

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция электроснабжения механического завода

Обучающийся

М. О. Назаров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М. Н. Третьякова

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

Консультант

к.п.н., доцент, Т. С. Якушева

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

Тольятти 2023

Аннотация

Тема ВКР: «Реконструкция электроснабжения механического завода».

ВКР включает в себя расчет электрических нагрузок:

- цехов обработки металла и производств металлических изделий;
- складов металлических изделий и хранения конструкций;
- сборочных и сварочных цехов;
- вспомогательных сооружений;
- освещения.

Расчет нагрузок в ВКР является необходимой частью выбора силовых трансформаторов и компенсирующих устройств.

Следующим этапом рассчитаны и выбраны силовые трансформаторы, вычислены токи короткого замыкания (ТКЗ).

Для выбора электрооборудования КТП рассчитаны ТКЗ, термической и электродинамической стойкостей. По расчетным токам электроприемников выбраны питающие кабельные линии.

Заключительным этапом ВКР является расчет заземления и молниезащиты.

Abstract

Topic of the WRC: "Reconstruction of the power supply of a mechanical plant."

WRC includes the calculation of electrical loads:

- metal processing shops and production of metal products;
- warehouses for metal products and storage of structures;
- assembly and welding shops;
- auxiliary facilities;
- lighting.

The calculation of loads in WRC is a necessary part of the selection of power transformers and compensating devices.

The next step is calculated and selected power transformers, calculated short-circuit currents.

To select the electrical equipment of the PTS, the TKZ, thermal and electrodynamic resistances are calculated. According to the estimated currents of electrical receivers, the supply cable lines are selected.

The final stage of WRC is the calculation of grounding and lightning protection.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по механическому заводу.....	6
2 Расчет электрических нагрузок	7
3 Расчет освещения	14
4 Перерасчет мощности ТП после реконструкции системы электроснабжения	18
5 Выбор схемы электроснабжения предприятия	25
6 Расчет токов короткого замыкания	34
7 Выбор основного электрооборудования и его проверка	42
8 Расчет заземления и молниезащиты.....	44
Заключение	48
Список используемых источников.....	49

Введение

Механические заводы играют важную роль в промышленности, поскольку предприятия данной сферы производят:

- товары хозяйственно-бытового назначения;
- оборудование машиностроительной отрасли;
- продукцию оборонно-промышленного комплекса;
- оборудование добывающей и горно-обогатительной промышленности;
- технологические установки нефтяной и химической промышленности.

В связи с вышесказанным, механические заводы играют весомую роль в промышленности нашей страны. Распределение электроэнергии к приемникам осуществляется при помощи электросетей.

«Электрические сети предприятий должны обеспечивать:

- надежность электроснабжения;
- качество передаваемой электроэнергии как вида продукции;
- безопасность электротехнического и неэлектротехнического персонала при эксплуатации сетей и электроустановок;
- Экономичность, т.е. снижение затрат при сооружении и эксплуатации сетей и установок;
- Изменение конфигурации сетей в связи с изменением технологии производства;
- Снижение потерь электроэнергии в сетях;
- Экологичность, т.е. отсутствие вредного влияния на окружающую среду» [21].

Исходными данными являются:

- план предприятия с уже возведенными цехами, которые были запитаны по радиальной схеме с использованием 7 ТП в составе которых установлены трансформаторы ТМ 1000 10/0,4;

– нагрузки цехов и отделений механического завода.

Целью ВКР является повышение надежности электроснабжения электроприёмников механического завода за счет реконструкции системы электроснабжения.

Для того, чтобы достичь поставленную цель необходимо решить несколько задач:

- провести перерасчет электрических нагрузок, учитывая актуальный перечень электрооборудования и установок;
- рассчитать освещение внутри производственных помещений с использованием актуальных каталогов светильников;
- выбрать силовые трансформаторы для электроснабжения потребителей механического завода;
- вычислить токи КЗ;
- выбрать оборудование ТП, кабельные линии для питания потребителей механического завода;
- провести расчет заземления и молниезащиты.

1 Анализ исходных данных по механическому заводу

Механический завода включает в себя цеха:

- литейный,
- металлоконструкций и оборудования,
- механической сборки,
- обработки,
- кузнечно-термический,
- сварочный,
- закалки и термообработки,
- станочные (три цеха различных назначений),

К вспомогательным зданиям и сооружениям механического завода относятся:

- склады и хранилища,
- насосное отделение,
- лаборатория и помещения технических испытаний,
- административный корпус и заводоуправление,
- ремонтный участок.

Предприятие относится к машиностроительной отрасли. Механический завод занимается производством башенных кранов, горнодобывающего оборудования и оснастки, выполняет отдельные заказы по производству металлоконструкций и крупного машиностроительного оборудования.

На предприятии производятся металлоконструкции для различных областей промышленности: фермы, арки, мачты, эстакады, арматура для возведения зданий, ограждения, трубы, балки.

Выводы по разделу

Для выполнения производственных задач необходимы станки, подъемные механизмы, сварочные установки, нагревательное оборудование, а также вспомогательное оборудование для функционирования инженерных сетей механического завода.

2 Расчет электрических нагрузок

Проведем расчет электрических нагрузок с помощью метода расчетных коэффициентов для механического завода с учетом монтажа нового оборудования.

Электроприемники с одинаковыми $K_{И}$ и tgj , номинальными мощностями объединяются в группы [17].

«При наличии в справочных материалах интервальных значений $K_{И}$ следует для расчета принимать наибольшее значение. Значения $K_{И}$ должны быть определены из условия, что вероятность превышения фактической средней мощности над расчетной для характерной категории ЭП должна быть не более 0,05» [6],[17].

«Для группы, состоящей из ЭП различных категорий (т. е. с разными $K_{И}$), определяется средневзвешенный коэффициент использования:

$$K_{И} = \frac{\sum_1^n K_{И} \cdot P_{Н}}{\sum_1^n P_{Н}} \quad (1)$$

где n – число характерных категорий ЭП, входящих в данную группу» [17].

«Эффективное число электроприемников:

$$n_{Э} = \frac{(\sum P_{Н})^2}{\sum n p_{Н}^2} \quad (2)$$

Расчетное значение эффективного числа электроприемников округляется до ближайшего меньшего целого числа» [25].

«В зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников определяется коэффициент расчетной нагрузки $K_{р}$ » [17]. Коэффициент расчетной мощности необходим для нахождения расчетной активной мощности (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет цеховых нагрузок механического завода

№ потр по ГП	Потребитель	n	P_{min}	P_{max}	P_H	$K_{И}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{И}\cdot P_H$	$K_{И}\cdot P_H\cdot tg\varphi$	$n_{Э}$	K_P	$P_{расч}$	$Q_{расч}$	$S_{расч}$	$I_{расч}$
			кВт	кВт	кВт	–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
1	Воздухоразделительная установка	11	11	27	165	0,32	0,56	1,48	52,8	78,14	–	–	–	–	–	–
	Газификационная установка	8	3	9	36	0,62	0,84	0,65	22,32	14,51	–	–	–	–	–	–
	Установка подачи газов	7	3	9	32	0,58	0,89	0,51	18,56	9,47	–	–	–	–	–	–
	Цех производства технических газов	26	–	–	233	0,40	0,68	1,09	93,68	102,12	23	1	93,68	102,12	138,58	211
2	Склад листового проката	19	3	11	95	0,71	0,78	0,8	67,45	53,96	19	1	67,45	53,96	86,38	131
3	Смесеприготовительная установка	10	4	31	108	0,12	0,52	1,64	12,96	21,25	–	–	–	–	–	–
	Формовочное оборудование	31	3	37	357	0,62	0,82	0,7	221,34	154,94	–	–	–	–	–	–
	Литейный цех	41	–	–	465	0,50	0,80	0,75	234,3	176,19	17	1	234,3	176,19	293,15	445
4	Консольно-поворотный кран	19	7	86	508	0,17	0,51	1,69	67,5	114,75	–	–	–	–	–	–
	Электрическая таль	26	8	16	260	0,83	0,72	0,96	100	90	–	–	–	–	–	–
	Цех металлоконструкций и оборудования	45	–	–	768	0,22	0,63	1,22	167,5	204,75	35	1	167,5	204,75	264,54	402

Продолжение таблицы 1

№ потр по ГП	Потребитель	n	P_{min}	P_{max}	P_H	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_H$	$K_{и} \cdot P_H \cdot tg\varphi$	nЭ	KР	$P_{расч}$	$Q_{расч}$	$S_{расч}$	$I_{расч}$
			кВт	кВт	кВт	–	–	–	кВт	квар			–	–	кВт	квар
5	Оборудование автоматической линии	12	3	18	81	0,22	0,59	1,37	17,82	24,41	–	–	–	–	–	–
	Оборудование фронтального и горизонтального перемещения	29	6	13	225	0,59	0,79	0,78	132,75	103,55	–	–	–	–	–	–
	Цех механической сборки	41	–	–	306	0,49	0,76	0,85	150,57	127,96	12	1	150,57	127,96	197,6	300
6	Тельфер	6	3	24	50	0,32	0,48	1,83	16	29,28	–	–	–	–	–	–
	Шлифовальный станок	22	13	103	781	0,72	0,71	0,99	562,32	556,7	–	–	–	–	–	–
	Цех обработки	28	–	–	831	0,70	0,70	1,01	578,32	585,98	39	1	578,32	585,98	823,3	1251
7	Кузнечно-прессовый станок	28	5	108	861	0,18	0,53	1,6	154,98	247,97	–	–	–	–	–	–
	Штамповочный пресс	58	8	52	1102	0,66	0,82	0,7	727,32	509,12	–	–	–	–	–	–
	Кузнечно-термическое отделение	86	–	–	1963	0,45	0,76	0,86	882,3	757,09	43	1	882,3	757,09	1162,6	1766

Продолжение таблицы 1

№ потр по ГП	Потребитель	n	P_{min}	P_{max}	P_H	$K_{И}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{И} \cdot P_H$	$K_{И} \cdot P_H \cdot tg\varphi$	$n_{Э}$	K_P	$P_{расч}$	$Q_{расч}$	$S_{расч}$	$I_{расч}$
			кВт	кВт	кВт	–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
8	Аппарат контактной точечной сварки	94	8	182	4841	0,39	0,68	1,08	1887,99	2039,03	–	–	–	–	–	–
	Компрессор	59	6	66	1239	0,82	0,82	0,7	1015,98	711,19	–	–	–	–	–	–
	Сварочный цех	153	–	–	6080	0,48	0,73	0,95	2903,97	2750,22	69	1	2903,97	2750,22	3999,59	6077
9	Оборудование закалки	88	7	108	2838	0,22	0,47	1,88	624,36	1173,8	–	–	–	–	–	–
	Печь сопротивления	148	7	27	1776	0,73	0,78	0,8	1296,48	1037,18	–	–	–	–	–	–
	Цех закалки и термообработки	236	–	–	4614	0,42	0,66	1,15	1920,84	2210,98	41	1	1920,84	2210,98	2928,83	4450
10	Универсальный станок	96	4	120	3168	0,23	0,55	1,52	728,64	1107,53	–	–	–	–	–	–
	Токарный станок	141	6	54	2538	0,67	0,82	0,7	1700,46	1190,32	–	–	–	–	–	–
	Станочный цех №1	237	–	–	5706	0,43	0,73	0,95	2429,1	2297,85	49	1	2429,1	2297,85	3343,75	5080

Продолжение таблицы 1

№ потр по ГП	Потребитель	n	P_{min}	P_{max}	P_H	$K_{И}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{И}\cdot P_H$	$K_{И}\cdot P_H\cdot tg\varphi$	$n_{Э}$	K_P	$P_{расч}$	$Q_{расч}$	$S_{расч}$	$I_{расч}$
			кВт	кВт	кВт	–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
11	Сверлильный станок	32	6	82	800	0,32	0,64	1,2	256	307,2	–	–	–	–	–	–
	Расточный станок	59	4	48	885	0,77	0,78	0,8	681,45	545,16	–	–	–	–	–	–
	Хонинговальный станок	72	6	98	2088	0,73	0,76	0,86	1524,24	1310,85	–	–	–	–	–	–
	Станочный цех №2	163	–	–	3773	0,65	0,75	0,88	2461,69	2163,21	62	1	2461,69	2163,21	3277,1	4979
12	Зубообрабатывающий станок	13	6	34	169	0,22	0,63	1,23	37,18	45,73	–	–	–	–	–	–
	Резьбообрабатывающий станок	4	2	3	9	0,67	0,82	0,7	6,03	4,22	–	–	–	–	–	–
	Станочный цех №3	17	–	–	178	0,24	0,65	1,16	43,21	49,95	14	1,16	50,12	57,94	76,61	116
13	Насосное отделение	36	4	64	684	0,52	0,52	1,64	355,68	583,32	36	1	355,68	583,32	683,21	1038
14	Отделение проведения испытаний и технической оценки изделий	12	3	9	54	0,73	0,78	0,8	39,42	31,54	12	1	39,42	31,54	50,48	77

Продолжение таблицы 1

№ потр по ГП	Потребитель	n	P_{min}	P_{max}	P_H	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_H$	$K_{и} \cdot P_H \cdot tg\varphi$	$nЭ$	K_P	$P_{расч}$	$Q_{расч}$	$S_{расч}$	$I_{расч}$
			кВт	кВт	кВт	–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
15	Вычислительная установка и компьютерное оборудование	4	3	9	18	0,73	0,47	1,88	13,14	24,7	–	–	–	–	–	–
	Установка для проведения испытаний	18	3	7	72	0,58	0,72	0,96	41,76	40,09	–	–	–	–	–	–
	Лаборатория неразрушающего контроля	22	–	–	90	0,61	0,65	1,18	54,9	64,79	5	1	54,9	64,79	84,92	129
16	Розеточная сеть и оргтехника	17	3	13	94	0,32	0,47	1,88	30,08	56,55	–	–	–	–	–	–
	Оборудование систем вентиляции и кондиционирования	25	4	11	144	0,57	0,86	0,59	82,08	48,43	–	–	–	–	–	–
	Административный корпус	42	–	–	238	0,47	0,73	0,94	112,16	104,98	10	1	112,16	104,98	153,63	233
17	Мостовой кран	15	3	25	128	0,22	0,63	1,23	28,16	34,64	–	–	–	–	–	–
	Электроинструмент	9	3	8	38	0,67	0,82	0,7	25,46	17,82	–	–	–	–	–	–
	Ремонтный участок	24	–	–	166	0,32	0,71	0,98	53,62	52,46	12	1	53,62	52,46	75,01	114
	ИТОГО	1228	1	372	26244				12549	12317	–	–	12556	12325	17639	26800

«Расчетная активная мощность:

$$P_p = K_p \sum K_{И} P_{Н}, \quad (3)$$

где K_p – коэффициент расчетной мощности;

$K_{И}$ – коэффициент использования;

$P_{Н}$ – номинальная мощность, кВт» [17].

«По полученному для каждой группы электроприемников значению P_p определяется реактивная нагрузка:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников» [17].

«Для питающих сетей напряжением до 1 кВ при $n_{Э} \leq 10$, значение расчетной реактивной мощности необходимо умножить на коэффициент 1,1 (п.3.2.8.1)» [17].

Полная нагрузка:

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2} \quad (5)$$

Расчетный ток:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} U_{Н}} \quad (6)$$

Выводы по разделу

Суммарная расчетная полная мощность механического завода без учета освещения равна 17639 кВА.

3 Расчет освещения

При анализе системы освещения механического завода было выявлено, что для освещения предприятия используются светильники с общей нагрузкой в 2400 кВт.

В основном освещение составляют люминисцентные светильники и ДРЛ.

«Нагрузку освещения механического завода рассчитаем по методу удельной мощности:

$$P_0 = F_0 \cdot \gamma \cdot K_c \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где F_0 – площадь освещения, м²;

γ – удельная плотность нагрузки на освещение, Вт/м²;

K_c – коэффициент спроса освещения» [6].

«Минимальная освещенность цехов механического завода составляет 200 лк» [6]. «Данной освещенности соответствует значение удельной мощности 10 Вт/м²» [18]. Значения удельной мощности цехов механического завода представлены в таблице 2.

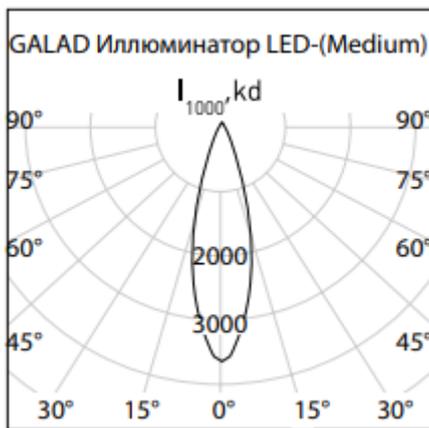
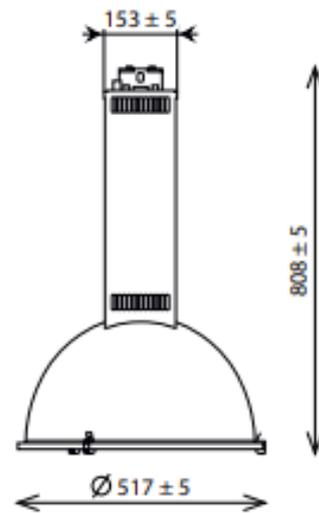
«Коэффициент мощности устанавливаемых светодиодных светильников составляет 0,93» [9]. Внешний вид и кривая силы света (КСС) данных светильников представлены на рисунке 1 и 2 соответственно [4].

Таблица 2 – Расчет осветительной и суммарной нагрузки цехов механического завода

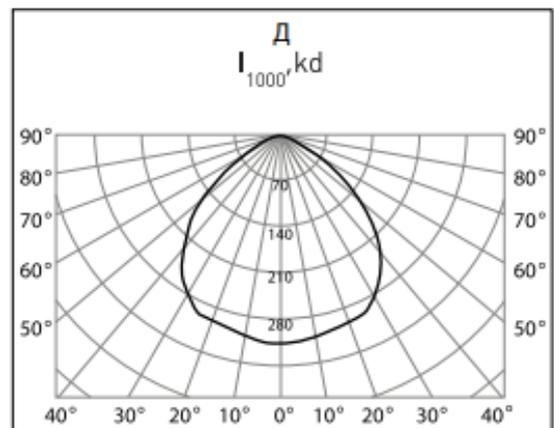
№ потр	Потребитель	F_0	γ	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_0	Q_0	S_0	$P_{\text{расч}}$	$Q_{\text{расч}}$	$S_{\text{расч}}$	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S'_{\text{расч}}$
		м ²	Вт/м ²	–	–	–	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
1	Цех производства технических газов	1226	15	0,81	0,93	0,4	14,9	5,96	16,05	93,68	102,12	138,58	108,58	108,08	154,63
2	Склад листового проката	821	11	0,58	0,93	0,4	5,24	2,1	5,65	67,45	53,96	86,38	72,69	56,06	92,03
3	Литейный цех	779	15	0,84	0,93	0,4	9,82	3,93	10,58	234,3	176,19	293,15	244,12	180,12	303,73
4	Цех металлоконструкций и оборудования	7121	11	0,59	0,93	0,4	46,22	18,49	49,78	167,5	204,75	264,54	213,72	223,24	314,32
5	Цех механической сборки	1290	13	0,58	0,93	0,4	9,73	3,89	10,48	150,57	127,96	197,6	160,3	131,85	208,08
6	Цех обработки	1066	15	0,83	0,93	0,4	13,27	5,31	14,29	578,32	585,98	823,3	591,59	591,29	837,59
7	Кузнечно-термическое отделение	6394	15	0,93	0,93	0,4	89,2	35,68	96,07	882,3	757,09	1162,6	971,5	792,77	1258,67
8	Сварочный цех	10752	15	0,94	0,93	0,4	151,6	60,64	163,28	2903,97	2750,22	3999,59	3055,57	2810,86	4162,87
9	Цех закалки и термообработки	9966	19	0,92	0,93	0,4	174,21	69,68	187,63	1920,84	2210,98	2928,83	2095,05	2280,66	3116,46

Продолжение таблицы 2

№ пот р	Потребитель	F_0	γ	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_0	Q_0	S_0	$P_{\text{расч}}$	$Q_{\text{расч}}$	$S_{\text{расч}}$	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S'_{\text{расч}}$
		м ²	Вт/ м ²	–	–	–	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
10	Станочный цех №1	18370	15	0,95	0,93	0,4	261,77	104,71	281,94	2429,1	2297,85	3343,8	2690,9	2402,6	3625,7
11	Станочный цех №2	9872	15	0,93	0,93	0,4	137,71	55,08	148,32	2461,7	2163,21	3277,1	2599,4	2218,3	3425,4
12	Станочный цех №3	1612	15	0,93	0,93	0,4	22,49	9	24,22	50,12	57,94	76,61	72,61	66,94	100,83
13	Насосное отделение	3846	13	0,92	0,93	0,4	46	18,4	49,54	355,68	583,32	683,21	401,68	601,72	732,75
14	Отделение проведения испытаний	3194	17	0,92	0,93	0,4	49,95	19,98	53,8	39,42	31,54	50,48	89,37	51,52	104,28
15	Лаборатория неразрушающего контроля	730	17	0,88	0,93	0,4	10,92	4,37	11,76	54,9	64,79	84,92	65,82	69,16	96,68
16	Административный корпус	1745	17	0,78	0,93	0,4	23,14	9,26	24,92	112,16	104,98	153,63	135,3	114,24	178,55
17	Ремонтный участок	1150	19	0,57	0,93	0,4	12,45	4,98	13,41	53,62	52,46	75,01	66,07	57,44	88,42
Всего		79934	–	–	0,93	0,4	1079	431	1162	12556	12325	17639	13634	12757	18801



Иллюминатор LED-120УХЛ



ГСП70-400-УХЛ

Рисунок 1 – Конструкция внутрицеховых светильников и их КСС

Выводы по разделу

Осветительная нагрузка механического завода составляет 1162 кВА. Просуммировав силовую и осветительную нагрузку получаем полную мощность 18883 кВА.

4 Перерасчет мощности ТП после реконструкции системы электроснабжения

Питание цехов механического завода осуществляется от внешних электросетей напряжением 110 кВ.

«Напряжение сети 380/220В при глухо-заземленной нейтрали трансформатора. Тип системы заземления TN-C-S» [7].

Мощность трансформатора для каждой ТП определим по методу удельной плотности нагрузок.

«Удельная мощность:

$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{S'_{\text{расч}}}{F_3}, \quad (8)$$
$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{S'_{\text{расч}}}{F_3} = \frac{17639}{575 \cdot 430} = 0,076 \text{ кВА/м}^2,$$

где $S'_{\text{расч}}$ – полная расчетная мощность цехов механического завода, кВА;

F_3 – площадь механического завода, м²» [14].

«Рекомендуемая мощность трансформаторов 1000 кВА» [14].

Коэффициент загрузки принимаем равным 0,7.

Для питания отдельных цехов необходимо использование двух и более подстанций. Во время аварийных ситуаций рабочие трансформаторы должны покрывать 40% перегрузку во время отключения одного из трансформаторов [26].

На данный момент для питания потребителей используется 7 ТП с двумя трансформаторами ТМ 1000 10/0,4, что является недостаточным, поскольку нагрузка цехов стала выше.

Для питания потребителей механического завода необходимо принять к установке как минимум 9 ТП с двумя трансформаторами мощностью 1000 кВА.

Для снижения доли реактивной нагрузки необходима установка конденсаторных батарей. Теперь проведем расчет их мощности [24].

«Наибольшая реактивная мощность Q_1 , которая может быть передана в сеть напряжением до 1 кВ из сети 6-10 кВ без увеличения числа трансформаторов» [12]:

$$Q = \sqrt{(1,1 \cdot N \cdot k_{з.тр} \cdot S_{тр})^2 - P'_{расч}{}^2}, \quad (9)$$

$$Q = \sqrt{(1,1 \cdot 18 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 13634^2} = 2492 \text{ квар.}$$

Мощность одной конденсаторной батареи на секцию:

$$Q_{бк.сум} = \sum Q'_{расч} - Q, \quad (10)$$

$$Q_{бк.сум} = 12757 - 2492 = 10265 \text{ квар,}$$

$$Q_{бк} = \frac{Q_{бк.сум}}{N}, \quad (11)$$

$$Q_{бк} = \frac{10265}{18} = 570,3 \text{ квар.}$$

Установим на ТП механического завода УКМ-0,4-575-25 [11]. Сумма мощностей УКМ равна 10350 квар. До реконструкции компенсирующие устройства отсутствовали.

Согласно методике расчета по удельной плотности нагрузки, необходимо определить центры электрических нагрузок (ЦЭН) механического завода [23].

«ЦЭН механического завода:

$$x_{ц} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{ц} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i} \quad (12)$$

где S – нагрузка i -го потребителя, кВА;

x_i, y_i – координаты ЦЭН i -го потребителя» [26].

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (13)$$

где S – расчетная нагрузка i -го потребителя, кВА;

m – масштаб для определения площади окружности (примем равным 0,7)» [26].

Синхронные и асинхронные электродвигатели подключены к шинам ГПП с напряжением 10 кВ. Принципиальная схема подключения представлена на рисунке 2. Координаты мест расположения электродвигателей представлены в таблице 3. Поскольку нагрузки были добавлены к потребителям 8-13, представим данные до реконструкции в таблице 4.

Коэффициенты загрузки трансформаторов необходимо вычислить с учетом компенсации. Рассчитанные коэффициенты загрузки представлены в таблице 5 [12]. При питании потребителя от нескольких ТП, учитывается отключение только одного трансформатора.

Таблица 3 – Расчет ЦЭН для ГПП после реконструкции

Наименование электроустановки	x_i	y_i	$S''_{\text{расч}}$
	м	м	кВА
ТП2.1(ГПП)	243,65	262,65	33334,58
ТП1.1	249,87	482,78	1391,05
ТП1.2, ТП1.3	422,00	387,00	3055,65
ТП1.4, ТП1.5	182,00	326,45	3066,68
ТП1.6-ТП1.9	323,18	190,11	6121,20
СД1.1, СД1.2	292,00	457,00	1200,00
СД1.3, СД1.4	292,00	457,00	2100,00
СД1.5-СД1.10	182,00	197,00	14000,00
АД2.1-АД2.5	182,00	196,00	2400,00

Таблица 4 – Определение ЦЭН до реконструкции системы электроснабжения механического завода

№ по ГП	Потребитель	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	x_i	y_i	k_3	r_i
		кВт	квар	кВА	м	м	–	м
ТП-1.2, ТП-1.3		2555,57	2810,86	2556,12	422	387	0,73	–
8	Сварочный цех	2555,57	2810,86	4162,87	422	387	–	43,51
ТП-1.3, ТП-1.4, ТП-1.5		2566,55	3073,43	2567,149	182	326,45	0,73	–
7	Кузнечно-термическое отделение	971,5	792,77	1258,67	182	387	–	23,92
9	Цех закалки и термообработки	1595,05	2280,66	3116,46	182	302	–	37,64
ТП-1.5, ТП-1.6-ТП-1.7		4121,12	5581,87	4121,797	323	190	0,82	–
10	Станочный цех №1	1690,87	2402,56	3625,69	437	222	–	40,6
11	Станочный цех №2	1599,4	2218,29	3425,42	182	197	–	39,47
12	Станочный цех №3	72,61	66,94	100,83	532	112	–	6,77
13	Насосное отделение	401,68	601,72	732,75	417	112	–	18,25
14	Отделение проведения испытаний и технической оценки изделий	89,37	51,52	104,28	162	27	–	6,89
15	Лаборатория неразрушающего контроля	65,82	69,16	96,68	232	27	–	6,63
16	Административный корпус	135,3	114,24	178,55	312	32	–	9,01
17	Ремонтный участок	66,07	57,44	88,42	422	42	–	6,34

Таблица 5 – Определение ЦЭН после реконструкции системы электроснабжения механического завода

№ по ГП	Потребитель	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$Q_{\text{БК}}$	$S''_{\text{расч}}$	x_i	y_i	k_3	r_i
		кВт	квар	квар	кВА	м	м	–	м
ТП-1.1		1391	1290,64	2x575	1391,051	250	483	0,6955	–
1	Цех производства технических газов	108,58	108,08	–	154,63	192	572	–	8,39
2	Склад листового проката	72,69	56,06	–	92,03	122	512	–	6,47
3	Литейный цех	244,12	180,12	–	303,73	247	532	–	11,75
4	Цех металлоконструкций и оборудования	213,72	223,24	–	314,32	142	452	–	11,96
5	Цех механической сборки	160,3	131,85	–	208,08	347	482	–	9,73
6	Цех обработки	591,59	591,29	–	837,59	292	457	–	19,52
ТП-1.2, ТП-1.3		3055,57	2810,86	4x575	3055,654	422	387	0,7639	–
8	Сварочный цех	3055,57	2810,86	–	4162,87	422	387	–	43,51
ТП-1.4, ТП-1.5		3066,55	3073,43	4x575	3066,676	182	326,45	0,7667	–
7	Кузнечно-термическое отделение	971,5	792,77	–	1258,67	182	387	–	23,92
9	Цех закалки и термообработки	2095,05	2280,66	–	3116,46	182	302	–	37,64

Продолжение таблицы 5

№ по ГП	Потребитель	$P'_{расч}$	$Q'_{расч}$	$Q_{БК}$	$S''_{расч}$	x_i	y_i	k_3	r_i
		кВт	квар	квар	кВА	м	м	–	м
ТП-1.6-ТП-1.9		6121,12	5581,87	8x575	6121,2	323	190	0,7652	–
10	Станочный цех №1	2690,87	2402,56	–	3625,69	437	222	–	40,6
11	Станочный цех №2	2599,4	2218,29	–	3425,42	182	197	–	39,47
12	Станочный цех №3	72,61	66,94	–	100,83	532	112	–	6,77
13	Насосное отделение	401,68	601,72	–	732,75	417	112	–	18,25
14	Отделение проведения испытаний и технической оценки изделий	89,37	51,52	–	104,28	162	27	–	6,89
15	Лаборатория неразрушающего контроля	65,82	69,16	–	96,68	232	27	–	6,63
16	Административный корпус	135,3	114,24	–	178,55	312	32	–	9,01
17	Ремонтный участок	66,07	57,44	–	88,42	422	42	–	6,34

На рассматриваемом механическом заводе используется радиальная схема питания потребителей.

«Выбор схем (магистральные или радиальные) и конструктивного выполнения (воздушные или кабельные) линий 110 кВ и выше определяется технико-экономическими сопоставлениями с учетом особенностей данного предприятия, электрической нагрузки, взаимного расположения районных подстанций в ГПП, ожидаемой перспективы развития существующей схемы электроснабжения, степени загрязненности атмосферы, возможности прокладки линий к ГПП» [13].

Могут быть использованы для питания потребителей механического завода следующие схемы:

- радиальная,
- магистральная.

Далее необходимо определить, выгоду применения магистральной схемы относительно существующей радиальной схеме.

Выводы по разделу

Поскольку уже используются ТП с трансформаторами ТМ 1000 10/0,4, то будут установлено дополнительно две ТП с ТМГ 1000 10/0,4.

Также необходима установка конденсаторных батарей УКМ-0,4-575-25 для снижения реактивной составляющей нагрузки потребителей.

Расчет ЦЭН для ТП показал, что существующие места расположения не требуют изменений.

5 Выбор схемы электроснабжения предприятия

Проведем расчет кабельных линий для рассчитанных нагрузок для радиальной и магистральной схемы.

«Расчет токов, возникающих в нормальном и аварийном режимах:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot n} \quad (14)$$

где n – количество кабельных линий, участвующих в электроснабжении потребителя» [14]. Принимаем по кабели марки АПвББШп.

«Рассчитаем сечение кабельных линий:

$$F = \frac{I}{j} \quad (15)$$

где I – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;

$j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36» [14].

«Для выбранной марки кабеля $j = 1,6$ А/мм², поскольку принимаем, что число часов использования максимума нагрузки более 5000 часов» [14].

«Длительно допустимый ток:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{справ}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_t \cdot k_{\text{ж}} \quad (16)$$

где $I_{\text{справ}}$ – допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией, прокладываемых в земле, принимаемый по таблице 1.3.7;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент прокладки, определяемый по числу кабелей, проложенных в траншее, согласно таблицы 1.3.26. Для двух кабелей принимаем $k_{\text{п}} = 0,9$.

k_t – коэффициент поправки на температуру среды, согласно таблицы 1.3.3 ПУЭ. Принимаем равным $k_t = 1,06$;

$k_{ж}$ – коэффициент поправки на количество жил. Для четырехжильного кабеля принимаем $k_{ж} = 0,92$ » [14].

«При послеаварийном режиме отключен один из кабелей. Поэтому коэффициент прокладки меняет свое значение $k_{п} = 1$ » [14].

Расчетные значения допустимых токов радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 6 и 7 соответственно.

Проведем расчет потерь напряжений. «Для сетей 10 кВ допустимые потери напряжений составляют не более 5%» [22].

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) l}{U_n} \quad (17)$$

где r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

l – длина кабеля, км;

P, Q – активная и реактивная мощность проходящая через кабель» [16].

Результаты расчетов потерь радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 8 и 9 соответственно, а экономические расчеты схем – в таблицах 10 и 11.

Таблица 6 – Расчет токов линий радиальной схемы питания потребителей механического завода после реконструкции

ПС	n	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	I_p	$I_{\text{ав}}$	F	F_H	$I_{\text{справ}}$	$I_{\text{др}}$	$I_{\text{д.ав}}$
		кВт	квар	кВА	А	А	мм ²	мм ²	А	А	А
ТП1.1	2	1391,00	11,86	1391,05	40,16	80,31	25,10	35	145	127,26	141,40
ТП1.2		1527,79	1413,59	2081,44	60,09	120,17	37,55	50	157	137,80	153,11
ТП1.3		1527,79	1413,59	2081,44	60,09	120,17	37,55				
ТП1.4		1533,28	13,91	1533,34	44,26	88,53	27,66	35	145	127,26	141,40
ТП1.5		1533,28	13,91	1533,34	44,26	88,53	27,66				
ТП1.6		1530,28	7,83	1530,30	44,18	88,35	27,61				
ТП1.7		1530,28	7,83	1530,30	44,18	88,35	27,61				
ТП1.8		1530,28	7,83	1530,30	44,18	88,35	27,61				
ТП1.9		1530,28	7,83	1530,30	44,18	88,35	27,61				

Таблица 7 – Расчет токов линий магистральной схемы питания потребителей механического завода после реконструкции

ПС	n	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	I_p	$I_{\text{ав}}$	F	F_H	$I_{\text{справ}}$	$I_{\text{др}}$	$I_{\text{д.ав}}$
		кВт	квар	кВА	А	А	мм ²	мм ²	А	А	А
ТП2.1- ТП1.1	2	5496,97	2346,90	5977,00	172,54	345,08	107,84	185	390	342,30	380,33
ТП1.1- ТП1.2		4206,33	1826,96	4585,95	132,39	264,77	82,74	120	300	263,30	292,56
ТП1.2- ТП1.3		2800,90	1227,65	3058,13	88,28	176,56	55,18	70	215	188,70	209,67
ТП2.1- ТП1.4		7259,83	2435,84	7657,58	221,06	442,11	138,16	300	465	408,12	453,47
ТП1.4- ТП1.5		5723,12	2179,96	6124,24	176,79	353,58	110,49	240	405	355,46	394,96
ТП1.5- ТП1.6		4186,40	1884,25	4590,90	132,53	265,06	82,83	95	260	228,20	253,55
ТП1.6- ТП1.7		2790,94	1256,17	3060,60	88,35	176,70	55,22	70	215	188,70	209,67
ТП1.7- ТП1.8		1395,47	628,08	1530,30	44,18	88,35	27,61	35	145	127,26	141,40
ТП1.3- ТП1.9		1395,47	628,08	1530,30	44,18	88,35	27,61			127,26	141,40

Таблица 8 – Потери напряжения радиальной схемы питания потребителей механического завода

ПС	n	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$F_{\text{н}}$	r_i	x_i	l	$\Delta U_{\text{р}}$	$\Delta U_{\text{ав}}$
		кВт	квар	кВА	мм ²	Ом/км	Ом/км	м	%	%
ТП1.1	2	1391,00	11,86	1391,05	35	0,893	0,087	303	1,88%	3,77%
ТП1.2		1527,79	1413,59	2081,44	50	0,64	0,084	152	0,83%	1,67%
ТП1.3		1527,79	1413,59	2081,44	50	0,64	0,084	173	0,95%	1,90%
ТП1.4		1533,28	13,91	1533,34	35	0,893	0,087	252	1,73%	3,45%
ТП1.5		1533,28	13,91	1533,34				153	1,05%	2,10%
ТП1.6		1530,28	7,83	1530,30				153	1,05%	2,09%
ТП1.7		1530,28	7,83	1530,30				75	0,51%	1,03%
ТП1.8		1530,28	7,83	1530,30				75	0,51%	1,03%
ТП1.9		1530,28	7,83	1530,30				75	0,51%	1,03%

Таблица 9 – Потери напряжения магистральной схемы питания потребителей механического завода

ПС	n	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	F_{H}	r_i	x_i	l	ΔU_{p}	$\Delta U_{\text{ав}}$
		кВт	квар	кВА	мм ²	Ом/км	Ом/км	м	%	%
ТП2.1-ТП1.1	2	5496,97	2346,90	5977,00	185	0,168	0,077	302	1,67%	3,33%
ТП1.1-ТП1.2		4206,33	1826,96	4585,95	120	0,259	0,079	12	0,07%	0,15%
ТП1.2-ТП1.3		2800,90	1227,65	3058,13	70	0,446	0,081	153	1,03%	2,06%
ТП2.1-ТП1.4		7259,83	2435,84	7657,58	300	0,105	0,061	73	0,33%	0,66%
ТП1.4-ТП1.5		5723,12	2179,96	6124,24	240	0,132	0,077	102	0,47%	0,94%
ТП1.5-ТП1.6		4186,40	1884,25	4590,90	95	0,341	0,081	154	1,22%	2,43%
ТП1.6-ТП1.7		2790,94	1256,17	3060,60	70	0,446	0,081	202	1,36%	2,72%
ТП1.7-ТП1.8		1395,47	628,08	1530,30	35	0,893	0,087	23	0,15%	0,30%
ТП1.3-ТП1.9		1395,47	628,08	1530,30				23	0,15%	0,30%

Таблица 10 – Экономический расчет радиальной схемы питания потребителей механического завода

ПС	<i>n</i>	F_n	r_i	x_i	l	ΔU_p	$\Delta U_{ав}$	p_k	$C_{кл}$	$C_{пр}$	$C_{раз}$	$C_{зас}$	$C_{сум}$
		мм ²	Ом/км	Ом/км	м	%	%	руб/м	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб
ТП1.1	2	35	0,893	0,087	303	1,88%	3,77%	350	212,1	121,2	75,75	42,42	451,47
ТП1.2		50	0,64	0,084	152	0,83%	1,67%	410	124,64	60,8	38	21,28	244,72
ТП1.3					173	0,95%	1,90%		141,86	69,2	43,25	24,22	278,53
ТП1.4		35	0,893	0,087	252	1,73%	3,45%	350	176,4	100,8	63	35,28	375,48
ТП1.5					153	1,05%	2,10%		107,1	61,2	38,25	21,42	227,97
ТП1.6					153	1,05%	2,09%		107,1	61,2	38,25	21,42	227,97
ТП1.7					75	0,51%	1,03%		52,5	30	18,75	10,5	111,75
ТП1.8					75	0,51%	1,03%		52,5	30	18,75	10,5	111,75
ТП1.9		75	0,51%	1,03%	52,5	30	18,75	10,5	111,75				
								1026,7	564,4	352,75	197,54	2141,39	

Таблица 11 – Экономический расчет магистральной схемы питания потребителей механического завода

ПС	<i>n</i>	F_n	r_i	x_i	l	ΔU_p	$\Delta U_{ав}$	p_k	$C_{кл}$	$C_{пр}$	$C_{раз}$	$C_{зас}$	$C_{сум}$
		мм ²	Ом/км	Ом/км	м	%	%	руб/м	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб
ТП2.1-ТП1.1	2	185	0,168	0,077	302	1,67%	3,33%	950	573,8	120,8	75,5	42,28	812,38
ТП1.1-ТП1.2		120	0,259	0,079	12	0,07%	0,15%	690	16,56	4,8	3	1,68	26,04
ТП1.2-ТП1.3		70	0,446	0,081	153	1,03%	2,06%	490	149,94	61,2	38,25	21,42	270,81
ТП2.1-ТП1.4		300	0,105	0,061	73	0,33%	0,66%	1410	205,86	29,2	18,25	10,22	263,53
ТП1.4-ТП1.5		240	0,132	0,077	102	0,47%	0,94%	1170	238,68	40,8	25,5	14,28	319,26
ТП1.5-ТП1.6		95	0,341	0,081	154	1,22%	2,43%	590	181,72	61,6	38,5	21,56	303,38
ТП1.6-ТП1.7		70	0,446	0,081	202	1,36%	2,72%	490	197,96	80,8	50,5	28,28	357,54
ТП1.7-ТП1.8		35	0,893	0,087	23	0,15%	0,30%	350	16,1	9,2	5,75	3,22	34,27
ТП1.3-ТП1.9					23	0,15%	0,30%		16,1	9,2	5,75	3,22	34,27
									1596,72	417,6	261	146,16	2421,48

Рассчитанные схемы соответствуют требованиям, касаемых допустимых потерь напряжения [3].

Экономический расчет проводился в соответствии с прайсом строительной организации [10]. Расходы на монтаж кабельных сетей состоят из стоимости кабельной продукции и монтажных работ.

Стоимость прокладки кабельных сетей:

$$C_{\text{сум}} = (p_k n + p_{\text{пр}} + p_{\text{раз}} + p_{\text{зас}}) \cdot l = C_{\text{кл}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{раз}} + C_{\text{зас}} \quad (18)$$

где p_k – цена погонного метра кабеля, руб/м;

$p_{\text{пр}}$ – цена прокладки кабеля, руб/м;

$p_{\text{раз}}$ – цена копки траншеи, руб/м;

$p_{\text{зас}}$ – стоимость обратной засыпки, руб/м [19].

Теперь представим действующие кабельные линии в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень действующих кабельных линий механического завода

ПС	Количество линий	F_n , мм ²
ТП1.1	2	АПвБбШп 4x35
ТП1.2	2	АПвБбШп 4x25
ТП1.3	2	АПвБбШп 4x25
ТП1.4	2	АПвБбШп 4x25
ТП1.5	2	АПвБбШп 4x25
ТП1.6	2	АПвБбШп 4x25
ТП1.7	2	АПвБбШп 4x25

Исходя из проведенного анализа требуется замена кабельных линий ТП1.2...ТП1.7 и установка новых для ТП1.8 и ТП1.9.

Выводы по разделу

В результате, мы выяснили, что полный монтаж радиальной схемы питания дешевле магистральной на 280 тыс. руб. Также если не устанавливать новые кабельные линии ТП1.1, то можно получить дополнительную выгоду в 452 тыс. руб.

6 Расчет токов короткого замыкания

Проведем расчет токов КЗ методом приближенного приведения в относительных единицах (о.е.).

«Мощность трехфазного короткого замыкания сети с $S_c=500$ МВА. $U_6=10,5$ кВ, $S_6=1000$ МВА» [5].

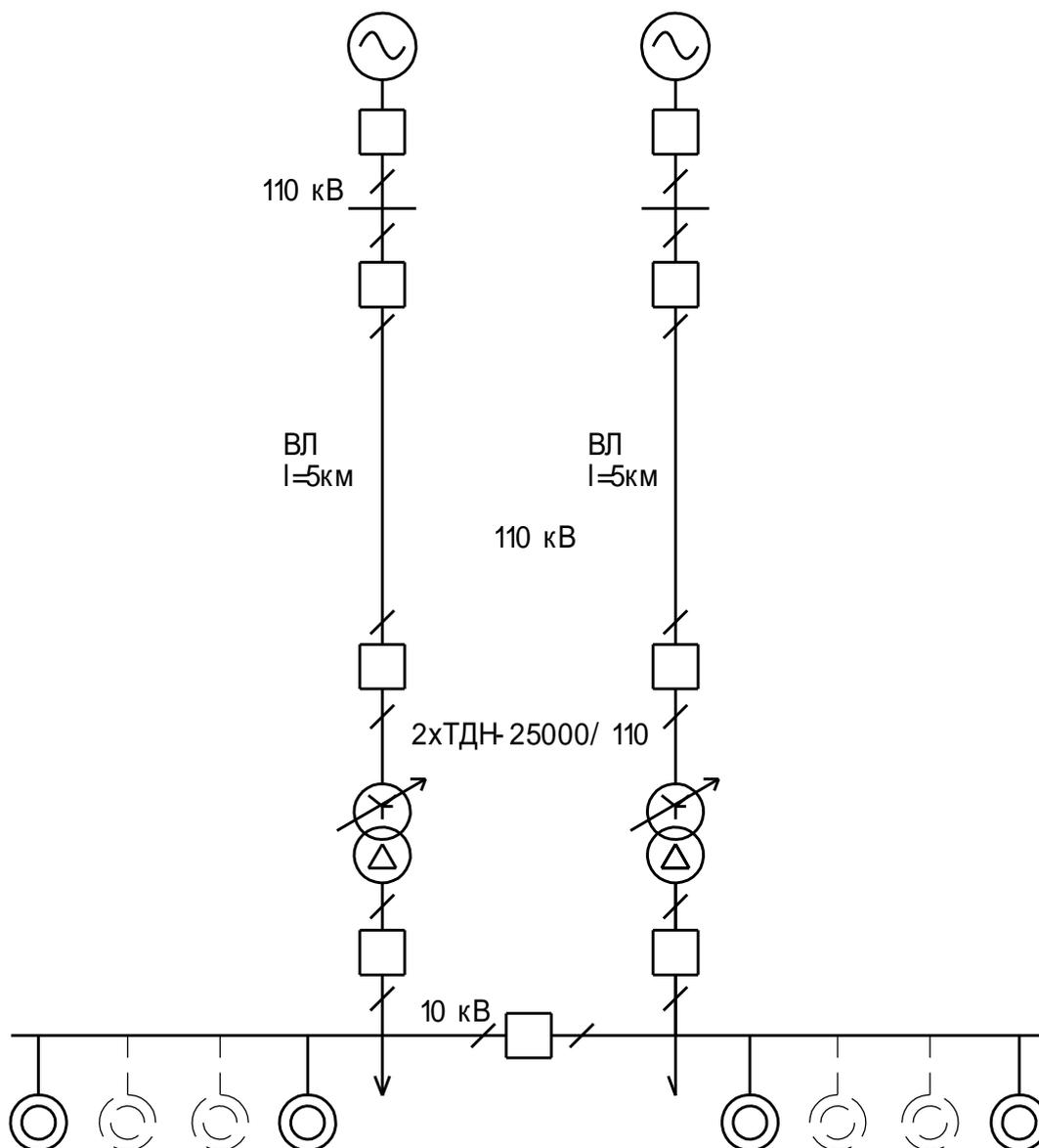


Рисунок 2 – Схема ГПП механического завода

Представим схему замещения ГПП на рисунке 3.

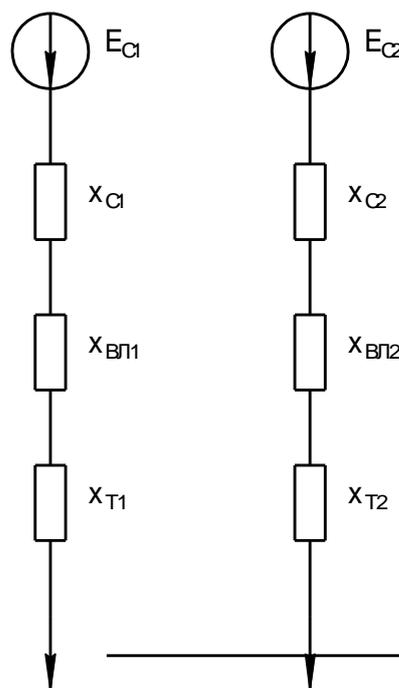


Рисунок 3 – Схема замещения ГПП механического завода

«Базисный ток ступеней напряжения 10 кВ и 110 кВ» [2]:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} \quad (19)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА}$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}$$

«Мощность трансформаторов ГПП с учетом перегрузки» [2]:

$$S_{\text{т.гпп}} = \frac{S''_{\text{расч}}}{0,7 \cdot n} \quad (20)$$

$$S_{\text{т.гпп}} = \frac{33334,58}{0,7 \cdot 2} = 23810 \text{ МВА}$$

«В результате расчета выбираем 2хТДН-25000/110, $k_3 = 0,69$ » [5].

«Каждый из трансформаторов ГПП подключим через провод АС150/24 длиной 6 км» [10].

«Сопротивление ВЛ в Ом» [2]:

$$r_{\text{ВЛ}} = r_{\text{уд}} \cdot l_{\text{ВЛ}} \quad (21)$$
$$r_{\text{ВЛ}} = 0,204 \cdot 6 = 1,224 \text{ Ом}$$

«Сопротивление ВЛ в о.е.» [2]:

$$x_{\text{бВЛ}} = r_{\text{ЛВН}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (22)$$
$$x_{\text{бВЛ}} = 1,224 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,0926 \text{ о.е.}$$

«Сопротивление системы в о.е.» [2]:

$$x_{\text{бс}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{с}}} \quad (23)$$
$$x_{\text{бс}} = \frac{1000}{1500} = 0,6667 \text{ о.е.}$$

«Сопротивление трансформатора» [2]:

$$x_{\text{бТ}} = \frac{S_{\text{б}} U_{\text{k}}}{100 \cdot S_{\text{T}}} \quad (24)$$
$$x_{\text{бТ}} = \frac{1000 \cdot 10,5}{100 \cdot 25} = 4,2 \text{ о.е.}$$

«Эквивалентное сопротивление схемы» [2]:

$$x_{\text{бэ}} = \frac{x_{\text{бс}} + x_{\text{бВЛ}} + x_{\text{бТ}}}{2} \quad (25)$$
$$x_{\text{бэ}} = \frac{0,6667 + 0,0926 + 4,200}{2} = 2,4796 \text{ о.е.}$$

В итоге принимаем, что $E_{\text{ВН}} = E_{\text{T}} = 1,0$ о.е., $x_{\text{ВН}} = 2,48$ о.е. (рисунок 4), для двигателя – $E_{\text{дв0}} = 1,1$ о.е.

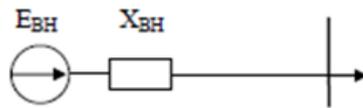


Рисунок 4 – Схема замещения

Проведем расчет сопротивления от точки КЗ до шин ТП, представив схему на рисунке 5.

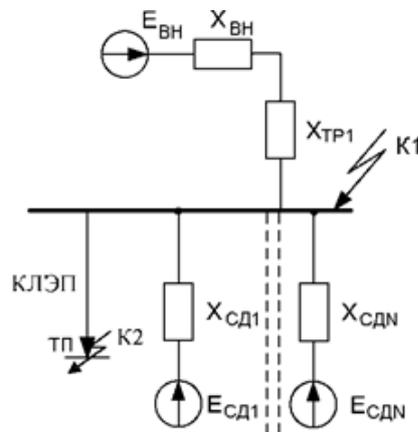


Рисунок 5 – Короткозамкнутая цепь

«Сверхпереходный ток сети внешнего электроснабжения:

$$I''_{\text{ВН}} = \frac{E''_{\text{ВН}} I_6}{x_{\text{ВН}} + x_{\text{доп}}} = \frac{E''_{\text{ВН}}}{x_{\Sigma}} \cdot I_6 \quad (26)$$

где $x_{\text{доп}}$ – сопротивление участка короткозамкнутой цепи» [5].

«Получаем $I''_{\text{ВН}} = 22,18$ кА. Характеристики электродвигателей занесем в таблицу 11» [2].

Таблица 13 – Параметры синхронных и асинхронных двигателей

Двигатель	x''_d	$\cos\varphi$	n	$P_{\text{расч}}, \text{ МВт}$	$S_{\text{расч}}, \text{ МВА}$	x	E
СД1,СД2	0,122	0,91	2	0,6	1,32	92,52	1,1
СД3,СД4	0,116	0,92	2	1	2,17	53,36	1,1
СД5-СД10	0,113	0,89	6	2,2	14,83	7,62	1,1
АД1-АД5	0,22	0,86	5	0,4	2,33	94,60	0,9

Эквивалентное сопротивление электродвигателей:

$$x_{\text{ДВ0}} = \frac{1}{\sum \frac{1}{x_{\text{СД}i}} + \sum \frac{1}{x_{\text{АД}i}}} \quad (27)$$

$$x_{\text{ДВ0}} = \frac{1}{\frac{1}{92,52} + \frac{1}{52,52} + \frac{1}{7,62} + \frac{1}{94,60}} = 5,84 \text{ о.е.}$$

Сверхпереходный ток с учетом подпитки электродвигателей:

$$I''_{\text{ДВ0}} = \frac{E''_{\text{ДВ0}} I_{\text{б}}}{x_{\text{ДВ0}}} \quad (28)$$

$$I''_{\text{ДВ0}} = \frac{1,1 \cdot 55}{5,84} = 10,37 \text{ кА}$$

По итогам проведенных преобразований получаем схему с точкой КЗ между внешними сетями и электродвигателями (рисунок 6).

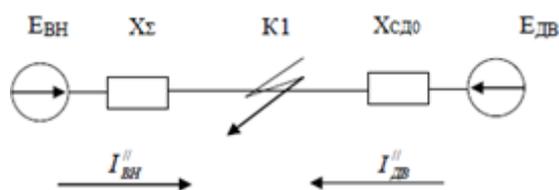


Рисунок 6 – Схема КЗ для точки К1

«Сверхпереходное значение трехфазного тока КЗ» [2]:

$$I''_{K1} = I''_{ВН} + I''_{ДВ0} \quad (29)$$

$$I''_{K1} = I''_{ВН} + I''_{ДВ} = 22,18 + 10,37 = 32,55 \text{ кА}$$

«Ударный ток в точке К1:

$$i_{уд} = k_{уд} \sqrt{2} I''_{ВН} + k_{уд,ДВ} \sqrt{2} I''_{ДВ0} \quad (30)$$

$$i_{уд} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 22,18 + 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,37 = 54,83 \text{ кА}$$

где $k_{уд}$ и $k_{уд,ДВ}$ – ударные коэффициенты, определяемые по расчетным кривым» [2].

«Рассчитаем КЗ в точке К2. Кабельная линия 0,4 км, с $x_{КЛ1} = 0,227$ о.е., $r_{КЛ1} = 11,12$ о.е.» [2].

«Ток КЗ в точке К2 равен» [2]:

$$I_{п0} = \frac{E_6}{\sqrt{x_{КЛ1}^2 + r_{КЛ1}^2}} \cdot I_6 \quad (31)$$

$$I_{п0} = \frac{1}{\sqrt{0,227^2 + 11,12^2}} \cdot 55 = 4,945 \text{ кА}$$

«Ударный ток» [2]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot K_{уд} \quad (32)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 4,945 \cdot 1,4 = 9,791 \text{ кА}$$

«На стороне до 1 кВ при расчете токов КЗ необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления элементов цепи. Выберем точки КЗ, К4» [23].

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными $r_{кв}=0,25$ мОм, $x_{кв}=0,1$ мОм. Активное сопротивление контактов $r_{к}=0,1$ мОм. Сопротивление автоматического выключателя $r_{ав}=0,25$ мОм, $x_{ав}=0,1$ мОм» [2].

«Сопротивление системы» [2]:

$$x_c = \frac{U_{\text{нн}}^2}{S_c} \quad (33)$$

«Сопротивления трансформатора» [5]:

$$r_T = \frac{P_k \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_T^2} \cdot 10^6 \quad (34)$$

$$x_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_k}{S_T}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{нн}}^2}{S_T} \cdot 10^4 \quad (35)$$

«Сопротивление цепи до точки КЗ:

$$r_{\text{сумм}} = r_{\text{КЛ2}} + r_T + r_k + r_{\text{ав}} + r_{\text{ТТ}} \quad (36)$$

$$x_{\text{сумм}} = x_{\text{КЛ2}} + x_T + x_{\text{ав}} + x_{\text{ТТ}} + x_c \quad (37)$$

где $x_{\text{КЛ2}}$ и $r_{\text{КЛ2}}$ – сопротивления кабельной линии» [2].

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей» [2]:

$$I_{\text{п0}} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{сумм2}}^2 + x_{\text{сумм2}}^2)}} \quad (38)$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей тока КЗ» [2]:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{x_{\text{сумм2}}}{r_{\text{сумм2}}}\right) \quad (39)$$

«Время от начала КЗ до появления ударного тока» [2]:

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi}{\pi} \quad (40)$$

«Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ» [2]:

$$T_a = \frac{x_{1\text{сумм}}}{r_{1\text{сумм}} \cdot \omega_c} \quad (41)$$

«Ударный коэффициент» [2]:

$$K_{\text{уд}} = \left(1 + \sin\varphi \cdot e^{-\frac{t_{\text{уд}}}{T_a}}\right) \quad (42)$$

Ударный ток определяется по формуле 33 (таблица 12).

Таблица 14 – Результаты расчета трехфазного КЗ

Точка КЗ/Ступень	r_i , МОм	x_i , МОм	φ	T_a , 10^{-3} с	$I_{\text{п0}}$, кА	$K_{\text{уд}}$	$i_{\text{уд}}$, кА
К1, ВН	–	–	–	–	32,55	1,0/1,6	54,829
К2, ВН	–	–	–	–	4,945	1,4	9,791
К3, НН	48,42	31,53	0,577	2,074	3,997	1,0	5,653
К4, НН	105,41	39,56	0,359	1,195	2,051	1,0	2,901

Выводы по разделу

Наиболее значительные токи были получены при КЗ в точке К1. При удалении точки КЗ от внешних сетей, токи снижаются. Теперь необходимо проверить оборудование, устанавливаемое при проведении реконструкции.

7 Выбор основного электрооборудования и его проверка

Для простоты монтажа, установим на территории механического завода девять двухтрансформаторных КТП 1000/10/0,4 используя каталоги производителей [11]. Для проверки надежности питания потребителей сделаем расчет термической и электродинамической стойкостей (таблица 15).

«Ток термической стойкости точки КЗ» [17]:

$$B_K = I_{п.0}^2 (T_a + t_{п.в}) \quad (43)$$
$$B_K = 3,694^2 \cdot (2,6 + 30) \cdot 10^{-3} = 0,455 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\gamma = t_{рз} + t_{сво} \quad (44)$$
$$\gamma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

где $t_{рз}$ – время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [17].

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ» [17]:

$$i_{а\gamma} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot e^{\frac{-0,05}{T_a}} \quad (45)$$
$$i_{а\gamma} = \sqrt{2} \cdot 3,694 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{2,6}} = 5,124 \text{ кА}$$

«Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot I_{\zeta} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \gamma}) \quad (46)$$
$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot 7 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 13,113 \text{ кА}$$

где I_{ζ} – ток отключения выключателя, кА» [17].

Таблица 15 – Проверка параметров оборудования

Расчетный параметр		Каталожный параметр	Трансформатор тока	Разъединитель	Автоматический выключатель
до 1 кВ					
$I_{раб}$, кА	0,69	I_n	1	1	1
$I_{п0}$, кА	3,694	I_{ζ}	–	–	7
$i_{а\gamma}$, кА	5,124	$i_{ан}$	–	–	13,113
$i_{уд}$, кА	5,653	$i_{пред}$	20	20	20
B_K , кА ² ·с	0,455	B_n	10	10	10
10 кВ					
$I_{раб}$, кА	1,031	I_n	1,2	1,25	1,25
$I_{п0}$, кА	32,55	I_{ζ}	–	–	40
$i_{а\gamma}$, кА	45,157	$i_{ан}$	–	–	73,84
$i_{уд}$, кА	54,829	$i_{пред}$	250	102	102
B_K , кА ² ·с	34,542	B_n	100	120	120

В результате выбираем:

- «Вакуумный выключатель: ВБЭ-10/40/1250» [1];
- «Разъединитель: РВЗ-10-1250-III» [15];
- «Трансформаторы тока ТЛО-10/1200-М1» [20].

Выводы по разделу

В итоге был проведен расчет и сравнительный анализ параметров оборудования. Выбранное оборудование соответствует требуемым критериям.

8 Расчет заземления и молниезащиты

Рассчитаем параметры системы заземления и молниезащиты.

«Активная высота молниеотвода:

$$h_A = h - h_x \quad (47)$$
$$h_A = 30 - 7 = 23$$

где h – высота молниеотвода, м;

h_x – высота установки молниеотвода от уровня земли, м» [14].

«Зона защиты молниеотвода» [14]:

$$r_x = h_A \cdot \frac{1,60 \cdot P}{1 + h_x/h_A} \quad (48)$$
$$r_x = 23 \cdot \frac{1,60 \cdot 1}{1 + 7/30} = 29,838 \text{ м}$$

«Наибольшая сторона зоны защиты:

$$h_0 = h - \frac{a}{7} \quad (49)$$
$$h_0 = 30 - \frac{53}{7} = 22,5 \text{ м}$$

где a – расстояние между молниеотводами, м» [14].

«Ширина зоны защиты» [14]:

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x) \quad (50)$$
$$b_x = 3 \cdot (22,5 - 1,25 \cdot 7) = 41 \text{ м}$$

Изобразим графически зону защиты на рисунке 7.

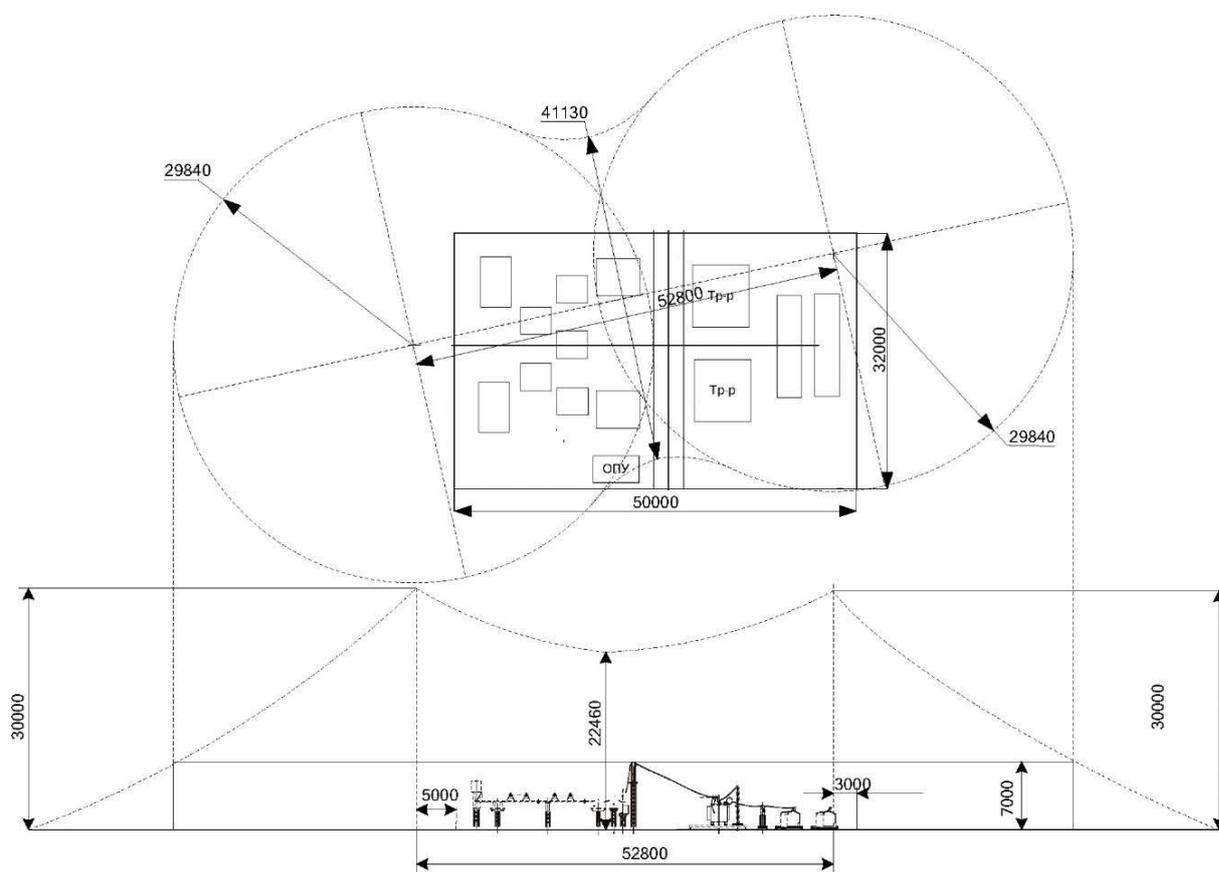


Рисунок 7 – Схема защиты от ударов молнии

«В КТП установить контур защитного заземления из металлической полосы 25×4 на высоте 0,4...0,6м от уровня пола» [14].

Для расчета заземления применим общеизвестные формулы.

«Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{ВЗ} = \frac{\rho_{э.г}}{2\pi L_{ВЗ}} \left(\ln \frac{2L_{ВЗ}}{d_{ВЗ}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{ВЗ} + L_{ВЗ}}{4 \cdot T_{ВЗ} - L_{ВЗ}} \right) \quad (51)$$

$$R_{ВЗ} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5,0} \left(\ln \frac{2 \cdot 5,0}{0,1} + 0,5 \cdot \ln \frac{4,0 \cdot 3,0 + 5,0}{4,0 \cdot 3,0 - 5,0} \right) = 16,07 \text{ Ом}$$

где $\rho_{э.г}$ – величина удельного сопротивления земли, Ом · м;

$L_{ВЗ}$ – длина вертикально расположенного заземлителя, м;

$d_{ВЗ}$ – диаметр вертикально расположенного заземлителя, м;

$T_{ВЗ}$ – заглубление, м» [14].

«Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{гз} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{гз}} \cdot \ln \frac{2L_{гз}^2}{b_{гз} \cdot h_{гз}} \quad (52)$$

$$R_{гз} = \frac{100}{2\pi \cdot 5,0} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5,0^2}{0,04 \cdot 0,5} = 24,9 \text{ Ом}$$

где $b_{гз}$ – ширина горизонтально расположенного заземлителя, м;

$h_{гз}$ – заглубление горизонтальных заземлителей, м;

$L_{гз}$ – длина горизонтально расположенного заземлителя, м» [14].

«Полное сопротивление ЗУ:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{ni} n_i}{R_i}} \quad (53)$$

$$R_{з.у} = \frac{1}{\frac{10 \cdot 0,69}{21,19} + \frac{1 \cdot 0,69}{24,9}} = 2,83 \text{ Ом}$$

где n_i – число комплектов;

k_{ni} – коэффициент использования» [14].

Сопротивление заземляющего устройства – допустимое.

«Тип системы заземления на вводе в здание – TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S» [8],[12].

«Данные системы заземления построены с применением глухозаземленной нейтрали. Характеризуются подключением нулевого проводника (N) к контуру заземления. При этом первый тип, на вводе в здания, характеризуется объединением защитного проводника PE и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к глухозаземленной нейтрали. На входе в здание PEN проводник разделяется на N и PE проводники. Система заземления в распределительных и групповых сетях является более безопасной, имеет разделенные защитные проводники PE и нулевые N» [15].

«Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции» [14].

Расчет заземления ГПП для механического завода осуществляется аналогично.

Выводы по разделу

В заключительном разделе было рассчитано сопротивление заземляющего устройства, а также система молниезащиты. Расчетные значения не превышают предельно-допустимые.

Заключение

В данной ВКР был проведен расчет по реконструкции системы электроснабжения механического завода.

Поскольку нагрузки некоторых цехов увеличились с установкой дополнительного оборудования, было принято решение о реконструкции системы электроснабжения потребителей завода, а также системы освещения, поскольку использовалось устаревшее осветительное оборудование.

Определив суммарные нагрузки потребителей завода, дополнительно были установлены КТП с трансформаторами ТМГ 1000 10/0,4 и конденсаторные батареи для компенсации реактивной мощности.

При расчете схем питания потребителей на основании технико-экономического анализа было принято решение о дальнейшем использовании радиальной схемы с заменой кабельных линий, которые не могут быть использованы для дальнейшей эксплуатации.

Для проверки спроектированной схемы электроснабжения на соответствие требованиям надежности и бесперебойности, был проведен расчет токов КЗ. Точки КЗ были выбраны в четырех местах сети (две на стороне ВН и две на стороне НН). По мере отдаления точки КЗ от внешних сетей, токи КЗ снижались, что связано с повышением сопротивления цепи.

По результатам расчетов токов КЗ было принято к установке соответствующее оборудование для КТП и ГПП. Решение об установке принято на основании вычислений номинальных токов, рассчитанных токов термической и электродинамической стойкости.

Заключительным пунктом рассчитано заземление и молниезащита оборудования механического завода. Расчет молниезащиты проведен на примере ГПП, изображена схема молниезащиты. Для защиты требуется как минимум два молниеприемника. Что касается системы заземления, то сопротивление заземляющего устройства не превышает 4 Ом, что соответствует требованиям ПУЭ.

Список используемых источников

1. Вакуумный выключатель [Электронный ресурс] : Официальный сайт НПП Контакт. URL: http://www.kontakt-saratov.ru/vikl_vbe_10_31-5/konstrukciya_vbe_10_31-5/ (дата обращения: 15.02.2023).
2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ : утв. приказом от 21.10.1993.
3. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс] : введен в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 N 400-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 15.02.2023).
4. ГОСТ 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы (Переиздание) [Электронный ресурс] : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1360-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105703> (дата обращения: 15.02.2023).
5. ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 15.02.2023).
6. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий [Электронный ресурс]: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1364-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 15.02.2023).
7. Жук В.Л. Оптимизация энергозатрат в металлургических технологиях. М. ; Вологда : Инфра-Инженерия. 2021. 212 с.
8. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL: <https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-meru-v-elektroustanovkakh/> (дата обращения: 15.02.2023).

9. Каталог светильников GALAD [Электронный ресурс] : Официальный сайт международной светотехнической корпорации GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 15.02.2023).

10. Комплексные поставки кабельно-проводниковой и электротехнической продукции [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-кс.ru/> (дата обращения: 15.02.2023).

11. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс] : Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 15.02.2023).

12. НТП ЭПП-94 Проектирование электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс] : Нормы технологического проектирования (1 редакция) принятые Тяжпромэлектропроект от 01.01.1994. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030085> (дата обращения: 15.02.2023).

13. ОРД 14.370-36-86 Указания по проектированию электрохозяйства металлургических заводов [Электронный ресурс] : Руководящий документ введен от 01.01.1987. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200062586> (дата обращения: 15.02.2023).

14. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС. 2013. 104 с.

15. Разъединитель [Электронный ресурс] : Официальный сайт завода по производству высоковольтного оборудования «Высоковольтный союз». URL: <https://www.vsoyuz.com/ru/produkcija/razediniteli/razediniteli-10-kv/disconnectors-rvz.htm> (дата обращения: 15.02.2023).

16. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : Образовательный электротехнический портал. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-po-poterjam-naprjazhenija.html> (дата обращения: 15.02.2023).

17. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок [Электронный ресурс] : Руководящий технический материал утв. техническим

циркуляром ВНИПИ Тяжпромэлектропроект от 30.07.1992 N 359-92. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения: 15.02.2023).

18. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 15.02.2023).

19. Стоимость услуг на прокладку кабеля [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний ЭнергоСнабСтрой. URL: <https://www.spb-elektromontazh.ru/uslugi/prokladka-kabelya/ceny/> (дата обращения: 15.02.2023).

20. Трансформаторы тока ТЛО-10 М1 [Электронный ресурс] : Официальный сайт ООО «Электрощит-Ко». URL: http://www.kztt.ru/catalog/transformatori_toka/tlo-10_on_3-10_kv/1/ (дата обращения: 15.02.2023).

21. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С., Дубов А. Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Москва : Форум. 2019. 495 с.

22. Benthous M. A coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. *Energy, Sustainability and Society* Vol. 9, №1. 2019. p.1-16.

23. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. *Energies* Vol. 12, №15. 2019. 14 p.

24. Rexhepi V. An Analysis of Power Transformer Outages and Reliability Monitoring. Technical University of Sofia, Faculty of Electrical Engineering, Boulevard "Sveti Klement Ohridski" 8, Sofia, 1000, Bulgaria, 2017. 418 p.

25. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. *Chemical Engineering Transactions* vol.56, 2017. p.259-264.

26. Surya S., Wayne Beaty H. Standard Handbook for Electrical Engineers, Seventeenth Edition. - McGraw Hill Professional, 2017. 368 p.