

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

Ахан Санжар Сакенулы

Электроснабжение химического завода и разработка технических решений по
электробезопасности

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6В07101– Энергетика

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Институт энергетики
и машиностроения

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, ассоциированный профессор
Е. А. Сарсенбаев
«16» 06 20 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Электроснабжение химического завода и разработка технических решений по
электробезопасности»

6B07101– Энергетика

Выполнил:

Ахан С.

Рецензент
д.т.н., профессор
М.А.Мустафин
«15» 06 2024 г.

Научный руководитель
к.т.н., ассоциированный профессор
В.Вегентаев
«15» 06 2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Институт энергетики
и машиностроения

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, ассоциированный профессор
Е. А. Сарсенбаев
« 16 » 06 20 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Электроснабжение химического завода и разработка технических решений по
электробезопасности»

6B07101– Энергетика

Выполнил:

Ахан С.

Рецензент
д.т.н., профессор
М.А.Мустафин
« 15 » 06 2024 г.

Научный руководитель
к.т.н., ассоциированный профессор
В.Вегентаев
« 15 » 06 2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Институт энергетики
и машиностроения

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, ассоциированный профессор
Е. А. Сарсенбаев
«15» 06 20 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Электроснабжение химического завода и разработка технических решений по
электробезопасности»

6B07101– Энергетика

Выполнил:

Ахан С.

Рецензент
д.т.н., профессор
М.А.Мустафин
«15» 06 2024 г.

Научный руководитель
к.т.н., ассоциированный профессор
Б.Бегентаев
«15» 06 2024 г.

Алматы 2024

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы «Расчет электроснабжение химического завода и разработка технических решений по электробезопасности ». В дипломной работе были рассмотрены следующие вопросы: расчет электрических нагрузок, компенсация реактивной мощности, выбор трансформаторов, сравнение вариантов схем внешнего электроснабжения, выбор оборудования с расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ и расчет электробезопасности.

АНДАТПА

Дипломдық жұмысты тақырыбы: «Химиялық зауытты электрмен жабдықтауды есептеу және электр қауіпсіздігі бойынша техникалық шешімдерді әзірлеу». Дипломдық жұмыста келесі сұрақтар қарастырылды: электр жүктемелерін есептеу, реактивті қуатты компенсациялау, трансформаторларды таңдау, сыртқы қоректендіру схемасының нұсқаларын салыстыру, 10 кВ автобустардағы қысқа тұйықталу токтарын есептей отырып жабдықты таңдау және электр қауіпсіздігін есептеу.

ANNOTATION

The topic of the diploma work is “Calculation of the power supply of a chemical plant and the development of technical solutions for electrical safety.” The thesis considered the following issues: calculation of electrical loads, reactive power compensation, selection of transformers, comparison of external power supply scheme options, selection of equipment with calculation of short circuit currents on 10 kV buses and calculation of electrical safety.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Расчет электрических нагрузок предприятий	8
1.1 Исходные данные	8
1.2 Расчет осветительной нагрузки	11
1.3 Расчет электрических нагрузок на 0,4 кВ	14
1.4 Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ	22
1.5 Распределение низковольтных конденсаторных батареи пропорционально реактивным нагрузкам ТП	25
1.6 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ	27
1.6.1 Определение потерь мощности в цеховых трансформаторах	27
1.6.2 Определение расчетных мощностей синхронных двигателей	28
1.6.3 Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов	29
2 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	34
2.1 Первый вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-115 кВ)	34
2.2 Второй вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-10 кВ)	41
3 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ	45
3.1 Расчет тока короткого замыкания на шинах ГПП	45
3.2 Выбор выключателей	46
3.3 Выбор кабелей отходящих линиях	49
3.4 Выбор выключателя нагрузки на ТП	50
3.5 Выбор автоматических выключателей на ТП	51
3.6 Выбор трансформатора тока	51
3.7 Выбор трансформатора напряжения	57
3.8 Выбор шин ГПП	58
3.9 Выбор изоляторов	59
4 Создание защитных технических средств от электрического тока	60
4.1 Разработка мер безопасности для механического цеха	60
4.1.1 Рассмотрение мер обеспечения электрической безопасности в цехе	60
4.1.2 Виды устройств защитного отключения	60
4.1.3 Выбор защитного отключающего устройства для электрических приемников в цехе	63
4.2 Разработка мер безопасности для химического завода	65
4.2.1 Расчет зануления	65
4.2.2 Контроль изоляции	69
Заключение	71
Список использованной литературы	72

ВВЕДЕНИЕ

Электроснабжение химического завода представляет собой сложную и многогранную задачу, требующую учета множества факторов, таких как надёжность, эффективность, экономичность и безопасность. Химическая промышленность, в силу специфики производственных процессов, предъявляет повышенные требования к системе электроснабжения, включая строгие нормы и стандарты по обеспечению электробезопасности. Безопасность электроснабжения играет ключевую роль в предотвращении аварийных ситуаций, минимизации рисков для персонала и оборудования, а также в обеспечении бесперебойной работы технологических процессов.

В данной дипломной работе рассматриваются вопросы организации электроснабжения химического завода и разработки технических решений по обеспечению электробезопасности. Основной целью исследования является анализ существующих систем электроснабжения и разработка рекомендаций по их оптимизации с учетом современных требований к безопасности и эффективности. В ходе работы будет проведен детальный обзор нормативной базы, рассмотрены примеры лучших практик и предложены инновационные технические решения, направленные на повышение уровня электробезопасности на химическом производстве.

1 Расчет электрических нагрузок по заводу

1.1 Исходные данные

Таблица 1.1 - Электрические нагрузки металлургического завода

№ по плану	Наименование	Кол-во электроприемников, n	Установленная мощность, кВт		K _н	Cos φ	tg φ
			Одного ЭП, P _н	Суммарная, Σ P _н			
1	Цех красителей	245	1-80	5250	0,4	0,75	0,63
2	Цех полупродуктов №1	65	1-40	2050	0,5	0,8	0,75
3	Холодильная установка						
	а) 0,4 кВ	15	1-40	350	350		
	б) синх. двигатели 10 кВ	3	2000	6000	6000		
4	Заводоуправление	15	1-20	250	0,4	0,7	0,65
5	Механический цех	35	1-40	550	0,2	0,5	1,7
5а	Участок механического цеха	25	1-25	300	0,2	0,65	1,1
6	Компрессорная						
	а) 0,4 кВ	20	4-40	600			
	б) синх. двигатели 10 кВ	3	2000	3000	3000		
7	Кислородная станция	15	1-20	150	0,75	0,85	0,62
8	Электроцех	25	1-20	350	0,6	0,8	0,6
9	Столовая	25	1-40	300	0,4	0,9	0,55
10	Цех полупродуктов №2	45	1-30	300	0,4	0,8	0,75
11	Цех красителей №2	35	5-70	1350	0,4	0,75	0,63
12	Холодильная установка №2	5	40-80	300	0,6	0,8	0,6
13	Склад готовой продукции	4	10-20	50	0,2	0,5	0,72

Продолжение таблицы 1.1.

№ по плану	Наименование	Кол-во электроприемников, п	Установленная мощность, кВт		K_n	Cos φ	tg φ
			Одного ЭП, P_n	Суммарная, $\sum P_n$			
14	Лаборатория	5	1-30	60	0,3	0,8	0,6
15	Цех натриевой соли	15	5-40	350	0,45	0,75	0,63
16	Склад химикатов	4	14	56	0,2	0,6	0,69
17	Склад кислот	3	10-20	45	0,3	0,7	0,65

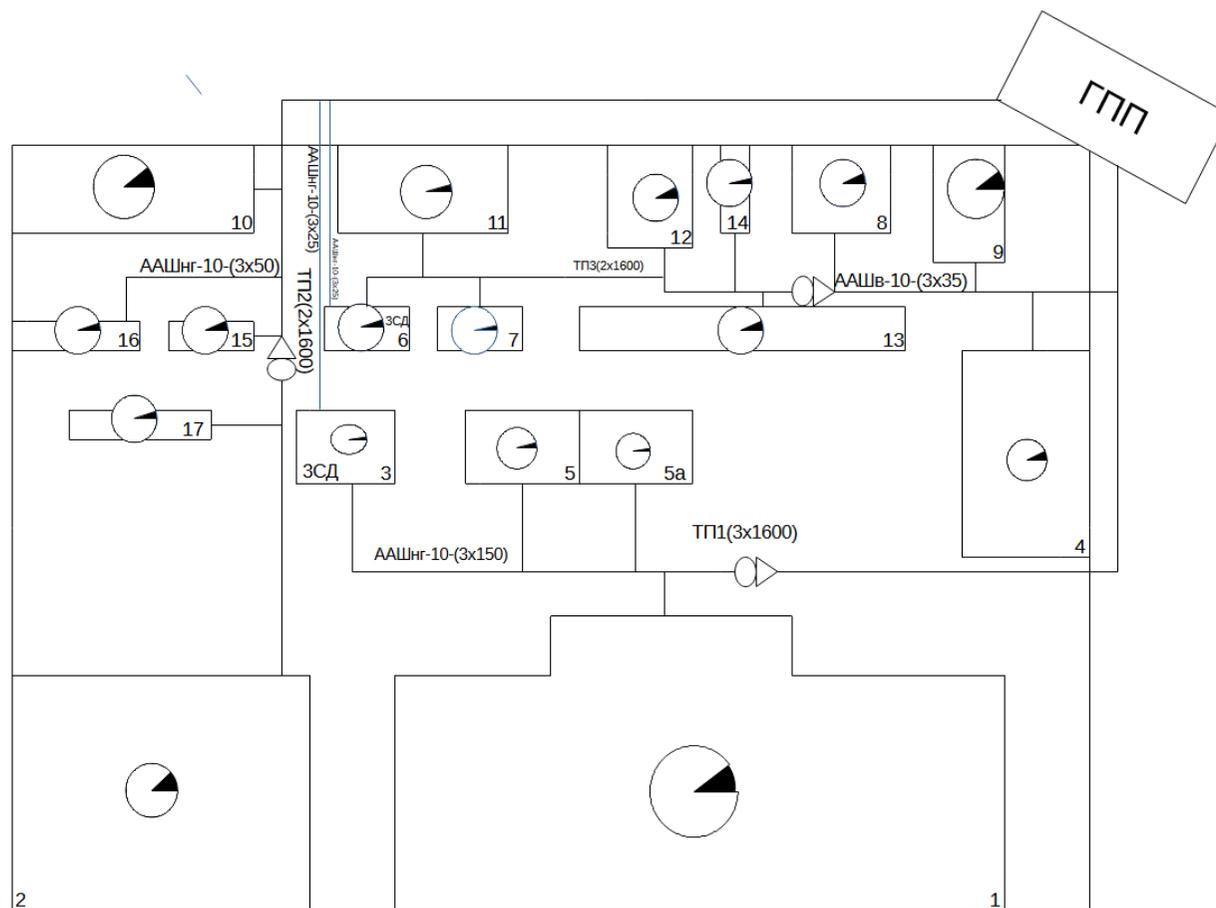
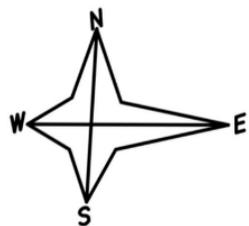


Рисунок 1.1 – Генеральный план. [5]

1.2 Расчет осветительной нагрузки

Для определения осветительной нагрузки предприятия мы используем удельную плотность осветительной нагрузки на квадратный метр производственных площадей, а также коэффициент спроса.

$$P_{po} = K_{co} \cdot P_{уст.о}, \text{ кВт} \quad (1.1)$$

$$Q_{po} = tgj_o \cdot P_{po}, \text{ квар}, \quad (1.2)$$

где K_{co} - коэффициент спроса по активной мощности осветительной нагрузки;

tgj_o - коэффициент реактивной мощности, определяется по известному $cosj_o$ осветительной установки;

$P_{уст.о}$ - установленная мощность приемников освещения по цеху, определяется по удельной осветительной нагрузке на 1 м^2 поверхности пола и известной производственной площади:

$$P_{уст.о} = \rho_o \cdot F, \text{ кВт}, \quad (1.3)$$

где F - площадь пола производственного помещения в м^2 ;

ρ_o - удельная расчетная мощность в кВт на 1 м^2 , величина ρ_o зависит от рода помещения.

Расчет осветительной нагрузки завода занесем в таблицу 1.2

Таблица 1.2 - Расчет осветительной нагрузки

№	Наименование производственного помещения	Площадь помещен. м ²	Удельная осветительная нагрузка p_0 кВт/м ²	Коэффициент спроса K_c	Установленная мощность освещения P_{yo} кВт	Расчетная осветительная нагрузка		cosφ	tgφ
						P_{po} , кВт	Q_{po} , квар		
1	Цех красителей	17164	0,018	0,8	308,9	246,4	155,23	0,75	0,63
2	Цех полупродуктов №1	8478	0,018	0,8	152,6	122,08	91,56	0,8	0,75
3	Холодильная установка	950	0,018	0,8	17,1	13,68	8,2	0,8	0,6
4	Заводоуправление	2116	0,02	0,7	42,32	29,62	19,25	0,7	0,65
5	Механический цех	864	0,018	0,5	15,52	7,76	12,92	0,5	1,7
5а	Участок механического цеха	1152	0,018	0,7	20,73	14,51	15,96	0,65	1,1
6	Компрессорная	403	0,014	0,8	5,64	4,51	2,16	0,9	0,48
7	Кислородная станция	403	0,013	0,7	5,23	3,61	5,51	0,85	0,62
8	Электроцех	806	0,016	0,8	12,89	10,31	6,18	0,8	0,6
9	Столовая	864	0,02	0,7	17,28	12,23	9,5	0,9	0,55
10	Цех полупродуктов №2	2280	0,018	0,8	41,04	32,8	24,6	0,8	0,75
11	Цех красителей №2	1728	0,018	0,8	31,1	24,88	15,67	0,75	0,63
12	Холодильная установка №2	744	0,018	0,8	133,92	107,13	62,27	0,8	0,6
13	Склад готовой продукции	1411	0,01	0,6	14,11	8,46	6,22	0,5	0,72
14	Лаборатория	216	0,018	0,7	38,88	27,21	16,32	0,8	0,6
15	Цех натриевой соли	403	0,018	0,8	72,54	36,2	22,8	0,75	0,63
16	Склад химикатов	576	0,01	0,6	5,76	3,45	2,38	0,6	0,69

Продолжение таблицы 1.2

18	Склад кислот	662	0,01	0,6	6,62	3,97	2,58	0,7	0,65
	Территория	41220	0,001	1	412,2	412,2	267,9	0,7	0,65

1.3 Расчет электрических нагрузок по заводу

Для расчета электрических силовых нагрузок с напряжением до 1 кВ по цехам завода мы применяем упрощенный метод упорядоченных диаграмм. Все результаты расчетов по силовым и осветительным нагрузкам в цехах собраны в таблице 1.3 под названием "Расчет нагрузки напряжением 0,4 кВ".

Для построения картограммы нагрузок предприятия:

$$R = \sqrt{\frac{P_p}{m \cdot \pi}}, \text{ мм}; \quad \alpha = \frac{P_{po}}{P_p} \cdot 360; \quad (1.4)$$

где R – радиус окружности соответствующий расчетной нагрузке, мм;
 α – угол сектора соответствующей осветительной нагрузке;
 m – масштаб для определения площади круга, равный 0,05кВт/мм

Для цехов найдем:

n – количество электроприемников;

P_{ni} – номинальные мощности приемников;

ΣP_n – суммарную номинальную мощность;

$$P_{ni} = P_{n1} \cdot \cos\varphi; \quad P_n = P_{n1} \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{PB}; \quad (1.5)$$

$$m = \frac{P_{n \text{ макс}}}{P_{n \text{ мин}}}; \quad (1.6)$$

$$P_{cm} = K'_i P_n, \text{ кВт}; \quad Q_{cm} = P'_{cm} \text{tgj}, \text{ квар}; \quad (1.7)$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \Sigma P_n}{P_{n \text{ max}}}; \quad (1.8)$$

$$K_M = f(n_{\text{э}}; K_i); \quad (1.9)$$

$$P_p = K_M \cdot P_{cm}; \quad (1.10)$$

$$Q_p = Q_{cm} \text{ если } n_{\text{э}} > 10, Q_p = 1,1Q_{cm} \text{ если } n_{\text{э}} < 10;$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (1.11)$$

Таблица 1.3 - Расчет силовых нагрузок напряжением 0,4 кВ [1]

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол-во ЭП п	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K _м	Расчетная мощность			R мм	α град
			P _{min} – P _{max} кВт	∑P _н кВт					P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Цех красителей																
	силовая	245	1-80	5250	>3	0,4	0,75	0,63	2100	1323	131, 25	1,2	2520	1323			
	осветительная								246,4	154,98			295,6 8	154,98			
	Итого								2346,4	1477,9 8			2815, 6	1477,9 8	3179, 9	133, 91	0,08
2	Цех полупродуктов №1																
	силовая	65	1-40	2050	>3	0,5	0,8	0,75	1025	768,75	102, 5	1,15	1178, 75	768,75			
	осветительная								122,08	91,56			140,3	91,56			
	Итого								1147,08	860,31			1319, 05	860,31	1574, 8	91,6	0,09
3	Холодильная установка																
	силовая	15	1-40	350	>3	0,6	0,8	0,6	210	126	17,5	1,3	273	126			
	осветительная								13,68	8,2			17,78	8,2			
	Итого								223,68	134,2			290,7 8	134,2	320,2 5	13,6	0,007

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол-во ЭП п	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K _м	Расчетная мощность			R мм	α град
			P _{min} – P _{max} кВт	∑P _н кВт					P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4	Заводоуправление																
	силовая	15	1-20	250	>3	0,4	0,7	0,65	100	187	25	1,35	135	187			
	осветительная								29,62	19,25			39,98	19,25			
	Итого								129,26	206,25			174,9 8	206,25	270,4 7	50,6	0,07
5	Механический цех																
	силовая	35	1-40	550	>3	0,2	0,65	1,7	110	187	27,5	1,55	170,5	187			
	осветительная								7,76	13,19			12	13,19			
	Итого								117,76	200,19			182,5	200,19	270,8 9	34	0,04
5а	Участок механического цеха																
	силовая	25	1-25	300	>3	0,2	0,65	1,1	60	66	24	1,55	93	66			
	осветительная								14,51	15,96			22,49	15,96			
	Итого								74,51	81,96			115,4 9	81,96	141,6 1	27,1	0,12

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол-во ЭП п	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K _м	Расчетная мощность			R мм	α град
			P _{min} – P _{max} кВт	∑P _н кВт					P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
6	Компрессорная																
	силовая	20	4-40	600	>3	0,4	0,8	0,75	240	180	30	1,3	312	180			
	осветительная								4,51	3,38			5,86	3,38			
	Итого								244,51	183,38			317,8	183,38	366,9 1	5,8	0,01
7	Кислородная станция																
	силовая	15	1-20	150	>3	0,75	0,85	0,62	116,25	72	15	1,2	139,5	72			
	осветительная								3,61	2,23			4,33	2,23			
	Итого								119,86	74,23			143,8 3	74,23	161,4 5	30,2	0,02
8	Электроцех																
	силовая	25	1-20	350	>3	0,6	0,8	0,6	210	126	35	1,2	252	126			
	осветительная								10,31	6,18			12,37	6,18			
	Итого								220,31	132,18			238,2 7	132,18	272,4 7	38,9 5	0,04

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол- во ЭП n	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		nэ	K _м	Расчетная мощность			R мм	α град
			P _{min} – P _{max} кВт	∑P _н кВт					P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
9	Столовая																
	силовая	25	1-40	300	>3	0,4	0,9	0,55	120	66	15	1,15	115	66			
	осветительная								12,23	6,72			14	6,72			
	Итого								132,23	72,72			129	72,72	148	28,7 9	41,76
10	Цех полупродуктов №2																
	силовая	45	1-30	300	>3	0,4	0,8	0,75	120	90	20	1,4	168	90			
	осветительная								32,8	24,6			45,92	24,6			
	Итого								152,8	114,6			213,9 2	114,6	242,6 8	117, 06	2,05
11	Цех красителей №2																
	силовая	35	5-70	1350	>3	0,4	0,75	0,63	540	340,2	38,5	1,3	702	340,2			
	осветительная								24,88	15,67			32,34	15,67			
	Итого								568,88	355,87			734,3 4	355,87	824,1 3	87,5 8	260,2 3

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол- во ЭП п	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K _м	Расчетная мощность			R мм	α град
			P _{min} – P _{max} кВт	∑P _н кВт					P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
12	Холодильная установка																
	силовая	5	40-80	300	>3	0,6	0,8	0,6	180	108	7,5	1,5	270	118,8			
	осветительная								107,13	62,27			167,6 9	68,49			
	Итого								287,13	170,27			437,6 9	187,29	469,6 4	16,1	0,18
13	Склад готовой продукции																
	силовая	4	10-20	50	>3	0,2	0,5	0,72	10	7,2	5	2,2	22	7,92			
	осветительная								8,46	6			38,61	6,6			
	Итого								18,46	13,2			50,61	14,52	43,35	16	0,2
14	Лаборатория																
	силовая	5	1-30	60	>3	0,3	0,8	0,6	18	10,8	4	2,1	37,8	11,88			
	осветительная								27,21	16,32			68,14	17,95			
	Итого								45,21	27,12			105,9 1	29,83	99,48	24,5 8	0,28

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол- во ЭП n	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K _м	Расчетная мощность			R мм	α град
			P _{min} – P _{max} кВт	∑P _н кВт					P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
15	Цех натриевой соли																
	силовая	15	5-40	350	>3	0,45	0,75	0,63	157,5	99,22	17,5	1,45	228,3 7	99,22			
	осветительная								36,2	22,8			52,49	22,8			
	Итого								193,7	195,7			280,8	122,02	306,1 6	47,6	0,08
16	Склад химикатов																
	силовая	4	1-4	56	>3	0,2	0,6	0,69	11,2	7,72	28	1,45	16,24	7,72			
	осветительная								3,45	2,38			5	2,38			
	Итого								14,65	10,1			21,24	10,1	23,51	22	0,18
17	Склад кислот																
	силовая	3	10-20	45	>3	0,3	0,7	0,65	13,5	8,77	6,5	1,95	26,32	9,64			
	осветительная								3,97	2,58			7,74	2,83			
	Итого								17,47	11,35			34,06	12,47	36,27	48,7	0,086

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол-во ЭП п	Номинальная мощность		m	K _н	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K _м	Расчетная мощность			R мм	α град
			P _{min} – P _{max} кВт	∑P _н кВт					P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Освещение территории												412,2	267,9	491,6		
	<i>Итого на шинах 0,4 кВ</i>												<i>8017</i>	<i>4538</i>	<i>9242</i>		

1.4 Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ

Точное определение количества и мощности цеховых трансформаторов достигается исключительно через технико-экономические расчеты, которые учитывают следующие аспекты: категорию надежности электроснабжения потребителей; компенсацию реактивных нагрузок при напряжении до 1 кВ; перегрузочную способность трансформаторов в обычных и аварийных режимах; шаг стандартных мощностей, а также экономичные режимы работы трансформаторов, зависящие от графика нагрузки.

Данные для расчета:

$$P_{p0,4} = 8017 \text{ кВт};$$

$$Q_{p0,4} = 4538 \text{ квар};$$

$$S_{p0,4} = 9242 \text{ кВА}.$$

(Химический завод) относится ко 2 категории потребителей, (завод) работает в три смены, следовательно, коэффициент загрузки трансформаторов $K_{зтр.} = 0,8$. Принимаем цеховой трансформатор мощностью $S_{нт} = 1600$ кВА.

Минимальное количество трансформаторов одинаковой мощности, необходимых для обеспечения максимальной расчетной активной нагрузки для каждой технологически концентрированной группы цехов, определяется по следующей формуле.:

$$N_{T \min} = \frac{P_{p0,4}}{K_3 S_{нт}} + \Delta N = \frac{8017}{0,8 \cdot 1600} = 6,2 + 0,8 = 7, \quad (1.12)$$

где $P_{p0,4}$ – суммарная расчетная активная нагрузка;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

$S_{нт}$ – принятая номинальная мощность трансформатора;

ΔN – добавка до ближайшего целого числа

Экономически целесообразное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{T.э} = N_{T \min} + m, \quad (1.13)$$

где m – дополнительное число трансформаторов.

$N_{T.э}$ - определяется удельными затратами на передачу реактивной мощности с учетом постоянных составляющих капитальных затрат $Z^* \text{п/ст}$.

$$Z^* \text{п/ст} = 0,5; K_3 = 0,8; N_{T \min} = 7; \Delta N = 0,5.$$

Тогда из справочника (Ю.Г. Барыбина) по кривым определяем m , для нашего случая $m = 0$, значит $N_{T.э} = 7 + 0 = 7$ трансформаторов.

По выбранному числу трансформаторов определяют наибольшую реактивную мощность Q_1 , которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ, по формуле:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{ТЭ} \cdot S_{НТ} \cdot K_3)^2 - P_{р0,4}^2} \quad (1.14)$$

$$Q_1 = \sqrt{(7 \cdot 1600 \cdot 0,8)^2 - 8017^2} = 4001 \text{ квар.}$$

Расчетная схема для составления баланса реактивной мощности.

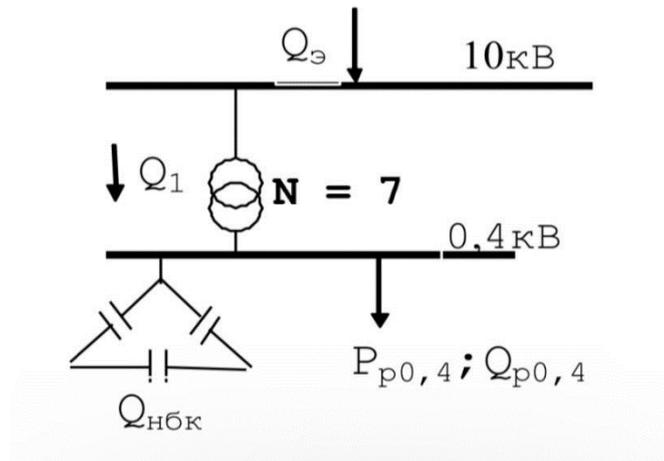


Рисунок 1.2 – Расчетная схема для составления баланса реактивной мощности

Из условия баланса реактивной мощности на шинах 0,4 кВ определим величину $Q_{НБК1}$:

$$Q_{НБК1} + Q_1 = Q_{р0,4}, \quad (1.15)$$

Отсюда

$$Q_{НБК1} = Q_{р0,4} - Q_1 = 8017 - 4001 = 4016 \text{ квар.}$$

Дополнительная мощность $Q_{НБК2}$ НБК для данной группы трансформаторов определяется по формуле:

$$Q_{НБК2} = Q_{р0,4} - Q_{НБК1} - N_{ТЭ} \cdot S_{НТ}, \quad (1.16)$$

По расчету $Q_{НБК2} < 0$, принимаем $Q_{НБК} = 0$,

$$Q_{НБК} = Q_{НБК1} + Q_{НБК2}, \text{ т.к. } Q_{НБК2} = 0, \text{ то } Q_{НБК} = Q_{НБК1} = 4016 \text{ квар.} \quad (1.17)$$

Определим мощность одной батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор:

$$Q_{\text{нбк тп}} = \frac{Q_{\text{нбк}}}{N_{\text{ТЭ}}} = \frac{4016}{7} = 573 \approx 575 \text{ квар.} \quad (1.18)$$

На основании расчетов, выполненных в пункте 1.4 составляется таблица 1.4 - Распределение нагрузок цехов по ТП, в этой таблице представлено распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП. В таблице K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов, который равен:

$$\frac{S_{p\ 0,4}}{N * S_{\text{НТР}}} \quad (1.19)$$

Предварительное распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП представлено в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП[2]

№ ТП $S_{\text{НТ}}, Q_{\text{нбк тп}}$	№ цехов	$P_{p\ 0,4}$, кВт	$Q_{p\ 0,4}$, квар	$S_{p\ 0,4}$, кВА	K_3
1	2	3	4	5	6
ТП1 (3x1600) $S_{\text{Н}} = 3 \times 1600 = 4800 \text{ кВА}$ $Q_{\text{нбк}} = 3 \times 575 = 1725 \text{ квар}$ <i>итого</i>	1	2815,6	1477,9		
	3	290,78	134,2		
	5	182,5	200,19		
	5а	115,49	81,96		
		3404,37	1894,25		
			-1725		
		3404,37	169,25	3710	0,71
ТП2 (2x1600) $S_{\text{Н}} = 2 \times 1600 = 3200 \text{ кВА}$ $Q_{\text{нбк}} = 2 \times 575 = 1150 \text{ квар}$ <i>итого</i>	2	1319,05	860,31		
	10	213,92	114,6		
	15	280,8	122,02		
	16	21,24	10,1		
	17	34,06	12,47		
	Освещ.	412,2	267,9		
		2281,27	1387,4		
		-1150			
	2281,27	237,4	2295,75	0,71	
ТП3 (2x1600) $S_{\text{Н}} = 2 \times 1600 = 1600 \text{ кВА}$ $Q_{\text{нбк}} = 2 \times 575 = 1150 \text{ квар}$ <i>итого</i>	6	317,8	183,38		
	7	143,38	74,23		
	11	734,34	355,87		
	4	174,98	206,25		
	8	238,27	132,18		
	9	129	72,72		

Продолжение таблицы 1.4

№ ТП $S_{\text{ТП}}, Q_{\text{нбк ТП}}$	№ цехов	$P_{p\ 0,4}$, кВт	$Q_{p\ 0,4}$, квар	$S_{p\ 0,4}$, кВА	K_3
1	2	3	4	5	6
	12	437,68	187,29		
	13	50,61	14,52		
	14	105,91	29,83		
		2331,97	1256,27		
			-1150		
		2331,97	106,27	2334,39	0,73

1.5 Распределение $Q_{\text{нбк}}$ пропорционально реактивным нагрузкам ТП

Исходные данные:

$$Q_{p\ 0,4} = 4538 \text{квар};$$

$$Q_{\text{нбк}} = 4015 \text{квар}.$$

ТП 1:

$$Q_{p\ \text{ТП1-2}} = 2028,45 \text{квар}, Q_{p\ \text{нбк}} = X,$$

Тогда

$$Q_{p\ \text{нбк}} = \frac{Q_{\text{нбк}} \cdot Q_{p\ \text{ТП1-2}}}{Q_{p\ 0,4}} \quad (1.20)$$

$$Q_{p\ \text{нбк}} = \frac{4001 \cdot 2028,45}{4538} = 1788 \text{квар},$$

выбираем из справочника (Ю.Г. Барыбина стр. 400) низковольтные конденсаторные установки: УКЛН-0,38-600-150 УЗ,

то фактическая реактивная мощность: $Q_{\phi\ \text{ТП1-2}} = 3 \times 600 = 1800$ квар, а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{\text{неск}} = Q_{p\ \text{ТП1-2}} - Q_{\phi\ \text{ТП1-2}} \quad (1.21)$$

$$Q_{\text{неск}} = 2028,45 - 1800 = 228,45 \text{квар}.$$

ТП 2:

$$Q_{p\ \text{ТП3}} = 1387,4 \text{квар}, Q_{p\ \text{нбк}} = X,$$

Тогда

$$Q_{p \text{ нбк}} = \frac{4001 \cdot 1387,4}{4538} = 1223,2 \text{ квар},$$

УКЗ-0,38-450-150 УЗ, $Q_{\text{ф ТПЗ}} = 2 \times 450 = 900$ квар, а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{\text{неск}} = 1387,4 - 900 = 487,4 \text{ квар}.$$

ТП 3:

$$Q_{p \text{ ТП4}} = 1256,57 \text{ квар}, Q_{p \text{ нбк}} = x,$$

тогда

$$Q_{p \text{ нбк}} = \frac{4001 \cdot 1256,57}{4538} = 1107,87 \text{ квар}.$$

УКЗ-0,38-450-150 УЗ, $Q_{\text{ф ТП4}} = 2 \times 450 = 900$ квар, а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{\text{неск}} = 1107,87 - 900 = 207,87 \text{ квар}.$$

Уточненное распределение $Q_{\text{нбк}}$ по ТП сведем в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 - Уточненное распределение $Q_{\text{нбк}}$ по ТП [3]

№ ТП	$Q_{\text{рТП}}$	$Q_{\text{р нбк тп}}$	$Q_{\text{факт нбк тп}}$	$Q_{\text{ниск.}}$
ТП1	2028,45	1788	3x600 = 1800	1202,43
ТП2	1387,4	1223,2	2x450 = 900	531,69
ТП3	1256,57	1107,87	2x450 = 900	207,87
Итого	4672,72	4119,07	3600	1941,99

1. 6 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ

1.6.1 Определение потерь мощности в цеховых трансформаторах

Потери активной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot K_3^2. \quad (1.22)$$

Потери реактивной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{\text{xx}} + \Delta Q_{\text{кз}} \cdot K_3^2 = \frac{I_{\text{xx}}}{100} \cdot S_{\text{HT}} + \frac{U_{\text{кз}}}{100} \cdot S_{\text{HT}} \cdot K_3^2. \quad (1.23)$$

Выбираем трансформаторы ТМН-1600-10/0,4

$U_B = 10$ кВ, $U_H = 0,4$ кВ, $\Delta P_{\text{xx}} = 1,95$ кВт, $\Delta P_{\text{кз}} = 16,5$ кВт, $I_{\text{xx}} = 0,5\%$, $U_{\text{кз}} = 6\%$

ТП1:

$$K_3 = 0,77,$$

$$N = 3,$$

$$\Delta P_T = (1,95 + 16,5 \cdot 0,77^2) \cdot 3 = 30 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = \left(\frac{0,5}{100} \cdot 1600 + \frac{6}{100} \cdot 1600 \cdot 0,77^2 \right) \cdot 3 = 169 \text{ квар.}$$

ТП2:

$$K_3 = 0,71,$$

$$N = 2,$$

$$\Delta P_T = (1,95 + 16,5 \cdot 0,71^2) \cdot 2 = 20 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = \left(\frac{0,5}{100} \cdot 1600 + \frac{6}{100} \cdot 1600 \cdot 0,71^2 \right) \cdot 2 = 112 \text{ квар.}$$

ТПЗ:
 $K_3 = 0,73$,
 $N = 2$,

$$\Delta P_T = (1,95 + 16,5 \cdot 0,74^2) \cdot 2 = 22 \text{ кВт},$$
$$\Delta Q_T = \left(\frac{0,5}{100} \cdot 1600 + \frac{6}{100} \cdot 1600 \cdot 0,74^2 \right) \cdot 2 = 121 \text{ квар}.$$

Суммарные потери в трансформаторах:

$$\Sigma P_{1-15} = 30 + 20 + 22 = 72 \text{ кВт},$$
$$\Sigma Q_{1-15} = 169 + 112 + 121 = 402 \text{ квар}.$$

1.6.2 Определение расчетных мощностей синхронных двигателей

Для компенсации реактивной мощности на стороне ВН используем СД 3-го и 6-го цеха.

Определим расчетные мощности для СД:

$$P_{pСД} = P_{нСД} \cdot N_{СД} \cdot K_3, \text{ кВт}; \quad (1.24)$$

$$Q_{pСД} = P_{нСД} \cdot \text{tg}\varphi \cdot N_{СД} \cdot K_3, \text{ квар}. \quad (1.25)$$

Таблица 1.6 – Расчетные мощности для СД

$P_{нсд},$ кВт	n	K_3	$\cos\varphi$	$P_{рсд},$ кВт	$\Sigma P_{рсд},$ кВт	$Q_{рсд},$ квар	$\Sigma Q_{рсд},$ квар
Холодильная установка							
2000	3	0,7	0,7	1400	4200	1330	3990
Компрессорная							
1000	3	0,7	0,7	700	2100	665	1995

1.6.3 Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов

Составим схему замещения, показанную на рисунке 2.2.

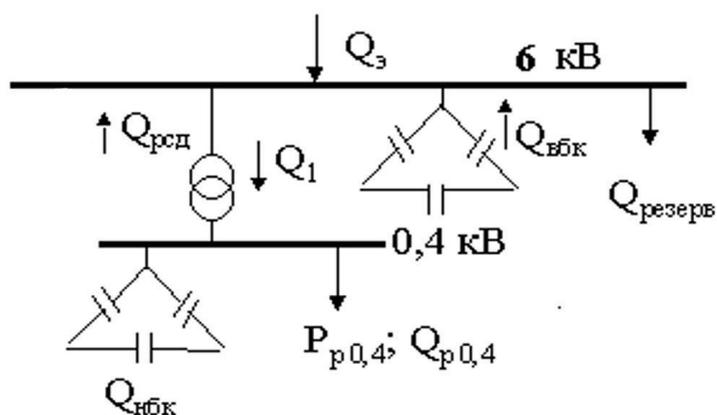


Рисунок 2.2 – Схема замещения

Методика расчета компенсации на шинах ГПП: Составляется уравнение баланса реактивной мощности на шинах 10 кВ относительно $Q_{вбк}$

$$Q_{вбк} = Q_{p0,4} + \Delta Q_T + Q_{рез} - Q_3 - Q_{нбк} - \Sigma Q_{сд}; \quad (1.26)$$

$$Q_3 = 0,25 \cdot \Sigma P_p = 0,25 \cdot (P_{p0,4} + \Delta P_T + P_{рсд}); \quad (1.27)$$

$$Q_3 = 0,25 \cdot (8017 + 72 + 700) = 2197 \text{ квар.}$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot \Sigma Q_{расч} = 0,1 \cdot (Q_{p0,4} + \Delta Q_T); \quad (1.28)$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot (4538 + 402) = 494 \text{ квар.}$$

$$Q_{вбк} = 4538 + 402 + 494 - 2197 - 4016 - 5985 = -6764 \text{ квар.}$$

Так как $Q_{вбк} < 0$, то установка батарей компенсации не нужна.

Расчет силовой нагрузки завода, охватывающий как низковольтные, так и высоковольтные нагрузки, потери в трансформаторах ЦТП, а также расчетные мощности по компрессорной станции, представлен в таблице 1.7 под названием "Расчет уточненной мощности для химического завода".

Таблица 1.7 - Уточненный расчет электрических нагрузок по заводу

№ ТП	№ цехов	Количество ЭП п	Уст. мощность		K _н	Средняя нагрузка		N _э	K _м	Расчетная мощность			K _з
			P _{min} – P _{max}	Общая ∑P _н , кВт		P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА	
ТП1 3x1600	1	245	1-80	5250		2100	1323						
	3	15	1-40	350		210	126						
	5	35	1-40	550		110	187						
	5а	25	1-25	300		60	66						
силовая осветительная Q _{нбк} Итого		320	1-185	6450	0,3	2420	1702	50	1,4	3056,5	2344,7 5		
										620,95	192,33		
											-1725		
										3674,4 5	812,08	3763, 11	0,78

Продолжение таблицы 1.7

№ ТП	№ цехов	Количество ЭП п	Уст. мощность		К _и	Средняя нагрузка		N _э	K _м	Расчетная мощность			K _з
			P _{min} – P _{max}	Общая ∑P _н , кВт		P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА	
ТП2 2x1600	2	65	1-80	550	0,4	240	244,8	40	1,3	1617,6 8	975,33	1359,1	0,71
	10	45	1-30	300		435	326,3						
	15	15	5-40	350		10	11,7						
	16	4	1-4	56		10	11,7						
	17	3	10-20	45		200	150						
силовая осветитель. осв. тер. Q _{нбк} Итого		129	1-174	1301		937	787,3			251,45	144,17		
										412,2	267,9		
											-1150		
										2281,3 3	237,4		

Продолжение таблицы 1.7

№ ТП	№ цехов	Количество ЭП п	Уст. мощность		К _и	Средняя нагрузка		N _э	K _м	Расчетная мощность			K _з
			P _{min} – P _{max}	Общая ∑P _н , кВт		P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА	
ТПЗ 2x1600 силовая осветитель. Q _{нбк} Итого	4	15	1-20	250	0,3	100	187	92	1,3	1985,3	1109,8	2333,4	0,72
	8	25	1-20	350		210	126						
	9	25	1-40	300		120	66						
	12	5	40-80	300		180	108						
	13	4	1-30	50		10	7,2						
	14	5	1-30	60		18	10,8						
	6	20	4-40	600		1000	750						
	7	15	1-20	150		820	836,4						
	11	35	5-70	1350		129	131,6						
		149		1-350		3410							
										345,32	155,4		
											-1150		
										2330,6	115,2	2333,4	0,72
										2		6	

Продолжение таблицы 1.7

№ ТП	№ цехов	Количество ЭП	Уст. мощность		K _и	Средняя нагрузка		N _э	K _м	Расчетная мощность			K _з
			P _{min} - P _{max}	Общая ΣP _н , кВт		P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
Итого на шинах 0,4кВ										6286,4	1204,88		
ΣΔP _т , ΣΔQ _т										72	402		
Нагрузка 0,4 кВ, приведенная к шинам 10 кВ										6358,4	1606,88		
Холодильная установка	3	3	2000	6000						4200	-3990		
Компрессорная	6	3	1000	3000						2100	-1995		
<i>Итого по заводу</i>										<i>12658,4</i> <i>2</i>	<i>2771,24</i>	<i>12958,21</i>	

2 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения

Электроснабжение может быть обеспечено либо от подстанции энергосистемы с неограниченной мощностью, оборудованной двумя трансформаторами по 25 МВА с напряжением 115/10,5 кВ (работающими отдельно), либо посредством глухой оптики от транзитной двухцепной ЛЭП-115 кВ. Мощность короткого замыкания в точке отпайки составляет 950 МВА, а на стороне 115 кВ подстанции РПП достигает 1000 МВА.

Расстояние от подстанции энергосистем до завода 1,85 км, от ЛЭП-0,35кВ

Для технико-экономического сравнения вариантов электроснабжения завода рассмотрим два варианта:

- а) Первый вариант – ЛЭП 115 кВ;
- б) Второй вариант – ЛЭП 10,5 кВ.

2.1 Первый вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-115 кВ)

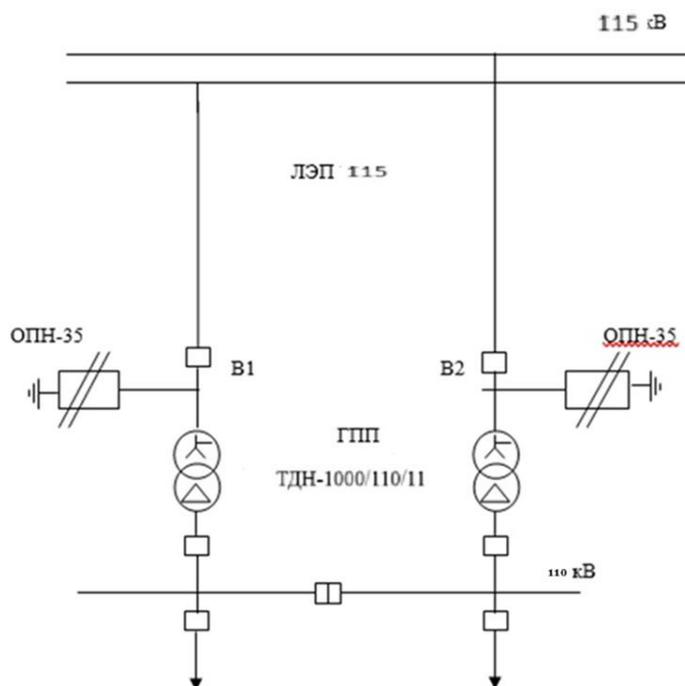


Рисунок 2.1 – Первая схема электроснабжения

- 1) Выбираем трансформаторы ГПП:

$$S_{p \text{ ГПП}} = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} = \sqrt{12658,42^2 + 2197^2} = 12847,66 \text{ кВА} \quad (2.1)$$

Выбираем два трансформатора мощностью 10000 кВА.

Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{S_{p \text{ ГПП}}}{2S_H} = \frac{12847,66}{2 \cdot 10000} = 0,64 \quad (2.2)$$

Паспортные данные трансформатора

Тип трансформатора ТДН –10000/110/11;
 $S_H = 10000$ кВА, $U_{вн} = 110$ кВ, $U_{нн} = 11$ кВ, $\Delta P_{xx} = 10$ кВт, $\Delta P_{кз} = 58$ кВт,
 $U_{кз} = 10,5\%$, $I_{xx} = 0,002\%$.

Потери мощности в трансформаторах:

а) активной:

$$\Delta P_{\text{ТГПП}} = 2(\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) = 2(10 + 58 \cdot 0,64^2) = 67 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

б) реактивной:

$$\Delta Q_{\text{ТГПП}} = 0,02(I_{xx} + U_{кз} \cdot K_3^2) \cdot S_H \quad (2.4)$$

$$\Delta Q_{\text{ТГПП}} = 0,02(0,002 + 10,5 \cdot 0,64^2) \cdot 10000 = 860 \text{ квар.}$$

Потери энергии в трансформаторах.

При трехменном режиме работы $T_{\text{вкл}} = 6000$ ч. $T_{\text{макс}} = 6000$ ч. тогда время максимальных потерь

$$\tau = (0,124 + T_M \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 \quad (2.5)$$

$$\tau = (0,124 + 6000 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 4592 \text{ ч}$$

Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta W = 2 \cdot (\Delta P_{xx} \cdot T_{\text{вкл}} + \Delta P_{кз} \cdot \tau \cdot K_3^2) \quad (2.6)$$

$$\Delta W = 2 \cdot (10 \cdot 6000 + 58 \cdot 4592 \cdot 0,64^2) = 338182 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

2)ЛЭП-115 кВ

Полная мощность, проходящая по ЛЭП:

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{ТГПП}})^2 + Q_3^2} \quad (2.7)$$

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(12847,662 + 67)^2 + 2197^2} = 13100 \text{ кВА}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_p = \frac{S_{\text{лэп}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{13100}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 29 \text{ А} \quad (2.8)$$

Ток аварийного режима:

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 29 = 58 \text{ А.} \quad (2.9)$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов:

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{29}{1} = 29 \text{ мм}^2 \quad (2.10)$$

где $j=1 \text{ А/мм}^2$ экономическая плотность тока при $T_M = 6000 \text{ ч}$ и алюминиевых проводах.

Принимаем провод АС -70 с $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}$.

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе:

$$I_{\text{доп}} = 265 \text{ А} > I_p = 29 \text{ А},$$

При аварийном режиме:

$$I_{\text{доп ав}} = 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 265 = 345 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 58 \text{ А.} \quad (2.11)$$

Потери электроэнергии в ЛЭП:

$$\Delta W_{\text{лэп5}} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot t \quad (2.12)$$

$$\Delta W_{\text{лэп5}} = 2 \cdot 3 \cdot 29^2 \cdot 1,085 \cdot 10^{-3} \cdot 4592 = 287323,27 \text{ кВтч},$$

где $R = r_0 \cdot L = 3,1 \cdot 0,35 = 1,085 \text{ Ом}$,

где $r_0 = 0,49 \text{ Ом/км}$ – удельное активное сопротивление АС - 70, $l = 1,85 \text{ км}$ – длина линии.

Выбор выключателей на $U = 115 \text{ кВ}$.

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рис. 2.2.) и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

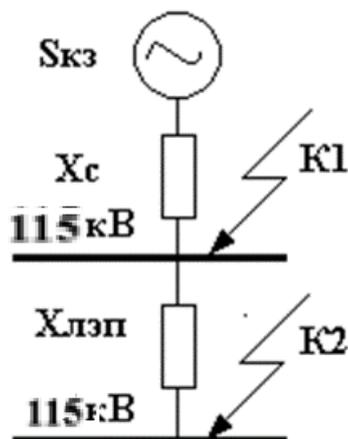


Рисунок 2. 2 – Схема замещения

$S_6=1000$ МВА; $U_6=115$ кВ.

$x_c = S_6 / S_{кз} = 1000/950 = 1,05$ о.е.,

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 16 \text{ кА}; \quad (2.13)$$

$$x_{л} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,34 \cdot 1,85 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,04 \text{ о.е.}; \quad (2.14)$$

$$I_{к1} = \frac{I_6}{X_C} = \frac{16}{1,05} = 15,23 \text{ кА}; \quad (2.15)$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{к1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 15,23 = 38,76 \text{ кА}; \quad (2.16)$$

$$I_{к2} = \frac{I_6}{X_C + X_{л}} = \frac{16}{1,05 + 0,04} = 14,67 \text{ кА}; \quad (2.17)$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 14,67 = 37,34 \text{ кА}. \quad (2.18)$$

Выбираем выключатели В1 и В2 типа ВРС-110 III-40/3150 УХЛ1

$$I_{ном} = 3150 \text{ А} > I_{ав} = 58 \text{ А};$$

$$I_{отк} = 31,5 \text{ кА} > I_{к1} = 15,23 \text{ кА};$$

$$I_{пред} = 40 \text{ кА} > i_y = 38,76 \text{ кА};$$

$$I_{терм} = 40 \text{ кА} > I_{к1} = 15,23 \text{ кА},$$

Выключатели В3-4 и В5-6: ВРС-110 Ш-40/3150 УХЛ1

$$I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 58 \text{ А};$$

$$I_{\text{отк}} = 31,5 \text{ кА} > I_{\text{к1}} = 14,67 \text{ кА};$$

$$I_{\text{пред}} = 40 \text{ кА} > i_y = 37,34 \text{ кА};$$

$$I_{\text{терм}} = 40 \text{ кА} > I_{\text{к1}} = 14,67 \text{ кА},$$

Выбираем ограничитель перенапряжений типа ОПН-110 УХЛ1.

Таблица 2.1 – Затраты на оборудования 110 кВ [4]

Оборудование	Затраты, млн тг
Выключатели В1-2, В3-4 и В5-6	21
Ограничители перенапряжений ОПН1-2	2,9
Трансформаторы	40
ЛЭП-110кВ	1,8

Расчет технико-экономических показателей ЛЭП-110 кВ

Капитальные вложения на развертывание и эксплуатацию схемы снабжения составляют:

$$K_{\text{п/ст}} = K_{\text{В1-6}} + K_{\text{ОПН1-2}} + K_{\text{тр}}. \quad (2.19)$$

Капитальные вложения на выключатели: В1-2, В3-4 и В5-6 (6 шт):

$$K_{\text{В1-6}} = n \cdot K_{\text{В}}, \quad (2.20)$$

$$K_{\text{В1-6}} = 6 \cdot 3,5 \cdot 10^6 = 21 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Капитальные вложения на ограничители перенапряжений ОПН1-2 (2 шт):

$$K_{\text{ОПН1-2}} = n \cdot K_{\text{ОПН}}, \quad (2.21)$$

$$K_{\text{ОПН1-2}} = 2 \cdot 1,45 \cdot 10^6 = 2,9 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Капитальные вложения на трансформаторы (2 шт):

$$K_{\text{тр2}} = n \cdot K_{\text{тр}}, \quad (2.22)$$

$$K_{\text{тр}2} = 2 \cdot 24 \cdot 10^6 = 48 \cdot 10^6 \text{ тг},$$

$$K_{\text{п/ст}} = 21 \cdot 10^6 + 48 \cdot 10^6 + 2,9 \cdot 10^6 = 71,9 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Капитальные вложения в ЛЭП – 115 кВ:

$$K_{\text{уд}} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ тг/км},$$

$$K_{\text{ЛЭП}} = L \cdot K_{\text{уд}}, \quad (2.23)$$

$$K_{\text{ЛЭП}} = 1,85 \cdot 3,5 \cdot 10^6 = 6,47 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Суммарные капитальные вложения на оборудование:

$$K_{\Sigma} = K_{\text{п/ст}} + K_{\text{ЛЭП}}, \quad (2.24)$$

$$K_{\Sigma} = 71,9 \cdot 10^6 + 6,47 \cdot 10^6 = 78,37 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{\text{экс ЛЭП}} = N_{\text{элЭП}} \cdot K_{\text{ЛЭП}}, \quad (2.25)$$

где $I_{\text{экс ЛЭП}}$ – норма эксплуатационных издержек ЛЭП, составляющая 2,8%.

$$I_{\text{экс ЛЭП}} = 0,028 \cdot 6,47 \cdot 10^6 = 0,181 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Амортизационные издержки ЛЭП:

$$I_{\text{а ЛЭП}} = N_{\text{алЭП}} \cdot K_{\text{ЛЭП}}, \quad (2.26)$$

где $N_{\text{алЭП}}$ – норма амортизационных издержек ЛЭП, составляющая 10%.

$$I_{\text{а ЛЭП}} = 0,1 \cdot 6,47 \cdot 10^6 = 0,647 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{\text{экс об}} = N_{\text{э об}} \cdot K_{\text{п/ст}}, \quad (2.27)$$

где $N_{\text{э об}}$ – норма эксплуатационных издержек оборудования, составляющая 3%.

$$I_{\text{экс об}} = 0,03 \cdot 71,9 \cdot 10^6 = 2,157 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Амортизационные издержки на оборудование:

$$I_{a \text{ об}} = N_{a \text{ об}} \cdot K_{п/ст}, \quad (2.28)$$

где $N_{a \text{ об}}$ – норма амортизационных издержек оборудования, составляющая 15%.

$$I_{a \text{ об}} = 0,15 \cdot 71,9 \cdot 10^6 = 10,78 \cdot 10^6 \text{ тг.}$$

Стоимость потерь:

$$I_{\text{пот}} = C_o + W_{\text{лэп}}, \quad (2.29)$$

где C_o – стоимость электроэнергии (8,87 тг/кВт·ч);
 $W_{\text{лэп}}$ – потери электроэнергии в ЛЭП.

$$I_{\text{пот}} = 8,87 \cdot 287323,27 = 1,17 \cdot 10^6 \text{ тг.}$$

Суммарные издержки:

$$I_{\Sigma} = I_{\text{экс ЛЭП}} + I_{\text{экс об}} + I_{a \text{ об}} + I_{a \text{ ЛЭП}} + I_{\text{пот}}, \quad (2.30)$$

$$I_{\Sigma} = (0,181 + 2,157 + 10,78 + 0,647 + 1,17) \cdot 10^6 = 14,935 \cdot 10^6 \text{ тг.}$$

Расчет приведенных затрат:

$$Z = E_c \cdot K_{\Sigma} + I_{\Sigma}, \quad (2.31)$$

где E_c – коэффициент сравнительной экономической эффективности равный 0,15.

$$Z = 0,15 \cdot 78,37 \cdot 10^6 + 14,935 \cdot 10^6 = 26,69 \cdot 10^6 \text{ тг.}$$

2.2 Второй вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-10,5 кВ)

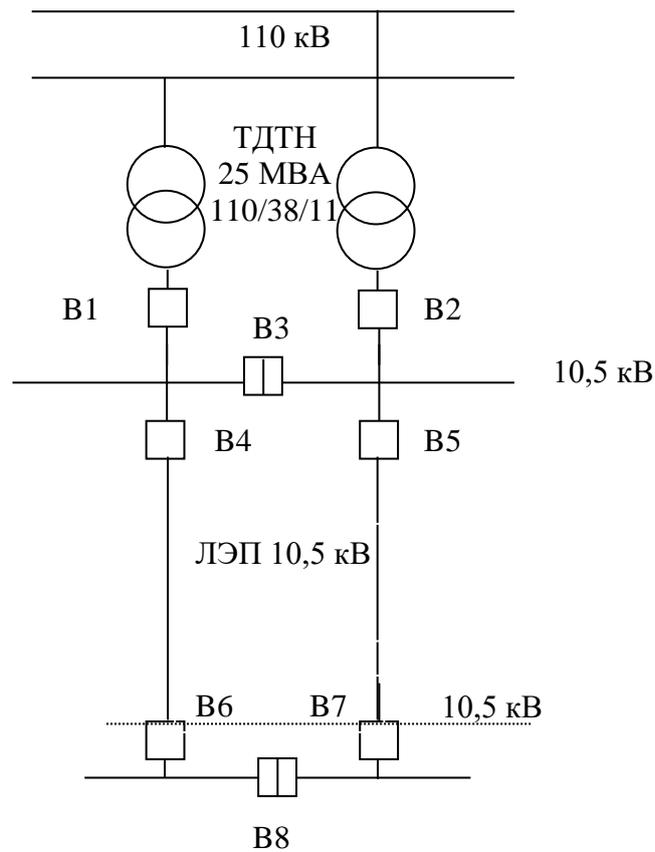


Рисунок 2.3 – Второй вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование.

1) ЛЭП –10,5 кВ.

Полная мощность, проходящая по ЛЭП:

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} = \sqrt{12658,42^2 + 2196^2} = 12847,66 \text{ кВА.} \quad (2.32)$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_p = \frac{S_{\text{ЛЭП}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{12847,66}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 320,7 \text{ А}$$

Ток аварийного режима:

$$I_{\text{ав}} = 2 \times I_p = 2 \times 320,7 = 641,4 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов:

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{320,7}{1} = 320,7 \text{ мм}^2$$

Принимаем провод 3хАС – 120/11 с $I_{\text{доп}} = 390 \times 3 = 1170 \text{ А}$.

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе:

$$I_{\text{доп}} = 1170 \text{ А} > I_p = 320,7 \text{ А}.$$

При аварийном режиме:

$$I_{\text{доп ав}} = 1,3 \times I_{\text{доп}} = 1,3 \times 1170 = 1521 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 641,4 \text{ А}.$$

Потери электроэнергии в ЛЭП:

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = 2 \cdot 3 \cdot 320,7^2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 4592 = 425052,23 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

где $R = r_0 \times L / N = 1,85 \times 0,258 / 3 = 0,15 \text{ Ом}$,

где $r_0 = 0,258 \text{ Ом/км}$ - удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением 120 мм^2 , $L = 1,85 \text{ км}$ - длина линии.

2) Трансформаторы энергосистемы
 Тип АДЦТГН – 25000/110/38,5/11;
 $S_n = 25 \text{ МВА}$, $U_{\text{вн}} = 115 \text{ кВ}$, $U_{\text{нн}} = 11 \text{ кВ}$.

Коэффициент долевого участия завода в мощности трансформаторов энергосистемы:

$$\gamma_1 = \frac{S_{\text{РГШ}}}{2 \cdot S_n} = \frac{12847,66}{2 \cdot 25000} = 0,23. \quad (2.34)$$

3) Выбор выключателей на $U = 10,5 \text{ кВ}$.

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рис. 2.4) и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

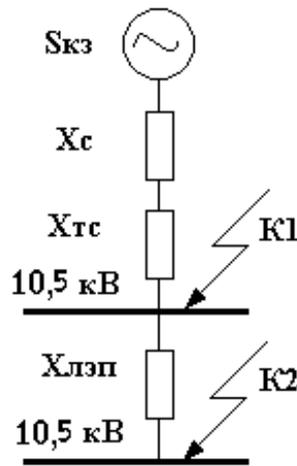


Рисунок 2.4 – Схема замещения

$S_{\delta} = 1000 \text{ МВА}; U_{\delta} = 10,5 \text{ кВ}, x_c = 1,66 \text{ о.е.},$

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 56 \text{ кА};$$

$$X_{л} = X_{л}/3 \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} = 0,04/3 \cdot 1,85 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,22 \text{ о.е.}$$

$$X_{т.чис} = \frac{U_k \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_H} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 25} = 4,2 \text{ о.е.}$$

$$I_{k1} = \frac{I_{\delta}}{X_c + X_{тс}} = \frac{56}{1,66 + 4,2} = 9,55 \text{ кА}; i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{k1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 9,55 = 24,31 \text{ кА.}$$

$$I_{k2} = \frac{I_{\delta}}{X_c + X_{тс} + X_{л}} = \frac{56}{1,66 + 4,2 + 0,22} = 21,67 \text{ кА}; i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{k2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 21,67 = 55,16 \text{ кА.}$$

Выбираем выключатели В1 и В2 по аварийному току трансформаторов ЭС.

Примем, что мощность по двум вторичным обмоткам трансформатора распределена поровну, поэтому мощность аварийного режима равна $2 \times 12,5 = 25 \text{ МВА}$.

$$I_{ав} = \frac{S_{AB}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3150 \cdot 12,5}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 2165 \text{ А},$$

$$I_p = \frac{S_{AB}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3150 \cdot 12,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 1082 \text{ А.}$$

Выключатель В1-2, В4-5, В6-7: ВБМЭ-10

$$I_{\text{ном}} = 2500\text{A} > I_{\text{ав}} = 2165 \text{ A};$$

$$I_{\text{откл}} = 40\text{кА} > I_{\text{к1}} = 9,5 \text{ кА};$$

$$I_{\text{пред}} = 100\text{кА} > i_y = 24,31 \text{ кА};$$

$$I_{\text{терм}} = 40\text{кА} > I_{\text{к1}} = 9,55 \text{ кА};$$

Выключатель В3, В8: секционный ВБКЭ-10

$$I_{\text{ном}} = 1200\text{A} > I_p = 1082 \text{ A};$$

$$I_{\text{откл}} = 31,5\text{кА} > I_{\text{к1}} = 21,67 \text{ кА};$$

$$I_{\text{пред}} = 65\text{кА} > i_y = 55,16 \text{ кА};$$

$$I_{\text{терм}} = 31,5\text{кА} > I_{\text{к1}} = 21,67 \text{ кА};$$

Таблица 2.2 – Затраты на оборудования 10 кВ [4]

Оборудование	Затраты, млн тг
Выключатели В1-8	24
Трансформаторы	93,6
ЛЭП-10кВ	9,45

Составим сводную таблицу по двум вариантам.

Таблица 2.3 - Результаты ТЭР

Вариант	$U_{\text{ном}}$, кВ	K_{Σ} , млн тг	I_{Σ} , млн тг	Затраты, млн тг
I	115	78,37	14,935	26,69
II	10,5	44,32	11,31	17,958

Выбираем II вариант, так как приведенные затраты дешевле.

3 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10,5 кВ

3.1 Расчет тока короткого замыкания на шинах ГПП

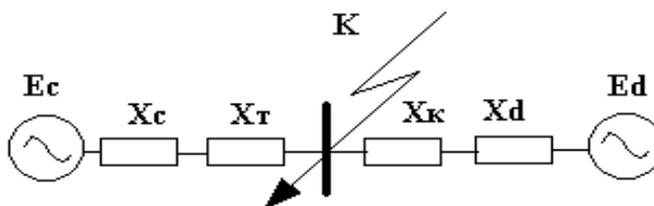


Рисунок 3.1 - Схема замещения

Найдем параметры схемы замещения при данных: $S_{\delta}=1000$ МВА;
 $x_c = 1,05 + 0,04 = 1,09$ о.е.; $U_{\delta} = 10,5$ кВ.

$$I_{\delta} = S_{\delta}/\sqrt{3} \cdot U_{\delta} = 1000/\sqrt{3} \cdot 10,5 = 56 \text{ кА},$$

$$X_T = U_k \cdot S_{\delta}/100 \cdot S_H = 10,5 \cdot 1000/100 \cdot 10 = 10,5 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания от системы:

$$I_{kc} = I_{\delta}/(x_c+x_T) = 56/(1,05+10,5) = 4,84 \text{ кА}.$$

Найдем сопротивление кабеля к СД:

$$I_p = S_p/\sqrt{3} \cdot U_{\delta} = 666/\sqrt{3} \cdot 10,5 = 37 \text{ А},$$

$$F_{\min} = \alpha \cdot I_k \cdot \sqrt{t_n} = 12 \cdot 4,84 \cdot \sqrt{0,8} = 51,94 \text{ мм}^2. \quad (3.1)$$

Выбираем кабель ААШВ-10-(3х35) с $I_{доп}=110$ А.

$$x_{уд}=0,08 \text{ Ом/км}.$$

$$x_k = L \cdot x_{уд} \cdot S_{\delta}/N \cdot U_{cp}^2 = 1,85 \cdot 0,08 \cdot 1000/3 \cdot 10^2 = 0,49 \text{ о.е.} \quad (3.2)$$

Найдем параметры СД.

$$x_d = x_d^{\text{II}} \cdot S_{\delta}/S_H = 0,2 \cdot 1000/1,25 = 160 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания:

$$I_{кд} = I_{\delta} \cdot N/(x_k+x_d) = 56 \cdot 3/(0,49 + 160) = 0,69 \text{ кА},$$

$$I_k = I_{кс} + I_{кд} = 4,84 + 0,69 = 5,53 \text{ кА},$$

$$I_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,53 = 14 \text{ кА}.$$

3.2 Выбор выключателей

Вводные: $S_p = 12280,68 \text{ кВА}$.

Расчетный ток: $I_p = S_p / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n = 12280,68 / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 338 \text{ А}$.

Аварийный ток: $I_a = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 338 = 676 \text{ А}$.

Принимаем вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-П-10-20/1000.

Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.1 – Технические параметры выключателя [6]

Паспортные	Расчетные
$U_n = 10,5 \text{ кВ}$	$U = 10,5 \text{ кВ}$
$I_n = 1000 \text{ А}$	$I_{ав} = 676 \text{ А}$
$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{терм} = 51 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{дин} = 51 \text{ кА}$	$I_y = 14 \text{ кА}$

Секционный выключатель:

Через секционный выключатель проходит половина мощности, проходящей через вводные выключатели. Следовательно, расчетный ток, проходящий через выключатель: $I_p = 338 \text{ А}$.

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630.

Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.2 – Технические параметры выключателя [6]

Паспортные	Расчетные
$U_n = 10,5 \text{ кВ}$	$U = 10,5 \text{ кВ}$
$I_n = 630 \text{ А}$	$I_p = 338 \text{ А}$
$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{терм} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{дин} = 51 \text{ кА}$	$I_y = 14 \text{ кА}$

Выбор выключателей отходящих линий:

1) Магистраль ГПП-ТП1.

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2} \quad (3.3)$$

$$S_p = \sqrt{(3674,45 + 30)^2 + (812,08 + 169)^2} = 3832 \text{ кВА.}$$

$$I_p = S_p/2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H = 3832/2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 105 \text{ А.}$$

Аварийный ток: $I_{ав} = 210 \text{ А.}$

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630.

Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.3 – Технические параметры выключателя [6]

Паспортные	Расчетные
$U_H=10,5 \text{ кВ}$	$U=10,5 \text{ кВ}$
$I_H=630\text{А}$	$I_p=105 \text{ А}$
$I_{откл}=20 \text{ кА}$	$I_{кз}=5,53 \text{ кА}$
$I_{терм}=20 \text{ кА}$	$I_{кз}=5,53 \text{ кА}$
$I_{дин}=21 \text{ кА}$	$I_y=14\text{кА}$

Исходя из расчетов выше получается:

Магистраль	S_p	I_p	$I_{ав}$	Выключатель
ГПП-ТП2	2328	64	128	ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630
ГПП-ТП3	2364	64	66	ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630

Проверим выбранный выключатели:

Таблица 3.4 – Технические параметры выключателя [6]

Паспортные	Расчетные
$U_H=10,5 \text{ кВ}$	$U=10,5 \text{ кВ}$
$I_H=630\text{А}$	$I_p=64 \text{ А}$
$I_{откл}=20 \text{ кА}$	$I_{кз}=5,53 \text{ кА}$
$I_{терм}=20 \text{ кА}$	$I_{кз}=5,53 \text{ кА}$
$I_{дин}=21 \text{ кА}$	$I_y=14\text{кА}$

Таблица 3.5 – Технические параметры выключателя [6]

Паспортные	Расчетные
$U_H=10,5 \text{ кВ}$	$U=10,5 \text{ кВ}$
$I_H=630\text{А}$	$I_p=33 \text{ А}$
$I_{откл}=20 \text{ кА}$	$I_{кз}=5,53 \text{ кА}$
$I_{терм}=20 \text{ кА}$	$I_{кз}=5,53 \text{ кА}$
$I_{дин}=51 \text{ кА}$	$I_y=14\text{кА}$

4) Магистраль ГРП-СД1.

$$I_p = 2857/2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 79 \text{ А.}$$

Аварийный ток: $I_{ав} = 158 \text{ А.}$

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630.

Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.7 – Технические параметры выключателя [6]

Паспортные	Расчетные
$U_H = 10,5 \text{ кВ}$	$U = 10,5 \text{ кВ}$
$I_H = 630 \text{ А}$	$I_p = 79 \text{ А}$
$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{терм} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{дин} = 51 \text{ кА}$	$I_y = 14 \text{ кА}$

5) Магистраль ГРП-СД2.

$$I_p = 1428/2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 39 \text{ А.}$$

Аварийный ток: $I_{ав} = 78 \text{ А.}$

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630.

Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.8 – Технические параметры выключателя [6]

Паспортные	Расчетные
$U_H = 10,5 \text{ кВ}$	$U = 10,5 \text{ кВ}$
$I_H = 630 \text{ А}$	$I_p = 39 \text{ А}$
$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{терм} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{дин} = 51 \text{ кА}$	$I_y = 14 \text{ кА}$

3.3 Выбор кабелей отходящих линий

Условия выбора кабелей:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{J_{\text{ЭК}}};$$

$$I_p < I_{\text{доп}}$$

$$I_{\text{ав}} < 1,3 \cdot I_{\text{доп}},$$

где $J = 1,2 \text{ А/мм}^2$ экономическая плотность тока.

$$S_{\text{терм}} = 12 \cdot 5,53 \cdot \sqrt{0,8} = 59,35 \text{ мм}^2;$$

СД1:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{79}{1,2} = 65,8 \text{ мм}^2;$$

СД2:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{39}{1,2} = 32,5 \text{ мм}^2;$$

Принимаем кабель ААШНГ-10-(3х25) с $I_{\text{доп}}=91 \text{ А}$.

$$I_{\text{доп}}=91 \cdot 0,8=72,8 \text{ А} > I_{p1}=65,8 \text{ А}, I_{p2}=32,5 \text{ А},$$

где $K_n=0,8$ – поправочный коэффициент при числе кабелей в траншее $N=4$.

ТП1:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{210}{1,2} = 175 \text{ мм}^2;$$

Принимаем кабель ААШНГ-10-(3х150) с $I_{\text{доп}}=275 \text{ А}$.

$$I_{\text{доп}}=246 \cdot 0,9=221,4 \text{ А} > I_p=105 \text{ А},$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}}=1,3 \cdot 221,4=287,8 \text{ А} > I_{\text{ав}}=210 \text{ А}.$$

где $K_n=0,9$ – поправочный коэффициент при числе кабелей в траншее $N=2$.

Исходя из расчетов выше получается:

Магистраль	$S_{эк}$	$I_{доп}$	$1,3 \times I_{доп}$	Кабель
ТП2	2328	120,6	156,7	ААШнг-10-(3х50)
ТП3	2364	145,8	189,5	ААШнг-10-(3х70)

Таблица 3.9 – Кабельный журнал [7]

Наименование участка	S_p , кВА	N	K_n	Нагрузка		По экон. пл. тока, мм ²		По току K_3 , мм ²		Выбранный кабель	$I_{доп}$, А
				I_p , А	$I_{ав}$, А	j_3	F_3 , мм ²	I_k , кА	S , мм ²		
ГРП-СД1	666	3	0,8	65,8	-	1,2	65,8	5,53	65,8	ААШнг-10-(3х25)	91
ГРП-СД2	333	3	0,8	32,5	-	1,2	32,5	5,53	32,5	ААШнг-10-(3х25)	91
ГРП-ТП1	3763,11	2	0,9	105	210	1,2	175	5,53	175	ААШнг-10-(3х150)	275
ГРП-ТП2	1359,1	2	0,9	64	128	1,2	53,3	5,53	53,3	ААШнг-10-(3х50)	134
ГРП-ТП3	2333,46	2	0,9	66	132	1,2	55	5,53	55	ААШнг-10-(3х70)	162

3.4 Выбор выключателей нагрузок на ТП

$$I_p = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ А.}$$

Для всех трансформаторов выбираем выключатели: ВМП-17 с ПК-10/100.

3.5 Выбор автоматических выключателей на ТП

$$I_p = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1519 \text{ А.}$$

Выбираем ВА88-43 с $I_{\text{доп}} = 1600 \text{ А}$.

3.6 Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока выбираются по следующим условиям:

- 1) по напряжению установки: $U_{\text{ном ТТ}} \geq U_{\text{ном уст-ки}}$;
- 2) по току: $I_{\text{ном ТТ}} \geq I_{\text{расч}}$;
- 3) по электродинамической стойкости: $K_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}} / \sqrt{2} * I_{\text{ном ТТ}}$;
- 4) по вторичной нагрузке: $S_{\text{н2}} \geq S_{\text{нагр расч}}$;
- 5) по термической стойкости: $K_{\text{тс}} = I_{\text{об}} * \sqrt{t} / I_{\text{ном ТТ}} * t_{\text{нт}}$;
- 6) по конструкции и классу точности.

а) Выбор трансформаторов тока на вводе и секционном выключателе.

Таблица 3.10 – Трансформатор тока на вводе выключателя [8]

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
W_h	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
$V_{\text{арh}}$	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
$V_{\text{ар}}$	Д-345	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока, сопротивление которой состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}. \quad (3.4)$$

Сопротивление приборов определяется по данной формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad (3.5)$$

$$r_{2 \text{ н}} = \frac{S_{2 \text{ н ТТ}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}. \quad (3.6)$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами;
 I_2 – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доппр}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}, \quad (3.7)$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \cdot 1,85}{0,44} = 0,11 \text{ мм}^2. \quad (3.8)$$

Принимаем провод АКР ТВ, $F = 1,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{F} = \frac{0,028 \cdot 1,85}{1,5} = 0,034 \text{ Ом}, \quad (3.9)$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,034 + 0,1 = 0,394 \text{ Ом}, \quad (3.10)$$

$$V_{\text{к}} = I_{\text{кз}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 5,53^2 \cdot (0,08 + 0,04) = 3,66 \text{ кА}^2\text{с}. \quad (3.11)$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Таблица 3.11 – Технические параметры трансформатора

Паспортные	Расчетные
$U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}}=676 \text{ А}$ $V_{\text{к}}=3,66 \text{ кА}^2\text{с}$ $i_{\text{уд}}=10 \text{ кА}$ $Z_{2\text{п}}=0,45 \text{ Ом}$	$U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$ $I_{\text{н}}=1500 \text{ А}$ $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}=33075 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{дин}}=52 \text{ кА}$ $Z_{2\text{н}}=0,8 \text{ Ом}$

Таблица 3.12 – Трансформатор тока на линии ГПП-ТП1; ГПП-ТП2; ГПП-ТП 3; ГПП-СД1; ГПП-СД2 [8]

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
W_{h}	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
V_{arh}	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
V_{ar}	Д-345	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}.$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2\text{н}} = \frac{S_{2\text{н}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами;
 I_2 – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доп}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}.$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \cdot 1,85}{0,44} = 0,11 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ; $F = 1,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{F} = \frac{0,028 \cdot 1,85}{1,5} = 0,034 \text{ Ом}.$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,034 + 0,1 = 0,394 \text{ Ом}.$$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{кз}}^2 \times (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 5,53^2 \times (0,08 + 0,04) = 3,66 \text{ кА}^2\text{с}$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Таблица 3.13 – Технические параметры трансформатора

Паспортные	Расчетные
$U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}}=210 \text{ А}$	$I_{\text{н}}=400 \text{ А}$
$B_{\text{к}}=3,66 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}=33075 \text{ кА}^2\text{с}$
$i_{\text{уд}}=10 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}}=52 \text{ кА}$
$Z_{2\text{р}}=0,45 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{н}}=0,8 \text{ Ом}$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2 \text{ н}} = \frac{S_{2 \text{ н.т.т}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами;
 I_2 – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доп}} = r_{2 \text{ н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}.$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \cdot 1,85}{0,44} = 0,11 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ; $F=1,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{F} = \frac{0,028 \cdot 1,85}{1,5} = 0,034 \text{ Ом}.$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,034 + 0,1 = 0,394 \text{ Ом}.$$

$$V_{\text{к}} = I_{\text{кз}}^2 \times (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 5,53^2 \times (0,08 + 0,04) = 3,66 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Таблица 3.15 – Технические параметры трансформатора

Паспортные	Расчетные
$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}} = 128 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 400 \text{ А}$
$V_{\text{к}} = 3,66 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 33075 \text{ кА}^2\text{с}$
$i_{\text{уд}} = 10 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$
$Z_{2\text{P}} = 0,45 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{H}} = 0,8 \text{ Ом}$

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}.$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2 \text{ н}} = \frac{S_{2 \text{ н.т.т}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами;
 I_2 – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доп}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом.}$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \cdot 1,85}{0,44} = 0,11 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ; $F=1,5\text{мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{F} = \frac{0,028 \cdot 1,85}{1,5} = 0,034 \text{ Ом.}$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,034 + 0,1 = 0,394 \text{ Ом.}$$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{кз}}^2 \times (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 5,53^2 \times (0,08 + 0,04) = 3,66 \text{ кА}^2\text{с.}$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Таблица 3.17 – Технические параметры трансформатора

Паспортные	Расчетные
$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}} = 132 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 400 \text{ А}$
$B_{\text{к}} = 3,66 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 33075 \text{ кА}^2\text{с}$
$i_{\text{уд}} = 10 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$
$Z_{2\text{р}} = 0,45 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{н}} = 0,8 \text{ Ом}$

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}.$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2\text{н}} = \frac{S_{2\text{н}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами;
 I_2 – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доп}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом.}$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 1,85}{0,44} = 0,11 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ; $F=1,5\text{мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 1,85}{1,5} = 0,034 \text{ Ом.}$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,034 + 0,1 = 0,394 \text{ Ом.}$$

$$B_k = I_{\text{кз}}^2 \times (t_{\text{отк}} + T_a) = 5,53^2 \times (0,08 + 0,04) = 3,66 \text{ кА}^2\text{с.}$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Таблица 3.21 – Технические параметры трансформатора

Паспортные	Расчетные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}} = 65,8 \text{ А}$	$I_H = 400 \text{ А}$
$B_k = 3,66 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 33075 \text{ кА}^2\text{с}$
$i_{\text{уд}} = 10 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$
$Z_{2P} = 0,45 \text{ Ом}$	$Z_{2H} = 0,8 \text{ Ом}$

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}.$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2\text{н}} = \frac{S_{2\text{н}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом,}$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами;

I_2 – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доп}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом.}$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 1,85}{0,44} = 0,11 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ; $F=1,5\text{мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 1,85}{1,5} = 0,034 \text{ Ом.}$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,034 + 0,1 = 0,394 \text{ Ом.}$$

$$B_k = I_{\text{кз}}^2 \times (t_{\text{отк}} + T_a) = 5,53^2 \times (0,08 + 0,04) = 3,66 \text{ кА}^2\text{с.}$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Таблица 3.23 – Технические параметры трансформатора

Паспортные	Расчетные
$U_H = 10,5 \text{ кВ}$	$U = 10,5 \text{ кВ}$
$I_H = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ав}} = 676 \text{ А}$
$I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{кз}} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{\text{терм}} = 51 \text{ кА}$	$I_{\text{кз}} = 5,53 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$	$I_y = 14 \text{ кА}$

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}} = 32,5 \text{ А}$	$I_H = 400 \text{ А}$
$B_k = 3,66 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 33075 \text{ кА}^2\text{с}$
$i_{\text{уд}} = 10 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$
$Z_{2P} = 0,45 \text{ Ом}$	$Z_{2H} = 0,8 \text{ Ом}$

Для всех элементов СЭС ТА: ТЗЛ-6.

3.7 Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:

- 1) по напряжению установки: $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$;
- 2) по вторичной нагрузке: $S_{\text{ном2}} \geq S_{2\text{расч}}$;
- 3) по классу точности;
- 4) по конструкции и схеме соединения;

Таблица 3.24 – Выбор трансформаторов [9]

Прибор	Тип	S _{об-ки} , ВА	Число об-к	cosφ	sinφ	Число приборов	P _{общ} , Вт	Q _{сум} , Вар
V	Э-335	3	1	1	0	1	3	-
W	Д-335	2,5	2	0,4	0,93	6	12	23
V _{ар}	И-335	2,5	2	0,4	0,93	6	12	23
W _h	СА3- И681	2	2	0,4	0,93	6	9	27
V _{арh}	СР4- И689	2	2	0,4	0,93	6	9	27
Итого							45	100

Расчетная вторичная нагрузка:

$$S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{45^2 + 100^2} = 110 \text{ ВА.}$$

Принимаем ТН типа НАМИТ-10.

Таблица 3.25 – Технические параметры трансформатора

По каталогу	Расчетные величины
U _{н.т} = 10 кВ S _{н.2} = 300 кВА	U _{н.т} = 10 кВ S _{p.2} = 110 ВА

3.8 Выбор шин ГПП

Сечение шин следует выбирать по длительно допустимому току и экономической целесообразности. Проверку шин производят на электродинамическую и термическую стойкость к токам КЗ.

Выбираем твердотянутые алюминиевые шины прямоугольного сечения марки АДЗ1Т 10х120мм; I_{доп} = 2300 А (одна полоса на фазу), I_{ав} = 2165А; i_{уд} = 10 кА.

- а) проверка по аварийному току: I_{доп} = 2300 А ≥ I_{ав} = 2165 А;
- б) проверка по термической стойкости к I_{кз}

$$F_{\min} = \alpha \cdot I_{кз} \cdot \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \cdot 5,53 \cdot \sqrt{1} = 66 \text{ мм}^2 < 1200 \text{ мм}^2 (10 \times 120);$$

- в) проверка по динамической стойкости к i_{уд кз}: σ_{доп} = 91 кгс/см²:

$$f = \frac{1,75 \cdot 10^{-2} \cdot i_{уд}^2 \cdot L}{a} = \frac{1,75 \cdot 10^{-2} \cdot 10^2 \cdot 10}{60} = 2,9 \text{ кгс};$$

$$\omega = 0,167 \cdot b \cdot h^2 = 0,167 \cdot 1 \cdot 12^2 = 24 \text{ см}^3;$$

$$\sigma_{расч} = \frac{f \cdot L^2}{10\omega} = \frac{8,9 \cdot 10^2}{10 \cdot 24} = 12 \text{ кгс/см}^2 \leq 91 \text{ кгс/см}^2;$$

где $a = 60$ см - расстояние между фазами;

$L = 10$ см - расстояние между изоляторами;

$b = 1$ см - толщина одной полосы;

$h = 12$ см - ширина (высота) шины.

Из условий получаем, что шины динамически устойчивы

3.8 Выбор изоляторов

Жесткие шины крепятся на опорных изоляторах, выбор которых производится по следующим условиям:

а) по номинальному напряжению: $U_{ном} \geq U_{уст}$;

б) по допустимой нагрузке: $F_{доп} \geq F_{расч}$,

где $F_{расч}$ - сила, действующая на изолятор;

$F_{доп}$ - допустимая нагрузка на головку изолятора, $F_{доп} = 0,6F_{разруш}$;

$F_{разруш}$ - разрушающая нагрузка на изгиб.

$$F_{расч} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-1} \cdot i_{уд}^2 \cdot L}{a} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-1} \cdot 10^2 \cdot 10}{60} = 28,8 \text{ кгс}.$$

Выбираем изолятор типа ОНШ-10-500У1 с $F_{разруш} = 500$ кгс.

$$F_{доп} = 0,6 \cdot F_{разруш} = 0,6 \cdot 500 = 300 \text{ кгс. } (>28,8 \text{ кгс})$$

Условие выполняется.

4 Специальный раздел. Создание защитных технических средств от электрического тока

4.1 Разработка мер безопасности для механического цеха

4.1.1 Рассмотрение мер обеспечения электрической безопасности в цехе

Электробезопасность — это комплекс организационных, технических, медицинских и административных мероприятий, направленных на повышение надёжности электрических установок и сетей, с целью устранения опасных ситуаций, вызываемых воздействием электрического тока на организм человека при аварийных ситуациях в современных электрических установках и сетях. Организация энергетического хозяйства на предприятии осуществляется в соответствии с основными тремя правилами:

- 1) ПТБ – Правило техники безопасности;
- 2) ПУЭ – Правило устройства электроустановок;
- 3) ПТЭ – Правило технической эксплуатации.

Для электрических установок необходимо применять защитные меры в зависимости от их типа, номинального напряжения, нейтральных режимов и среды применения. В электрических установках применяются следующие технические защитные меры:

- применение низкого напряжения;
- разделение сетей;
- защита от опасности при переходе с высокого на низкое напряжение ;
- контроль и испытание изоляции;
- компенсация емкостного тока заземляющего тока;
- защита от случайного прикосновения к токоведущим частям;
- защитное заземление;
- заземление и зануление;
- защитное отключение;
- применение средств защиты от электрического тока. Эти меры регулируются ПУЭ, ПТЭ и ПТБ.

В нашем случае рассматриваются две защитные меры: зануление и заземление, а также защитное отключение..

4.1.2 Виды устройств защитного отключения

Для технического исполнения существует несколько типов УЗО. Ниже приведена классификация УЗО:

- 1) по направлению:
 - УЗО без встроенной защиты от перегрузок;
 - УЗО со встроенной защиты от перегрузок.
- 2) По способу управления:

- УЗО, функционально зависимые от напряжения;
- УЗО, функционально независимые от напряжения.

Кернеуге функциялық тәуелді УЗО өз кезегінде мыналарға бөлінеді:

- устройства, которые автоматически отключают силовые контакты при исчезновении напряжения с выдержкой времени или без неё. При восстановлении напряжения некоторые модели таких устройств автоматически замыкают свои главные контакты, остальные остаются выключенными.

- устройства, которые не отключают контакты при исчезновении напряжения. Исполнение таких устройств может быть двух видов. В первом варианте устройство не отключает свои контакты при исчезновении напряжения, но сохраняет возможность отключения силовой цепи при возникновении дифференциального тока. Во втором варианте устройство не может производить отключение при отсутствии напряжения в случае возникновения дифференциального тока.

3) По способу установки:

- УЗО для стационарной установки при неподвижном электрическом приводе;

- УЗО для переносной установки и шнурового подключения.

4) По количеству полюсов и защищаемых токовых путей:

- двухполюсные с двумя защищаемыми полюсами;

- четырехполюсные с четырьмя защищаемыми полюсами.

5) По условиям регулировки отключающего дифференциального тока:

- УЗО с одной номинальной величиной отключающего тока;

- УЗО с несколькими фиксированными значениями отключающего тока.

6) По условиям работы при наличии постоянной составляющей тока:

- УЗО типа АС, реагирующие на синусоидальный переменный дифференциальный ток;

- УЗО типа А, реагирующие на синусоидальный переменный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток..

7) По наличию временной задержки:

- УЗО общего применения без временной задержки;

- УЗО типа S с временной задержкой.

8) По условиям защиты от внешних воздействий:

- УЗО в защитном исполнении, не требующие защитной оболочки для использования;

- УЗО в незащитном исполнении, требующие защитной оболочки при использовании.

9) По способу монтажа:

- УЗО для поверхностного монтажа;

- УЗО для утопленного монтажа;

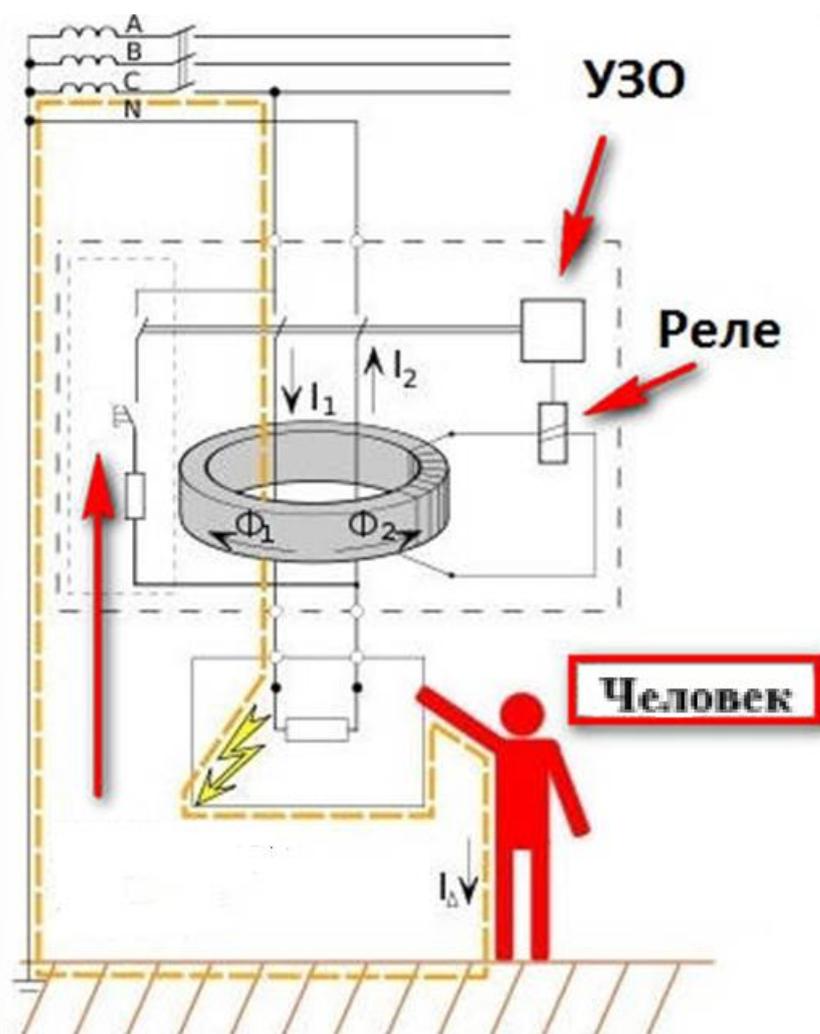
- УЗО для панельного щитового монтажа.

10) По условиям мгновенного срабатывания:

- УЗО типа В;
- УЗО типа С;
- УЗО типа D.

Принцип работы УЗО показан на рисунке 2.1. При рассмотрении конструкции УЗО устройства делятся на два типа по условию технической реализации:

УЗО, функционально независимые от питающего напряжения. Для выполнения защитных функций необходимая энергия берётся непосредственно от сигнала, реагирующего на дифференциальный ток..



4.1-рисунок. Принцип работы УЗО

УЗО, функционально зависимые от питающего напряжения. Их механизмы отключения требуют энергии, получаемой либо из контролируемой сети, либо из внешнего источника.

УЗДП – устройство защиты от дугового пробоя – специализированное устройство, предназначенное для автоматического предупреждения и предотвращения пожара от искрения/дугового пробоя в электрических сетях и электроустановках – самой распространенной причины «электрических» пожаров. УЗДП является третьим этапом развития средств защиты электросетей после автоматических выключателей (АВ) и устройств защитного отключения (УЗО). УЗДП устанавливается в электрощит на стандартную DIN-рейку. В случае возникновения дугового пробоя в защищаемом участке электросети, устройство отключает данный участок от питающей сети. Далее рассмотрим более подробно, для чего необходим УЗДП и как он предотвращает пожары.

Самая частая причина пожаров в зданиях - аварийный режим работы электросетей и оборудования, и доля «электрических» пожаров в общем количестве пожаров в Казахстане только растет. Например, в 2020 году по этой причине произошло 63 % пожаров в зданиях образовательных организаций, 49 % пожаров в зданиях здравоохранения и социального обслуживания, 34 % в жилых зданиях.

В результате многочисленных исследований причин пожаров, проведенных в разные годы в России и за рубежом, выяснилось, что в самой частой причиной возгорания в «электрических» пожарах является дуговой пробой или искрение. Дуговой пробой (искрение) возникает, как правило, в результате какого-либо дефекта кабеля или нарушения контакта, повреждения изоляции, износа или внешнего повреждения проводки или оборудования, некачественно выполненных монтажных работ. Источником искрения также могут быть электроприборы, не соответствующие нормативным требованиям. Температура в зоне искрового разряда может достигать от 2500 до 7000 градусов Цельсия, поэтому дуговой пробой при достаточной силе тока в искровом промежутке легко может стать источником возгорания. Пожароопасным считается дуговой пробой, сила тока в котором больше 2,5 Ампер. Это совсем небольшой ток для современного жилого или общественного здания, такой ток будет в цепи с нагрузкой всего 550-600 Вт – это в 2 раза меньше самого обычного электрического чайника.

4.1.3 Выбор защитного отключающего устройства для электрических приёмников в цехе

Для всех электрических установок, питаемых от шины в механическом ремонтном цехе, установлены предохранители. Однако для повышения безопасности более эффективно использовать защитные отключающие устройства (УЗО) для электрических приёмников..

В соответствии с современными требованиями существуют различные чувствительные защитные отключающие устройства (УЗО). При выборе дифференциального автоматического выключателя (с УЗО) необходимо соблюдать следующие условия (таблица 2.1):

$$I_{\text{ном.авт}} \geq I_{\text{пуск}}; \quad (4.1)$$

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{н}} \cdot K_{\text{пуск}}. \quad (4.2)$$

4.1- Таблица – Выбор марок устройств защиты при дуговом пробое для установок [10]

Наименования ЭУ	$I_{\text{н}}, \text{А}$	Выключ.	УЗО	УЗДП
Цех красителей №1	40,2	3Р ВА 47-29 50А ИЭК	УЗО АД 14 (4ф) 50А	ISTOK УЗДП-С1-63А
Холодильная установка	45,48	3Р ВА 47-29 50А ИЭК	УЗО АД 14 (4ф) 50А	ISTOK УЗДП-С1-63А
Механический цех	9,7	ВА 47-100 (1ф) 10А IEK (12)	УЗО АД 12 (2ф) 10А	ISTOK УЗДП-С1-16А
Участок механического цеха	7,1	ВА 47-100 (1ф) 10А IEK (12)	УЗО АД 12 (2ф) 10А	ISTOK УЗДП-С1-16А
ШРА 1				
Цех полупродуктов №1	38,17	3Р ВА 47-29 50А ИЭК	УЗО АД 14 (4ф) 50А	ISTOK УЗДП-С1-40А
Цех полупродуктов №2	28,42	ЕКФ 3Р 35А	ВА 47-100, 1Р 35А	ISTOK УЗДП-С1-40А
Цех натриевой соли	24,36	ЕКФ 3Р 35А	ВА 47-100, 1Р 35А	ISTOK УЗДП-С1-40А
Склад химикатов	9,74	ВА 47-100 (1ф) 10А IEK (12)	УЗО АД 12 (2ф) 10А	ISTOK УЗДП-С1-16А
Склад кислот	8,63	ВА 47-100 (1ф) 10А IEK (12)	УЗО АД 12 (2ф) 10А	ISTOK УЗДП-С1-16А
ШРА 2				
Компрессорная	48.73	3Р ВА 47-29 50А ИЭК	УЗО АД 14 (4ф) 50А	ISTOK УЗДП-С1-63А
Кислородная станция	49,46	3Р ВА 47-29 50А ИЭК	УЗО АД 14 (4ф) 50А	ISTOK УЗДП-С1-63А
Цех красителей №2	24,36	ЕКФ 3Р 35А	ВА 47-100, 1Р 35А	ISTOK УЗДП-С1-40А
ШРА 3				

Продолжение таблицы 4,1

Наименования ЭУ	I _н ,А	Выключ.	УЗО	УЗДП
Заводоуправление	30	ЕКФ 3Р 35А	ВА 47- 100, 1Р 35А	ISTOK УЗДП-С1-40А
Электроцех	41,2	3Р ВА 47- 29 50А ИЭК	УЗО АД 14 (4ф) 50А	ISTOK УЗДП-С1-63А
Столовая	29,88	ЕКФ 3Р 35А	ВА 47- 100, 1Р 35А	ISTOK УЗДП-С1-40А
Холодильная установка №2	43,28	3Р ВА 47- 29 50А ИЭК	УЗО АД 14 (4ф) 50А	ISTOK УЗДП-С1-63А
Склад готовой продукции	7,1	ВА 47-100 (1ф) 10А ИЭК (12)	УЗО АД 12 (2ф) 10А	ISTOK УЗДП-С1-16А
Лаборатория	17,86	ЕКФ 3Р 35А	ВА 47- 100, 1Р 35А	ISTOK УЗДП-С1-40А
ЩРА 4				

4.2 Разработка мер безопасности для химического завода

4.2.1 Расчёт зануления

Взрывоопасные зоны, электротранспорты, корабли, подводные и другие подобные объекты не предусматривают заземление и зануление. В случае повреждения изоляции токопроводящих частей электрических установок, их незаземлённые металлические части оказываются под напряжением. В таком случае, при прикосновении человека к этой части, он подвергается воздействию электрического тока.

При коротком замыкании в изолированной сети (например, при повреждении изоляции обмотки электрического двигателя) потенциал сети по отношению к земле достигает фазного значения, а при двойном замыкании — значения линейного напряжения сети. Если сеть изолированная, а оборудование не заземлено и не занулено, человек подвергается воздействию линейного напряжения сети, что значительно более опасно.

Кроме того, при наличии заземления, человек, держащийся за заземлённый корпус, подключается параллельно цепи между землей и сетью. В этом случае, если сопротивление тока утечки заземления меньше сопротивления тела человека, то основная часть тока заземления проходит через землю, и ток через тело человека будет незначительным, что предотвращает повреждение.

Таким образом, защитное заземление необходимо для создания электрического соединения между землей и корпусом защищаемого устройства с достаточно низким сопротивлением, чтобы при коротком замыкании ток, проходящий через тело человека, держащегося за корпус устройства, не представлял опасности для жизни или здоровья.

Защитное заземление - это соединение с землей частей электрических установок, которые не находятся под напряжением в нормальных условиях работы, но могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

Зануление - это подключение не токоведущих металлических частей электрических установок к нулевому проводу.

Защитное заземление и зануление электрических установок являются обязательными, если напряжение переменного тока превышает 380 В, а постоянного тока - 440 В. Защитное заземление используется в трехфазных трехпроводных сетях с изолированной нейтралью до 1000 В и в любых сетях выше 1000 В, но в последнем случае обязательно выравнивание потенциалов.

В сетях с заземленной нейтралью до 1000 В заземление не обеспечивает электрическую безопасность как отдельная мера защиты, но в сочетании с занулением улучшает условия безопасности.

Расчет способности отключения:

Фаза, замкнутая на корпус электрической установки, автоматически отключается, если ток короткого замыкания удовлетворяет следующему условию:

$$I_K \geq kI_{НОМ}, \quad (4.3)$$

где $I_{НОМ}$ - номинальный ток срабатывания предохранителя или автомата, А;

k - коэффициент кратности тока.

Значение коэффициента k выбирается в зависимости от типа предохранителя. В нашем случае выбран автомат, поэтому значение k принимается равным 1,25-1,4.

I_K , U_ϕ значения зависят от сопротивлений цепи:

$$I_K = \frac{U_\phi}{Z_T + Z_\Pi} \text{ А}, \quad (4.4)$$

где

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} \text{ Ом}, \quad (4.5)$$

$$Z_\Pi = \sqrt{(R_\phi + R_H)^2 + X_\Pi^2} \text{ Ом}. \quad (4.6)$$

Z_T значение мощности трансформатора $S \leq 1600$ кВа обмотка Y/Y для схемы подключения колеблется в пределах от 0.05 до 1.5. Таким образом

$$Z_T = \frac{380}{S+10} U^2 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

1) № 1 ЭД для:

$$Z_T = \frac{380}{1600 + 10} 0,4^2 = 0,03 \text{ Ом}$$

$$Z_{II} = \sqrt{(0.74 + 1.2)^2 + 0.3^2} = 2.2 \text{ Ом/км.}$$

$l_1 = 0.05$ км площади:

$$Z_{III} = l_1 \cdot Z_{II} = 0.05 \cdot 2.2 = 0.11 \text{ Ом.} \quad (4.8)$$

Токи короткого замыкания:

$$I_{к1} = \frac{380}{0,03 + 0,11} = 2714 \text{ А}$$

Ток короткого замыкания, необходимый для отключения:

$$I_{НОМ1} \times k = 1,25 \times 1600 = 2000$$

Необходимо рассчитать сопротивление заземления нейтрали

$$r_0 \leq \frac{10U_{\text{пр.доп}}}{U_{\Phi} - 2U_{\text{пр.доп}}} \text{ Ом.} \quad (4.9)$$

Для обеспечения электробезопасности мы $U_{\text{пр.доп}} = 24 \text{ В}$ где, $n = 1$, $380/220$ для сети $r_0 = 4 \text{ Ом}$;

Расчет сопротивления повторного заземления нулевого провода:

$$r_{II} \leq nr_0 \frac{U_{\text{пр.доп}}}{I_{к} Z_{Н} - U_{\text{пр.доп}}} \text{ Ом,} \quad (4.10)$$

Для электрических приемников мощностью свыше 100 кВт необходимо иметь сопротивление 30 Ом.

$$Z_H = \sqrt{R_H^2 + \left(\frac{X_H}{2}\right)^2} \text{ Ом}, \quad (4.11)$$

$$Z_H = \sqrt{0,74^2 + 0,15^2} = 0,76 \text{ Ом}$$

$$Z_{H1} = l_2 \times Z_H = 0,05 \times 0,76 = 0,038 \text{ Ом} \quad (4.12)$$

$$r_{п1} \leq 1 \times 4 \frac{24}{1222 \times 0,038 - 24} = 4,3 \text{ Ом}$$

Условие выполнено.

Исходя из расчетов № 1 ЭД

2) № 2 ЭД для, $l_2=0.065$ км площади:

$$Z_{п2} = l_2 \times Z_{п} = 0,065 \times 2,2 = 0,143 \text{ Ом} \quad (4.13)$$

$$I_{к2} = \frac{380}{0,07+0,143} = 1784 \text{ А}$$

$$kI_{НОМ2} = 1,25 \times 1000 = 1250 \text{ Ом}$$

Для обеспечения электрической безопасности мы $U_{пр,доп} = 24 \text{ В}$ где, $n = 1$, $380/220$ для сети $r_0 = 4 \text{ Ом}$;

$$Z_{H1} = l_2 \times Z_H = 0,65 \times 0,76 = 0,05 \text{ Ом}$$

$$r_{п1} \leq 1 \times 4 \frac{24}{1032 \times 0,05 - 24} = 3,5 \text{ Ом}$$

Условие выполнено

Принципиальная схема нулевой последовательности показана на рисунке 2.2.

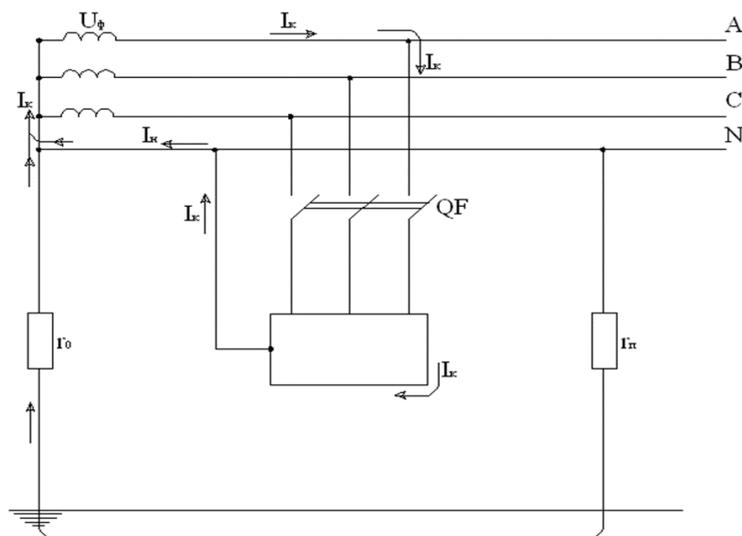


Рисунок 4.2. Принципиальная схема нулевой последовательности

4.2.2 Контроль изоляции

Работа электрических сетей, подверженных скачкам напряжения, требует высокой надежности и эффективности в обеспечении энергии, а также создания условий для безопасного использования электричества.

Проверка изоляции необходима для электрических сетей, подключенных к заземленной нейтральной точке, потому что электрические устройства, работающие в заземленной нейтральной точке, требуют высокой степени надежности в обеспечении энергии и подвержены серьезным опасностям при неисправности изоляции. Поэтому проведение проверки изоляции для таких устройств является важной задачей

Эти устройства включают системы защиты от скачков напряжения:

- 1) больницы, военные базы
- 2) связанные с железнодорожным транспортом и промышленностью
- 3) объединения, связанные с добычей нефти, газа и химическим производством;
- 4) энергоопасные и исследовательские лаборатории.

Проверка изоляции в электрических сетях и электроустановках позволяет определить ее качество, надежность, состояние и пригодность. Для обеспечения высокого уровня безопасности и предотвращения катастрофических последствий проверка изоляции является необходимой процедурой. Введение системы регулярной автоматизированной проверки изоляции позволяет эффективно контролировать состояние электрических сетей и оборудования в соответствии с правилами и нормами, установленными для электрических установок.

Проверка изоляции проводится с высокой степенью важности в контексте безопасности электрических систем в IT-сетях, однако использование проверки изоляции уровня выше стандартного уровня оправдано в случае, когда требуются более высокие стандарты безопасности.

Измерение риска проверки изоляции в сетях, подключенных к источникам питания или распределительным линиям, является основной обязанностью проверяющего устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дипломная работа по проектированию энергоснабжения химического завода с расчетом электробезопасности представляет собой комплексное исследование, направленное на обеспечение эффективной и надежной работы энергетической системы предприятия.

В ходе исследования были рассмотрены основные принципы проектирования энергоснабжения, а также проведен расчет необходимых параметров и так же был проведен расчет электробезопасности и выбран УЗО.

Полученные результаты подтверждают актуальность и значимость разработанных методов и рекомендаций для энергетических инженеров и специалистов по проектированию энергосистем промышленных предприятий.

При заданном числе электроприемников и их мощности определена суммарная нагрузка по заводу напряжением 0,4 кВ: $S_p = 9242$ кВА. Выбрано 7 цеховых трансформаторов типа ТМН-1600-10/0,4. Произведена компенсация реактивной мощности на 0,4 кВ с помощью низковольтных батарей конденсаторов типа УКЛН-0,38-600-150 УЗ. Определена нагрузка по заводу напряжением 10,5 кВ на шинах ГПП с учетом подключенных к шинам ГПП СД и потерь в трансформаторах ТП: $S_{p\text{зав}} = 12280,68$ кВА.

В работе были рассмотрены два варианта схем внешнего электроснабжения завода, на напряжение 115 и 10,5 кВ. И из них выбран наиболее рациональный с экономической и технической точки зрения, которым является второй вариант питания завода, где электроэнергия передается по ЛЭП 10,5 кВ.

Для принятого варианта выбрано следующее высоковольтное оборудование: вводные выключатели; секционный выключатель; выключатели нагрузки; выключатели отходящих линий, выключатели к СД, а также силовые кабели к ним. Выбраны измерительные приборы, трансформаторы тока и напряжения. Был произведен выбор шин ГПП и изоляторов к ним.

Специальная часть дипломного проекта посвящена расчету релейной защиты силового трансформатора.

В ходе решений был выбран трансформатор тока ТОЛ-10 и трансформаторы напряжения НАМИТ-10. Были проведены расчеты и замеры для определения выключателей, УЗО, УЗДП

В целом, дипломная работа является важным вкладом в развитие сферы энергетики и представляет интерес для дальнейших исследований и практического применения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. Под редакцией Ю. Г. Барыбина и др. - М. Энергоатомиздат, 1991
- 2 Киреева Э. А. Справочные данные по электрооборудованию (цеховые электрические сети, электрические сети жилых и общественных зданий), 2004.
- 3 Сибикин Ю. Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: проф. учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 2001.
- 4 Самсонов В. С., Вяткин М. А. Экономика предприятий энергетического комплекса. - М.: Высшая школа, 2003-416 С.
- 5 Ананичева С. С., Котова Е. Н. Проектирование электрических сетей: учеб. пособие – Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2017 ;
- 6 Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ- 6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2016 ;
- 7 Ананичева С. С. Мезенцев П. Е. Модели развития электроэнергетических систем: уч. Пособие – Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2013 ;
- 8 Плиско А. Л., Проектирование электропередач, сетей и систем: практикум к курсовой работе – Ульяновск: УлГТУ, 2016 ;
- 9 Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций – Москва 1989 ;
- 10 Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. Рокотяна С. С. – М.: Энергоатомиздат, 1985;
- 11 СТ КазНИТУ-09-2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию текстового и графического материала. Алматы: КазНИТУ, 2023 .

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломную работу
(наименование вида работы)

Ахан Санжар Сакенұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

6B07101 - Энергетика
(шифр и наименование специальности)

Тема: **Электроснабжение химического завода и разработка технических решений по электробезопасности**

Дипломник Ахан С.С приступил к выполнению дипломной работы в соответствии с графиком.

За время работы дипломирования показал себя грамотным, инициативным специалистом способным самостоятельно заниматься поиском необходимых литератур и материалов.

В работе определены электрические нагрузки завода, выбраны количество и мощности трансформаторных подстанций, а также разработаны схемы электроснабжения предприятия на основе технико-экономических расчетов. Современная система электроснабжения промышленного предприятия должна выполняться рационально, должна соответствовать ряду требований: быть экономичной и надежной, обеспечивать безопасность и удобство использования, а также предусматривать возможности расширения производства с минимальными изменениями в схеме электроснабжения.

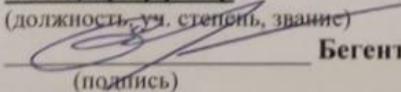
В специальной части ДР произведена разработка технических решений по электробезопасности.

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки 90%, а ее автор присвоения академической степени «бакалавр» по специальности 6B07101 – «Энергетика».

Научный руководитель

к.т.н., профессор

(должность, уч. степень, звание)



Бегентаев Б.М

(подпись)

«15» 08 2024 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ахан Санжар Сакенулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Электроснабжение химического завода и разработка технических решений по электробезопасности

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 9.1

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 510

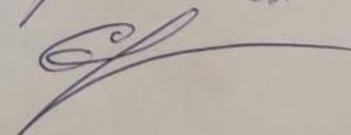
Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые позитивные признаки плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям пункта 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 18.06.2024

Заведующий кафедрой Энергетики
Сарсенбаев ЕА


Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ахан Санжар Сакенулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Электроснабжение химического завода и разработка технических решений по электробезопасности

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 9.1

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 510

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки уклониться от плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Рекомендуется

к защите.

Дата 18.06.2024

проверяющий эксперт

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу
(наименование вида работы)

Ахана Санжара Сакенулы
(Ф.И.О. обучающегося)

6В07101 - Электроэнергетика
(шифр и наименование специальности)

на тему: Электроснабжение химического завода и разработка
технических решений по электробезопасности

Выполнено:

- а) графическая часть на _____ листах
б) пояснительная записка на _____ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В дипломной работе проектируется электроснабжение химического и производится разработка технических решений по электробезопасности.

В работе определены электрические нагрузки завода, выбраны количество и мощности трансформаторных подстанций, а также разработаны схемы электроснабжения предприятия на основе технико-экономических расчетов. Современная система электроснабжения промышленного предприятия, выполненная рационально, должна соответствовать ряду требований: быть экономичной и надежной, обеспечивать безопасность и удобство использования, а также предусматривать возможность расширения производства с минимальными изменениями в схеме электроснабжения.

В специальной части ДР произведена разработка технических решений по электробезопасности.

Оценка работы

Дипломная работа заслуживает оценки «хорошо» (85%), а ее автор присвоения академической степени «бакалавр» по специальности 6В07101 – «Энергетика».


Д.Т.Н. Профессор
НАО «АУ» им. К.И. Сатпаева
(должность, степень, звание)
М.А. Мустафин
« ____ » _____ 2024 г.