

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 завода по выпуску снегоуборочной техники»

Студент

Е.А. Челноков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.П. Тараканов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Аннотация

Темой выпускной квалификационной работы является электроснабжение завода по выпуску снегоуборочной техники.

При выполнении бакалаврской работы произведен расчет нагрузок от силовых электроприемников и систем внутреннего и наружного освещения укрупнено для каждого из цехов, выполнен выбор цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности, выполнено технико-экономическое обоснование выбора мощности 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 56 листах. Содержит 9 таблиц и 3 рисунка. Графическая часть состоит из 6 чертежей на формате А1.

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика предприятия	5
2 Расчет электрических нагрузок	9
3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	14
4 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП	20
5 Выбор схемы подстанции	29
6 Расчёт токов короткого замыкания	30
7 Расчет и выбор электрического оборудования и проводников	35
8 Расчет заземления подстанции	50
Заключение	54
Список использованных источников	55

Введение

Потребители электроэнергии – промышленные предприятия, организации, строительные площадки, отдельные квартиры в которых приемники электрической энергии (ЭЭ) присоединены и используют ЭЭ [1-4].

Правильно спроектированная современная система электроснабжения предприятия должна обеспечивать выполнение следующих технических и экономических требований:

- обеспечение безопасности производимых работ для всего персонала предприятия;
- надежность снабжения потребителей электроэнергией;
- качество электрической энергии должно соответствовать ГОСТ 32144-2013;
- экономичность как при строительстве системы, так и при ее эксплуатации;
- возможность изменения системы в связи с изменением технологического процесса на предприятии и перспективном развитии;
- предотвращение вредного воздействия на окружающую среду.

Выполнение этих требования должно быть обеспечено как на стадии проектирования, так и эксплуатации системы электроснабжения предприятия.

Целью работы является разработка надежной и экономичной системы электроснабжения завода по выпуску снегоуборочной техники.

1 Краткая характеристика предприятия

В 2008 году на заводе по выпуску снегоуборочной техники был произведен опытный образец шнекоротора. В 2009 году в производство была запущена первая партия шнекороторных снегоочистителей, объемы выпуска которых наращивались с каждым годом [5].

В 2011 к производству добавилось также производство фрезернороторных навесок, в 2012 году - вышли в свет лаповые погрузчики.

Также 2012 год был ознаменован переходом завода на собственные производственные площади, что открыло еще больше перспектив в освоении новых отраслей производства в промышленной области.

На заводе постоянно разрабатываются новые собственные модели техники. Завод производит «Всесезонная машина комбинированная дорожная» (ВМКД) на базе грузовиков Урал и Камаз. На сегодняшний день предприятие в полной мере производит специализированную технику, которая успешно используется не только в России, но также в ближнем и дальнем зарубежье.

Предприятие разрабатывает проекты любой сложности по индивидуальным заказам с учетом любых пожеланий и требований клиента. В 2016 году прорабатывается изготовление для предприятий оборонно-промышленного комплекса страны линии катафорезного грунтования по программе импортозамещения.

В перспективных планах завода расширение номенклатуры выпускаемой продукции, развитие таких технологий, как зубошлифовка и закалка токами высокой частоты. Выпуск перспективных моделей: машины на базе на фронтального погрузчика, передвижные авторемонтные мастерские, лесовозы, пожарные машины.

Основной продукцией завода являются:

- Шнекороторные снегоочистители СШР-1 одномоторные;
- Шнекороторные снегоочистители СШР-2 двухмоторные;
- Фрезернороторные снегоочистители СФР-1 одномоторные;

- Комбинированные поливомоечные машины и машина тепловая гололедная ТМГ-3А-01;

- Техника для обслуживания воздушных судов;

- Лаповые погрузчики, предназначенные для уборки и погрузки снега;

- Техника на базе тракторов;

- Автомобили по индивидуальным заказам.

Также предприятие оказывает услуги по капитальному ремонту снегоуборочной техники различных производителей, производит замену редукторов, изготавливает замену изношенным либо поврежденным узлам.

Предприятие производит установку двигателей Дойц (Deutz) на автомобили Урал.

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
7	Литейный цех № 1	Преобразователи частоты	250	2	10
8	Литейный цех № 2	Электрические печи (с трансформаторами)	1250	3	10
9	Литейный цех № 3	Электрические печи (с трансформаторами)	630	5	10

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

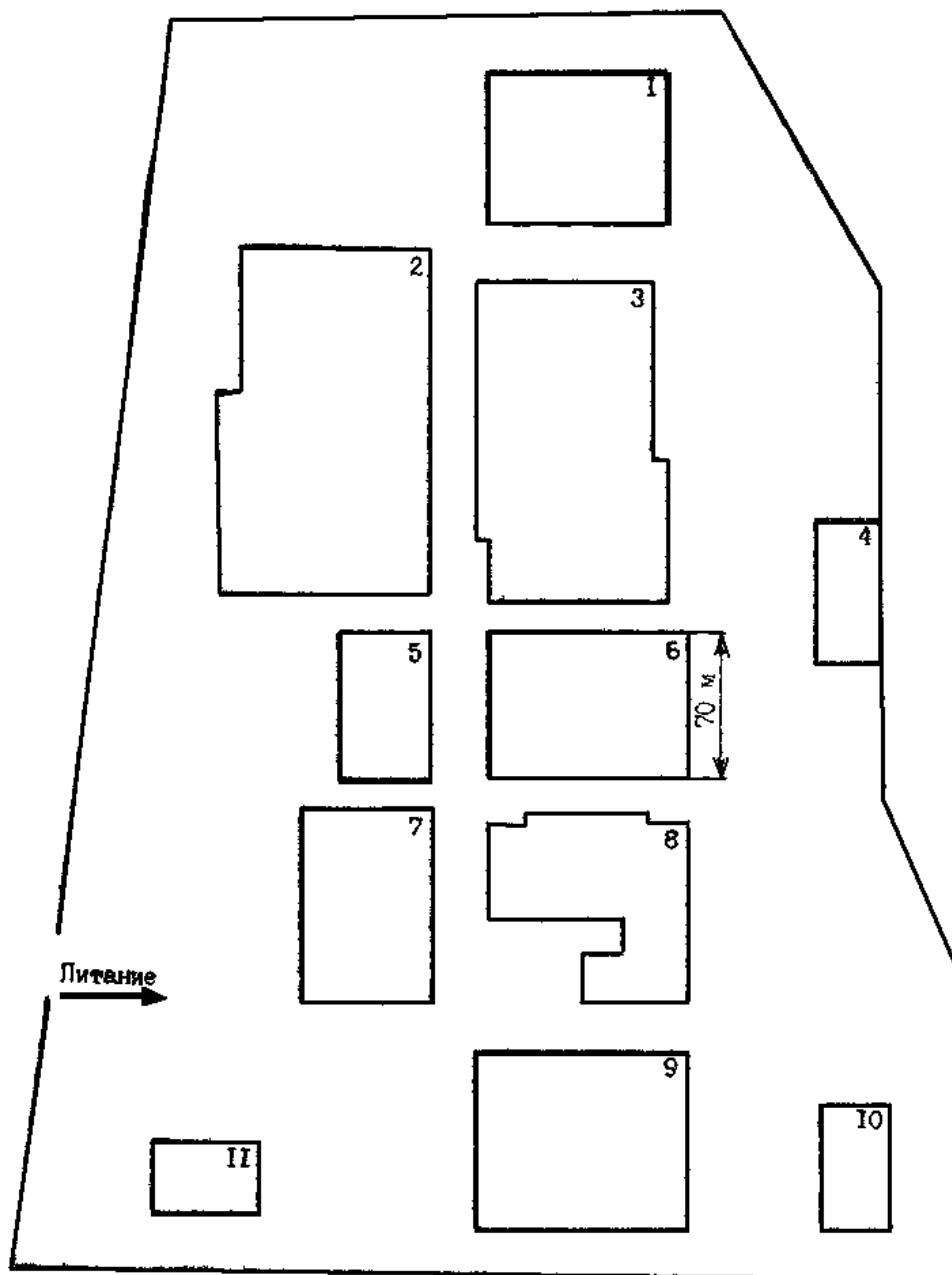


Рисунок 1.1 - Генплан завода

Таблица 1.2 - Сведения об установленной мощности электроприемников по цехам предприятия

№ п/п	Сокращенное название цеха	Рном, кВт	пэ, шт
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	ЦС	3670	107
2	ПКЦ	11206	301
3	ЦШ	8311	281
4	Заводоуправ.	152	22
5	МЦ№1	4447	240
6	МЦ№2	3313	137
7	ЛЦ№1	4737	72
8	ЛЦ№2	8224	154
9	ЛЦ№3	7884	150
10	РМЦ	871	32
11	Компресс.-насос. станция	401	18

В таблице используются следующие сокращения цехов: ЦС - сборки; ПКЦ - прессово-кузовной; ЦШ – шасси; МЦ№1 – моторный №1; МЦ№2 – моторный №2; ЛЦ№1 – литейный №1; ЛЦ№2 – литейный №2; ЛЦ№3 – литейный №3; РМЦ - ремонтно-механический.

2 Расчет электрических нагрузок

Исходя из предполагаемого электрооборудования цехов предприятия, находим по справочным данным значения коэффициентов использования и коэффициентов мощности характерных электроприемников цеха [6-8].

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

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

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

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:

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

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

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

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.

Расчитываем строку «Итого по высоковольтной нагрузке».

Расчитываем строку «Итого по предприятию».

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчета нагрузок по предприятию

№	Сокращенное 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	ЦС	3670	34.30	107	0.25	0.75	0.88	917.5	809.16	1.11	1018.43	49.98	1068.41	809.16	1340.23
2	ПКЦ	11206	37.23	301	0.3	0.65	1.17	3361.8	3930.38	1.06	3563.51	126.20	3689.71	3930.38	5390.90
3	ЦШ	8311	29.58	281	0.35	0.8	0.75	2908.9	2181.64	1.05	3054.29	109.75	3164.04	2181.64	3843.27
4	Заводоуправ.	152	6.91	22	0.4	0.7	1.02	60.8	62.03	1.23	74.78	14.20	88.98	62.03	108.47
5	МЦ№1	4447	18.53	240	0.45	0.7	1.02	2001.2	2041.58	1.05	2101.21	24.99	2126.20	2041.58	2947.67
6	МЦ№2	3313	24.18	137	0.45	0.75	0.88	1490.9	1314.81	1.06	1580.30	56.23	1636.53	1314.81	2099.27
7	ЛЦ№1	4737	65.79	72	0.4	0.65	1.17	1894.8	2215.27	1.12	2122.18	43.00	2165.17	2215.27	3097.64
8	ЛЦ№2	8224	53.40	154	0.35	0.65	1.17	2878.4	3365.22	1.07	3079.89	48.69	3128.58	3365.22	4594.86

Продолжение таблицы 2.1

№	Сокращенное 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
9	ЛЦ№3	7884	52.56	150	0.45	0.7	1.02	3547.8	3619.48	1.06	3760.67	59.17	3819.84	3619.48	5262.30
10	РМЦ	871	27.22	32	0.35	0.55	1.52	304.85	462.91	1.21	368.87	15.93	384.80	462.91	601.96
11	Компресс.-насос. станция	401	22.28	18	0.7	0.85	0.62	280.7	173.96	1.12	314.38	3.38	317.76	173.96	362.27
	Освещение территории	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	68.23	---	---	68.23
	Итого по нагрузке 0,4 кВ	53216	6,91...65,79	1514	0.40	0.70	1.02	19648	20176.43	1	19647.5	619.75	20267	20176.43	28598.07
Нагрузка 10 кВ															
7	Литейный цех №1 (Преобразователи частоты)	500	250	2	0.35	0.7	1.02	175	178.54	2.14	374.5	---	374.5	178.54	414.88
8	Литейный цех №2 (Электрические печи с трансформаторами)	3750	1250	3	0.5	0.85	0.62	1875	1162.02	1.87	3506.25	---	3506.25	1162.02	3693.79

Продолжение таблицы 2.1

№	Сокращенное 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	Литейный цех №3 (Электрические печи с трансформаторами)	3150	630	5	0.5	0.85	0.62	1575	976.10	1.57	2472.75	---	2472.75	976.10	2658.43
	Итого по нагрузке 10 кВ	7400	250...1250	10	0.45	0.8	0.75	3625	2316.65	1.86	6353.5	---	6353.5	2316.65	6762.68
	Итого по предприятию	60616	6,91...1250	1524	0.41	0.73	0.96	23273	22493.09	1	23272.5	619.75	23892	22493.09	32814.30

3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

Число трансформаторов и питающих линий определяется в зависимости от категории надежности потребителей [1, 9-11]. При запасе на складе силовых трансформаторов или при наличии связей со стороны вторичного напряжения надежность электроснабжение потребителей II и III категории обеспечивают однотрансформаторные подстанции.

Если преобладают потребители I и II категорий, то используют двухтрансформаторные подстанции.

Плотность электрической нагрузки цеха определим по формуле:

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

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.

Выбираем внутрицеховые комплектные трансформаторные подстанции как наиболее экономичные.

3.1 Выбор силовых трансформаторов для РМЦ

Распределение мощности:

$$\begin{aligned} \bar{b} &= S_P / F_u, & (3.3) \\ \bar{b} &= 602 / 1874 = 0,321. \end{aligned}$$

Так как \bar{b} больше, чем 0.3, то выбираем трансформаторы мощностью 630 кВА.

По справочным таблицам каталогов производителей находим $\Delta P_{TP} = 4,5$ кВт ; $\Delta Q_{TP} = 24,5$ квар;

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

$$P_P = 384,8 + 1 \cdot 4,5 = 389,3 \text{ кВт},$$

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

$$Q_P = 462,9 + 1 \cdot 24,5 = 487,4 \text{ квар}.$$

1. Значение входных реактивных мощностей:

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

$$Q'_{\text{эл}} = 487,4 - 0,7 \cdot 0 = 487,4 \text{ квар};$$

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

$$Q''_{\text{эл}} = 0,28 \cdot 389,3 = 109 \text{ квар}.$$

Принимаем меньшее из значений: $Q_{\varepsilon 1} = 109$ квар.

$$\begin{aligned} \text{б) } Q_{\min} &= 0,2 \cdot 462,9 = 92,6 \text{ квар.} \\ Q_{\varepsilon 2, \text{в}} &= Q_{\min} - Q_{\kappa \partial} = Q_{\min} - (Q_P - Q_{\varepsilon 1}), \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{в}} = 92,6 - (487,4 - 109) = -285,9 \text{ квар;}$$

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

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 92,6 + 0 = 92,6 \text{ квар;}$$

$$Q_{\kappa} = 0.$$

Исходя из повышенного напряжения в часы минимума нагрузок принимаем $Q_{\varepsilon 2} = Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 92,6$ квар.

2. Суммарная мощность КУ:

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot Q_P - Q_{\varepsilon 1}, \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot 487,4 - 109 = 451,7 \text{ квар.}$$

Мощность нерегулируемых КУ:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 92,6 - 92,6 = 0.$$

т.е. все КУ должны быть регулируемыми.

3. Выбираем мощность трансформаторов

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

$$\delta = \frac{\sqrt{389,3^2 + 487,4^2}}{1874} \approx 0,33 \text{ кВА/м}^2 \Rightarrow S_{\text{HT}} = 630 \text{ кВА.}$$

4. Определяем число трансформаторов

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

$$N_T = \frac{384.8}{0,9 \cdot 630} = 0.68$$

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

$$Q_{\text{эп}} = Q_{\text{э1}} - Q_{\text{э}}, \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{эп}} = 109 - (487,4 - 462,9) = 84,5 \text{ квар.}$$

где $Q_{\text{э}}$ -реактивная мощность потребителей 6...10кВ.

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

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

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 630)^2 - 462,9^2} = 416,4 \text{ квар,}$$

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

$$Q_{KVH} = 462,9 - 416,4 = 46,5 < 150 \text{ квар,}$$

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

$$Q_{KVB} = 451,56 - 46,5 = 405,1 < 800 \text{ квар.}$$

Установка БК на стороне 10 кВ нецелесообразна.

Принимаем однострансформаторную КТП с трансформатором типа ТСЗ 1х630/10. 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		
					$S_{ном.т}$	$S_{ном.т}$	$S_{ном.т}$
1	СЦ	0.228	1068.41	2	630	2	1
2	ПКЦ	0.363	3689.71	2	1000	2	2
3 +4	ЦШ Заводоуправ.	0,297 0,049	3164,04 88,98	2 3	1000	2	2
5	МЦ№1	1.003	2126.20	2	1600	2	1
6	МЦ№2	0.317	1636.53	2	1000	2	1
7	ЛЦ№1	0.540	2165.17	2	1600	2	1
8	ЛЦ№2	0.708	3128.58	2	1000	2	2
9	ЛЦ№3	0.667	3819.84	2	1000	2	2
10	РМЦ	0.321	384.80	3	630	1	1
11	Компресс.-насос. станция	0.197	317.76	1	250	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 [12, 13, 14].

Величина рационального напряжения может быть определена по формуле Стилла:

$$U_{РАЦi} = 4.34 \cdot \sqrt{L_i + 0.016 \cdot P_{PI}}, \quad (4.1)$$
$$U_{РАЦi} = 4.34 \cdot \sqrt{7 + 0.016 \cdot 26850} = 90.7 \text{ кВ}$$

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:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + P_{OCB} + \Delta P_{T\Sigma}, \quad (4.2)$$
$$P_{PI} = 20267 + 6354 + 229 = 26850 \text{ кВт}$$

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:

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

$$S_{P\Pi i} = \sqrt{26850^2 + 6175^2} = 27550.8 \text{ кВА}$$

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

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

$$Q_{\text{эс}i} = 26850 \cdot 0.23 = 6175 \text{ квар}$$

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:

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

$$S_{\text{номт}} \approx 0,8 \cdot 27550,8 \cdot \frac{1}{1,4} = 15743 \text{ кВА}$$

Согласно полученному значению полной мощности предприятия принимаем для последующего рассмотрения силовые трансформаторы с $S_{номт}$ равной 16 МВА и двумя смежными классами напряжения 35 и 110 кВ.

Выбираем по каталогу производителя силовые трансформаторы марок: ТДН-16000/35/10 и ТДН-16000/110/10.

4.1 Технико-экономическое обоснование оптимальной номинальной мощности силового трансформатора ГПП

4.1.1 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТДН-16000/35/10.

Технические характеристики силового трансформатора ТДН-16000/35/10 приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Технические характеристики силового трансформатора ТДН-16000/35/10

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-16000/35	16	37	10,5	10	85	17	0.7	12618

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

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

$$\Delta P_x' = 17 + 0,05 \cdot 112 = 22,6 \text{ кВт},$$

где

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

$$\Delta Q_x = 0,7 \cdot 16\,000 / 100 = 112 \text{ квар},$$

$$K_{ин} = 0,05 \text{ кВт/квар}.$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

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

$$\Delta Q_{\kappa} = 10 \cdot 16\,000 / 100 = 1600 \text{ квар},$$

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

$$\Delta P'_{\kappa} = 85 + 0,05 \cdot 1600 = 165 \text{ кВт}.$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

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

$$K_3 = \frac{27.550}{16} = 1.722.$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_3^2 \cdot \Delta P_{\kappa}^{\dot{}}, \quad (4.11)$$

$$P_m^{\dot{}} = 22.6 + 1.722^2 \cdot 165 = 511.8 \text{ кВт}.$$

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

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

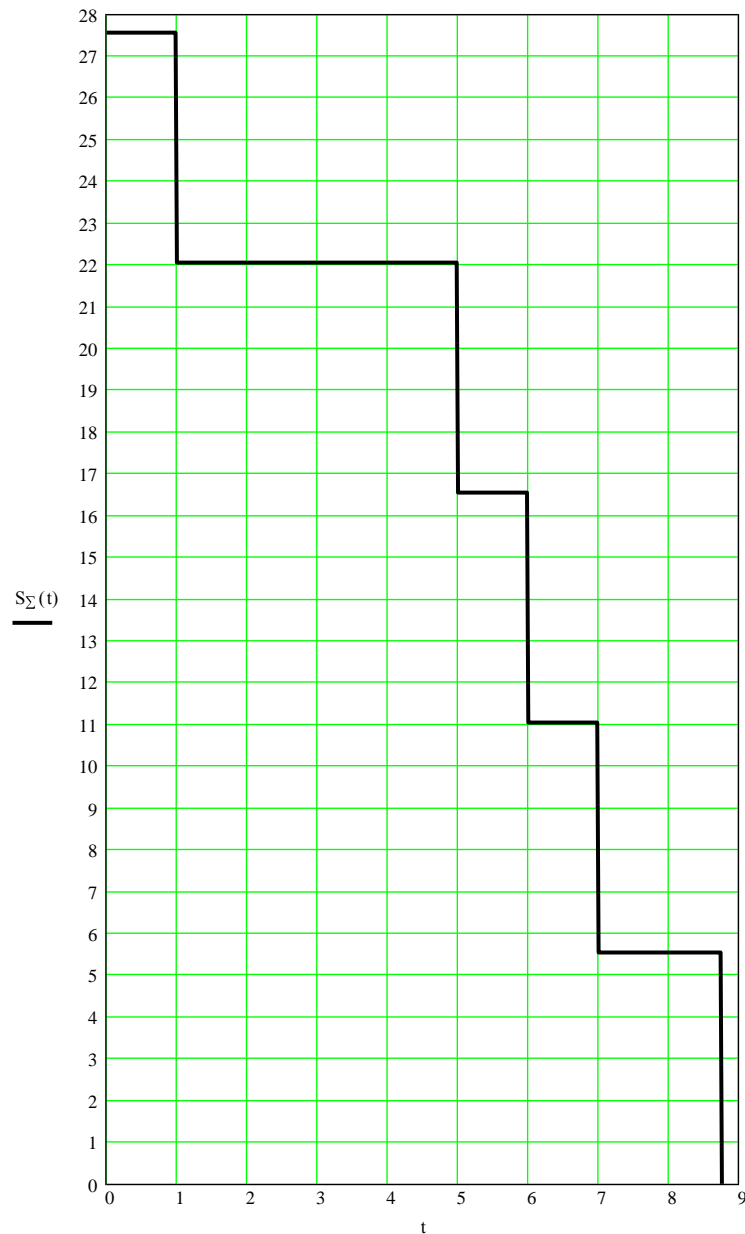


Рисунок 4.1 - Годовой график нагрузки ГПП

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 16000/35/10 заносим в таблицу 4.2.

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

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = \Delta W_{nc} \cdot C_{\vartheta}, \quad (4.13)$$

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = (1015189 + 395952) \cdot 0,74 = 1044 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_3 = 0,74$ руб/кВт·ч - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Таблица 4.2 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 16000/35/10

i	S_{Bi} , МВА	T_i , ч	K_{3Bi}	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	27.55	1000	1.722	244600	45200
2	22.04	4000	1.377	626177	180800
3	16.53	1000	1.033	88056	45200
4	11.02	1000	0.689	39136	45200
5	5.51	1760	0.344	17220	79552
		$\Sigma \Delta W_{кBi} = 1015189$		$\Sigma \Delta W_{xi} = 395952$	

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_3 + I_{\Delta W_{ПЭС}} \quad (4.14)$$

$$Z_{прив} = 0,25 \cdot 25236 + 2372 + 1044 = 9725 \text{ тыс.руб.}$$

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

$K = 2 \cdot 12618 = 25236$ тыс.руб. – стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_3 = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 25236 = 2372$ тыс.руб. – ежегодные отчисления.

4.1.2 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТДН - 16000/110/10.

Технические характеристики силового трансформатора ТДН - 16000/110/10 приведены в таблице 4.3.

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

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

$$\Delta P_x' = 18 + 0,05 \cdot 112 = 23.6 \text{ кВт,}$$

Таблица 4.3 - Технические характеристики силового трансформатора ТДН - 16000/110/10

Марка СТ	$S_{ном}$, МВА	Данные из каталога производителя						Стоимость 1го тр-ра, тыс.руб
		$U_{ном}$, кВ		U_{κ} , %	ΔP_{κ} , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	
		ВН	НН					
ТДН- 16000/110	16	115	10,5	10.5	85	18	0.7	16500

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

$$\Delta Q_x = 0.7 \cdot 16000 / 100 = 23.6 \text{ квар},$$

$$K_{un} = 0,05 \text{ кВт/квар}.$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

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

$$\Delta Q_{\kappa} = 10.5 \cdot 16000 / 100 = 1680 \text{ квар},$$

$$\Delta P_{\kappa}' = \Delta P_{\kappa} + K_{un} \cdot \Delta Q_{\kappa}, \quad (4.18)$$

$$\Delta P_{\kappa}' = 85 + 0,05 \cdot 1680 = 169 \text{ кВт}.$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

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

$$K_3 = \frac{27.550}{16} = 1.722.$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_m^{\wedge} = \Delta P_x^{\wedge} + K_3^2 \cdot \Delta P_{\kappa}^{\wedge}, \quad (4.20)$$

$$P_m = 23.6 + 1.722^2 \cdot 169 = 524.7.$$

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

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

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 16000/110/10 заносим в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 16000/110/10

i	S_{Bi} , МВА	T_i , ч	$K_{зBi}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	27.55	1000	1.722	250530	47200
2	22.04	4000	1.377	641357	188800
3	16.53	1000	1.033	90190	47200
4	11.02	1000	0.689	40084	47200
5	5.51	1760	0.344	17637	83072
		$\Sigma \Delta W_{кBi} = 1039800$		$\Sigma \Delta W_{xi} = 413472$	

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

$$I_{\Delta WПС} = \Delta W_{nc} \cdot C_9, \quad (4.22)$$

$$I_{\Delta WПС} = (1039800 + 413472) \cdot 0,74 = 1075,4 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_9 = 0,74$ руб/кВт·ч - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_э + I_{\Delta WПC} \quad (4.23)$$

$$Z_{прив} = 0,25 \cdot 33000 + 3102 + 1075,4 = 12427,4 \text{ тыс.руб.}$$

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

$K = 2 \cdot 16500 = 33000$ тыс.руб. – стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_э = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 33000 = 3102$ тыс.руб. – ежегодные отчисления.

Выбираем силовые трансформаторы ТДН - 16000/110/10 из соображений дальнейшего роста мощности предприятия и снижения потерь в высоковольтных ЛЭП.

5 Выбор схемы подстанции

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

Подстанции по упрощенным схемам в настоящее время широко применяются для электроснабжения производственных и непроизводственных объектов [1, 15-17]. В зависимости от номинальной мощности трансформаторов подстанции, ее назначения, схемы питания и расстояния от источника питания применяются различные схемы коммутации на первичном напряжении 35-220 кВ.

Схемы тупиковых подстанций, выполненных по схеме блока: радиальная линия - силовой трансформатор являются простыми и не нуждаются в установке отделителей, повреждения в силовых трансформаторах не затрагивают работу других подстанций. Такие схемы могут применяться для трансформаторов любой мощности, но только при радиальном питании, когда каждый трансформатор подключается к отдельной линии.

Схема подстанции, на которой со стороны высокого напряжения нет вообще коммутационных аппаратов. При возникновении повреждения в трансформаторе импульс от срабатывания защиты передается на головной выключатель, установленный в начале питающей линии.

Для ГПП предприятия схему с силовыми выключателями на стороне высшего напряжения. На вторичном напряжении 10 кВ, применяем одиночную секционированную систему шин. Трансформаторы к секциям подключаются через вводные выключатели, секционный выключатель при нормальном режиме работы отключен.

6 Расчет токов короткого замыкания

Для определения токов КЗ требуется составить расчетную схему, которая должна соответствовать нормальному режиму работы системы электроснабжения предприятия. В расчетную схему входят питающие генераторы, силовые трансформаторы, кабельные и воздушные линии электропередачи, реакторы и т.д. По расчетной схеме составляется схема замещения, на которую наносят сопротивления всех элементов, входящих в расчетную схему и определяются точки, в которых необходимо определить токи короткого замыкания.

Генераторы, силовые трансформаторы, высоковольтные линии и короткие участки распределительной сети чаще всего учитываются только в виде индуктивных сопротивлений. При достаточной длине сети в расчетах также учитывают их активные сопротивления, т.к. в удаленных точках КЗ большую роль оказывает снижение ударного коэффициента. Активные сопротивления учитывают, если $r_{\Sigma} > x_{\Sigma}/3$, где r_{Σ} , x_{Σ} – суммарные значения активных и реактивных сопротивлений всех элементов до точки КЗ. В расчетах токов КЗ на стороне ниже 1000В учитываются активные и реактивные сопротивления элементов, при этом высоковольтная часть схемы представляется в виде суммарного индуктивного сопротивления системы x_c .

При трехфазном коротком замыкании особенно велико снижение напряжения вблизи КЗ, поскольку в таком случае все три фазы находятся в одинаковых условиях [18-20].

Составляем расчетную схему для определения токов КЗ и схему замещения (рисунок 6.1).

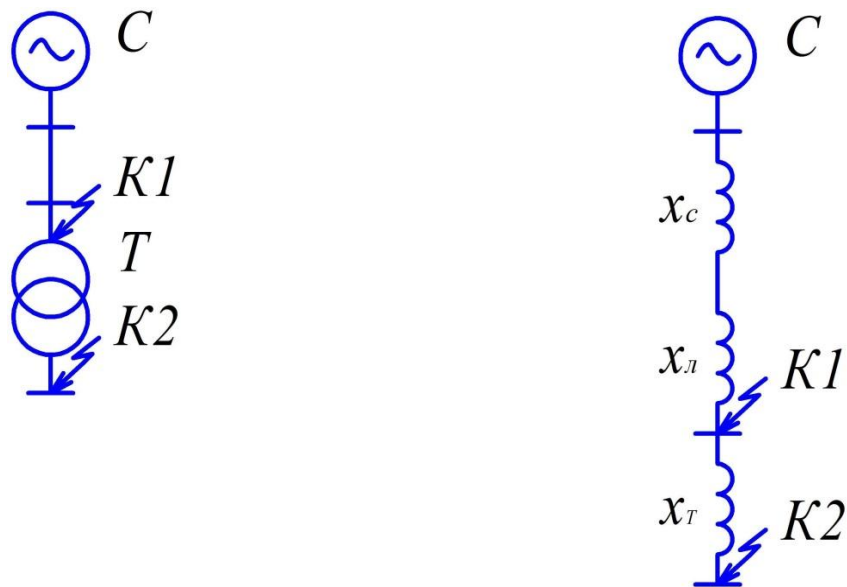


Рисунок 6.1 - Расчётная схема и схема замещения для определения токов КЗ

Исходные данные для расчета токов КЗ:

Параметры системы: $U_{cp} = 115$ кВ; $S_{\sigma} = 1000$ МВА; $S_{\kappa} = 2500$ МВА.

Параметры линии: $x_{y\delta} = 0,4$ Ом/км; $L = 23$ км.

Параметры силового трансформатора: $S_H = 16$ МВА; $U_{\kappa} = 10,5$ %.

Найдем сопротивление системы:

$$x_{c.\delta} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}}; \quad (6.1)$$

$$x_{c.\delta} = \frac{1000}{2500} = 0.4.$$

Найдем сопротивление воздушной линии:

$$x_{ВЛ.\delta} = \frac{x_{y\delta}}{2} \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{сн}^2}; \quad (6.2)$$

$$x_{ВЛ.\delta} = \frac{0.4}{2} \cdot 23 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.348.$$

Найдем сопротивление силового трансформатора:

$$x_{T.\bar{\sigma}} = \frac{U_{\kappa, \%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_n}; \quad (6.3)$$

$$x_{T.\bar{\sigma}} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 6.563.$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К1:

$$x_{рез1} = x_{c.\bar{\sigma}} + x_{БЛ.\bar{\sigma}}; \quad (6.4)$$

$$x_{рез1} = 0.4 + 0.348 = 0.748.$$

Найдем базисный ток в точке К1:

$$I_{\bar{\sigma}.к1} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (6.5)$$

$$I_{\bar{\sigma}.к1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5.02 \text{ кА};$$

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

$$I_{к1}^{\text{н}} = \frac{E_{\bar{\sigma}}}{x_{рез1}} \cdot I_{\bar{\sigma}}; \quad (6.6)$$

$$I_{к1}^3 = \frac{1}{0.748} \cdot 5.02 = 6.713 \text{ кА};$$

Найдем ударный ток КЗ в точке К1:

$$i_{y\delta.k1} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^3 \cdot K_{y\delta}; \quad (6.7)$$

$$i_{y\delta.k1} = \sqrt{2} \cdot 6.713 \cdot 1.8 = 17.089 \text{ кА.}$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К2:

$$x_{pez2} = x_{pez1} + x_{T,\delta}; \quad (6.8)$$

$$x_{pez2} = 0.748 + 6.563 = 7.31.$$

Найдем базисный ток в точке К2:

$$I_{\delta.k2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{ch}}; \quad (6.9)$$

$$I_{\delta.k2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 54.986 \text{ кА;}$$

Найдем начальное действующее значение тока трехфазного тока К3 в точке К2:

$$I_{\kappa2}^3 = \frac{E_{\delta}}{x_{pez2}} \cdot I_{\delta.k2}; \quad (6.10)$$

$$I_{\kappa2}^3 = \frac{1}{7.310} \cdot 54.986 = 7.522 \text{ кА;}$$

Найдем ударный ток К3 в точке К2:

$$i_{y\delta.k2} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^3 \cdot K_{y\delta}; \quad (6.11)$$

$$i_{y\delta.k2} = \sqrt{2} \cdot 7.522 \cdot 1.92 = 20.423 \text{ кА.}$$

Полученные результаты сведем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты расчетов токов КЗ

	$U_{сн}, \text{кВ}$	$K_{уд}$	$I_{к}, \text{кА}$	$i_{уд}, \text{кА}$
К1	115	1.8	6.7	17.1
К2	10.5	1.92	7.5	20.4

7 Расчет и выбор электрического оборудования и проводников

7.1 Выбор электрического оборудования на стороне высокого напряжения 110 кВ

7.1.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне 110 кВ предварительно выбираем высоковольтный выключатель ВГБ-110А.

Высоковольтный выключатель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.1)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.2)$$
$$112 \text{ А} < 2000 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.3)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 112 \text{ А};$$

- по отключающей способности:

$$I_{к1} \leq I_{откл.н}, \quad (7.4)$$
$$6.7 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.H.}, \quad (7.5)$$

$$5.5 \text{ кА} \leq 28.3 \text{ кА},$$

где

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (7.6)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 6.7 \cdot e^{\frac{-0.055}{0.1}} = 5.5 \text{ кА},$$

$$i_{a.H.} = \sqrt{2} \cdot \beta_H / 100 \cdot I_{откл.H.}, \quad (7.7)$$

$$i_{a.H.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{50}{100} \right) \cdot 40 = 28.3 \text{ кА},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$I_{к1} \leq I_{пр.с}, \quad (7.8)$$

$$6.7 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА};$$

$$i_{y0} \leq i_{пр.с}, \quad (7.9)$$

$$17.1 \text{ кА} \leq 138 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.10)$$

$$9.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 168 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Выбранный высоковольтный выключатель ВГБ-110А прошел проверку.

7.1.2 Выбор разъединителя

Разъединитель выбирается и проверяется по тем же параметрам, что и высоковольтный выключатель, за исключением отключающей способности.

Предварительно выбираем разъединитель типа РДЗ - 2 - 110/1000 УХЛ1.

Разъединитель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.11)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.12)$$
$$112 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$i_{yd} \leq i_{np.c}, \quad (7.13)$$
$$17.1 \text{ кА} \leq 63 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{np.c}^2 \cdot t_{np.c}, \quad (7.14)$$
$$9.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 42 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный разъединитель РДЗ - 2 - 110/1000 УХЛ1 прошел проверку.

8.1.3 Выбор трансформатора тока

На стороне 110 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТФЗМ-110У1-200-0,5.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.15)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{H.TT}, \quad (7.16)$$
$$112 \text{ А} \leq 200 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (7.17)$$
$$17.1 \text{ кА} \leq 60 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.18)$$
$$9.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 262.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (7.19)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{np} + R_k, \quad (7.20)$$

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 является амперметр с максимальной мощностью 0.1 ВА. Найдем сопротивление прибора:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (7.21)$$

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

Тогда допустимое сопротивление проводов:

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

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

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}}, \quad (7.22)$$

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

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 ТФЗМ-110У1-200-0,5 прошел проверку.

7.1.4 Выбор гибких шин

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

Найдем сечение проводов:

$$s = \frac{I_{\max}}{j_9}; \quad (7.23)$$

$$s = \frac{112}{1} = 112 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод типа АС-120/19 мм² с длительно допустимым током провода 390 А.

Найдем максимальное значение критической напряженности электрического поля:

$$E_0 = 30.3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{r_0}} \right); \quad (7.24)$$

$$E_0 = 30.3 \cdot 0.82 \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{0.76}} \right) = 33.4 \text{ кВ/м.}$$

Найдем напряженность около провода:

$$E = \frac{0.354 \cdot U_n}{r_0 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot D}{r_0}}; \quad (7.25)$$

$$E = \frac{0.354 \cdot 115}{0.76 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot 300}{0.76}} = 19.9 \text{ кВ/м.}$$

Условие отсутствия короны:

$$1.07E \leq 0.9E_0; \quad (7.26)$$

$$21.3 \text{ кВ/м} < 30 \text{ кВ/м.}$$

Провод АС-120/19 прошел проверку.

7.2 Выбор электрического оборудования на стороне низкого напряжения 10 кВ

7.2.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне 10 кВ предварительно выбираем высоковольтный выключатель VF-12.12.16.

Высоковольтный выключатель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.27)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.28)$$

$$1232 \text{ А} < 1250 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.29)$$

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 1232 \text{ А};$$

- по отключающей способности:

$$I_{кл} \leq I_{откл.н}, \quad (7.30)$$

$$7.5 \text{ кА} \leq 16 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.н}, \quad (7.31)$$

$$3.5 \text{ кА} \leq 6.8 \text{ кА},$$

где

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (7.32)$$

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot 7.5 \cdot e^{\frac{-0.11}{0.1}} = 3.5 \text{ кА},$$

$$i_{a.н.} = \sqrt{2} \cdot \beta_n / 100 \cdot I_{откл.н.}, \quad (7.33)$$

$$i_{a.н.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{30}{100} \right) \cdot 16 = 6.8 \text{ кА},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$I_{к1} \leq I_{нр.с.}, \quad (7.34)$$

$$7.5 \text{ кА} \leq 16 \text{ кА};$$

$$i_{уд} \leq i_{нр.с.}, \quad (7.35)$$

$$20.4 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл.}, \quad (7.36)$$

$$14.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный высоковольтный выключатель VF-12.12.16 прошел проверку.

7.2.2 Выбор трансформатора тока

На стороне 10 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТЛК-10-1500/5 УЗ.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.37)$$
$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{H.TT}, \quad (7.38)$$
$$1232 \text{ А} \leq 1500 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (7.39)$$
$$20.4 \text{ кА} \leq 81 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.40)$$
$$14.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 158.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (7.41)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{np} + R_k, \quad (7.42)$$

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 ВА. Найдем сопротивление прибора:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (7.43)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{6}{5^2} = 0.24 \text{ Ом}.$$

Тогда допустимое сопротивление проводов:

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

$$R_{\text{пр}} = 1.2 - 0.24 - 0.1 = 0.86 \text{ Ом}.$$

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}}, \quad (7.44)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 40}{0.86} = 0.814 \text{ мм}^2.$$

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 ТЛК-10-1500/5 У3 прошел проверку.

Аналогичным образом выбираем и проверяем трансформаторы тока на отходящих линиях.

7.2.3 Выбор трансформатора напряжения

Измерительный трансформатор напряжения выбираем по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.45)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по классу точности;

- по величине вторичной нагрузки:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (7.46)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cos \phi)^2 + (\sum S_{приб} \sin \phi)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}. \quad (7.47)$$

На стороне 10 кВ выбираем трансформатор напряжения ЗНОЛ.09-10.02 УЗ с классом точности 0.5. В комплекте с ТН идет предохранитель ПКТ-101-10. К ТН подключается вольтметр и счетчики активной и реактивной электроэнергии с суммарной потребляемой мощностью 84 Вт и 190 вар.

Тогда:

$$207.7 \text{ ВА} \leq 225 \text{ ВА}.$$

Выбранный трансформатор напряжения ЗНОЛ.09-10.02 УЗ прошел проверку.

7.2.4 Выбор жестких шин

Выбираем жесткие шины по экономической плотности тока:

$$s = \frac{I_{\max}}{j_s}; \quad (7.48)$$

$$s = \frac{880}{1} = 880 \text{ мм}^2.$$

Выбираем алюминиевые прямоугольные шины сечением 100x10 мм, с длительно допустимым током 1820 А.

Найдем минимально допустимое сечение шины по термической стойкости:

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{B_K} \cdot 10^3}{C_T}, \quad (7.49)$$

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{14.6} \cdot 10^3}{66} = 57.9 \text{ мм}^2.$$

Найдем максимальную силу, действующую на проводники при трехфазном КЗ:

$$F_{\max}^3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} \cdot l \cdot i_{y0}^2 \cdot K_{\phi} \cdot K_p, \quad (7.50)$$

$$F_{\max}^3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{1} \cdot 1 \cdot 20400^2 \cdot 1 \cdot 1 = 72.1 \text{ Н}.$$

Найдем момент сопротивления поперечного сечения шины:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (7.51)$$

$$W = \frac{0.01 \cdot 0.1^2}{6} = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Определим максимальное напряжение в материале шины:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}^3 \cdot l}{\lambda \cdot W}, \quad (7.52)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{72.1 \cdot 1}{8 \cdot 1.7 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^{-6} = 0.5 \text{ МПа}.$$

Условие проверки на электродинамическую стойкость:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}}, \quad (7.53)$$

$$0.5 \text{ МПа} \leq 247.1 \text{ МПа},$$

где

$$\sigma_{\text{доп}} = 0.7 \cdot \sigma_p, \quad (7.54)$$

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

Определим момент инерции поперечного сечения шины:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (7.55)$$

$$J = \frac{0.01 \cdot 0.1^3}{12} = 8.3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Определим частоту собственных колебаний:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2 \cdot \pi \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}}; \quad (7.56)$$

$$f_0 = \frac{3.14^2}{2 \cdot \pi \cdot 1^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 8.3 \cdot 10^{-7}}{2.5}} = 239.8 \text{ Гц}.$$

Т.к. частота собственных колебаний больше 200 Гц, то механический резонанс не появляется.

7.2.5 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:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.57)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по максимально допустимой нагрузке на головку изолятора:

$$F_{\max} \leq F_{доп}, \quad (7.58)$$

$$72.1 \text{ Н} < 1500 \text{ Н},$$

где

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разруш} \cdot \frac{H_u}{H}, \quad (7.59)$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 3750 \cdot \frac{0.12}{0.18} = 1500 \text{ Н}.$$

где

$$H = H_u + b + \frac{h}{2}, \quad (7.60)$$

$$H = 0.12 + 0.01 + \frac{0.1}{2} = 0.18.$$

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

7.2.6 Выбор проходных изоляторов

Выбираем проходной изолятор типа ИП-10/1600-7,5 УХЛ2.

Проходные изоляторы выбираем и проверяем по параметрам:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.61)$$
$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.62)$$
$$1232 \text{ А} < 1600 \text{ А};$$

- по максимально допустимой нагрузке на головку изолятора:

$$F_{расч} \leq 0.6 \cdot F_{разр}, \quad (7.63)$$
$$20.8 \text{ Н} < 4500 \text{ Н},$$

где

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{i_{уд}^2}{a} \cdot l_{из} \cdot 10^{-7}, \quad (7.64)$$
$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{20400^2}{1} \cdot 1 \cdot 10^{-7} = 20.8.$$

Проходной изолятор ИП-10/1600-7,5 УХЛ2 прошел проверку.

8 Расчет заземления подстанции

Основной характеристикой электробезопасности является предельно допустимое значение напряжения прикосновения которое должно быть обеспечено при всех условиях эксплуатации объекта [21].

При разработке заземляющих устройств необходимо обеспечить:

- защиту естественных заземлителей и коммуникаций от их повреждения при протекании токов в аварийном режиме;

- взрыво- и пожаробезопасность установок, оборудования и сооружений путем недопущения перегрева ЗУ, появления электрической дуги и искр;

- надежное срабатывание релейных защит при замыканиях на землю.

Надежность обеспечения функций заземляющего устройства достигается выполнением нормируемых параметров ЗУ.

При времени отключения тока КЗ $\tau = 0.11$ с наибольшее допустимое напряжение прикосновения составляет $U_{np.\dot{\omega}on} = 500$ В.

Найдем напряжение на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{np.\dot{\omega}on}}{\kappa_{II}}, \quad (8.1)$$

$$U_3 = \frac{500}{0.27} = 1854 \text{ В,}$$

где коэффициент напряжения прикосновения:

$$\kappa_{II} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_6 L_2}{a\sqrt{S}}\right)^{0.45}}, \quad (8.2)$$

$$\kappa_{II} = \frac{0.5 \cdot 0.94}{\left(\frac{5 \cdot 310}{10 \cdot \sqrt{2000}}\right)^{0.45}} = 0.27,$$

коэффициент, зависящий от сопротивления тела человека:

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + 1.5\rho_{г.с}}, \quad (8.3)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1.5 \cdot 40} = 0.94.$$

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

Сопротивление ЗУ должно соответствовать неравенству:

$$R_3 < R_{3.дон}. \quad (8.4)$$

Найдем число ячеек по стороне расчетной модели заземлителя:

$$m = \frac{L_2}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1, \quad (8.5)$$

$$m = \frac{310}{2 \cdot \sqrt{2000}} - 1 \approx 2.$$

Найдем длину полос в расчетной модели:

$$L'_2 = 2\sqrt{S}(m+1), \quad (8.6)$$

$$L'_2 = 2\sqrt{2000} \cdot (2+1) = 268.3 \text{ м.}$$

Найдем длину сторон ячейки:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \quad (8.7)$$

$$b = \frac{\sqrt{2000}}{2} = 22.4 \text{ м.}$$

Найдем количество вертикальных заземлителей по периметру контура:

$$n_{\text{г}} = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_{\text{г}}}, \quad (8.8)$$

$$n_{\text{г}} = \frac{\sqrt{2000} \cdot 4}{1 \cdot 5} \approx 36.$$

Найдем суммарную длину вертикальных заземлителей:

$$L_{\text{г}} = l_{\text{г}} \cdot n_{\text{г}}, \quad (8.9)$$

$$L_{\text{г}} = 5 \cdot 36 = 180 \text{ м.}$$

Найдем относительную глубину погружения вертикальных электродов:

$$\frac{l_{\text{в}} + t}{\sqrt{S}}, \quad (8.10)$$

$$\frac{5 + 0.7}{\sqrt{2000}} = 0.127.$$

Найдем суммарное сопротивление сложного заземлителя:

$$R_{\text{з}} = A \frac{\rho_{\text{з}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{з}}}{L_{\text{г}} + L_{\text{г}}}, \quad (8.11)$$

$$R_{\text{з}} = 0.337 \cdot \frac{40}{\sqrt{2000}} + \frac{40}{310 + 180} = 0.38 \text{ Ом,}$$

где

$$A = \left(0.444 - 0.84 \frac{l_e + t}{\sqrt{S}} \right), \quad (8.12)$$

$$A = 0.444 - 0.84 \cdot 0.127 = 0.337;$$

Суммарное сопротивление сложного заземлителя R_3 меньше допустимого сопротивления $R_{3,доп}$ $0.38 < 0.5$ Ом.

Заключение

В выпускной квалификационной работе бакалавра определена силовая электрическая нагрузка и нагрузка освещения завода по выпуску снегоуборочной техники. Суммарная расчётная нагрузка составила $S_p = 27551$ кВА.

Выбраны мощности цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности. Всего к установке на предприятии принято 14 КТП с силовыми трансформаторами мощностью от 250 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-16000/110/10.

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

Произведен расчет заземления главной понизительной подстанции.

Список использованных источников

1. Сивков, А.А. Основы электроснабжения. Учебное пособие / А.А. Сивков, Д.Ю. Герасимов, А.С. Сайгаш – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012.
2. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы 6 и 7 издания с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2015 г. - 7-е изд., Литтерра, 2015.
3. Стрельников, Н.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013.
4. Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учеб. пособие / В.Б. Шлейников, Т.В. Сазонова. - Оренбург : ОГУ, 2012.
5. Официальный сайт завода по производству снегоуборочной техники. URL: <http://www.zavodsa.ru/> (дата обращения: 04.05.2017).
6. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения. Электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко - Тольятти: ТГУ, 2016.
7. Электроснабжение: методические указания к курсовой работе для студентов очной и очно-заочной форм обучения / сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2013.
8. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет; сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.
9. 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.
10. Zhang, B. A local control approach to voltage regulation in distribution networks / B. Zhang, A. D. Dominguez-Garcia, D. Tse. - Proc. North Amer. Power Symp. (NAPS), 2013.

11. Dall'Anese, E. Sparsity-leveraging reconfiguration of smart distribution systems / E. Dall'Anese, G. B. Giannakis. - IEEE Trans. Power Del., vol. 29, no. 3, pp. 1417-1426, 2014.
12. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учеб. пособие / В.Я. Ушаков ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2014.
13. Ковалев, И.Н. Электроэнергетические системы и сети: учебник / И. Н. Ковалев. - Москва: Учеб.-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015.
14. Meier, A. von. Electric power systems: a conceptual introduction / A. von Meier. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.
15. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Учебное пособие / Г.Н. Ополева – Москва: Инфра-М, 2017.
16. 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.
17. Whitaker, J.C. AC power systems / J.C. Whitaker. - 4rd ed. – California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014.
18. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет; сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.
19. IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 551. – NY: IEEE, 2013.
20. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промпредприятий и установок. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум, 2015.
21. Борисов, Р. К. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник / Р. К. Борисов, А. В. Горшков, Ю. В. Жарков - Москва: МЭИ, 2013.