi}	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	16.980	1000	1.698	159297	37000
2	13.584	3000	1.358	305850	111000
3	12.735	2000	1.274	179209	74000

Продолжение таблицы 4.4

i	S_{Bi} , МВА	T_i , ч	$K_{зBi}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
4	9.339	1000	0.934	48187	37000
5	6.792	1760	0.679	44858	65120
		$\Sigma \Delta W_{кBi} = 737402$		$\Sigma \Delta W_{xi} = 324120$	

На основании суммарных значений потерь холостого хода и короткого замыкания находим стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе ГПП за год:

$$I_{\Delta W_{ПС}} = \Delta W_{nc} \cdot C_{э}, \quad (4.22)$$

$$I_{\Delta W_{ПС}} = (737402 + 324120) \cdot 0,197 = 209,1 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_{э} = 0,197$ руб/кВт·ч - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_{э} + I_{\Delta W_{ПС}} \quad (4.23)$$

$$Z_{прив} = 0,25 \cdot 10000 + 940 + 209,1 = 3649,1 \text{ тыс.руб.}$$

где $E_n = 0,25$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K = 2 \cdot 5000 = 10000$ тыс.руб. – стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_{э} = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 10000 = 940$ тыс.руб. – ежегодные отчисления.

Не смотря на то, что приведенные затраты на трансформаторы ТДН - 10000/110/10 превышают приведенные затраты на трансформаторы ТДН - 10000/35/10 принимаем к установке на ГПП предприятия трансформаторы ТДН - 10000/110/10, что обусловлено запланированным в будущем ростом нагрузки предприятия и позволит снизить потери электроэнергии в питающих ЛЭП.

5 Выбор схемы внешнего электроснабжения предприятия

От подстанции предприятия питаются потребители, относящиеся к первой и второй категории по надежности электроснабжения, поэтому на ГПП устанавливается два силовых трансформатора в свою очередь получающих питание от двух взаиморезервирующих линий электропередач 110 кВ.

Схемы ГПП могут быть выполнены с силовыми выключателями на стороне высшего напряжения или по так называемым упрощенным схемам, т. е. без выключателей на стороне высокого напряжения. На вторичном напряжении 10 кВ, как правило, применяется одиночная секционированная система шин. Трансформаторы к секциям подключаются через вводные выключатели, секционный выключатель при нормальном режиме работы отключен для уменьшения токов короткого замыкания [18, 19].

Блоки распределительного устройства высшего напряжения комплектуются современным высоковольтным электрооборудованием отечественного и зарубежного производства. Конструктивно подстанции могут выполняться открытыми, при этом распределительное устройство низшего напряжения может выполняться из шкафов наружной установки или устанавливаться в закрытых помещениях или с установкой трансформаторов открыто, а распределительных устройств высшего и низшего напряжения в помещении.

В настоящее время производится замена масляных выключателей, отделителей и короткозамыкателей на современные элегазовые и вакуумные выключатели. Кроме того высоковольтные выключатели применяются на высокой стороне ГПП при: специальных требованиях к самозапуску электродвигателей 6-10 кВ, подключаемых к РУ ГПП; упрощению УРЗиА по сравнению с использованием отделителей; при перспективе установки на подстанции СШ 110-220 кВ; при возможности двухстороннего питания по линии; при невозможности использования короткозамыкателей и высокой стоимости линии связи для передачи отключающего импульса.

6 Выбор напряжения и схемы внутреннего электроснабжения предприятия

Так как на предприятии имеются высоковольтные двигатели на напряжение 10 кВ, то для распределительных сетей предприятия выбираем напряжение 10 кВ.

Для внутреннего электроснабжения предприятия применяю радиальные, магистральные или смешанные схемы распределения электроэнергии в зависимости от надежности электроснабжения, размещения нагрузок на территории предприятия, величины потребляемой предприятием мощности и других характерных особенностей предприятия.

При построении схем электроснабжения потребителей 1й и 2й категории проводим глубокое секционирование во всех элементах схемы электроснабжения.

Магистральные схемы для питания цеховых ТП применяем при последовательном расположении подстанций, число трансформаторов, присоединяемых к одной магистрали – 3...4.

Радиальные схемы применяем для нагрузок, расположенных в различных направлениях от источника питания.

7 Расчет токов короткого замыкания

В электрических установках промышленных предприятий возможно появление различных видов КЗ, которые сопровождаются скачкообразным ростом тока. Из-за этого электрооборудование, применяемое в системах электроснабжения предприятий, должно быть проверено на стойкость к токам КЗ.

Существуют следующие основные виды коротких замыканий: трехфазное, когда все три фазы образуют соединение друг с другом; двухфазное – когда две из трех фаз образуют соединение друг с другом, но при этом не соединяются с землей; однофазное – когда одна из трех фаз образует соединение с нейтральной точкой источника питания через землю; двойное замыкание фаз на землю – когда две фазы из трех образуют соединение друг с другом и с землей.

Одними из основных причин появления таких КЗ в сети предприятия являются: повреждение изоляции частей электроустановок; ошибочные действия персонала; перекрытия незаизолированных токоведущих частей электроустановки.

Короткие замыкания в сети предприятия приводят к: прекращению электроснабжения потребителей электроэнергии, подключенных за местом возникновения КЗ; нарушению нормального функционирования остальных электроприемников, запитанных от неповрежденных участков сети из-за недопустимого снижения напряжения; нарушению нормального режима работы системы электроснабжения всего предприятия.

Для предотвращения появления КЗ и минимизации их последствий могут быть приняты следующие меры: устранение причин, приводящих к КЗ; сокращение времени действия защиты при возникновении КЗ; применение быстродействующих выключателей; правильное определение значений токов КЗ и выбор по ним электрических аппаратов, защит и средств, ограничивающих токи КЗ [20].

К коротким замыканиям относится всякое не предусмотренное условиями работы оборудования, замыкание между фазами или фаз на землю. КЗ возникает из-за старения или повреждения изоляции, перенапряжении в сетях или ошибочных действиях персонала. При появления КЗ, в сети резко возрастают токи в фазах, что вызывает снижение напряжения в системе. При трехфазном коротком замыкании особенно велико снижение напряжения вблизи КЗ, поскольку в таком случае все три фазы находятся в одинаковых условиях. Все прочие короткие замыкания относятся к несимметричным.

Составляем расчетную схему для определения токов КЗ и схему замещения (рисунок 7.1).

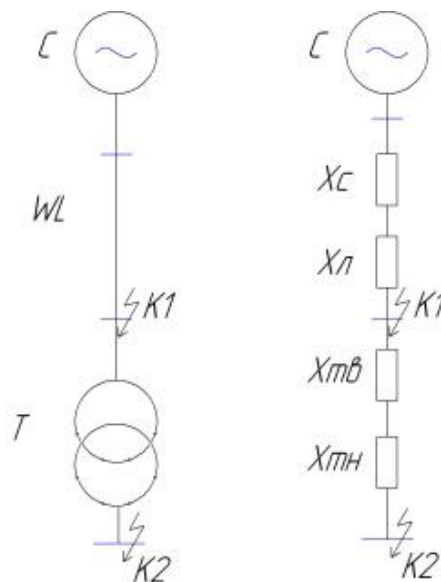


Рисунок 7.1 - Расчётная схема и схема замещения для определения токов КЗ

Исходные данные для расчета токов КЗ:

Параметры системы: $U_{cp} = 115$ кВ; $S_{\sigma} = 1000$ МВА; $S_{\kappa} = 2800$ МВА.

Параметры линии: $x_{y\partial} = 0,4$ Ом/км; $L = 12$ км.

Параметры силового трансформатора: $S_{н} = 10$ МВА; $U_{\kappa} = 10,5$ %.

Найдем сопротивление системы:

$$x_{c.\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\kappa}}; \quad (7.1)$$

$$x_{c.\bar{\sigma}} = \frac{1000}{2800} = 0.357.$$

Найдем сопротивление воздушной линии:

$$x_{БЛ.\bar{\sigma}} = \frac{x_{y\partial}}{2} \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{CH}^2}; \quad (7.2)$$

$$x_{БЛ.\bar{\sigma}} = \frac{0.4}{2} \cdot 12 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.181.$$

Найдем сопротивление силового трансформатора:

$$x_{T.\bar{\sigma}} = \frac{U_{\kappa, \%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{H}}; \quad (7.3)$$

$$x_{T.\bar{\sigma}} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{1000}{10} = 10.5.$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К1:

$$x_{рез1} = x_{c.\bar{\sigma}} + x_{БЛ.\bar{\sigma}}; \quad (7.4)$$

$$x_{рез1} = 0.357 + 0.181 = 0.539.$$

Найдем базисный ток в точке К1:

$$I_{\bar{\sigma}.K1} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{CH}}; \quad (7.5)$$

$$I_{\bar{\sigma}.K1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5.02 \text{ кА};$$

Найдем начальное действующее значение тока трехфазного тока КЗ в точке К1:

$$I_{к1} = \frac{E_{\sigma}}{x_{рез1}} \cdot I_{\sigma}; \quad (7.6)$$

$$I_{к1}^3 = \frac{1}{0.539} \cdot 5.02 = 9.321 \text{ кА};$$

Найдем ударный ток КЗ в точке К1:

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot I_{н.о}^3 \cdot K_{уд}; \quad (7.7)$$

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 9.321 \cdot 1.8 = 23.727 \text{ кА}.$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К2:

$$x_{рез2} = x_{рез1} + x_{Т.б}; \quad (7.8)$$

$$x_{рез2} = 0.539 + 10.5 = 11.039.$$

Найдем базисный ток в точке К2:

$$I_{\sigma.к2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (7.9)$$

$$I_{\sigma.к2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 54.986 \text{ кА};$$

Найдем начальное действующее значение тока трехфазного тока КЗ в точке К2:

$$I_{\kappa 2}^3 = \frac{E_{\sigma}^{\wedge}}{x_{\text{рез}2}} \cdot I_{\sigma.\kappa 2}; \quad (7.10)$$

$$I_{\kappa 2}^3 = \frac{1}{11.039} \cdot 54.986 = 4.981 \text{ кА};$$

Найдем ударный ток КЗ в точке К2:

$$i_{\text{уд.}\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{н.о}}^3 \cdot K_{\text{уд}}; \quad (7.11)$$

$$i_{\text{уд.}\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot 4.981 \cdot 1.92 = 13.525 \text{ кА}.$$

Полученные результаты сведем в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты расчетов токов КЗ

	$U_{\text{сн}}$, кВ	$K_{\text{уд}}$	$I_{\kappa}^{\text{сн}}$, кА	$i_{\text{уд}}$, кА
К1	115	1.8	9.3	23.7
К2	10.5	1.92	5	13.5

8 Расчет и выбор электрического оборудования и проводников

8.1 Выбор электрического оборудования на стороне высокого напряжения 110 кВ

8.1.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне 110 кВ предварительно выбираем высоковольтный выключатель ВГП-110- 20/2500 УХЛ1.

Высоковольтный выключатель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.1)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (8.2)$$
$$70 \text{ А} < 2500 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (8.3)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 70 \text{ А};$$

- по отключающей способности:

$$I_{кл} \leq I_{откл.н}, \quad (8.4)$$
$$9.3 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.H.}, \quad (8.5)$$

$$8 \text{ кА} \leq 14.1 \text{ кА},$$

где

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (8.6)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 9.3 \cdot e^{\frac{-0.05}{0.1}} = 8 \text{ кА},$$

$$i_{a.H.} = \sqrt{2} \cdot \beta_H / 100 \cdot I_{откл.H.}, \quad (8.7)$$

$$i_{a.H.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{50}{100} \right) \cdot 20 = 14.1 \text{ кА},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$I_{к1} \leq I_{нр.с}, \quad (8.8)$$

$$9.3 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА};$$

$$i_{yд} \leq i_{нр.с}, \quad (8.9)$$

$$23.7 \text{ кА} \leq 102 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл}, \quad (8.10)$$

$$17.3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 160 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Выбранный высоковольтный выключатель ВГП-110- 20/2500 УХЛ1 прошел проверку.

8.1.2 Выбор разъединителя

Разъединитель выбирается и проверяется по тем же параметрам, что и

высоковольтный выключатель, за исключением отключающей способности.

Предварительно выбираем разъединитель типа РГП - 110/1250 УХЛ1.

Разъединитель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.11)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (8.12)$$
$$70 \text{ А} < 1250 \text{ А},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$i_{yd} \leq i_{np.c}, \quad (8.13)$$
$$23.7 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{np.c}^2 \cdot t_{np.c}, \quad (8.14)$$
$$17.3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 40 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный разъединитель РГП - 110/1250 УХЛ1 прошел проверку.

8.1.3 Выбор трансформатора тока

На стороне 110 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТВТ - 110 - 1 - 100/5.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.15)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{Н.ТТ}, \quad (8.16)$$
$$70 \text{ А} \leq 100 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (8.17)$$
$$23.7 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (8.18)$$
$$17.3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 250 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (8.19)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пр} + R_k, \quad (8.20)$$

Для нахождения $R_{приб}$ необходимо определить нагрузку по фазам трансформатора тока $S_{приб}$ и принять за расчетную наиболее загруженную фазу.

Вторичной нагрузкой трансформатора тока является амперметр с максимальной мощностью 0.1 ВА. Найдем сопротивление прибора:

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}, \quad (8.21)$$

$$R_{приб} = \frac{0.1}{5^2} = 0.004 \text{ Ом}.$$

Тогда допустимое сопротивление проводов:

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{приб} - R_{к},$$

$$R_{пр} = 1 - 0.004 - 0.1 = 1.096 \text{ Ом}.$$

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{пр}}, \quad (8.22)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 65}{1.096} = 1.038 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности сечение медных жил должно быть не менее 2.5 мм^2 , поэтому принимаем стандартное сечение жилы 2.5 мм^2 .

Выбранный трансформатор тока ТВТ - 110 - 1 - 100/5 прошел проверку.

8.1.4 Выбор гибких шин

Гибкие шины на напряжение 110 кВ выполняются стальноалюминиевыми проводами марки АС.

Найдем сечение проводов:

$$s = \frac{I_{\max}}{j_9}; \quad (8.23)$$

$$s = \frac{70.4}{1} = 70.4 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод типа АС-95/16 мм² с длительно допустимым током провода 385 А.

Найдем максимальное значение критической напряженности электрического поля:

$$E_0 = 30.3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{r_0}} \right); \quad (8.24)$$

$$E_0 = 30.3 \cdot 0.82 \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{0.675}} \right) = 33.9 \text{ кВ/м.}$$

Найдем напряженность около провода:

$$E = \frac{0.354 \cdot U_n}{r_0 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot D}{r_0}}; \quad (8.25)$$

$$E = \frac{0.354 \cdot 115}{0.675 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot 300}{0.675}} = 21.9 \text{ кВ/м.}$$

Условие отсутствия короны:

$$1.07E \leq 0.9E_0; \quad (8.26)$$
$$23.5 \text{ кВ/м} < 30.5 \text{ кВ/м.}$$

Провод АС-95/16 прошел проверку.

8.2 Выбор электрического оборудования на стороне низкого напряжения 10 кВ

8.2.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне 10 кВ предварительно выбираем высоковольтный выключатель ВВУ-СЭЩ-П-10-31,1/1600.

Высоковольтный выключатель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.27)$$
$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (8.28)$$
$$770 \text{ А} < 1600 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (8.29)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 770 \text{ А};$$

- по отключающей способности:

$$I_{к1} \leq I_{откл.н}, \quad (8.30)$$
$$5 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.н}, \quad (8.31)$$
$$4.7 \text{ кА} \leq 14.1 \text{ кА},$$

где

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (8.32)$$

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot 5 \cdot e^{\frac{-0.04}{0.1}} = 4.7 \text{ кА},$$

$$i_{a.н.} = \sqrt{2} \cdot \beta_n / 100 \cdot I_{откл.н.}, \quad (8.33)$$

$$i_{a.н.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{50}{100} \right) \cdot 20 = 14.1 \text{ кА},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$I_{к1} \leq I_{нр.с.}, \quad (8.34)$$

$$5 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА};$$

$$i_{уд} \leq i_{нр.с.}, \quad (8.35)$$

$$13.5 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл.}, \quad (8.36)$$

$$4.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 144 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный высоковольтный выключатель ВВУ-СЭЦ-П-10-31,1/1600 прошел проверку.

8.2.2 Выбор трансформатора тока

На стороне 10 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТОЛ-СЭЦ-10-1000/5.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.37)$$
$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{Н.ТТ}, \quad (8.38)$$
$$770 \text{ А} \leq 1000 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (8.39)$$
$$13.5 \text{ кА} \leq 152.5 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (8.40)$$
$$4.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 89.3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (8.41)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пр} + R_k, \quad (8.42)$$

Для нахождения $R_{\text{приб}}$ необходимо определить нагрузку по фазам трансформатора тока $S_{\text{приб}}$ и принять за расчетную наиболее загруженную фазу.

Вторичной нагрузкой трансформатора тока являются амперметр, ваттметр, варметр, счетчик активной и реактивной энергии с суммарной максимальной мощностью 6.5 ВА. Найдем сопротивление прибора:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (8.43)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{6.5}{5^2} = 0.26 \text{ Ом}.$$

Тогда допустимое сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}},$$

$$R_{\text{пр}} = 1.2 - 0.26 - 0.1 = 0.84 \text{ Ом}.$$

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}}, \quad (8.44)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 40}{0.84} = 0.833 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности сечение медных жил должно быть не менее 2.5 мм^2 , поэтому принимаем стандартное сечение жилы 2.5 мм^2 .

Выбранный трансформатор тока ТОЛ-СЭЦ-10-1000/5 прошел проверку.

Аналогичным образом выбираем и проверяем трансформаторы тока на отходящих линиях.

8.2.3 Выбор трансформатора напряжения

Измерительный трансформатор напряжения выбираем по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.45)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по классу точности;

- по величине вторичной нагрузки:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (8.46)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cos \phi)^2 + (\sum S_{приб} \sin \phi)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}. \quad (8.47)$$

На стороне 10 кВ выбираем трансформатор напряжения ЗНОЛ-СЭЦ-10 с классом точности 0.2. В комплекте с ТН идет предохранитель ПКТ-101-10. К ТН подключается вольтметр и счетчики активной и реактивной электроэнергии с суммарной потребляемой мощностью 12 Вт и 3.5 вар.

Тогда:

$$12.5 \text{ ВА} \leq 75 \text{ ВА}.$$

Выбранный трансформатор напряжения ЗНОЛ-СЭЦ-10 прошел проверку.

8.2.4 Выбор жестких шин

Выбираем жесткие шины по экономической плотности тока:

$$s = \frac{I_{\max}}{j_s}; \quad (8.48)$$

$$s = \frac{550}{1} = 550 \text{ мм}^2.$$

Выбираем алюминиевые прямоугольные шины сечением 60x10 мм, с длительно допустимым током 1155 А.

Найдем минимально допустимое сечение шины по термической стойкости:

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{B_K} \cdot 10^3}{C_T}, \quad (8.49)$$

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{4.8} \cdot 10^3}{66} = 33.2 \text{ мм}^2.$$

Найдем максимальную силу, действующую на проводники при трехфазном КЗ:

$$F_{\max}^3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} \cdot l \cdot i_{yd}^2 \cdot K_{\phi} \cdot K_p, \quad (8.50)$$

$$F_{\max}^3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{1} \cdot 2 \cdot 13500^2 \cdot 1 \cdot 1 = 63.1 \text{ Н}.$$

Найдем момент сопротивления поперечного сечения шины:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (8.51)$$

$$W = \frac{0.01 \cdot 0.06^2}{6} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Определим максимальное напряжение в материале шины:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}^3 \cdot l}{\lambda \cdot W}, \quad (8.52)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{63.1 \cdot 2}{8 \cdot 6 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^{-6} = 2.6 \text{ МПа}.$$

Условие проверки на электродинамическую стойкость:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}}, \quad (8.53)$$

$$2.6 \text{ МПа} \leq 247.1 \text{ МПа},$$

где

$$\sigma_{\text{доп}} = 0.7 \cdot \sigma_p, \quad (8.54)$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 0.7 \cdot 353 = 247.1 \text{ МПа}.$$

Определим момент инерции поперечного сечения шины:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (8.55)$$

$$J = \frac{0.01 \cdot 0.06^3}{12} = 1.8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Определим частоту собственных колебаний:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2 \cdot \pi \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}}; \quad (8.56)$$

$$f_0 = \frac{3.14^2}{2 \cdot \pi \cdot 2^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 1.8 \cdot 10^{-7}}{2.5}} = 27.9 \text{ Гц}.$$

Т.к. частота собственных колебаний меньше 30 Гц, то механический резонанс не появляется.

8.2.5 Выбор опорных изоляторов

Опорные изоляторы необходимы для крепления шин. Выбираем изолятор типа ИОР-10-3.75 II УХЛ.

Опорные изоляторы выбираем и проверяем по параметрам:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.57)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по максимально допустимой нагрузке на головку изолятора:

$$F_{\max} \leq F_{доп}, \quad (8.58)$$

$$63.1 \text{ Н} < 1687.5 \text{ Н},$$

где

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разруш} \cdot \frac{H_u}{H}, \quad (8.59)$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 3750 \cdot \frac{0.12}{0.16} = 1687.5 \text{ Н}.$$

где

$$H = H_u + b + \frac{h}{2}, \quad (8.60)$$

$$H = 0.12 + 0.01 + \frac{0.06}{2} = 0.16.$$

Опорный изолятор ИОР-10-3.75 II УХЛ прошел проверку.

8.2.6 Выбор проходных изоляторов

Выбираем проходной изолятор типа ИП-10/1000-7,5 УХЛ2.

Проходные изоляторы выбираем и проверяем по параметрам:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.61)$$
$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (8.62)$$
$$770 \text{ А} < 1000 \text{ А};$$

- по максимально допустимой нагрузке на головку изолятора:

$$F_{расч} \leq 0.6 \cdot F_{разр}, \quad (8.63)$$
$$18.2 \text{ Н} < 4500 \text{ Н},$$

где

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{i_{уд}^2}{a} \cdot l_{из} \cdot 10^{-7}, \quad (8.64)$$
$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{13500^2}{1} \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 18.2.$$

Проходной изолятор ИП-10/1000-7,5 УХЛ2 прошел проверку.

9 Расчет заземления подстанции

При времени отключения тока КЗ $\tau = 0.04$ с наибольшее допустимое напряжение прикосновения составляет $U_{np.\partial on} = 500$ В [21].

Найдем напряжение на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{np.\partial on}}{\kappa_{II}}, \quad (9.1)$$

$$U_3 = \frac{500}{0.245} = 2040 \text{ В},$$

где коэффициент напряжения прикосновения:

$$\kappa_{II} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_6 L_2}{a\sqrt{S}}\right)^{0.45}}, \quad (9.2)$$

$$\kappa_{II} = \frac{0.5 \cdot 0.97}{\left(\frac{5 \cdot 668}{12 \cdot \sqrt{3719}}\right)^{0.45}} = 0.245,$$

коэффициент, зависящий от сопротивления тела человека:

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + 1.5\rho_{в.с}}, \quad (9.3)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1.5 \cdot 20} = 0.97.$$

Найденное значение напряжения на заземлителе находится в пределах допустимого значения 10 кВ.

Сопротивление ЗУ должно соответствовать неравенству:

$$R_3 < R_{3.дон}. \quad (9.4)$$

Найдем число ячеек по стороне расчетной модели заземлителя:

$$m = \frac{L_2}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1, \quad (9.5)$$
$$m = \frac{668}{2 \cdot \sqrt{3719}} - 1 \approx 4.$$

Найдем длину полос в расчетной модели:

$$L'_2 = 2\sqrt{S}(m+1), \quad (9.6)$$
$$L'_2 = 2\sqrt{3719} \cdot (4+1) = 609.8 \text{ м.}$$

Найдем длину сторон ячейки:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \quad (9.7)$$
$$b = \frac{\sqrt{3719}}{4} = 15.2 \text{ м.}$$

Найдем количество вертикальных заземлителей по периметру контура:

$$n_g = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_g}, \quad (9.8)$$
$$n_g = \frac{\sqrt{3719} \cdot 4}{1 \cdot 5} \approx 49.$$

Найдем суммарную длину вертикальных заземлителей:

$$L_{\epsilon} = l_{\epsilon} \cdot n_{\epsilon}, \quad (9.9)$$

$$L_{\epsilon} = 5 \cdot 49 = 245 \text{ м.}$$

Найдем относительную глубину погружения вертикальных электродов:

$$\frac{l_{\text{в}} + t}{\sqrt{S}}, \quad (9.10)$$

$$\frac{5 + 0.7}{\sqrt{3719}} = 0.093.$$

Найдем суммарное сопротивление сложного заземлителя:

$$R_3 = A \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_2 + L_{\epsilon}}, \quad (9.11)$$

$$R_3 = 0.365 \cdot \frac{20}{\sqrt{3719}} + \frac{20}{668 + 245} = 0.14 \text{ Ом,}$$

где

$$A = \left(0.444 - 0.84 \frac{l_{\epsilon} + t}{\sqrt{S}} \right), \quad (9.12)$$

$$A = 0.444 - 0.84 \cdot 0.093 = 0.365;$$

Суммарное сопротивление сложного заземлителя R_3 меньше допустимого сопротивления $R_{3,\text{дон}}$ $0.14 < 0.5 \text{ Ом}$.

Заключение

В выпускной квалификационной работе рассчитана силовая электрическая нагрузка и нагрузка освещения ОАО «ВТЗ». Суммарная расчётная нагрузка составила $S_p = 18512$ кВА.

Выбраны мощности цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности. Всего к установке на предприятии принято 15 КТП с силовыми трансформаторами мощностью от 160 до 1600 кВА.

Определено рациональное напряжение питания предприятия и произведено технико-экономическое обоснование оптимальной номинальной мощности силовых трансформаторов ГПП, в результате которого к установке приняты трансформаторы ТДН-10000/110/10.

Рассчитаны токи короткого замыкания и выполнен выбор и проверка электрооборудования ГПП.

Произведен расчет заземления главной понизительной подстанции.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 марта 2014 г. – М.: КРОНУС, 2014.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Норматика, 2014.
3. Сивков, А.А. Основы электроснабжения. Учебное пособие / А.А. Сивков, Д.Ю. Герасимов, А.С. Сайгаш – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012.
4. Коробов, Г. В. Электроснабжение: Курсовое проектирование : учеб. пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова; под общ. ред. Г. В. Коробова. - Изд. 3-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург: Лань, 2014.
5. Bolognani, S. A distributed control strategy for reactive power compensation in smart microgrids / S. Bolognani, S. Zampieri. - IEEE Trans. Autom. Control, vol. 58, no. 11, pp. 2818-2833, 2013.
6. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения. Электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко - Тольятти: ТГУ, 2015.
7. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения. Электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко - Тольятти: ТГУ, 2016.
8. Hickey, R.B. Electrical Engineer's Portable Handbook / R.B. Hickey, B. Robert. – USA: McGraw-Hill Companies, 2013.
9. Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учеб. пособие / В.Б. Шлейников, Т.В. Сазонова. - Оренбург : ОГУ, 2012.
10. Юндин, М.А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению: учеб. пособие / М.А. Юндин, А.М. Королев. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург: Лань, 2014.

11. Электроснабжение: методические указания к курсовой работе для студентов очной и очно-заочной форм обучения / сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2013.
12. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин – М.: Academia, 2015.
13. Bai, B. DC bias elimination and integrated magnetic technology in power transformer / B. Bai, Z. Chen, D. Chen. - IEEE Trans. Magn., vol. 51, no. 11, pp. 1-4, 2015.
14. Khan, S. Industrial power systems / S. Khan, S. Khan, G. Ahmed. – Boca Raton: CRC Press, 2016.
15. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет; сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.
16. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промпредприятий и установок. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум, 2015.
17. Электроснабжение: методические указания к курсовой работе для студентов очной и очно-заочной форм обучения / сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2013.
18. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова – Москва: Форум, 2014.
19. Hickey, R.V. Electrical Engineer's Portable Handbook / R.V. Hickey, B. Robert. – USA: McGraw-Hill Companies, 2012.
20. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет; сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.
21. Борисов, Р. К. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник / Р. К. Борисов, А. В. Горшков, Ю. В. Жарков - Москва: МЭИ, 2013.