

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
вентиляционного оборудования

Обучающийся

Д.А. Пузанков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2024

Аннотация

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

В данной работе рассчитаны электрические нагрузки:

- производственных цехов (электрооборудования систем вентиляции, промышленных вентиляционных установок, расходных материалов и запчастей вентиляционного оборудования, теплового вентиляционного оборудование, вентиляционные систем, воздушных обогревателей, бытовые вентиляционные установки, оборудования для систем вентиляции, блочных систем и автоматики, вентиляторов наружного и противопожарного исполнения, вентиляционных коммуникаций);
- заводоуправления;
- здание учета тепловой энергии и воды;
- складское отделение и приемка;
- индивидуальный тепловыделитель;
- цех заготовок;
- мастерская.

Затем выбраны силовые трансформаторы и установки компенсации реактивной мощности, рассчитаны токи короткого замыкания (ТКЗ).

Далее выбрано электрооборудование трансформаторных подстанций (ТП) и главной понизительной подстанции (ГПП) по заводу, кабельные линии (КЛ).

На заключительном этапе ВКР проведем расчет заземления и молниезащиты завода.

Содержание

Введение	4
1 Исследование исходных данных и расчет электрических нагрузок предприятия.....	6
1.1 Данные о заводе.....	6
1.2 Силовая электрическая нагрузка	7
1.3 Осветительная нагрузка	13
2 Выбор схемы питания потребителей	19
2.1 Расчет числа и мощности трансформаторов.....	19
2.2 Техничко-экономический расчет схем электроснабжения	24
3 Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования.....	34
3.1 Определение токов короткого замыкания точек цепи	34
3.2 Выбор силового электрооборудования	42
4 Расчет заземления и молниезащиты.....	44
Заключение	47
Список используемых источников.....	48

Введение

Проектирование зданий и сооружений всегда включает в себя этап монтажа вентиляционных систем и оборудования к ним.

Производство вентиляционного оборудования и систем играет ключевую роль на этапе строительства инженерных систем зданий. На предприятиях по производству вентиляционного оборудования и систем производятся товары следующего типа:

- электрооборудование систем вентиляции;
- промышленные вентиляционные установки;
- расходные материалы и запчасти вентиляционного оборудования;
- тепловое вентиляционное оборудование;
- вентиляционные системы;
- воздушные обогреватели;
- бытовые вентиляционные установки;
- оборудование для систем вентиляции;
- блочные системы и автоматика;
- вентиляторы наружного и противопожарного исполнения
- вентиляционные коммуникации.

Также, актуальность производства вентиляционного оборудования и систем вентиляции в современном мире обусловлена рядом факторов, связанных с улучшением качества жизни, охраной здоровья и обеспечением комфортных условий в помещениях. С увеличением плотности застройки и ростом числа жилых и коммерческих объектов, необходимость в качественной вентиляции становится все более очевидной.

Во-первых, правильная вентиляция играет ключевую роль в поддержании здорового микроклимата в помещениях. Она обеспечивает приток свежего воздуха и удаление загрязненного, что особенно важно в условиях городской среды, где уровень загрязнения может быть высоким. Неправильная вентиляция может привести к накоплению вредных веществ,

таких как углекислый газ, пыль и аллергены, что негативно сказывается на здоровье людей.

Во-вторых, с учетом современных стандартов энергоэффективности, системы вентиляции должны быть не только функциональными, но и экономичными. Инновационные технологии, такие как рекуперация тепла, позволяют значительно снизить затраты на отопление и охлаждение помещений, что делает их более привлекательными для потребителей и способствует уменьшению углеродного следа.

Кроме того, в условиях пандемии COVID-19 вопрос вентиляции стал особенно актуальным. Хорошо спроектированные системы вентиляции помогают снижать риск распространения вирусов и бактерий, что делает их необходимыми для общественных зданий, офисов и учебных заведений.

Наконец, с развитием технологий и увеличением конкуренции на рынке, производители вентиляционного оборудования стремятся внедрять инновационные решения, такие как автоматизация и управление через интернет вещей, что позволяет улучшать эффективность работы систем и повышать комфорт для пользователей.

Таким образом, производство вентиляционного оборудования и систем вентиляции является актуальным и важным направлением, способствующим улучшению качества жизни, охране здоровья и обеспечению энергоэффективности в современных условиях.

Цель работы: проектирование системы электроснабжения завода по производству вентиляционного оборудования и систем.

Поставленная цель достигается путем решения задач по расчету и выбору электрооборудования для питания потребителей, а также схемы электроснабжения потребителей рассматриваемого завода.

1 Исследование исходных данных и расчет электрических нагрузок предприятия

1.1 Данные о заводе

Завод по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции состоит из цехов по производству:

- электрооборудования систем вентиляции;
- промышленных вентиляционных установок;
- расходных материалов и запчастей вентиляционного оборудования;
- теплового вентиляционного оборудования;
- вентиляционных систем;
- воздушных обогревателей;
- бытовых вентиляционных установок;
- оборудования для систем вентиляции;
- блочных систем и автоматики;
- вентиляторов наружного и противопожарного исполнения
- вентиляционных коммуникаций.

К потребителям собственных нужд завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции относятся:

- администрация;
- здание учета тепловой энергии и воды;
- склад;
- индивидуальный тепловыделитель;
- цех заготовок;
- мастерская.

На заводе изготавливаются комплектующие вентиляционного оборудования и систем, а также оборудование в различных исполнениях.

1.2 Силовая электрическая нагрузка

«Применим метод расчетных коэффициентов и нагрузок электроприемников завода.

Электроприемники (ЭП) сгруппированы по характерным категориям с одинаковыми коэффициентами использования $K_{И}$ и мощностью. В каждой строке таблицы 1 указаны ЭП с одинаковой мощностью» [18].

«Если в справочных материалах представлены интервальные значения $K_{И}$, для расчетов следует использовать наибольшее из них. Значения $K_{И}$ должны быть определены так, чтобы вероятность превышения фактической средней мощности над расчетной для соответствующей категории ЭП не превышала 0,05» [7],[18].

«При наличии группы, состоящей из ЭП разных категорий (т.е. с различными $K_{И}$), средневзвешенный коэффициент использования вычисляется по следующей формуле:

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

где n – число характерных категорий ЭП, входящих в данную группу;

$P_{Н}$ – групповая номинальная (установленная) активная мощность» [18].

«Формула расчета эффективного числа электроприемников:

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

где $p_{Н}$ – номинальная (установленная) мощность одного электроприемника.

Эффективное число электроприемников округляется до ближайшего меньшего целого числа» [18],[26].

Таблица 1 – Нагрузка завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	n	P_{min}	P_{max}	P_H	$K_{и}$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_H$	$\frac{K_{и} \cdot P_H}{tg\varphi}$	$n_{э}$	K_P	P_p	Q_p	S_p	I_p
			кВт			–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
1.1	Накладные вентиляторы	6	5	9	36	0,56	0,88	0,54	20,16	10,89	–	–	–	–	–	–
	Канальные вентиляторы	5	5	7	28	0,58	0,86	0,59	16,24	9,58	–	–	–	–	–	–
	Крышные вентиляторы	3	5	7	17	0,58	0,86	0,59	9,86	5,82	–	–	–	–	–	–
	Осевые вентиляторы	6	5	9	36	0,58	0,86	0,59	20,88	12,32	–	–	–	–	–	–
	Вентиляторы в шумоизолированном корпусе	12	13	25	192	0,28	0,56	1,48	53,76	79,56	–	–	–	–	–	–
	Цех электрооборудования систем вентиляции	32	–	–	309	0,39	0,71	0,98	120,9	118,17	32	1	120,51	118,10	168,73	256
2.1	Здание учета тепловой энергии и воды	22	6	12	165	0,72	0,83	0,67	118,8	79,6	22	1	118,80	79,60	143,00	217
3.1	Приточные вентиляционные установки	15	7	35,5	212	0,64	0,85	0,62	135,68	84,12	–	–	–	–	–	–
	Вытяжные установки	16	6	35	212	0,64	0,83	0,67	135,68	90,91	–	–	–	–	–	–
	Приточно-вытяжные установки	12	4	28	120	0,14	0,56	1,48	16,8	24,86	–	–	–	–	–	–
	Цех промышленных вентиляционных установок	43	–	–	544	0,53	0,82	0,69	288,16	199,89	36	1	288,32	198,94	350,29	532

Продолжение таблицы 1

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	n	P_{min}	P_{max}	P_H	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_H$	$\frac{K_{и} \cdot P_H}{tg\varphi}$	$n_{э}$	K_P	P_p	Q_p	S_p	I_p
			кВт			–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
4.1	Фильтры для увлажнителей воздуха	12	9	15	126	0,83	0,52	1,64	67,5	114,75	–	–	–	–	–	–
	Картриджи для очистителей воздуха	17	10	16	196	0,83	0,73	0,94	100	90	–	–	–	–	–	–
	Мойки воздуха	22	9	86	622	0,17	0,52	1,64	100	90	–	–	–	–	–	–
	Цех расходных материалов и запчастей вентиляционного оборудования	51	–	–	944	0,28	0,67	1,10	267,5	294,75	48	1	264,32	290,75	392,94	597
5.1	Тепловентиляторы	30	8	13	278	0,58	0,82	0,7	161,24	112,87	–	–	–	–	–	–
	Конвекторы	14	5	18	116	0,22	0,62	1,27	25,52	32,41	–	–	–	–	–	–
	Цех теплового вентиляционного оборудования	44	–	–	394	0,47	0,79	0,78	186,76	145,28	15	1	185,18	144,44	234,85	357
6.1	Мультизональные вентиляторы	24	15	103	888	0,74	0,74	0,91	657,12	597,98	–	–	–	–	–	–
	Потолочные обогреватели	8	5	24	78	0,34	0,5	1,73	26,52	45,88	–	–	–	–	–	–
	Цех вентиляционных систем	32	–	–	966	0,71	0,73	0,94	683,64	643,86	42	1	685,86	644,71	941,30	1430

Продолжение таблицы 1

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	n	P_{min}	P_{max}	P_H	$K_{и}$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_H$	$\frac{K_{и} \cdot P_H}{tg\varphi}$	$n_{э}$	K_P	P_p	Q_p	S_p	I_p
			кВт			–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
7.1	Тепловые пушки	60	10	52	1230	0,66	0,83	0,67	811,8	543,91	–	–	–	–	–	–
	Тепловые завесы	29	8	107	950	0,18	0,56	1,48	171	253,08	–	–	–	–	–	–
	Цех воздушных обогревателей	89	–	–	2180	0,45	0,78	0,81	982,8	796,99	46	1	981,00	794,61	1262,44	1918
8.1	Бытовые вентиляционные установки	60	7	66	1305	0,82	0,83	0,67	1070,1	716,97	–	–	–	–	–	–
	Сменные фильтры и расходные материалы	96	10	182	5088	0,37	0,72	0,96	1882,56	1807,26	–	–	–	–	–	–
	Цех бытовых вентиляционных установок	156	–	–	6393	0,46	0,76	0,85	2952,66	2524,23	72	1	2940,78	2499,66	3859,60	5864
9.1	Блочные вентиляционные установки	148	10	27	2109	0,73	0,77	0,83	1539,57	1277,84	–	–	–	–	–	–
	Контроллеры и автоматика	89	8	108	2937	0,22	0,48	1,83	646,14	1182,44	–	–	–	–	–	–
	Цех автоматики для систем вентиляции	237	–	–	5046	0,43	0,66	1,13	2185,71	2460,28	44	1	2169,78	2451,85	3274,07	4974

Продолжение таблицы 1

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	<i>n</i>	<i>P_{min}</i>	<i>P_{max}</i>	<i>P_H</i>	<i>K_и</i>	<i>cosφ</i>	<i>tgφ</i>	<i>K_и·P_H</i>	<i>K_и·P_H· tgφ</i>	<i>nэ</i>	<i>K_P</i>	<i>P_p</i>	<i>Q_p</i>	<i>S_p</i>	<i>I_p</i>
			кВт			–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
10.1	Центробежные вентиляторы	142	6	54	2556	0,66	0,82	0,7	1686,96	1180,87	–	–	–	–	–	–
	Высокотемпературные вентиляторы	98	6	121	3406	0,23	0,57	1,44	783,38	1128,07	–	–	–	–	–	–
	Цех вентиляторов наружного исполнения	240	–	–	5962	0,41	0,73	0,93	2470,34	2308,94	51	1	2444,42	2273,31	3338,13	5072
11.1	Вентиляторы дымоудаления и взрывозащищенные	75	7	97	2213	0,72	0,78	0,8	1593,36	1274,69	–	–	–	–	–	–
	Противопожарные клапаны	34	8	82	901	0,32	0,67	1,11	288,32	320,04	–	–	–	–	–	–
	Промышленные вентиляторы	57	6	48	941	0,77	0,82	0,7	724,57	507,2	–	–	–	–	–	–
	Цех вентиляционного оборудования противопожарного исполнения	166	–	–	4055	0,64	0,78	0,81	2606,25	2101,93	65	1	2595,20	2102,11	3339,75	5074
12.1	Воздуховоды	7	5	6	37	0,69	0,82	0,7	25,53	17,87	–	–	–	–	–	–
	Решетки и диффузоры	16	8	34	232	0,24	0,63	1,23	55,68	68,49	–	–	–	–	–	–
	Цех производства вентиляционных коммуникаций	23	–	–	269	0,30	0,69	1,06	81,21	86,36	18	1,16	93,61	99,23	136,42	207
13.1	Администрация	36	6	64	738	0,52	0,52	1,64	383,76	629,37	36	1	383,76	629,37	737,14	1120

Продолжение таблицы 1

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	<i>n</i>	<i>P_{min}</i>	<i>P_{max}</i>	<i>P_H</i>	<i>K_и</i>	<i>cosφ</i>	<i>tgφ</i>	<i>K_и·P_H</i>	<i>K_и·P_H· tgφ</i>	<i>n_э</i>	<i>K_P</i>	<i>P_p</i>	<i>Q_p</i>	<i>S_p</i>	<i>I_p</i>
			кВт													
14.1	Склад	15	6	10	105	0,74	0,82	0,7	77,7	54,39	15	1	77,70	54,39	94,84	144
15.1	Насосное отделение	17	7	10	132	0,56	0,72	0,96	73,92	70,96	–	–	–	–	–	–
	Защитная автоматика	8	5	9	48	0,73	0,48	1,83	35,04	64,12	–	–	–	–	–	–
	Индивидуальный теплопункт	25	–	–	180	0,61	0,63	1,24	108,96	135,08	12	1	109,80	136,15	174,91	266
16.1	Фасовка теплоизоляционных материалов	27	6	10	189	0,57	0,88	0,54	107,73	58,17	–	–	–	–	–	–
	Трубопрокат	13	5	13	91	0,35	0,48	1,83	31,85	58,29	–	–	–	–	–	–
	Изготовление воздуховодов	8	6	13	62	0,34	0,48	1,83	21,08	38,58	–	–	–	–	–	–
	Цех заготовок	48	–	–	342	0,47	0,72	0,97	160,66	155,04	17	1	160,74	155,92	223,94	340
17.1	Установка сжатого воздуха и фреона	10	6	10	70	0,67	0,82	0,7	46,9	32,83	–	–	–	–	–	–
	Инструментальная	17	7	25	196	0,22	0,63	1,23	43,12	53,04	–	–	–	–	–	–
	Мастерская	27	–	–	266	0,34	0,72	0,95	90,02	85,87	17	1	90,44	85,92	124,75	190
–	–	1286	4	182	28858	–	–	–	13766	12820	–	–	13710	12759	18797	28559

«Коэффициент расчетной нагрузки K_p определяется на основе средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников. Этот коэффициент расчетной мощности необходим для вычисления расчетной активной мощности.» [18].

«Формула расчета активной мощности:

$$P_p = K_p \sum K_{и} P_{н}, \quad (3)$$

где K_p – коэффициент расчетной мощности;

$K_{и}$ – коэффициент использования;

$P_{н}$ – номинальная мощность, кВт» [18].

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

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

где $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников» [18].

«Для напряжения сети электроснабжения до 1 кВ при $n_{э} \leq 10$, значение расчетной реактивной мощности необходимо умножить на коэффициент 1,1 (п.3.2.8.1)» [18].

1.3 Осветительная нагрузка

«Расчетные нагрузки должны учитывать нагрузку искусственного освещения внутри цехов завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции, а также уличное освещение на территории» [25].

«Осветительная нагрузка завода, занимающегося производством вентиляционного оборудования и систем вентиляции, будем рассчитывать с использованием метода удельной мощности:

$$P_{\text{осв}} = F_{\text{осв}} \cdot S_{\text{осв}} \cdot K_{\text{осв}} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где $F_{\text{осв}}$ – освещаемая площадь, м²;

$S_{\text{осв}}$ – удельная плотность нагрузки, Вт/м²;

$K_{\text{осв}}$ – коэффициент спроса» [7].

«Наименьшая освещенность цехов завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции составляет 300 лк» [7].

«Для данной освещенности соответствует значение удельной мощности 13-21 Вт/м². Значения удельной мощности цехов завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции представлены в таблице 2» [19].

«Для устанавливаемых светодиодных светильников коэффициент мощности составляет 0,95» [10].

«Конструкция и кривая силы света (КСС) данных светильников представлены на рисунке 1 и 2 соответственно» [5].

Таблица 2 – Осветительная нагрузка завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции

Потребитель	Наименование	P_p	Q_p	S_p	$F_{осв}$	λ	$K_{осв}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{осв}$	$Q_{осв}$	$S_{осв}$	P'_p	Q'_p	S'_p
		кВт	квар	кВА	м ²	Вт/м ²	–	–	–	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
1.1	Цех электрооборудования систем вентиляции	120,5	118,1	168,7	1229	16	0,83	0,95	0,33	16,3	5,4	17,2	136,8	123,5	185,9
2.1	Здание учета тепловой энергии и воды	118,8	79,6	143,0	823	13	0,6	0,95	0,33	6,4	2,1	6,7	125,2	81,7	149,7
3.1	Цех промышленных вентиляционных установок	288,3	198,9	350,3	781	17	0,86	0,95	0,33	11,4	3,8	12,0	299,7	202,7	362,3
4.1	Цех расходных материалов и запчастей вентиляционного оборудования	264,3	290,8	392,9	7123	13	0,62	0,95	0,33	57,4	18,9	60,4	321,7	309,7	453,3
5.1	Цех теплового вентиляционного оборудования	185,2	144,4	234,9	1292	17	0,62	0,95	0,33	13,6	4,5	14,3	198,8	148,9	249,2
6.1	Цех вентиляционных систем	685,9	644,7	941,3	1068	17	0,85	0,95	0,33	15,4	5,1	16,2	701,3	649,8	957,5

Продолжение таблицы 2

Потребитель	Наименование	P_p	Q_p	S_p	$F_{осв}$	λ	$K_{осв}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{осв}$	$Q_{осв}$	$S_{осв}$	P'_p	Q'_p	S'_p
		кВт	квар	кВА	м ²	Вт/м ²	–	–	–	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
7.1	Цех воздушных обогревателей	981,0	794,6	1262,4	6396	16	0,95	0,95	0,33	97,2	32,1	102,4	1078,2	826,7	1364,8
8.1	Цех бытовых вентиляционных установок	2940,8	2499,7	3859,6	10754	17	0,96	0,95	0,33	175,5	57,9	184,8	3116,3	2557,6	4044,4
9.1	Цех автоматики для систем вентиляции	2169,8	2451,9	3274,1	9968	21	0,94	0,95	0,33	196,8	64,9	207,2	2366,6	2516,8	3481,3
10.1	Цех вентиляторов наружного исполнения	2444,4	2273,3	3338,1	18372	17	0,97	0,95	0,33	303,0	100,0	319,1	2747,4	2373,3	3657,2
11.1	Цех вентиляционного оборудования противопожарного исполнения	2595,2	2102,1	3339,8	9874	17	0,95	0,95	0,33	159,5	52,6	168,0	2754,7	2154,7	3507,8
12.1	Цех производства вентиляционных коммуникаций	93,6	99,2	136,4	1614	17	0,96	0,95	0,33	26,3	8,7	27,7	119,9	107,9	164,1

Продолжение таблицы 2

Потребитель	Наименование	P_p	Q_p	S_p	$F_{осв}$	λ	$K_{осв}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{осв}$	$Q_{осв}$	$S_{осв}$	P'_p	Q'_p	S'_p
		кВт	квар	кВА	м ²	Вт/м ²	–	–	–	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
13.1	Администрация	383,8	629,4	737,1	3848	16	0,95	0,95	0,33	58,5	19,3	61,6	442,3	648,7	798,7
14.1	Склад	77,7	54,4	94,8	3196	19	0,94	0,95	0,33	57,1	18,8	60,1	134,8	73,2	154,9
15.1	Индивидуальный теплопункт	109,8	136,2	174,9	732	19	0,92	0,95	0,33	12,8	4,2	13,5	122,6	140,4	188,4
16.1	Цех заготовок	160,7	155,9	223,9	1747	19	0,82	0,95	0,33	27,2	9,0	28,7	187,9	164,9	252,6
17.1	Мастерская	90,4	85,9	124,8	1152	21	0,62	0,95	0,33	15,0	5,0	15,8	105,4	90,9	140,6
Всего		13710	12759	18797	7996 9	–	–	0,95	0,33	1249	412	1316	14959	13171	20113

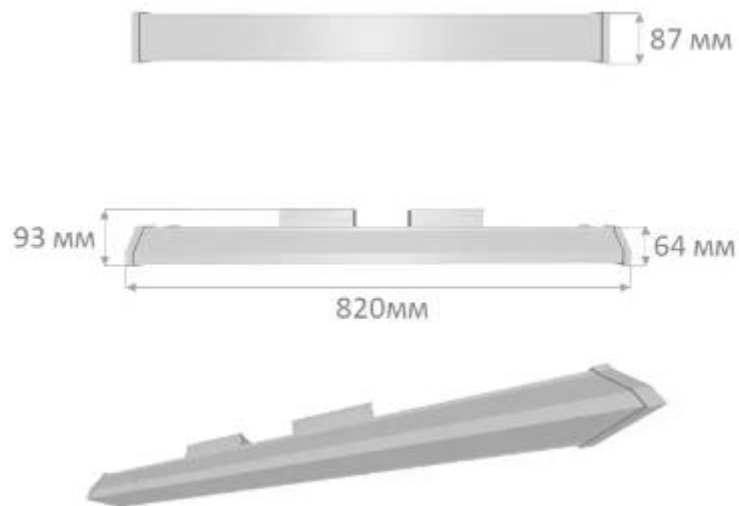


Рисунок 1 – Конструкция светильников

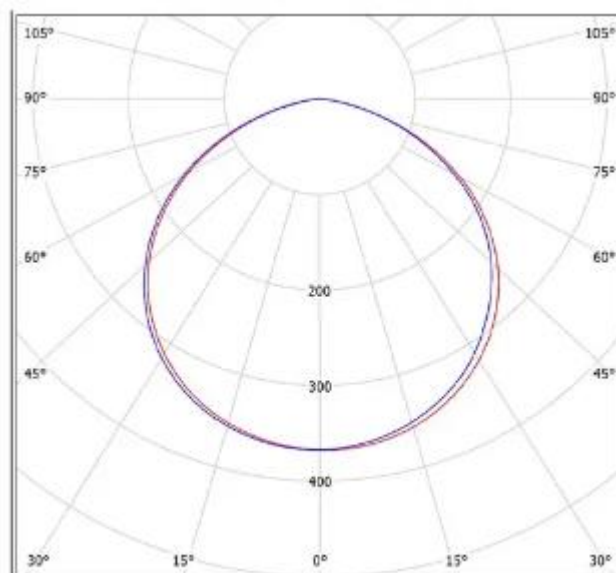


Рисунок 2 – КСС светильников

Выводы по разделу.

Завод, занимающийся производством вентиляционного оборудования и систем вентиляции, имеет осветительную нагрузку в 1316 кВА, а полная расчетная мощность составляет 20113 кВА.

2 Выбор схемы питания потребителей

2.1 Расчет числа и мощности трансформаторов

«Электроснабжение цехов завода осуществляется от внешних электросетей напряжением 110 кВ.

Принимаем глухозаземленную нейтраль трансформатора для напряжения сети 380/220В и тип системы заземления TN-C-S» [8].

«Полную мощность трансформатора для каждой ТП определим по методу удельной плотности нагрузок» [26].

«По формуле ниже определим удельную мощность:

$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{S'_{\text{расч}}}{F_3}, \quad (6)$$
$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{20113}{580 \cdot 430} = 0,081 \text{ кВА/м}^2,$$

где $S'_{\text{расч}}$ – полная расчетная мощность цехов завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции, кВА;

F_3 – площадь завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции, м²» [15].

«Так как преобладает первая категория надежности, коэффициент загрузки принимается равным 0,7» [15].

«Для электроснабжения отдельных цехов необходимо использование двух и более подстанций. Во время аварийных ситуаций рабочие трансформаторы должны покрывать 40% перегрузку во время отключения одного из трансформаторов» [15],[27].

«Питание потребителей завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции осуществляется от девяти ТП с двумя трансформаторами мощностью 1250 кВА» [15].

«Для уменьшения доли реактивной нагрузки требуется установка компенсирующих устройств. Теперь проведем расчет их мощности» [25].

«Меры по компенсации реактивной мощности и размещение компенсирующих устройств должны быть согласованы с электроснабжением всего завода, требованиями электроснабжающей организации и основываться на технико-экономическом расчете» [14].

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

$$Q = \sqrt{(1,1 \cdot N \cdot k_{з.тр} \cdot S_{тр})^2 - P'_{р}{}^2}, \quad (7)$$

$$Q = \sqrt{(1,1 \cdot 18 \cdot 0,7 \cdot 1250)^2 - 14959^2} = 8740 \text{ квар.}$$

где $P'_{расч}$ – активная нагрузка с учетом освещения, кВт;

$S_{тр}$ – мощность трансформатора, кВА.

Рассчитаем мощность одной конденсаторной батареи:

$$Q_{бк.сум} = \sum Q'_{р} - Q, \quad (8)$$

$$Q_{бк.сум} = 13171 - 8740 = 4431 \text{ квар,}$$

$$Q_{бк} = \frac{Q_{бк.сум}}{N}, \quad (9)$$

$$Q_{бк} = \frac{4431}{18} = 246 \text{ квар.}$$

где $Q'_{расч}$ – реактивная нагрузка с учетом освещения, квар.

Установим на ТП завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции УКРМ мощностью 250 квар в общем количестве 18 шт. Суммарная мощность УКРМ составляет 4500 квар» [12],[13].

«Исходя из методики расчета удельной плотности нагрузки, необходимо определить центры электрических нагрузок (ЦЭН)» [24].

«Оптимальный выбор расположения источников питания играет ключевую роль в создании эффективной распределительной сети. ПС всех мощностей, напряжений и токов должны находиться как можно ближе к центральным электрическим нагрузкам, к которым они подключены. Для определения наиболее выгодного варианта расположения ПС на территории предприятия разрабатываются картограммы нагрузок» [22].

«ЦЭН завода определяется по формуле:

$$x_{ц} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{ц} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i}, \quad (10)$$

где S – нагрузка i -го потребителя, кВА;

x_i, y_i – координаты ЦЭН i -го потребителя» [27].

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок определяется по формуле:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (11)$$

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

m – масштаб для определения площади окружности (примем равным 0,7)» [27].

«К шинам ГПП с напряжением 10 кВ подключены синхронные и асинхронные двигатели. Принципиальная схема ГПП представлена на рисунке 3.

С учетом компенсации вычислим коэффициенты загрузки трансформаторов и представим их таблице 3. При питании потребителя от нескольких ТП, учитывается отключение только одного трансформатора» [13].

Таблица 3 – ЦЭН завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции

Потребитель	Наименование	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$Q_{\text{УКРМ}}$	$S''_{\text{расч}}$	x_i	y_i	k_3	r_i
		кВт	квар	квар	кВА	м	м	–	м
ТП-1.2		1783,5	1516,3	2x250	1783,785	245	485	0,7135	–
1.1	Цех электрооборудования систем вентиляции	136,8	123,5	–	185,9	194	574	–	9,19
2.1	Здание учета тепловой энергии и воды	125,2	81,7	–	149,7	124	514	–	8,25
3.1	Цех промышленных вентиляционных установок	299,7	202,7	–	362,3	249	534	–	12,84
4.1	Цех расходных материалов и запчастей вентиляционного оборудования	321,7	309,7	–	453,3	144	454	–	14,36
5.1	Цех теплового вентиляционного оборудования	198,8	148,9	–	249,2	349	484	–	10,65
6.1	Цех вентиляционных систем	701,3	649,8	–	957,5	294	459	–	20,87
ТП-2.2, ТП-3.2		3116,3	2557,6	4x250	3116,55	424	389	0,6233	–
8.1	Цех бытовых вентиляционных установок	3116,3	2557,6	–	4044,4	424	389	–	42,88
ТП-4.2, ТП-5.2		3444,8	3343,5	4x250	3445,14	184	327,94	0,6890	–
7.1	Цех воздушных обогревателей	1078,2	826,7	–	1364,8	184	389	–	24,91
9.1	Цех автоматики для систем вентиляции	2366,6	2516,8	–	3481,3	184	304	–	39,79

Продолжение таблицы 3

Потребитель	Наименование	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$Q_{\text{УКРМ}}$	$S''_{\text{расч}}$	x_i	y_i	k_3	r_i
		кВт	квар	квар	кВА	м	м	–	м
ТП-6.2-ТП-9.2		6615	5754	8x250	6615,284	325	186	0,6615	–
10.1	Цех вентиляторов наружного исполнения	2747,4	2373,3	–	3657,2	439	224	–	40,78
11.1	Цех вентиляционного оборудования противопожарного исполнения	2754,7	2154,7	–	3507,8	184	199	–	39,94
12.1	Цех производства вентиляционных коммуникаций	119,9	107,9	–	164,1	534	114	–	8,64
13.1	Администрация	442,3	648,7	–	798,7	419	114	–	19,06
14.1	Склад	134,8	73,2	–	154,9	164	29	–	8,39
15.1	Индивидуальный теплопункт	122,6	140,4	–	188,4	234	29	–	9,26
16.1	Цех заготовок	187,9	164,9	–	252,6	314	34	–	10,72
17.1	Мастерская	105,4	90,9	–	140,6	424	44	–	8

«Принятие схемы питания 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, возможностями монтажных работ.

Для электроснабжения потребителей завода применяются следующие схемы:

- радиальная,
- магистральная» [14].

Наиболее эффективную схему определим расчетным путем.

2.2 Технико-экономический расчет схем электроснабжения

Рассчитаем радиальную и магистральную схемы с кабелями марки АПвБШп.

«Ток линии:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot n}, \quad (12)$$

где n – количество кабельных линий, участвующих в электроснабжении потребителя» [15].

«Сечение кабельной линии:

$$F = \frac{I}{j} \quad (13)$$

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» [15].

«Для выбранной марки кабеля $j = 1,6 \text{ А/мм}^2$, поскольку принимаем, что число часов использования максимума нагрузки более 5100 часов» [15].

«Длительно допустимый ток:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{справ}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_t \cdot k_{\text{ж}}, \quad (14)$$

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 $k_t = 1,06$;

$k_{\text{ж}}$ – коэффициент поправки на количество жил. Для четырехжильного кабеля принимаем $k_{\text{ж}} = 0,92$ » [15].

«Следует предусматривать резервирование в схеме электроснабжения так, чтобы все ее элементы, как правило, в рабочем режиме были под нагрузкой, а в послеаварийных режимах обеспечивалось функционирование основных производств предприятия и учитывалась перегрузочная способность электрооборудования и линий электропередач» [14].

«При послеаварийном режиме отключен один из кабелей. Поэтому коэффициент прокладки меняет свое значение $k_{\text{п}} = 1$ » [15].

«Расчетные значения допустимых токов радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Рассчитаем потери напряжения. Нормативные требования предусматривают для сетей 10 кВ допустимые потери напряжений не более 5%» [23].

В процессе передачи электрической энергии от одного узла сети к другому происходит снижение электрического напряжения. Поэтому проведем расчет потерь напряжения.

«По формуле ниже определим потери напряжения в кабельных линиях:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_n} l, \quad (15)$$

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

l – длина КЛ, км;

P, Q – активная и реактивная мощность протекающая через КЛ завода» [17].

«Расчетные значения потерь радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 6 и 7 соответственно, а финансовые затраты для установки на местности в таблицах 8 и 9» [25].

Таблица 4 – Расчет радиальной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$I_{\text{расч}}$	$I_{\text{па}}$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$I_{\text{справ}}$	$I_{\text{д.расч}}$	$I_{\text{д.па}}$
	кВт	квар	кВА	А		мм ²		А		
ТП-1.3 - ТП-1.2	1783,50	31,60	1783,78	51,49	102,98	32,18	35	147	129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-2.2	1558,15	1288,98	2022,20	58,38	116,76	36,49	50	192	168,51	187,24
ТП-1.3 - ТП-3.2	1558,15	1288,98	2022,20	58,38	116,76	36,49			168,51	187,24
ТП-1.3 - ТП-4.2	1722,40	24,20	1722,57	49,73	99,46	31,08	35	147	129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-5.2	1722,40	24,20	1722,57	49,73	99,46	31,08			129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-6.2	1653,75	15,22	1653,82	47,74	95,48	29,84			129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-7.2	1653,75	15,22	1653,82	47,74	95,48	29,84			129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-8.2	1653,75	15,22	1653,82	47,74	95,48	29,84			129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-9.2	1653,75	15,22	1653,82	47,74	95,48	29,84			129,02	143,35

Таблица 5 – Расчет магистральной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$I_{\text{расч}}$	$I_{\text{па}}$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$I_{\text{справ}}$	$I_{\text{д.расч}}$	$I_{\text{д.па}}$
	кВт	квар	кВА	А		мм ²		А		
ТП-1.3 - ТП-1.2	5512,40	3545,48	6554,16	189,20	378,40	118,25	150	437	383,55	426,16
ТП-1.2 - ТП-2.2	3996,10	2605,31	4770,37	137,71	275,42	86,07	95	310	272,08	302,31
ТП-2.2 - ТП-3.2	2717,30	1712,85	3212,10	92,73	185,46	57,96	70	247	216,79	240,87
ТП-1.3 - ТП-4.2	7659,00	3465,64	8406,60	242,68	485,36	151,68	185	511	448,49	498,33
ТП-4.2 - ТП-5.2	5987,25	2971,38	6684,03	192,95	385,90	120,59	150	437	383,55	426,16
ТП-5.2 - ТП-6.2	4315,50	2447,97	4961,46	143,23	286,46	89,52	95	310	272,08	302,31
ТП-6.2 - ТП-7.2	2877,00	1631,98	3307,64	95,48	190,96	59,68	70	247	216,79	240,87
ТП-7.2 - ТП-8.2	1438,50	815,99	1653,82	47,74	95,48	29,84	35	147	129,02	143,35
ТП-3.2 - ТП-9.2	1438,50	815,99	1653,82	47,74	95,48	29,84	35	147	129,02	143,35

Таблица 6 – Потери напряжения радиальной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$r_{\text{КЛ}}$	$x_{\text{КЛ}}$	l	$\Delta U_{\text{расч}}$	$\Delta U_{\text{па}}$
	кВт	квар	кВА	мм ²	Ом/км		м	%	
ТП-1.3 - ТП-1.2	1783,50	31,60	1783,78	35	0,943	0,088	306	2,58%	5,16%
ТП-1.3 - ТП-2.2	1558,15	1288,98	2022,20	50	0,660	0,087	154	0,88%	1,76%
ТП-1.3 - ТП-3.2	1558,15	1288,98	2022,20				175	1,00%	2,00%
ТП-1.3 - ТП-4.2	1722,40	24,20	1722,57	35	0,943	0,088	254	2,07%	4,14%
ТП-1.3 - ТП-5.2	1722,40	24,20	1722,57				155	1,26%	2,52%
ТП-1.3 - ТП-6.2	1653,75	15,22	1653,82				155	1,21%	2,42%
ТП-1.3 - ТП-7.2	1653,75	15,22	1653,82				78	0,61%	1,22%
ТП-1.3 - ТП-8.2	1653,75	15,22	1653,82				78	0,61%	1,22%
ТП-1.3 - ТП-9.2	1653,75	15,22	1653,82				78	0,61%	1,22%

Таблица 7 – Потери напряжения магистральной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$r_{\text{кЛ}}$	$x_{\text{кЛ}}$	l	$\Delta U_{\text{расч}}$	$\Delta U_{\text{па}}$
	кВт	квар	кВА	мм ²	Ом/км		м	%	
ТП-1.3 - ТП-1.2	5512,40	3545,48	6554,16	150	0,220	0,081	306	2,29%	4,58%
ТП-1.2 - ТП-2.2	3996,10	2605,31	4770,37	95	0,347	0,084	14	0,11%	0,22%
ТП-2.2 - ТП-3.2	2717,30	1712,85	3212,10	70	0,471	0,086	155	1,11%	2,22%
ТП-1.3 - ТП-4.2	7659,00	3465,64	8406,60	185	0,178	0,080	75	0,62%	1,24%
ТП-4.2 - ТП-5.2	5987,25	2971,38	6684,03	150	0,220	0,081	104	0,81%	1,62%
ТП-5.2 - ТП-6.2	4315,50	2447,97	4961,46	95	0,347	0,084	156	1,33%	2,66%
ТП-6.2 - ТП-7.2	2877,00	1631,98	3307,64	70	0,471	0,086	204	1,53%	3,06%
ТП-7.2 - ТП-8.2	1438,50	815,99	1653,82	35	0,943	0,088	25	0,18%	0,36%
ТП-3.2 - ТП-9.2	1438,50	815,99	1653,82	35	0,943	0,088	25	0,18%	0,36%

Таблица 8 – Стоимость монтажа радиальной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	l	p_k	$З_k$	$З_{\text{пр}}$	$З_{\text{раз}}$	$З_3$	$З$
	кВт	квар	кВА	мм ²	м	руб/м	тыс.руб				
ТП-1.3 - ТП-1.2	1783,50	31,60	1783,78	35	306	435	266,22	140,76	88,74	55,08	550,80
ТП-1.3 - ТП-2.2	1558,15	1288,98	2022,20	50	154	510	157,08	70,84	44,66	27,72	300,30
ТП-1.3 - ТП-3.2	1558,15	1288,98	2022,20	50	175	510	178,50	80,50	50,75	31,50	341,25
ТП-1.3 - ТП-4.2	1722,40	24,20	1722,57	35	254	435	220,98	116,84	73,66	45,72	457,20
ТП-1.3 - ТП-5.2	1722,40	24,20	1722,57	35	155	435	134,85	71,30	44,95	27,90	279,00
ТП-1.3 - ТП-6.2	1653,75	15,22	1653,82	35	155	435	134,85	71,30	44,95	27,90	279,00
ТП-1.3 - ТП-7.2	1653,75	15,22	1653,82	35	78	435	67,86	35,88	22,62	14,04	140,40
ТП-1.3 - ТП-8.2	1653,75	15,22	1653,82	35	78	435	67,86	35,88	22,62	14,04	140,40
ТП-1.3 - ТП-9.2	1653,75	15,22	1653,82	35	78	435	67,86	35,88	22,62	14,04	140,40
Итоговые значения	–	–	–	–	–	–	1296,06	659,18	415,57	257,94	2628,75

Таблица 9 – Стоимость монтажа магистральной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	l	p_k	$З_k$	$З_{\text{пр}}$	$З_{\text{раз}}$	$З_3$	$З$
	кВт	квар	кВА	мм ²	м	руб/м	тыс.руб				
ТП-1.3 - ТП-1.2	5512,40	3545,48	6554,16	150	306	1010	618,12	140,76	88,74	55,08	902,70
ТП-1.2 - ТП-2.2	3996,10	2605,31	4770,37	95	14	735	20,58	6,44	4,06	2,52	33,60
ТП-2.2 - ТП-3.2	2717,30	1712,85	3212,10	70	155	610	189,10	71,30	44,95	27,90	333,25
ТП-1.3 - ТП-4.2	7659,00	3465,64	8406,60	185	75	1185	177,75	34,50	21,75	13,50	247,50
ТП-4.2 - ТП-5.2	5987,25	2971,38	6684,03	150	104	1010	210,08	47,84	30,16	18,72	306,80
ТП-5.2 - ТП-6.2	4315,50	2447,97	4961,46	95	156	735	229,32	71,76	45,24	28,08	374,40
ТП-6.2 - ТП-7.2	2877,00	1631,98	3307,64	70	204	610	248,88	93,84	59,16	36,72	438,60
ТП-7.2 - ТП-8.2	1438,50	815,99	1653,82	35	25	435	21,75	11,50	7,25	4,50	45,00
ТП-3.2 - ТП-9.2	1438,50	815,99	1653,82	35	25	435	21,75	11,50	7,25	4,50	45,00
Итоговые значения	–	–	–	–	–	–	1737,33	489,44	308,56	191,52	2726,85

«Допустимые потери напряжения для расчетных схем соблюдаются» [4].

«Затраты на установку кабельных сетей включают в себя стоимость кабельной продукции и затраты на монтажные работы. Капиталовложения, требуемые для прокладки кабельных сетей, также учитываются.:

$$Z = Z_{\text{кл}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{раз}} + Z_{\text{з}} = (K_{\text{кл}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{раз}} + K_{\text{з}}) \cdot l \quad (16)$$

где $K_{\text{кл}}$ – стоимость закупки погонного метра кабеля, руб/м;

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

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

$K_{\text{з}}$ – стоимость засыпки, руб/м» [11],[20].

Выводы по разделу.

Электроснабжение цехов завода по производству вентиляционного оборудования и систем вентиляции необходимо осуществить от девяти ТП с 2×ТМГ-1250/10/0,4) с компенсацией реактивной мощности батареями мощностью 250 квар по радиальной схеме.

3 Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования

3.1 Определение токов короткого замыкания точек цепи

Для расчета токов короткого замыкания (КЗ) изобразим ГПП схематично на рисунке 3.

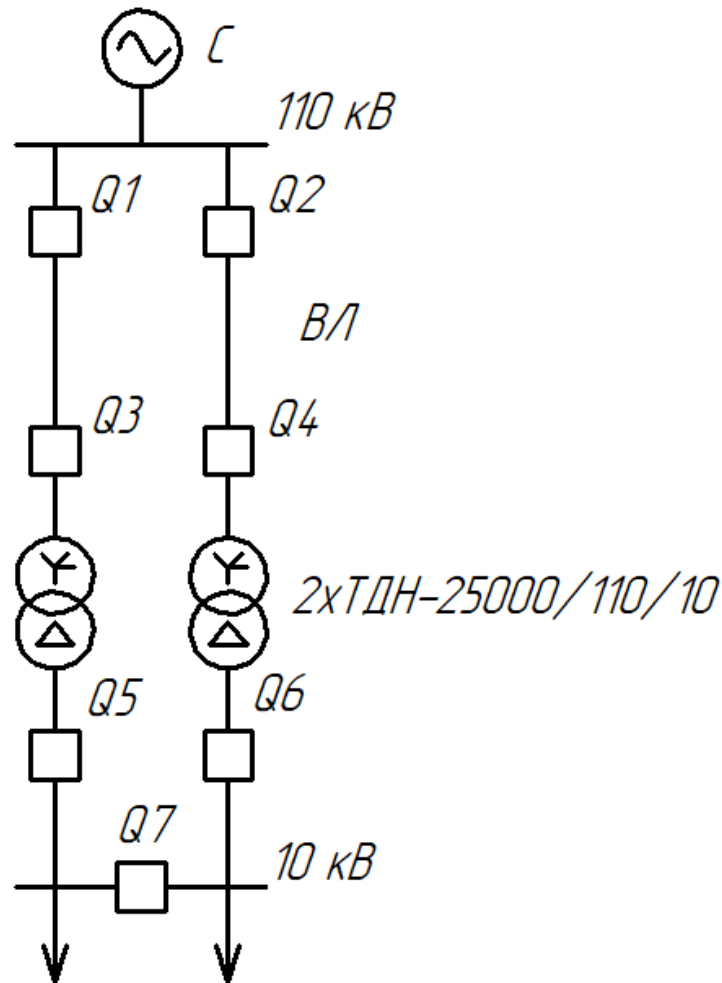


Рисунок 3 – Схема ГПП

«Мощность трехфазного КЗ сети с $S_c = 4000$ МВА. Базисное напряжение $U_6 = 10,5$ кВ, базисная мощность $S_6 = 1000$ МВА» [6]

Отразим схему замещения ГПП (рисунок 4).

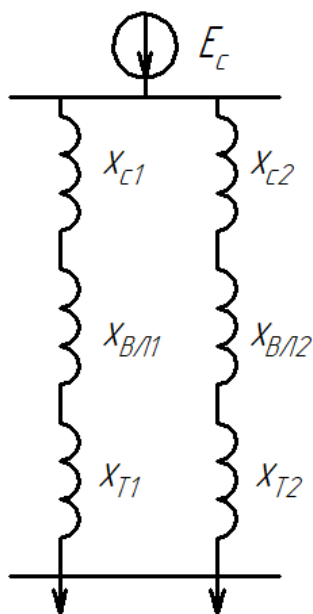


Рисунок 4 – Схема замещения

«Базисный ток ступеней напряжения 10 кВ и 110 кВ:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}, \quad (17)$$

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

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

Рассчитаем полную мощность ГПП, ход расчета представим в таблице 10.

Таблица 10 – Полная мощность ТП и ГПП и их места расположения

Наименование		ГПП	ТП				СД			АД
			1.2	2.2, 3.2	4.2, 5.2	6.2- 9.2	1.2, 2.2	3.2, 4.2	5.2- 10.2	1.2- 5.2
x_i	м	245	245	424	184	325	292	292	182	182
y_i	м	265	485	389	328	186	457	457	197	196
S''_p	кВА	34660,75	1783,8	3116,6	3445,1	6615,3	1200	2100	14000	2400

Мощность трансформаторов ГПП с учетом перегрузки:

$$S_{\text{тр.гпп}} = \frac{S''_{\text{расч}}}{0,7 \cdot n_{\text{тр}}}, \quad (18)$$

$$S_{\text{тр.гпп}} = \frac{34660,75}{0,7 \cdot 2} = 24758 \text{ МВА.}$$

где $S''_{\text{расч}}$ – полная мощность с учетом компенсации, кВА.

$n_{\text{тр}}$ – количество трансформаторов.

«Каждый из трансформаторов ГПП подключим через провод АС150/24 длиной 17 км» [11].

Выберем для ГПП 2×ТДН-25000/110, коэффициент загрузки $k_3 = 0,69$ » [3].

«Сопротивление воздушной линии (ВЛ) в Ом:

$$r_{\text{вл}} = r_{\text{уд}} \cdot l_{\text{вл}}, \quad (19)$$

$$r_{\text{вл}} = 0,205 \cdot 17 = 3,485 \text{ Ом,}$$

где $r_{\text{уд}}$ – удельное сопротивление ВЛ, Ом/км;

$l_{\text{вл}}$ – длина ВЛ, км.

Сопротивление ВЛ в о.е.:

$$x_{\text{бвл}} = r_{\text{вл}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{вн}}^2}, \quad (20)$$

$$x_{\text{бвл}} = 3,485 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,2635 \text{ о.е.,}$$

где $U_{\text{вн}}$ – напряжение ВЛ, кВ.

Сопротивление системы в о.е.:

$$x_{\text{бс}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{с}}}, \quad (21)$$

$$x_{6c} = \frac{1000}{4000} = 0,25 \text{ о.е.}$$

Сопротивление трансформатора:

$$x_{6T} = \frac{S_6 U_k}{100 \cdot S_{TP}}, \quad (22)$$

$$x_{6T} = \frac{1000 \cdot 10,5}{100 \cdot 25} = 4,2 \text{ о.е.,}$$

где U_k – напряжение КЗ, %.

Эквивалентное сопротивление схемы:

$$x_{6Э} = \frac{x_{6c} + x_{6вл} + x_{6T}}{2}, \quad (23)$$

$$x_{6Э} = \frac{0,25 + 0,2635 + 4,200}{2} = 2,3568 \text{ о.е.}$$

В итоге принимаем, что ЭДС $E_{вн} = E_T = 1,0$ о.е., $x_{вн} = 2,36$ о.е. (рисунок 5), для ЭДС двигателя – $E_{дв0} = 1,1$ о.е.» [3],[6].

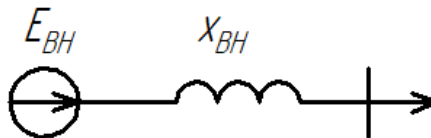


Рисунок 5 – Конечная схема замещения

«Проведем расчет сопротивления от точки КЗ до шин ТП» [3].

«Сверхпереходный ток сети внешнего электроснабжения:

$$I''_{вн} = \frac{E''_{вн} I_6}{x_{вн} + x_{доп}} = \frac{E''_{вн}}{x_{\Sigma}} \cdot I_6, \quad (24)$$

где $x_{доп}$ – сопротивление участка короткозамкнутой цепи.

Получаем $I''_{вн} = 23,34$ кА» [6].

«Эквивалентное сопротивление электродвигателей:

$$x_{дво} = \frac{1}{\sum \frac{1}{x_{сдi}} + \sum \frac{1}{x_{адi}}}, \quad (25)$$

$$x_{дво} = \frac{1}{\frac{1}{92,42} + \frac{1}{53,46} + \frac{1}{7,62} + \frac{1}{94,42}} = 5,85 \text{ о.е.}$$

Сверхпереходный ток с учетом подпитки электродвигателей:

$$I''_{дво} = \frac{E''_{дво} I_6}{x_{дво}}, \quad (26)$$

$$I''_{дво} = \frac{1,1 \cdot 55}{5,85} = 10,34 \text{ кА.}$$

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

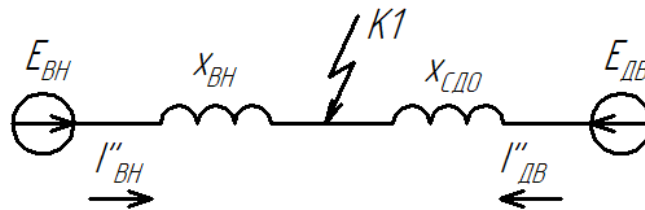


Рисунок 6 – Схема КЗ для точки К1

Сверхпереходное значение трехфазного тока КЗ:

$$I''_{К1} = I''_{ВН} + I''_{дво}, \quad (27)$$

$$I''_{К1} = I''_{ВН} + I''_{ДВ} = 23,34 + 10,34 = 33,68 \text{ кА.}$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{уд} = k_{уд} \sqrt{2} I''_{ВН} + k_{уд,дв} \sqrt{2} I''_{дво}, \quad (28)$$

$$i_{уд} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 23,34 + 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,34 = 54,94 \text{ кА,}$$

где $k_{уд}$ и $k_{уд,дв}$ – ударные коэффициенты, определяемые по расчетным кривым» [6].

«Рассчитаем КЗ в точке К2. Кабельная линия 0,5 км, с $x_{\text{КЛ1}} = 0,267$ о.е.,
 $r_{\text{КЛ1}} = 13,88$ о.е.

Ток КЗ в точке К2 равен:

$$I_{n0} = \frac{E_6}{\sqrt{x_{\text{КЛ1}}^2 + r_{\text{КЛ1}}^2}} \cdot I_6, \quad (29)$$

$$I_{n0} = \frac{1}{\sqrt{0,267^2 + 13,88^2}} \cdot 55 = 3,962 \text{ кА.}$$

Ударный ток:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (30)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 3,962 \cdot 1,4 = 8,405 \text{ кА.}$$

На стороне до 1 кВ при расчете токов КЗ необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления элементов цепи. Выберем точки КЗ, К4» [3].

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными $r_{\text{КВ}}=0,25$ мОм, $x_{\text{КВ}}=0,1$ мОм, $r_{\text{к}}=0,1$ мОм, $r_{\text{ав}}=0,25$ мОм, $x_{\text{ав}}=0,1$ мОм» [3].

«Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_c}. \quad (31)$$

Сопротивления трансформатора:

$$r_T = \frac{P_K \cdot U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{Тр}}^2} \cdot 10^6, \quad (32)$$

$$x_T = \sqrt{U_K^2 - \left(\frac{100 \cdot P_K}{S_{\text{Тр}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{Тр}}} \cdot 10^4 \text{ ю} \quad (33)$$

Сопrotивление цепи до точки КЗ:

$$r_{\text{сумм}} = r_{\text{КЛ2}} + r_{\text{T}} + r_{\text{K}} + r_{\text{ав}} + r_{\text{ТТ}}, \quad (34)$$

$$x_{\text{сумм}} = x_{\text{КЛ2}} + x_{\text{T}} + x_{\text{ав}} + x_{\text{ТТ}} + x_{\text{C}}, \quad (35)$$

где $x_{\text{КЛ2}}$ и $r_{\text{КЛ2}}$ – сопротивления кабельной линии» [3],[26].

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

$$I_{n0} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{сумм2}}^2 + x_{\text{сумм2}}^2)}}. \quad (36)$$

Угол сдвига по фазе:

$$\varphi = \arctg \left(\frac{x_{\text{сумм2}}}{r_{\text{сумм2}}} \right). \quad (37)$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi}{\pi}. \quad (38)$$

Ударный коэффициент:

$$K_{\text{уд}} = \left(1 + \sin\varphi \cdot e^{-\frac{t_{\text{уд}}}{T_a}} \right). \quad (39)$$

Ударный ток определяется по формуле 30 (таблица 11)» [3].

Таблица 11 – Расчет токов КЗ

Точка	Элемент цепи	$U_{н.ср}$	S	l	u_k	$r^{*(б)}$	$x^{*(б)}$	I_{n0}	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
К-1	Система	115	4000	–	–	0,005	0,250	–	–	–	–	–	–
	ВЛ от системы до ГПП	115	–	16000	–	0,091	0,363	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	115	–	–	–	0,096	0,613	8,091	323,653	1,415	9,504	1,959	22,416
К-2	Приведенное сопротивление точки КЗ	10,5	–	–	–	0,800	5,110	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор	115/10,5	25	–	10,5	0,004	0,071	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	0,804	5,181	10,487	326,624	1,417	9,510	1,960	29,068
К-3	КЛ от ГПП до ТП	10,5	–	78	–	21,224	5,306	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор тока	10,5	–	–	–	0,350	0,200	–	–	–	–	–	–
	Контакты	10,5	–	–	–	15,000	–	–	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	10,5	–	–	–	0,060	0,045	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	36,634	5,551	1,484	7,680	0,150	5,477	1,073	2,252
К-4	КЛ от системы до ГПП	10,5	–	52	–	18,866	4,717	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор тока	10,5	–	–	–	0,350	0,200	–	–	–	–	–	–
	Контакты	10,5	–	–	–	15,000	–	–	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	10,5	–	–	–	0,060	0,045	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	34,276	4,962	1,588	7,338	0,144	5,458	1,068	2,398

Выберем силовое электрооборудование по рассчитанным значениям токов КЗ.

3.2 Выбор силового электрооборудования

Проведем проверку оборудования ТП 2×1250/10/0,4 по каталогам производителей (таблица 12) [2],[16],[21].

«Ток термической стойкости точки КЗ:

$$B_{kt} = I_{n0}^2 (T_a + t_{п.в}), \quad (40)$$
$$B_{kt} = 33,68^2 \cdot (4,9 + 30) \cdot 10^{-3} = 47,175 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Время действия релейной защиты:

$$\sigma = t_{рз} + t_{сво}, \quad (41)$$
$$\sigma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с},$$

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

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [1],[18].

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ:

$$i_{a\sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-0,05}{T_a}}, \quad (42)$$
$$i_{a\sigma} = \sqrt{2} \cdot 33,68 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{4,9}} = 47,175 \text{ кА}.$$

Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot I_{\mu} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \sigma}), \quad (43)$$
$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 74,934 \text{ кА},$$

где I_{μ} – ток отключения выключателя, кА» [1],[18].

Таблица 12 – Проверка параметров оборудования

Точка	$U_{н.ср}$	I_{n0}	$i_{уд}$	$B_{кт}$	$i_{ас}$	I_{μ}	$i_{ан}$	I_p	$I_{па}$	Оборудование
	кВ	кА	кА	кА ² с	кА	кА	кА	А	А	
К-1	115	8,09	22,42	23,15	0,17	55	77,78	131	262	ВГТ-110-2000 РГП-110-2000 ТОГФ-110-600
К-2	10,5	10,49	29,08	39,24	0,23	55	77,78	131	262	ВГТ-110-2000 РГП-110-2000 ТОГФ-110-600
К-3	10,5	1,48	2,24	0,08	2,08	40	56,57	72	144	ВБЭ-10/40/2000 РВЗ-10-2000-III ТЛО-10/2000- М1
К-4	10,5	1,59	2,41	0,09	2,23	40	56,57	72	144	ВБЭ-10/40/2000 РВЗ-10-2000-III ТЛО-10/2000- М1

Выводы по разделу.

В процессе расчетов было принято и проверено оборудование ТП и ГПП (автоматические выключатели, трансформаторы тока, разъединители). Оборудование успешно прошло необходимые проверки..

4 Расчет заземления и молниезащиты

Проведем расчет молниезащиты для ГПП.

«Активная высота молниеотвода:

$$\begin{aligned}h_A &= h - h_x, \\h_A &= 30 - 10 = 20,\end{aligned}\tag{44}$$

где h – высота молниеотвода, м;

h_x – высота установки молниеотвода от уровня земли, м» [15].

«Зона защиты молниеотвода:

$$\begin{aligned}r_x &= h_A \cdot \frac{1,60 \cdot P}{1 + h_x/h_A}, \\r_x &= 20 \cdot \frac{1,60 \cdot 1}{1 + 10/20} = 21 \text{ м.}\end{aligned}\tag{45}$$

Наибольшая сторона зоны защиты:

$$\begin{aligned}h_0 &= h - \frac{a}{7}, \\h_0 &= 30 - \frac{45,7}{7} = 23,47 \text{ м,}\end{aligned}\tag{46}$$

где a – расстояние между молниеотводами, м» [15].

«Ширина зоны защиты:

$$\begin{aligned}b_x &= 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x), \\b_x &= 3 \cdot (23,47 - 1,25 \cdot 10) = 32,91 \text{ м.}\end{aligned}\tag{47}$$

Изобразим графически зону защиты на рисунке 7» [15].

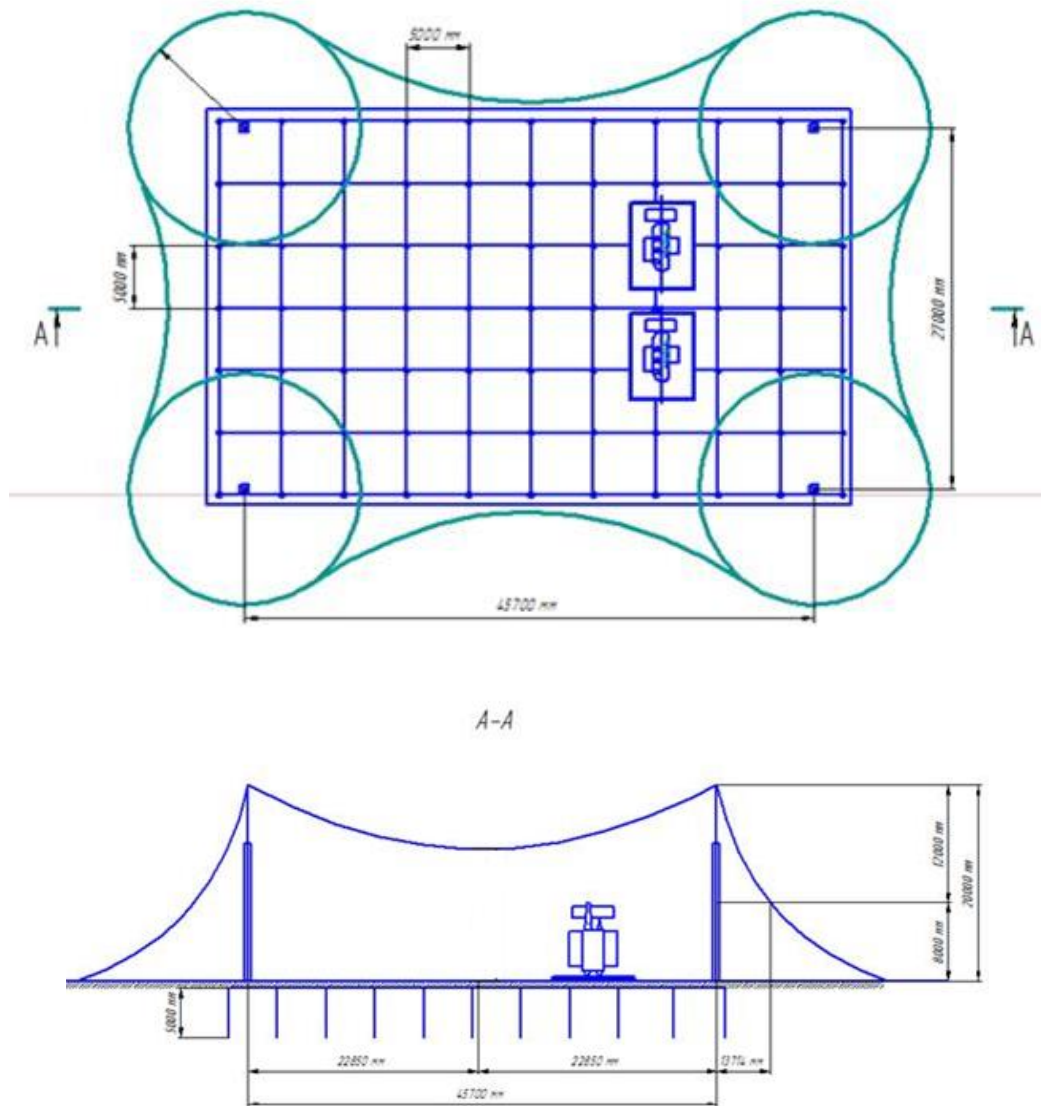


Рисунок 7 – Схема молниезащиты

«В ТП установить контур защитного заземления из металлической полосы 25×4 на высоте 0,4...0,6м от уровня пола» [15].

«Для расчета заземления применим общеизвестные формулы.

Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{B.3} = \frac{\rho_{\text{э.г}}}{2\pi L_{B.3}} \left(\ln \frac{2L_{B.3}}{d_{B.3}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{B.3} + L_{B.3}}{4 \cdot T_{B.3} - L_{B.3}} \right), \quad (48)$$

$$R_{B3} = \frac{95}{2 \cdot 3,14 \cdot 5,0} \left(\ln \frac{2 \cdot 5,0}{0,1} + 0,5 \cdot \ln \frac{4,0 \cdot 3,0 + 5,0}{4,0 \cdot 3,0 - 5,0} \right) = 15,26 \text{ Ом},$$

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

$L_{в.з}$ – длина вертикально расположенного заземлителя, м;
 $d_{в.з}$ – диаметр вертикально расположенного заземлителя, м;
 $T_{в.з}$ – заглубление, м» [15].

«Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{ГЗ} = \frac{\rho_{э.г}}{2 \cdot \pi \cdot L_{ГЗ}} \cdot \ln \frac{2L_{ГЗ}^2}{b_{ГЗ} \cdot h_{ГЗ}}, \quad (49)$$

$$R_{ГЗ} = \frac{95}{2\pi \cdot 5,0} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5,0^2}{0,04 \cdot 0,5} = 23,66 \text{ Ом},$$

где $b_{ГЗ}$ – ширина горизонтально расположенного заземлителя, м;
 $h_{ГЗ}$ – заглубление горизонтальных заземлителей, м;
 $L_{ГЗ}$ – длина горизонтально расположенного заземлителя, м» [15].

«Полное сопротивление ЗУ:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{иi} n_i}{R_i}}, \quad (50)$$

$$R_{з.у} = \frac{1}{\frac{10 \cdot 0,68}{15,26} + \frac{1 \cdot 0,68}{23,66}} = 2,11 \text{ Ом},$$

где n_i – число комплектов;
 $k_{иi}$ – коэффициент использования» [15].

«Полученное сопротивление заземляющего устройства не превышает требуемое 4 Ом. Принимаем тип системы заземления в распределительных и групповых сетях – TN-S» [9].

Выводы по разделу.

Рассчитанная схема заземления и молниезащиты полностью соответствует требованиям электробезопасности, обеспечивая надежную защиту от электрических ударов и предотвращая повреждения оборудования в результате молниевых разрядов.

Заключение

В представленной ВКР выполнен расчет системы электроснабжения завода, специализирующегося на производстве вентиляционного оборудования и вентиляционных систем.

В первом пункте был проведен анализ исходных данных завода, включая коэффициенты мощности и использования, а также генеральный план. На основании этих данных были вычислены суммарные нагрузки, что позволило выбрать подходящие силовые трансформаторы для завода. Для снижения реактивной составляющей были установлены конденсаторные батареи: четыре мощностью 650 квар, восемь – 700 квар, две – 750 квар и четыре – 800 квар.

В результате расчетов было выбрано девять ТП с $2 \times 1250/10/0,4$, места установки которых определены на основе расчетов ЦЭН завода. Аналогично были выбраны места установки ГПП и трансформаторы.

Схемы питания потребителей для сравнения выбраны следующие: радиальная и магистральная. В обеих схемах соблюдаются допустимые потери электроэнергии, однако радиальная схема оказалась более выгодной с точки зрения финансовых вложений.

На следующем этапе был проведен расчет токов КЗ. Выбраны четыре различных точки на участках цепи, две из которых расположены на стороне высоковольтной сети (110 кВ). Наибольшие значения токов КЗ зафиксированы в двух точках, находящихся на низковольтной и высоковольтной сторонах, ближе к точке питания.

Выбранное силовое электрооборудование КТП и ГПП прошло все необходимые проверки.

На заключительном этапе был выполнен расчет заземления и молниезащиты оборудования завода. Расчет молниезащиты представлен для ГПП, где показана схема с двумя молниеотводами. Что касается системы заземления, то сопротивление заземляющего устройства не превышает 4 Ом.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2024. 415 с.
2. 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: 19.11.2024).
3. 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: 19.11.2024).
4. 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: 19.11.2024).
5. 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: 19.11.2024).
6. 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: 19.11.2024).
7. 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: 19.11.2024).

8. Жук В.Л. Оптимизация энергозатрат в металлургических технологиях : учебное пособие под ред. д.т.н., проф. А.А. Троянского. М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 212 с.

9. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL: <https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-mery-v-elektrostanovkakh/> (дата обращения: 19.11.2024).

10. Каталог светильников GALAD [Электронный ресурс] : Официальный сайт международной светотехнической корпорации GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 19.11.2024).

11. Комплексные поставки кабельно-проводниковой и электротехнической продукции [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-ks.ru/> (дата обращения: 19.11.2024).

12. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс] : Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 19.11.2024).

13. 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: 19.11.2024).

14. 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: 19.11.2024).

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

16. 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: 19.11.2024).

17. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : Образовательный электротехнический портал. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-po-poterjam-parjzhenija.html> (дата обращения: 19.11.2024).

18. 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: 19.11.2024).

19. 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: 19.11.2024).

20. Стоимость услуг на прокладку кабеля [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний ЭнергоСнабСтрой. URL: <https://www.spb-elektromontazh.ru/uslugi/prokladka-kabelya/ceny/> (дата обращения: 19.11.2024).

21. 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: 19.11.2024).

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

23. 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.

24. Donoso P., Schurch R., Ardila J., Orellana L. Analysis of Partial Discharges in Electrical Tree Growth Under Very Low Frequency (VLF) Excitation

Through Pulse Sequence and Nonlinear Time Series Analysis. IEEE Access Vol. 8. 2020. p.673-684.

25. 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.

26. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. Chemical Engineering Transactions vol.56, 2018. p.259-264.

27. Xiao Han, Jing Qiu, Lingling Sun, Wei Shen, Yuan Ma, Dong Yuan. Low-carbon energy policy analysis based on power energy system modeling. Energy Conversion and Economics. Energy Conversion and Economics. 2020. p.34-44.