

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения завода по производству
автофургонов

Обучающийся

А.А. Заживихин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Темой ВКР является «Проектирование системы электроснабжения завода по производству автофургонов».

Цель работы: проектирование системы электроснабжения завода по производству автофургонов.

Поставленная цель достигается путем решения ряда задач, а именно:

- расчетом электрических нагрузок потребителей завода по производству автофургонов;
- проектированием освещения внутри цехов и зданий;
- выбором марки силовых трансформаторов и КЛ, расчетом электрических потерь, конфигурацией схемы;
- проведением технико-экономического сравнения выбранных схем электроснабжения завода по производству автофургонов;
- расчетом токов КЗ в различных точках цепи;
- техническим анализом токов КЗ и паспортных данных КТП;
- принятием решения на основе анализа сравниваемых данных;
- расчетом заземления, принятием решения об установке молниеприемников, определением требований к монтажу молниезащиты.

ВКР содержит 48 страниц, 14 таблиц, 5 рисунков, шесть чертежей, выполненных на форматах листа А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Обоснование путей исследований.....	6
1.1 Анализ структуры и особенностей объекта	6
1.2 Расчет электрических нагрузок	7
2 Выбор оборудования.....	13
2.1 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов, компенсирующих устройств, построение картограммы электрических нагрузок	13
2.2 Выбор схемы электроснабжения.....	19
2.3 Расчет токов КЗ и выбор коммутационного оборудования	29
3 Расчет заземления и молниезащиты.....	40
Заключение	44
Список используемых источников.....	45

Введение

Современная логистика и транспортная система активно расширяется в связи с геополитическими факторами, а также по причине развития научно-технического прогресса, уровня экономики. Все это создает предпосылки для развития транспортных путей, появления новых видов транспортных средств, которые позволяют решать различные производственные и логистические задачи.

Рассматриваемый завод в основном производит фургоны для:

- перевозки взрывоопасных веществ и материалов, горюче-смазочных материалов, химических продуктов, груза нормального и промышленного исполнения;
- обеспечения мобильного лабораторного анализа;
- транспортировки сварочных установок и аппаратов, электроинструмента, авторемонтных мастерских;
- доставки персонала для выполнения производственных задач на объекте;
- перевозки продуктов питания, в том числе быстро портящихся;
- погрузки и транспортировки автотранспортных средств.

В связи с этим, заводы и фабрики по производству автофургонов необходимы для обеспечения потребности различных сфер нашего государства. В связи с этим, необходимо правильно спроектировать и смонтировать распределительные сети электроснабжения.

На основании ранее сказанного, поставлена следующая цель ВКР: проектирование системы электроснабжения завода по производству автофургонов.

«Электрические сети предприятий должны обеспечивать:

- надежность электроснабжения;
- качество передаваемой электроэнергии;

- 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» [22].

Начальные данные завода по производству автофургонов:

- нагрузки производственных установок по цехам, а также нагрузки потребителей вспомогательных зданий и сооружений;
- план предприятия.

1 Обоснование путей исследований

1.1 Анализ структуры и особенностей объекта

Завод по производству автофургонов состоит из следующих технологических цехов:

- цех фургонов для перевозки взрывоопасных веществ и материалов;
- цех изготовления передвижных лабораторий;
- цех производства сварочных фургонов;
- цех производства грузопассажирских фургонов;
- цех изготовления передвижных авторемонтных мастерских;
- цех переоборудования автобусов;
- цех производства эвакуаторов и установки манипуляторов;
- цех оборудования автофургонов холодильными камерами;
- цех грузовых автофургонов;
- цех установки гидробортов.

Вспомогательные здания завода включают в себя:

- индивидуальный тепловой пункт;
- гаражное отделение;
- контрольно-пропускной пункт;
- пункт приемки материалов;
- административное отделение.

Рассматриваемый объект занимается переоборудованием транспортных средств и изготовлением автофургонов под нужды промышленных предприятий, организаций и учреждений, которые оказывают услуги по перевозке оборудования, персонала.

Для каждого типа автофургона в цехах изготавливается и устанавливается соответствующий тип оборудования.

1.2 Расчет электрических нагрузок

Расчет нагрузок проведем методом коэффициента спроса [14].
Параметры электроприемников (ЭП) данного цеха приведены в таблице 1.

Активная и реактивная расчетные силовые нагрузки здания:

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

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

где P_y – суммарная установленная активная мощность всех электроприемников, кВт;

K_c – коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным;

$\operatorname{tg} \varphi$ – средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности, найденное из справочного значения коэффициента мощности $\cos \varphi$ [14].

«Расчетная активная нагрузка освещения здания:

$$P_{p.o} = K_{c.o} \cdot P_{y.o}, \quad (3)$$

где $P_{p.o}$ – установленная мощность осветительных электроприемников, кВт;

$K_{c.o}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки» [14],[22].

«Номинальная осветительная нагрузка:

$$P_{p.o} = S \cdot P_{y.o}, \quad (4)$$

где $P_{y.o}$ – удельная осветительная нагрузка (0,014 кВт/м²);

S – площадь здания, м²» [15], [23].

Расчеты по генеральному плану (ГП) представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Расчет силовой и осветительной нагрузок потребителей

Наименование	Силовое оборудование						Освещение						
	P_y	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p	Q_p	F	$P_{y.o}$	$K_{c.o}$	$\cos\varphi_o$	$\operatorname{tg}\varphi_o$	$P_{p.o}$	$Q_{p.o}$
	кВт	–	–	–	кВт	квар	м ²	кВт	–	–	–	кВт	квар
1.1 Контрольно-пропускной пункт	21	0,86	0,91	0,46	18,06	8,31	325	4,55	0,86	0,94	0,36	3,91	1,41
1.2 Цех фургонов для перевозки взрывоопасных веществ и материалов	3713	0,69	0,51	1,69	2562	4329,73	4141	57,974	0,86	0,94	0,36	49,86	17,95
1.3 Цех изготовления передвижных лабораторий	1251	0,61	0,61	1,30	763,11	992,04	6877	96,278	0,86	0,94	0,36	82,80	29,81
1.4 Цех производства сварочных фургонов	2561	0,61	0,56	1,48	1562,2	2312,07	2485	34,79	0,86	0,94	0,36	29,92	10,77
1.5 Пункт приемки материалов	81	0,46	0,76	0,86	37,26	32,04	6535	91,49	0,61	0,95	0,33	55,81	18,42
1.6 Административное отделение	101	0,91	0,96	0,29	91,91	26,65	2035	28,49	0,91	0,93	0,40	25,93	10,37
1.7 Цех производства грузопассажирских фургонов	301	0,81	0,91	0,46	243,81	112,15	2773	38,822	0,91	0,93	0,40	35,33	14,13

Продолжение таблицы 1

Наименование	Силовое оборудование						Освещение						
	P_y	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p	Q_p	F	$P_{y.o}$	$K_{c.o}$	$\cos\varphi_o$	$\operatorname{tg}\varphi_o$	$P_{p.o}$	$Q_{p.o}$
	кВт	–	–	–	кВт	квар	м ²	кВт	–	–	–	кВт	квар
1.8 Цех изготовления передвижных авторемонтных мастерских	421	0,91	0,96	0,29	383,11	111,10	4213	58,982	0,91	0,93	0,40	53,67	21,47
1.9 Цех переоборудования автобусов	472	0,51	0,66	1,14	240,72	274,42	2575	36,05	0,86	0,94	0,36	31,00	11,16
1.10 Гаражное отделение	151	0,41	0,61	1,30	61,91	80,48	2701	37,814	0,61	0,95	0,33	23,07	7,61
1.11 Цех производства эвакуаторов и установки манипуляторов	3713	0,69	0,51	1,69	2562	4329,73	4078	57,092	0,91	0,93	0,40	51,95	20,78
1.12 Цех оборудования автофургонов холодильными камерами	1221	0,61	0,66	1,14	744,81	849,08	7723	108,122	0,91	0,93	0,40	98,39	39,36
1.13 Цех грузовых автофургонов	3221	0,63	0,71	0,99	2029,2	2008,94	4456	62,384	0,91	0,93	0,40	56,77	22,71
1.14 Цех установки гидробортов	251	0,76	0,76	0,86	190,76	164,05	1441	20,174	0,86	0,94	0,36	17,35	6,25
1.15 Индивидуальный тепловой пункт	601	0,76	0,76	0,86	456,76	392,81	1441	20,174	0,61	0,95	0,33	12,31	4,06
–	18080	0,660841	0,60	1,34	11948	16023,60	53799	753	0,83	0,93	0,38	628,07	236,26

Таблица 2 – Расчетные электрические нагрузки потребителей

Наименование	Силовое оборудование		Освещение		Расчетная нагрузка		
	P_p	Q_p	$P_{p.o}$	$Q_{p.o}$	$P_{p\Sigma}$	$Q_{p\Sigma}$	$S_{p\Sigma}$
	кВт	квар	кВт	квар	кВт	квар	кВА
1.1 Контрольно-пропускной пункт	18,06	8,31	3,91	1,41	21,97	9,72	24,02
1.2 Цех фургонов для перевозки взрывоопасных веществ и материалов	2562	4329,73	49,86	17,95	2611,83	4347,68	5071,88
1.3 Цех изготовления передвижных лабораторий	763,11	992,04	82,80	29,81	845,91	1021,85	1326,55
1.4 Цех производства сварочных фургонов	1562,2	2312,07	29,92	10,77	1592,13	2322,84	2816,11
1.5 Пункт приемки материалов	37,26	32,04	55,81	18,42	93,07	50,46	105,87
1.6 Административное отделение	91,91	26,65	25,93	10,37	117,84	37,02	123,52
1.7 Цех производства грузопассажирских фургонов	243,81	112,15	35,33	14,13	279,14	126,28	306,38

Продолжение таблицы 2

Наименование	Силовое оборудование		Освещение		Расчетная нагрузка		
	P_p	Q_p	$P_{p.o}$	$Q_{p.o}$	$P_{p\Sigma}$	$Q_{p\Sigma}$	$S_{p\Sigma}$
	кВт	квар	кВт	квар	кВт	квар	кВА
1.8 Цех изготовления передвижных авторемонтных мастерских	383,11	111,10	53,67	21,47	436,78	132,57	456,46
1.9 Цех переоборудования автобусов	240,72	274,42	31,00	11,16	271,72	285,58	394,19
1.10 Гаражное отделение	61,91	80,48	23,07	7,61	84,98	88,09	122,40
1.11 Цех производства эвакуаторов и установки манипуляторов	2562	4329,73	51,95	20,78	2613,92	4350,51	5075,38
1.12 Цех оборудования автофургонов холодильными камерами	744,81	849,08	98,39	39,36	843,20	888,44	1224,87
1.13 Цех грузовых автофургонов	2029,2	2008,94	56,77	22,71	2086,00	2031,65	2911,87
1.14 Цех установки гидробортов	190,76	164,05	17,35	6,25	208,11	170,30	268,91
1.15 Индивидуальный тепловой пункт	456,76	392,81	12,31	4,06	469,07	396,87	614,44
–	11948	16023,60	628,07	236,26	12575,67	16259,86	20555,55

Расчетная реактивная нагрузка осветительных приёмников [4],[6]:

$$Q_{p.o} = Q_{p.o} \cdot tg\varphi. \quad (5)$$

Расчетная полная мощность силовой и осветительной нагрузки:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2}. \quad (6)$$

Выводы по разделу

Полная мощность завода по производству автофургонов в результате расчетов составляет 20555,55 МВА. Активная мощность завода составляет 12575,67 кВт, соответственно коэффициент мощности равен 0,61. Требуется установка компенсирующих устройств.

2 Выбор оборудования

2.1 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов, компенсирующих устройств, построение картограммы электрических нагрузок

«С целью определения места расположения главного распределительного пункта (ГРП) строим картограмму электрических нагрузок. Картограмма представляет собой размещение на генплане завода окружностей, являющиеся расчетными активными нагрузками цехов. Радиусы окружности для каждого круга, размещенные по координатам x и y , представлены в таблице 3:

$$r = \sqrt{\frac{P_{\Sigma}}{\pi m}}. \quad (7)$$

Центр электрических нагрузок (ЦЭН) принимается совпадающим с центром тяжести цеха, нагрузка – равномерно распределенной по площади цеха. Доля осветительной нагрузки показывается в виде сектора. Угол сектора:

$$\alpha_{\tau} = \frac{P_{p.o}}{P_{\Sigma}} \cdot 360^{\circ}. \quad (8)$$

Площадь окружностей соответствует масштабу: $m = 0,7 \text{ кВт/мм}^2$ » [13].

Таблица 3 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

Здание	$P_{p.o}$	$P_{p\Sigma}$	r	a_t	x	y
	кВт	кВт	мм	%	м	м
1.1	3,91	21,97	3,16	64,07	10	335

Продолжение таблицы 3

Здание	$P_{p.o}$	$P_{p\Sigma}$	r	a_t	x	y
	кВт	кВт	мм	%	м	м
1.2	49,86	2611,83	34,46	6,87	76	275
1.3	82,80	845,91	19,61	35,24	240	286
1.4	29,92	1592,13	26,91	6,77	339	294
1.5	55,81	93,07	6,51	215,88	446	309
1.6	25,93	117,84	7,32	79,22	9	218
1.7	35,33	279,14	11,27	45,56	131	203
1.8	53,67	436,78	14,09	44,24	261	202
1.9	31,00	271,72	11,12	41,07	445	176
1.10	23,07	84,98	6,22	97,73	16	80
1.11	51,95	2613,92	34,48	7,15	101	110
1.12	98,39	843,20	19,58	42,01	261	112
1.13	56,77	2086,00	30,80	9,80	363	80
1.14	17,35	208,11	9,73	30,01	442	114
1.15	12,31	469,07	14,60	9,45	442	56
–	628,07	12575,67	–	–	–	–

Определим напряжение на территории завода по формуле Вейкерта:

$$U = 3\sqrt{S_k} + 0,5l, \quad (9)$$

$$U = 3\sqrt{20,56} + 0,5 \cdot 1,4 = 14,3 \text{ кВ.}$$

Принимаем напряжение 10 кВ. Теперь необходимо определить места расположения трансформаторных подстанций (ТП).

На основании координат и нагрузок цехов находим координаты ЦЭН:

$$x_0 = \frac{S_{p\Sigma} \cdot x}{S_{p\Sigma}}, \quad (10)$$

$$y_0 = \frac{S_{p\Sigma} \cdot y}{S_{p\Sigma}}, \quad (11)$$

где x_0, y_0 – координаты центра нагрузок завода и отдельных ПС, м;

x и y – координаты центра нагрузок отдельного потребителя, м;

$S_{p\Sigma}$ – расчетная нагрузка отдельного потребителя, кВА.

Поскольку при компенсации реактивной мощности изменяется полная мощность, проведем расчет компенсирующих устройств.

Выбранные конденсаторные батареи представлены в таблице 4 [9].

Полная мощность с учетом компенсации реактивной мощности определяется по формуле:

$$S'_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + (Q_{p\Sigma} - Q_{уКРМ})^2}. \quad (12)$$

Мощность трансформатора:

$$S_{тр} = \frac{S'_p}{n_{тр} \cdot k_3}. \quad (13)$$

Поскольку полученные значения координат x и y ТП отражают их размещение внутри зданий, то скорректируем координаты x_ϕ и y_ϕ на ближайшие возможные и внесем их в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет ЦЭН ТП

Здание	Потребитель	P_p	Q_p	$Q_{УКРМ}$	S'_p	$S_{тр}$	$n_{тр}$	k_3	x	y	x_ϕ	y_ϕ
		кВт	квар	квар	кВА	кВА	шт	–	м	м	м	м
ТП-2.1		1202,50	1477,32	700	1202,53	1000	2	0,601	81	254	73	256
1.1	Контрольно-пропускной пункт	21,97	9,72	–	–	–	–	–	10	335	–	–
1.2	Цех фургонов для перевозки взрывоопасных веществ и материалов (часть)	783,55	1304,30	–	–	–	–	–	76	275	–	–
1.6	Цех изготовления передвижных лабораторий	117,84	37,02	–	–	–	–	–	9	218	–	–
1.7	Цех производства грузопассажирских фургонов	279,14	126,28	–	–	–	–	–	131	203	–	–
ТП-2.2		1305,92	2173,84	1000	1305,99	1000	2	0,653	76	275	96	256
1.2	Цех фургонов для перевозки взрывоопасных веществ и материалов (часть)	1305,92	2173,84	–	–	–	–	–	76	275	–	–
ТП-2.3		522,37	869,54	400	522,44	400	2	0,653	76	275	119	256
1.2	Цех фургонов для перевозки взрывоопасных веществ и материалов (часть)	522,37	869,54	–	–	–	–	–	76	275	–	–
ТП-2.4		845,91	1021,85	500	845,92	630	2	0,671	240	286	242	256
1.3	Цех изготовления передвижных лабораторий	845,91	1021,85	–	–	–	–	–	240	286	–	–

Продолжение таблицы 4

Здание	Потребитель	P_p	Q_p	$Q_{УКРМ}$	S'_p	$S_{тр}$	$n_{тр}$	k_3	x	y	x_ϕ	y_ϕ
		кВт	квар	квар	кВА	кВА	шт	—	м	м	м	м
ТП-2.5		1392,06	1526,27	750	1392,07	1000	2	0,696	315	265	329	256
1.4	Цех производства сварочных фургонов (часть)	955,28	1393,70	—	—	—	—	—	339	294	—	—
1.8	Цех изготовления передвижных авторемонтных мастерских	436,78	132,57	—	—	—	—	—	261	202	—	—
ТП-2.6		1001,64	1265,18	700	1001,57	630	2	0,795	378	263	348	256
1.4	Цех производства сварочных фургонов (часть)	636,85	929,14	—	—	—	—	—	339	294	—	—
1.5	Пункт приемки материалов	93,07	50,46	—	—	—	—	—	446	309	—	—
1.9	Цех переоборудования автобусов	271,72	285,58	—	—	—	—	—	445	176	—	—
ТП-2.7		956,29	1538,26	750	956,31	630	2	0,759	93	107	96	129
1.11	Цех производства эвакуаторов и установки манипуляторов (часть)	871,31	1450,17	—	—	—	—	—	101	110	—	—
1.10	Гаражное отделение	84,98	88,09	—	—	—	—	—	16	80	—	—
ТП-2.8		871,31	1450,17	700	871,34	630	2	0,692	101	110	119	129
1.11	Цех производства эвакуаторов и установки манипуляторов (часть)	871,31	1450,17	—	—	—	—	—	101	110	—	—

Продолжение таблицы 4

Здание	Потребитель	P_p	Q_p	$Q_{УКРМ}$	S'_p	$S_{тр}$	$n_{тр}$	k_3	x	y	x_ϕ	y_ϕ
		кВт	квар	квар	кВА	кВА	шт	–	м	м	м	м
ТП-2.9		871,31	1450,17	700	871,34	630	2	0,692	101	110	142	129
1.11	Цех производства эвакуаторов и установки манипуляторов (часть)	871,31	1450,17	–	–	–	–	–	101	110	–	–
ТП-2.10		843,20	888,44	500	843,13	630	2	0,669	261	112	243	133
1.12	Цех оборудования автофургонов холодильными камерами	843,20	888,44	–	–	–	–	–	261	112	–	–
ТП-2.11		1390,67	1015,83	500	1390,68	1000	2	0,695	363	80	363	133
1.13	Цех грузовых автофургонов (часть)	1390,67	1015,83	–	–	–	–	–	363	80	–	–
ТП-2.12		1372,51	1244,39	750	1372,42	1000	2	0,686	402	77	390	88
1.13	Цех грузовых автофургонов (часть)	695,33	677,22	–	–	–	–	–	363	80	–	–
1.14	Цех установки гидробортов	208,11	170,30	–	–	–	–	–	442	114	–	–
1.15	Индивидуальный тепловой пункт	469,07	396,87	–	–	–	–	–	442	56	–	–

Аналогичные расчеты проведем для расчета ЦЭН завода (для ГРП).
 Результаты представлены в таблице 5 [21].

Таблица 5 – Расчет ЦЭН завода

Здание	Наименование	$S_{тр}$	U	P_p	Q_p	x	y	$n_{тр}$	k_3
		кВА	кВ	кВт	квар	м	м	шт	–
3.1	ГРП	–	–	12575,69	15921,26	227	189	2	–
2.1	Трансформатор ТМГ	1000	10/0,4	1202,50	1477,32	73	256	2	0,601
2.2		1000		1305,92	2173,84	96	256	2	0,653
2.3		400		522,37	869,54	119	256	2	0,653
2.4		630		845,91	1021,85	242	256	2	0,671
2.5		1000		1392,06	1526,27	329	256	2	0,696
2.6		630		1001,64	1265,18	348	256	2	0,795
2.7		630		956,29	1538,26	96	129	2	0,759
2.8		630		871,31	1450,17	119	129	2	0,692
2.9		630		871,31	1450,17	142	129	2	0,692
2.10		630		843,20	888,44	243	133	2	0,669
2.11		1000		1390,67	1015,83	363	133	2	0,695
2.12		1000		1372,51	1244,39	390	88	2	0,686

Теперь необходимо выбрать схему электроснабжения потребителей.

2.2 Выбор схемы электроснабжения

Рассмотрим варианты схем электроснабжения потребителей завода по производству автофургонов представленные на рисунках 1 и 2.

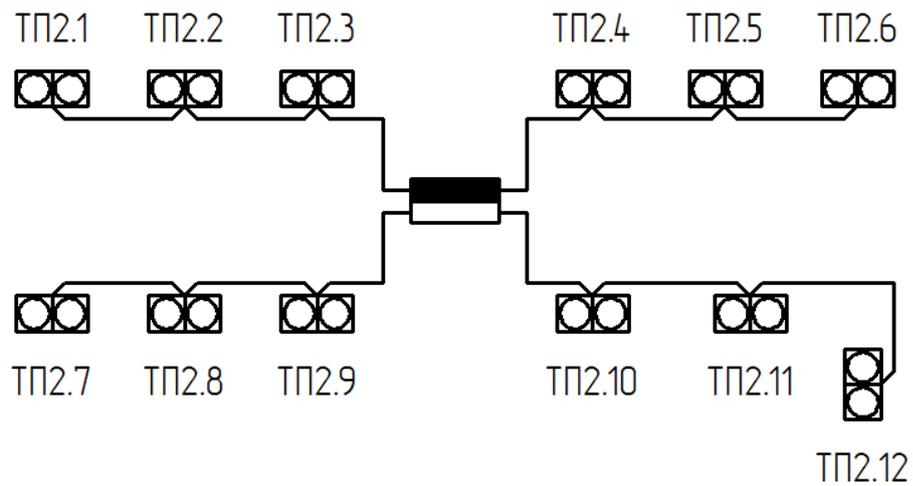


Рисунок 1 – Вариант №1

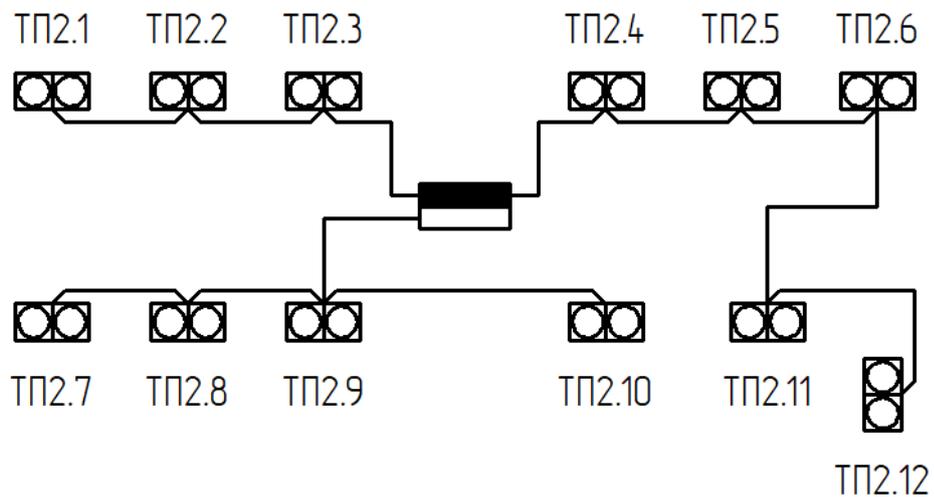


Рисунок 2 – Вариант №2

«Расчет токов, возникающих в нормальном и аварийном режимах:

$$I_p = \frac{S_{p\Sigma}}{\sqrt{3}U \cdot n}, \quad (14)$$

где n – количество кабельных линий» [12].

«Сечение кабельных линий:

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

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» [12].

«Для выбранной марки кабеля $j = 1,6$ А/мм², поскольку принимаем, что число часов использования максимума нагрузки более 5000 часов» [12].

«Длительно допустимый ток:

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

где $I_{\text{спр}}$ – 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 $k_t = 1,06$;

$k_{\text{ж}}$ – коэффициент поправки на количество жил. Для четырехжильного кабеля принимаем $k_{\text{ж}} = 0,92$ » [12].

«При послеаварийном режиме отключен один из кабелей. Поэтому коэффициент прокладки меняет свое значение $k_{\text{п}} = 1$ » [12].

«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%» [3].

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

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

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»

[13].

Результаты расчетов потерь схем по вариантам №1 и №2 представлены в таблицах 8 и 9 соответственно, а капиталовложения в схемы в таблицах 10 и 11 [20].

«Расчитанные схемы соответсвуют требованиям, касаемых допустимых потерь напряжения» [3].

«Расходы на монтаж кабельных сетей состоят из стоимости кабельной продукции и монтажных работ. Капиталовложения необходимые для прокладки кабельных сетей:

$$C_{\text{сум}} = K_k + K_{\text{пр}} + K_{\text{разр}} + K_z = (C_k + C_{\text{пр}} + C_{\text{разр}} + C_z) \cdot L, \quad (18)$$

где C_k – стоимость закупки погонного метра кабеля, руб/м;

$C_{\text{пр}}$ – стоимость прокладки погонного метра кабеля, руб/м;

$C_{\text{разр}}$ – стоимость разработки грунта для траншеи, руб/м;

C_z – стоимость засыпки, руб/м» [8],[16].

Таблица 6 – Токи схемы варианта №1

КЛ	$n_{\text{КЛ}}$	P_p	Q_p	S_p	I_p	$I_{\text{па}}$	F_p	$F_{\text{н}}$	$I_{\text{спр}}$	$I_{\text{др}}$	$I_{\text{д.па}}$
		кВт	квар	кВА	А	А	мм ²	мм ²	А	А	А
ГРПЗ.1-ТП2.3	2	3030,79	4520,70	5442,65	157,12	314,24	98,20	120	367	286,32	322,11
ТП2.3-ТП2.2	2	2508,42	3651,16	4429,80	127,88	255,76	79,93	95	308	240,29	270,33
ТП2.2-ТП2.1	1	1202,50	1477,32	1904,86	109,98	219,96	68,74	70	245	191,14	215,03
ГРПЗ.1-ТП2.4	2	2237,97	2548,12	3391,38	97,90	195,80	61,19	70	245	191,14	215,03
ТП2.4-ТП2.5	2	2393,70	2791,45	3677,23	106,15	212,30	66,34	70	245	191,14	215,03
ТП2.5-ТП2.6	1	1001,64	1265,18	1613,68	93,17	186,34	58,23	70	245	191,14	215,03
ГРПЗ.1-ТП2.9	2	2698,91	4438,60	5194,74	149,96	299,92	93,73	95	308	240,29	270,33
ТП2.9-ТП2.8	2	1827,60	2988,43	3502,98	101,12	202,24	63,20	70	245	191,14	215,03
ТП2.8-ТП2.7	1	956,29	1538,26	1811,28	104,57	209,14	65,36	70	245	191,14	215,03
ГРПЗ.1-ТП2.10	2	3606,38	3148,66	4787,49	138,20	276,40	86,38	95	308	240,29	270,33
ТП2.10-ТП2.11	2	2763,18	2260,22	3569,84	103,05	206,10	64,41	70	245	191,14	215,03
ТП2.11-ТП2.12	1	1372,51	1244,39	1852,64	106,96	213,92	66,85	70	245	191,14	215,03

Таблица 7 – Токи схемы варианта №2

КЛ	$n_{\text{КЛ}}$	P_p	Q_p	S_p	I_p	$I_{\text{па}}$	F_p	$F_{\text{н}}$	$I_{\text{спр}}$	$I_{\text{др}}$	$I_{\text{д.па}}$
		кВт	квар	кВА	А	А	мм ²	мм ²	А	А	А
ГРПЗ.1-ТП2.3	2	3030,79	4520,70	5442,65	157,12	314,24	98,20	120	367	286,32	322,11
ТП2.3-ТП2.2	2	2508,42	3651,16	4429,80	127,88	255,76	79,93	95	308	240,29	270,33
ТП2.2-ТП2.1	1	1202,50	1477,32	1904,86	109,98	219,96	68,74	70	245	191,14	215,03
ТП3.1-ТП2.9	2	3542,11	5327,04	6397,18	184,67	369,34	115,42	120	367	286,32	322,11
ТП2.9-ТП2.8	2	1827,60	2988,43	3502,98	101,12	202,24	63,20	70	245	191,14	215,03
ТП2.8-ТП2.7	1	956,29	1538,26	1811,28	104,57	209,14	65,36	70	245	191,14	215,03
ТП2.9-ТП2.10	1	843,20	888,44	1224,87	70,72	141,44	44,20	50	190	148,23	166,76
ГРПЗ.1-ТП2.4	2	6002,79	6073,52	8539,39	246,51	493,02	154,07	150	434	338,59	380,91
ТП2.4-ТП2.5	2	5156,88	5051,67	7218,92	208,39	416,78	130,24	150	434	338,59	380,91
ТП2.5-ТП2.6	2	3764,82	3525,40	5157,74	148,89	297,78	93,06	95	308	240,29	270,33
ТП2.6-ТП2.11	2	2763,18	2260,22	3569,84	103,05	206,10	64,41	70	245	191,14	215,03
ТП2.11-ТП2.12	1	1372,51	1244,39	1852,64	106,96	213,92	66,85	70	245	191,14	215,03

Таблица 8 – Потери напряжения схемы №1

КЛ	$n_{\text{КЛ}}$	P_p	Q_p	S_p	F_H	r_i	x_i	l	ΔU_p	$\Delta U_{\text{па}}$
		кВт	квар	кВА	мм ²	Ом/км	Ом/км	м	%	%
ГРПЗ.1-ТП2.3	2	3030,79	4520,70	5442,65	120	0,267	0,084	175	1,04%	2,08%
ТП2.3-ТП2.2	2	2508,42	3651,16	4429,80	95	0,337	0,085	23	0,13%	0,26%
ТП2.2-ТП2.1	1	1202,50	1477,32	1904,86	70	0,457	0,087	23	0,16%	0,32%
ГРПЗ.1-ТП2.4	2	2237,97	2548,12	3391,38	70	0,457	0,087	82	0,51%	1,02%
ТП2.4-ТП2.5	2	2393,70	2791,45	3677,23	70	0,457	0,087	87	0,58%	1,16%
ТП2.5-ТП2.6	1	1001,64	1265,18	1613,68	70	0,457	0,087	19	0,11%	0,22%
ГРПЗ.1-ТП2.9	2	2698,91	4438,60	5194,74	95	0,337	0,085	145	0,93%	1,86%
ТП2.9-ТП2.8	2	1827,60	2988,43	3502,98	70	0,457	0,087	23	0,13%	0,26%
ТП2.8-ТП2.7	1	956,29	1538,26	1811,28	70	0,457	0,087	23	0,13%	0,26%
ГРПЗ.1-ТП2.10	2	3606,38	3148,66	4787,49	95	0,337	0,085	72	0,53%	1,06%
ТП2.10-ТП2.11	2	2763,18	2260,22	3569,84	70	0,457	0,087	120	0,88%	1,76%
ТП2.11-ТП2.12	1	1372,51	1244,39	1852,64	70	0,457	0,087	72	0,53%	1,06%

Таблица 9 – Потери напряжения схемы №2

КЛ	$n_{\text{КЛ}}$	P_p	Q_p	S_p	F_H	r_i	x_i	l	ΔU_p	$\Delta U_{\text{па}}$
		кВт	квар	кВА	мм ²	Ом/км	Ом/км	м	%	%
ГРПЗ.1-ТП2.3	2	3030,79	4520,70	5442,65	120	0,267	0,084	175	1,04%	2,08%
ТП2.3-ТП2.2	2	2508,42	3651,16	4429,80	95	0,337	0,085	23	0,13%	0,26%
ТП2.2-ТП2.1	1	1202,50	1477,32	1904,86	70	0,457	0,087	23	0,16%	0,32%
ТП3.1-ТП2.9	2	3542,11	5327,04	6397,18	120	0,267	0,084	145	1,01%	2,02%
ТП2.9-ТП2.8	2	1827,60	2988,43	3502,98	70	0,457	0,087	23	0,13%	0,26%
ТП2.8-ТП2.7	1	956,29	1538,26	1811,28	70	0,457	0,087	23	0,13%	0,26%
ТП2.9-ТП2.10	1	843,20	888,44	1224,87	50	0,640	0,088	105	0,65%	1,30%
ГРПЗ.1-ТП2.4	2	6002,79	6073,52	8539,39	150	0,213	0,082	82	0,73%	1,46%
ТП2.4-ТП2.5	2	5156,88	5051,67	7218,92	150	0,213	0,082	87	0,66%	1,32%
ТП2.5-ТП2.6	2	3764,82	3525,40	5157,74	95	0,337	0,085	19	0,15%	0,30%
ТП2.6-ТП2.11	2	2763,18	2260,22	3569,84	70	0,457	0,087	138	1,01%	2,02%
ТП2.11-ТП2.12	1	1372,51	1244,39	1852,64	70	0,457	0,087	72	0,53%	1,06%

Таблица 10 – Капиталовложения схемы №1

КЛ	$n_{\text{КЛ}}$	P_p	Q_p	S_p	l	p_k	$C_{\text{кл}}$	$C_{\text{пр}}$	$C_{\text{раз}}$	$C_{\text{зас}}$	$C_{\text{сум}}$
		кВт	квар	кВА	м	руб/м	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб
ГРПЗ.1-ТП2.3	2	3030,79	4520,70	5442,65	175	850	297,5	78,75	49,00	29,75	455,00
ТП2.3-ТП2.2	2	2508,42	3651,16	4429,80	23	725	33,35	10,35	6,44	3,91	54,05
ТП2.2-ТП2.1	1	1202,50	1477,32	1904,86	23	600	13,8	10,35	6,44	3,91	34,50
ГРПЗ.1-ТП2.4	2	2237,97	2548,12	3391,38	82	600	98,4	36,90	22,96	13,94	172,20
ТП2.4-ТП2.5	2	2393,70	2791,45	3677,23	87	600	104,4	39,15	24,36	14,79	182,70
ТП2.5-ТП2.6	1	1001,64	1265,18	1613,68	19	600	11,4	8,55	5,32	3,23	28,50
ГРПЗ.1-ТП2.9	2	2698,91	4438,60	5194,74	145	725	210,25	65,25	40,60	24,65	340,75
ТП2.9-ТП2.8	2	1827,60	2988,43	3502,98	23	600	27,6	10,35	6,44	3,91	48,30
ТП2.8-ТП2.7	1	956,29	1538,26	1811,28	23	600	13,8	10,35	6,44	3,91	34,50
ГРПЗ.1-ТП2.10	2	3606,38	3148,66	4787,49	72	725	104,4	32,40	20,16	12,24	169,20
ТП2.10-ТП2.11	2	2763,18	2260,22	3569,84	120	600	144	54,00	33,60	20,40	252,00
ТП2.11-ТП2.12	1	1372,51	1244,39	1852,64	72	600	43,2	32,40	20,16	12,24	108,00
							1102,1	388,8	241,92	146,88	1879,7

Таблица 11 – Капиталовложения схемы №2

КЛ	$n_{\text{КЛ}}$	P_p	Q_p	S_p	l	p_k	$C_{\text{кл}}$	$C_{\text{пр}}$	$C_{\text{раз}}$	$C_{\text{зас}}$	$C_{\text{сум}}$
		кВт	квар	кВА	м	руб/м	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб	тыс.руб
ГРПЗ.1-ТП2.3	2	3030,79	4520,70	5442,65	175	850	297,5	78,75	49,00	29,75	455,00
ТП2.3-ТП2.2	2	2508,42	3651,16	4429,80	23	725	33,35	10,35	6,44	3,91	54,05
ТП2.2-ТП2.1	1	1202,50	1477,32	1904,86	23	600	13,8	10,35	6,44	3,91	34,50
ТП3.1-ТП2.9	2	3542,11	5327,04	6397,18	145	850	246,5	65,25	40,60	24,65	377,00
ТП2.9-ТП2.8	2	1827,60	2988,43	3502,98	23	600	27,6	10,35	6,44	3,91	48,30
ТП2.8-ТП2.7	1	956,29	1538,26	1811,28	23	600	13,8	10,35	6,44	3,91	34,50
ТП2.9-ТП2.10	1	843,20	888,44	1224,87	105	500	52,5	47,25	29,40	17,85	147,00
ГРПЗ.1-ТП2.4	2	6002,79	6073,52	8539,39	82	1000	164	36,90	22,96	13,94	237,80
ТП2.4-ТП2.5	2	5156,88	5051,67	7218,92	87	1000	174	39,15	24,36	14,79	252,30
ТП2.5-ТП2.6	2	3764,82	3525,40	5157,74	19	725	27,55	8,55	5,32	3,23	44,65
ТП2.6-ТП2.11	2	2763,18	2260,22	3569,84	138	600	165,6	62,10	38,64	23,46	289,80
ТП2.11-ТП2.12	1	1372,51	1244,39	1852,64	72	600	43,2	32,40	20,16	12,24	108,00
							1259,4	411,75	256,2	155,55	2082,9

Из таблиц видно, что токи дл вариантов 1 и 2 отличаются незначительно, потери напряжения в кабельных линиях также незначительны, но капиталовложения в схему 1 меньше, чем в схему 2.

2.3 Расчет токов КЗ и выбор коммутационного оборудования

Составим схему замещения для принятой схемы №1 и нанесем точки КЗ на рисунок 3.

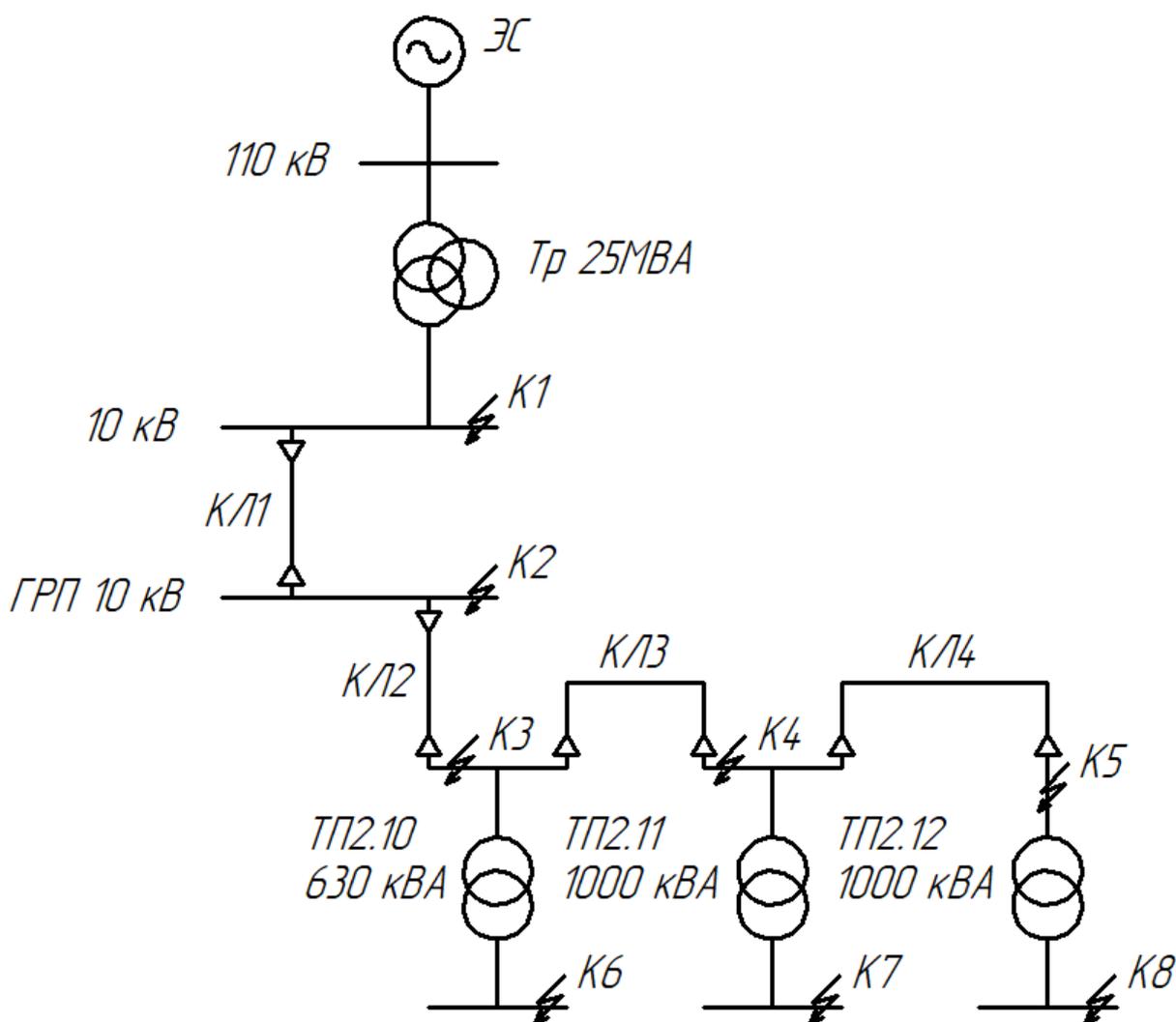


Рисунок 3 – Расчетная схема СЭС

В соответствии с расчетной схемой составим схему замещения и представим на рисунке 4.

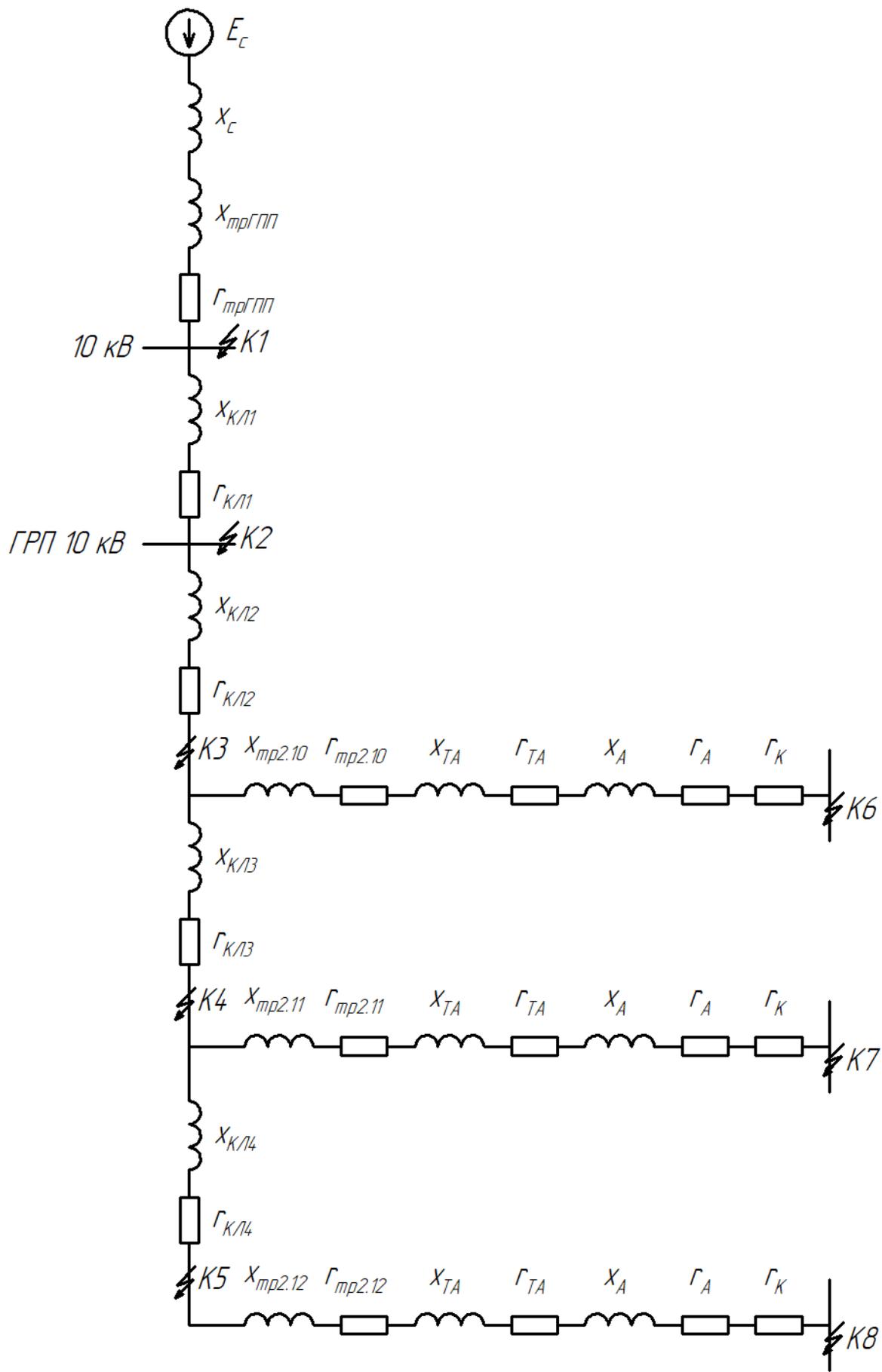


Рисунок 4 – Схема замещения СЭС

На стороне выше 1 кВ проведем расчет в относительных единицах [19].
Сопротивление трансформатора базисное в относительных единицах [5]:

$$x_{*тр(б)} = \frac{u_k\% \cdot S_б}{100 \cdot S_{тр}} \quad (19)$$

Сопротивление линии базисное в относительных единицах:

$$x_{*л(б)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_H^2} \quad (20)$$

где U_H – напряжение рассматриваемого участка цепи, кВ.

Расчет активных сопротивлений с использованием перерасчета реактивных сопротивлений.

Базисный ток ступени:

$$I_{*б} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (21)$$

Полный сверхпереходный ток:

$$I'' = I_{*(б)}'' \cdot I_{*б} = \frac{E_{*(б)}}{x_{*\Sigma}} \cdot I_{*б} \quad (22)$$

Рассчитаем токи в именованных единицах на стороне до 1 кВ.

Сопротивление линии [2]:

$$x_l = x_0 \cdot l, \quad (23)$$

$$r_l = r_0 \cdot l. \quad (24)$$

Сопротивления трансформатора [2]:

$$r_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{тр}}^2} \cdot 10^6, \quad (25)$$

$$x_{\text{тр}} = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{кз}}}{S_{\text{тр}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{т}}} \cdot 10^4. \quad (26)$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей:

$$I_{n0} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2)}}. \quad (27)$$

Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей тока КЗ:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}\right). \quad (28)$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\pi + \varphi}{\pi}. \quad (29)$$

Постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma} \cdot \omega_c}. \quad (30)$$

Ударный коэффициент:

$$K_{\text{уд}} = \left(1 + \sin\varphi \cdot e^{-\frac{t_{\text{уд}}}{T_a}}\right). \quad (31)$$

Ударный ток КЗ на стороне выше 1 кВ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I'' \quad (32)$$

Ударный ток КЗ на стороне до 1 кВ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{n0} \quad (33)$$

Результаты расчетов токов КЗ выше 1 кВ представлены в таблице 12, а до 1 кВ в таблице 13» [2]. На их основе далее будет обоснован выбор токоведущих элементов и коммутационных аппаратов по рабочему току и предельной коммутационной способности.

Таблица 12 – Расчет токов КЗ выше 1 кВ

Точка	Элемент цепи	$U_{н.ср}$	S	l	u_k	$r^{*(6)}$	$x^{*(6)}$	I''	T_a	φ	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$
		кВ	МВА	м	%	о.е.	о.е.	кА	10^{-3} с	рад	10^{-3} с	–	кА
$U_H = 110$ кВ и 10 кВ													
К1	Система	115	4000	–	–	0,005	0,250	–	–	–	–	–	–
	КЛ от системы до ГПП	115	–	60000	–	0,340	1,361	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор	115/10,5	25	–	3	0,071	1,200	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	0,416	2,811	19,350	342,498	1,424	9,533	1,962	53,690
$U_H = 10$ кВ													
К2	КЛ от ГПП до ГРП	10,5	–	8000	–	5,442	21,769	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	5,858	24,580	2,176	212,678	1,337	9,256	1,931	5,942
К3	КЛ от ГРПЗ.1 до ТП2.10	10,5	–	72	–	0,049	0,196	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	5,907	24,776	2,159	212,596	1,337	9,256	1,931	5,896
К4	КЛ от ТП2.10 до ТП2.11	10,5	–	120	–	0,082	0,327	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	5,989	25,103	2,131	212,452	1,337	9,256	1,931	5,819
К5	КЛ от ТП2.11 до ТП2.12	10,5	–	72	–	0,049	0,196	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	6,038	25,299	2,114	212,374	1,337	9,256	1,931	5,773

Таблица 13 – Расчет токов КЗ ниже 1 кВ

Точка	Элемент цепи	$U_{н.ср}$	S	$\Delta P_{кз}$	u_k	r^*	x^*	$I_{п0}$	T_a	φ	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$
		кВ	МВА	МВт	%	МОм	МОм	кА	10^{-3} с	рад	10^{-3} с	–	кА
$U_H = 0,38$ кВ													
К6	Приведенное сопротивление точки К3	0,4	–	–	–	8,573	35,956	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор ТП2.10	10,5/0,4	0,63	0,0076	5,5	3,064	13,628	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор тока	0,4	–	–	–	0,350	0,200	–	–	–	–	–	–
	Контакты	0,4	–	–	–	15,000	–	–	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	0,4	–	–	–	0,060	0,045	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	0,4	–	–	–	27,047	49,829	4,073	93,380	1,074	8,419	1,803	10,385
К7	Приведенное сопротивление точки К4	0,4	–	–	–	8,692	36,431	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор ТП2.11	10,5/0,4	1	0,0097	5,5	1,552	8,662	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор тока	0,4	–	–	–	0,350	0,200	–	–	–	–	–	–
	Контакты	0,4	–	–	–	15,000	–	–	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	0,4	–	–	–	0,060	0,045	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	0,4	–	–	–	25,654	45,338	4,433	89,577	1,056	8,361	1,793	11,241

Продолжение таблицы 13

Точка	Элемент цепи	$U_{н.ср}$	S	$\Delta P_{кз}$	u_k	r^*	x^*	$I_{п0}$	T_a	φ	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$
		кВ	МВА	МВт	%	МОм	МОм	кА	10^{-3} с	рад	10^{-3} с	–	кА
$U_H = 0,38$ кВ													
К8	Приведенное сопротивление точки К4	0,4	–	–	–	8,763	36,715	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор ТП2.12	10,5/0,4	1	0,0097	5,5	1,552	8,662	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор тока	0,4	–	–	–	0,350	0,200	–	–	–	–	–	–
	Контакты	0,4	–	–	–	15,000	–	–	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	0,4	–	–	–	0,060	0,045	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	0,4	–	–	–	25,725	45,622	4,409	89,890	1,057	8,365	1,793	11,180

Теперь необходимо выбрать силовое электрооборудование по расчетным параметрам.

«Ток термической стойкости точки КЗ:

$$B_{kt} = I_{n0}^2 (T_a + t_{п.в}), \quad (34)$$
$$B_{kt} = 19,35^2 \cdot (342,5 + 30) \cdot 10^{-3} = 139,472 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\sigma = t_{рз} + t_{сво}, \quad (35)$$
$$\sigma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с},$$

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

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [14].

«Максимальное значение аperiodической составляющей тока КЗ:

$$i_{а\sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-0,05}{T_a}}, \quad (36)$$
$$i_{а\sigma} = \sqrt{2} \cdot 19,35 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{342,5}} = 27,361 \text{ кА}.$$

Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot I_{\mu} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \sigma}), \quad (37)$$
$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 74,934 \text{ кА},$$

где I_{μ} – ток отключения выключателя, кА» [1],[14].

Результаты выбора оборудования для расчетных точек КЗ представлены в таблице 14 [1],[10],[17].

Таблица 14 – Проверка параметров оборудования

Точка	U_n	I''	T_a	φ	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$	B_{kt}	$i_{\sigma\sigma}$	I_μ	$i_{ан}$	I_p	$I_{па}$	Защитно-коммутационное оборудование
	кВ	кА	10^{-3} с	рад	10^{-3} с	–	кА	кА ² с	кА	кА	кА	А	А	
К1	10	19,350	342,498	1,424	9,533	1,962	53,690	139,472	27,361	40	74,934	276,40	552,80	ВВ/ТЕL-10-40/1000 ТПЛК-10-300 ВНР-10-400-10У3
К2	10	2,176	212,678	1,337	9,256	1,931	5,942	1,149	3,077	40	74,934	276,40	552,80	ВВ/ТЕL-10-40/1000 ТПЛК-10-300 ВНР-10-400-10У3
К3	10	2,159	212,596	1,337	9,256	1,931	5,896	1,131	3,053	12,5	23,417	276,40	552,80	ВВ/ТЕL-10-12,5/1000 ТПЛК-10-300 ВНР-10-400-10У3
К4	10	2,131	212,452	1,337	9,256	1,931	5,819	1,101	3,013	12,5	23,417	206,10	412,20	ВВ/ТЕL-10-12,5/1000 ТПЛК-10-300 ВНР-10-400-10У3
К5	10	2,114	212,374	1,337	9,256	1,931	5,773	1,083	2,989	12,5	23,417	106,96	213,92	ВВ/ТЕL-10-12,5/1000 ТПЛК-10-300 ВНР-10-400-10У3
К6	0,38	4,073	93,380	1,074	8,419	1,803	10,385	2,047	5,757	12,5	23,417	608,48	1216,95	ВА-55-43
К7	0,38	4,433	89,577	1,056	8,361	1,793	11,241	2,350	6,266	12,5	23,417	1003,64	2007,27	ВА-55-43
К8	0,38	4,409	89,890	1,057	8,365	1,793	11,180	2,331	6,232	12,5	23,417	990,46	1980,92	ВА-55-43

На стороне 10 кВ принимаем предохранители ПКТ до силовых трансформаторов, а для защиты трансформаторов напряжения предохранители ПКН [10].

Между ГРП и ГПП принимаем трансформаторы тока ТЛК-10У3 [18]. Для остальных участков цепи выбирается аналогично.

Выводы по разделу

В результате для электроснабжения приняты 12 КТП с трансформаторами ТМГ 1000 10/0,4 (10 шт), ТМГ 630 10/0,4 (12 шт), ТМГ 400 10/0,4 (2 шт). Для компенсации реактивной мощности приняты УКРМ в количестве 24 шт. Места установки приняты в соответствии с принятыми ЦЭН.

Полный монтаж схемы №1 дешевле схемы №2 на 203 тыс. руб. Поэтому к установке принимаем схему №1.

Также в ходе расчетов было выбрано и проверено оборудование ТП и ГПП:

- вакуумные выключатели ВВ/TEL-10-40/1000 и ВВ/TEL-10-12,5/1000 на стороне 10 кВ [1];
- трансформаторы тока ТПЛК-10У3 с номинальными токами 200 А, 300 А и 600 А на стороне 10 кВ [17];
- выключатели нагрузки ВНР-10-400-10У3 на стороне 10 кВ;
- автоматические выключатели ВА-55-43 и ВА-75-45 на стороне 0,38 кВ;
- предохранители ПКН и ПКТ на стороне 10 кВ.

Данное оборудование прошло все проверки.

3 Расчет заземления и молниезащиты

Проведем расчет молниезащиты для ГПП.

«Активная высота молниеотвода:

$$\begin{aligned}h_A &= h - h_x, \\h_A &= 30 - 7 = 23,\end{aligned}\tag{38}$$

где h – высота молниеотвода, м;

h_x – высота установки молниеотвода от уровня земли, м» [12].

«Зона защиты молниеотвода:

$$\begin{aligned}r_x &= h_A \cdot \frac{1,60 \cdot P}{1 + h_x/h_A}, \\r_x &= 23 \cdot \frac{1,60 \cdot 1}{1 + 7/30} = 29,838 \text{ м}.\end{aligned}\tag{39}$$

Наибольшая сторона зоны защиты:

$$\begin{aligned}h_0 &= h - \frac{a}{7}, \\h_0 &= 30 - \frac{53}{7} = 22,5 \text{ м},\end{aligned}\tag{40}$$

где a – расстояние между молниеотводами, м» [12].

«Ширина зоны защиты:

$$\begin{aligned}b_x &= 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x), \\b_x &= 3 \cdot (22,5 - 1,25 \cdot 7) = 41 \text{ м}.\end{aligned}\tag{41}$$

Изобразим графически зону защиты на рисунке 5» [12].

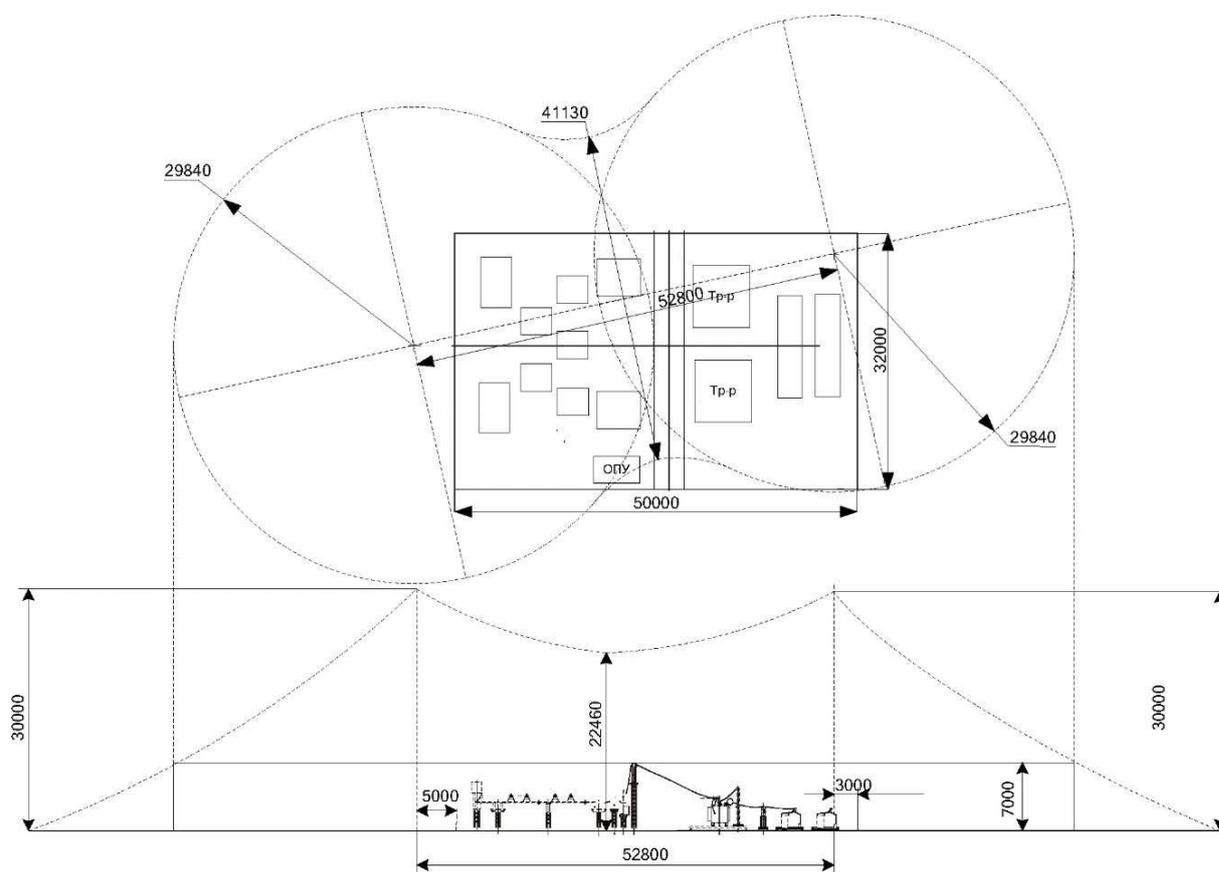


Рисунок 5 – Схема молниезащиты

«В ТП установить контур защитного заземления из металлической полосы 25×4 на высоте 0,4...0,6м от уровня пола» [12].

«Для расчета заземления применим общеизвестные формулы.

Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{ВЗ} = \frac{\rho_{\text{э.г}}}{2\pi L_{ВЗ}} \left(\ln \frac{2L_{ВЗ}}{d_{ВЗ}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{ВЗ} + L_{ВЗ}}{4 \cdot T_{ВЗ} - L_{ВЗ}} \right), \quad (42)$$

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

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

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

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

$T_{ВЗ}$ – заглубление, м» [12].

«Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{ГЗ} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{ГЗ}} \cdot \ln \frac{2L_{ГЗ}^2}{b_{ГЗ} \cdot h_{ГЗ}}, \quad (43)$$

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

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

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

$L_{ГЗ}$ – длина горизонтально расположенного заземлителя, м» [12].

«Полное сопротивление ЗУ:

$$R_{\text{з.у}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{\text{и}i} n_i}{R_i}}, \quad (44)$$

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

где n_i – число комплектов;

$k_{\text{и}i}$ – коэффициент использования» [12].

«Сопротивление заземляющего устройства – допустимое.

Тип системы заземления на вводе в здание – TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S» [11].

«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 РЕ и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к глухозаземленной нейтрали. На входе в здание PEN проводник разделяется на N и РЕ проводники. Система заземления в распределительных и групповых сетях является более безопасной, имеет разделенные защитные проводники РЕ и нулевые N» [7].

«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» [7].

Расчет заземления ГПП и цехов для завода по производству автофургонов осуществляется аналогично.

Выводы по разделу

Расчетные значения характеристик систем заземления и молниезащиты не превышают предельно-допустимые, следовательно, данные системы обеспечивают безопасность работы персонала и сохранность техники.

Заключение

В данной ВКР выполнен расчет системы электроснабжения завода по производству автофургонов.

Изначально были представлены данные о потреблении цехов по производству автофургонов различных типов, коэффициенты мощности и спроса, план размещения возведенных объектов, электроснабжение которых необходимо осуществить. В соответствии с этим, на основании действующих инструкций и нормативных документов был проведен расчет суммарных электрических нагрузок как для силовой части, так и для осветительной. Компенсация реактивной мощности осуществляется с помощью конденсаторных батарей мощностью в количестве 24 штук.

Для сравнительного анализа были взяты схемы №1 и №2 с двенадцатью КТП на базе двух силовых трансформаторов следующих типов: ТМГ 1000 10/0,4 (10 шт), ТМГ 630 10/0,4 (12 шт), ТМГ 400 10/0,4 (2 шт).

Данные схемы электроснабжения сравнивались по суммарным капиталовложениям как для строительства, так и для эксплуатации. В результате выгоднее оказалась схема №1. Потери напряжения в схеме №1 оказались допустимыми.

По выбранной схеме был проведен расчет токов КЗ. В данном разделе были приняты восемь расчетных точек, пять из которых на стороне ВН (10 кВ). Наиболее высокий ток КЗ оказался для точки на стороне ВН ближе к энергосистеме.

Электрооборудование КТП прошло требуемые проверки на термическую и электродинамическую стойкости.

На заключительном этапе проведен расчет заземления и молниезащиты оборудования завода по производству автофургонов. Расчет молниезащиты представлен для ГПП, показана схема молниезащиты с четырьмя молниеотводами. Что касается системы заземления, то сопротивление заземляющего устройства не превышает 4 Ом.

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: 23.03.2024).
2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 23.03.2024).
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: 23.03.2024).
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: 23.03.2024).
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: 23.03.2024).
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: 23.03.2024).
7. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL: <https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-mery-v-elektrostanovkakh/> (дата обращения: 23.03.2024).

8. Комплексные поставки кабельно-проводниковой и электротехнической продукции [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-кс.ru/> (дата обращения: 17.03.2024).

9. Нерегулируемые конденсаторные установки типа УКЛ(П) [Электронный ресурс]: Официальный сайт ТОО «Усть-Каменогорский конденсаторный завод». URL: <https://www.ukkz.com/ru/catalog/u-k/visokogo-napryazheniya/modernizirovannye.html> (дата обращения: 23.03.2024).

10. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс] : Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 23.03.2024).

11. 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: 23.03.2024).

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

13. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-ro-poterjam-napryazhenija.html> (дата обращения: 23.03.2024).

14. 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: 23.03.2024).

15. 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: 23.03.2024).

16. Стоимость услуг на прокладку кабеля [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний ЭнергоСнабСтрой. URL: <https://www.spb-elektromontazh.ru/uslugi/prokladka-kabelya/ceny/> (дата обращения: 23.03.2024).

17. Трансформатор тока ТЛК-10 [Электронный ресурс] : Официальный сайт ООО «Новочебоксарский электромеханический завод». URL: https://nemz.ru/transformator_tlk-10 (дата обращения: 23.03.2024).

18. Трансформаторы тока ТПЛК-10 [Электронный ресурс] : Официальный сайт ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока». URL: https://www.czt.ru/tplk_10.html (дата обращения: 23.03.2024).

19. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2016. 388 p.

20. Fofana I., Hadjadj Y. Electrical-Based Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers. Power Transformer Diagnostics, Monitoring and Design Features, 2016. 256 p.

21. Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016. 488 p.

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

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