

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»

Амангельды Мария Армановна

Проектирование электроснабжения металлургического завода с расчетом релейной  
защиты силового трансформатора

**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 «КазННТУ им.К.И.Сатпаева»  
Институт энергетики  
и машиностроения

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой «Энергетика»  
PhD, ассоциированный профессор  
Е. А. Сарсенбаев  
«15» 06 2024 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Проектирование электроснабжения металлургического завода с расчетом  
релейной защиты силового трансформатора»

6B07101– Энергетика

Выполнила:

Амангельды Мария

Рецензент

Кандидат технических наук

Л.Ш. Утешкалиева

«15» 06 2024 г.

Научный руководитель

к.т.н., ассоциированный профессор

Б. М. Бегентаев

«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»

6B07101– Энергетика

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой «Энергетика»

PhD, ассоциированный профессор

Е. А. Сарсенбаев

«31» 01 2024г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся Амангельды Мария Армановна

Тема: Проектирование электроснабжения металлургического завода с расчетом  
релейной защиты силового трансформатора

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам №548-П/Ө-п от "4" декабря  
2023г.

Срок сдачи законченной работы « 15 » июня 2024г.

Исходные данные к дипломной работе: Генеральный план завода (Рисунок 1.1),  
электрические нагрузки (Таблица 1.1). Питание может быть осуществлено от  
подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены два  
трансформатора мощностью по 25 МВА, напряжением 115/10,5 кВ. На ТЭЦ имеется  
повысительная подстанция из двух трансформаторов мощностью по 40 МВА,  
напряжением 10,5/115 кВ. Расстояние от транзитной ЛЭП-110 кВ до завода 0,3 км, а от  
ТЭЦ до завода 2,5 км. Завод работает в три смены.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Расчет электрических нагрузок предприятий;
- б) Сравнение вариантов внешнего электроснабжения;
- в) Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ;
- г) Расчет релейной защиты силового трансформатора ГПП.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- а) Генеральный план металлургического завода;
- б) Однолинейная схема электроснабжения металлургического завода.

Представлены 13 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература: из 12 наименований учебных материалов





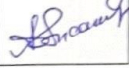
## ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Расчет электрических нагрузок предприятий	08.04.2024	—
Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	22.04.2024	—
Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ	13.05.2024	—
Расчет релейной защиты силового трансформатора ГПП	20.04.2024	—

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Расчет электрических нагрузок предприятий	Б. М. Бегентаев, к.т.н., ассоциированный профессор	01.05.24г	
Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	Б. М. Бегентаев, к.т.н., ассоциированный профессор	15.05.24г	
Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ	Б. М. Бегентаев, к.т.н., ассоциированный профессор	01.06.24г	
Расчет релейной защиты силового трансформатора ГПП	Б. М. Бегентаев, к.т.н., ассоциированный профессор	10.06.24г	
Нормоконтролер	А.О. Бердибеков, магистр, senior лектор	03.06.2024	

Научный руководитель

 Б. М. Бегентаев

Задание принял к исполнению обучающийся

 М. А. Амангельды

Дата

" 15 " 02 2024 г.

## **АННОТАЦИЯ**

Тема дипломного проекта «Проектирование электроснабжения металлургического завода с расчетом релейной защиты силового трансформатора». 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 релейной защиты для ГПП.

## **АНДАТПА**

Дипломдық жобаның тақырыбы "Күштік трансформатордың релелік қорғанысын есептей отырып, металлургия зауытын электрмен жабдықтауды жобалау". Диссертацияда келесі мәселелер қарастырылды: электр жүктемелерін есептеу, реактивті қуаттың орнын толтыру, трансформаторларды таңдау, сыртқы электрмен жабдықтау схемаларының нұсқаларын салыстыру, жабдықты таңдау 10 кВ шиналардағы қысқа тұйықталу токтарын есептеу және ТҚС үшін релелік қорғанысты есептеу.

## **ANNOTATION**

The topic of the graduation project is "Designing the power supply of a metallurgical plant with the calculation of relay protection of a power transformer." In the thesis, the following issues were considered: calculation of electrical loads, reactive power compensation, choice of transformers, comparison of options for external power supply schemes, selection of equipment with calculation of short-circuit currents on 10 kV buses and calculation of relay protection for MSS.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Расчет электрических нагрузок по заводу	8
1.1 Исходные данные	8
1.2 Расчет осветительной нагрузки	10
1.3 Расчет электрических нагрузок по заводу	12
1.4 Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ	18
1.5 Распределение низковольтных конденсаторных батареи пропорционально реактивным нагрузкам ТП	21
1.6 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ	22
1.6.1 Определение потерь мощности в цеховых трансформаторах	22
1.6.2 Определение расчетных мощностей синхронных двигателей	23
1.6.3 Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов	23
2 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	28
2.1 Первый вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-110 кВ)	28
2.2 Второй вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-10 кВ)	35
3 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ	38
3.1 Расчет тока короткого замыкания на шинах ГПП	38
3.2 Выбор выключателей	40
3.3 Выбор трансформатора тока	42
3.4 Выбор трансформатора напряжения	47
3.5 Выбор выключателей нагрузки	48
3.6 Выбор силовых кабелей отходящих линий	48
3.7 Выбор шин ГПП	49
3.8 Выбор изоляторов	50
4 Релейная защита силового трансформатора ГПП	51
4.1 Выбор трансформаторов тока и трансформаторов напряжения для подключения РЗ	52
4.2 Защита от многофазных коротких замыканий	52
4.3 Защита от сверхтоков внешних КЗ	53
4.4 Защита от технологических перегрузок	54
4.5 Защита от понижения напряжения	54
4.6 Расчет дифференциальной защиты трансформатора ГПП с реле РНТ-566	55
4.7 Газовая защита	57
Заключение	60
Список использованной литературы	61
Приложение	62

## ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергия используется почти во всех отраслях народного хозяйства, особенно для электропривода различных механизмов, а в последние годы для различных электротехнических установок, таких как термоэлектрические установки, электросварочные установки, электролиз, гальваническое покрытие, электрическая искра и электрообработка материалов.

В настоящее время динамично развивается производство для металлургии крупномасштабных электрических машин и маломощных электрических машин для металлов, а также электрооборудования напряжение 1000 В и выше.

Для обеспечения подачи электрической энергии от электрических систем к промышленным объектам, установкам и механизмам в необходимом количестве и качестве применяются промышленные системы электроснабжения, состоящие из сетей напряжением 1000 В и выше и трансформаторных и распределительных подстанций. На промышленных предприятиях передача, распределение и потребление энергии должны осуществляться с высокой эффективностью и надежностью. С этой целью энергетиками была создана надежная и экономическая система распределения мощности, максимально приближающая высокое напряжение к потребителям на всех уровнях напряжения.

Потребители электрической энергии имеют свои особенности, определяющие требования к электроснабжению: надежность электроснабжения, качество электроэнергии, резервирование и защищенность отдельных элементов. При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий необходимо выбирать в технико-экономическом вопросе соответствующее напряжение, определять электрические нагрузки, количество и мощность трансформаторных подстанций, виды их защиты, методы регулирования напряжения и системы компенсации реактивной мощности.

В системе цехового распределения электроэнергии широко используют подстанции и силовые токопроводы. Это создает надежную систему распределения, в результате чего экономится количество проводов и кабелей. Широко применяются современные системы электроснабжения промышленных предприятий надежные средства защиты.

# 1 Расчет электрических нагрузок по заводу

## 1.1 Исходные данные

Таблица 1.1 – Электрические нагрузки металлургического завода

№ по плану	Наименование	Кол-во электроприемников, п	Установленная мощность, кВт	
			Одного ЭП, P <sub>н</sub>	Суммарная, Σ P <sub>н</sub>
1	Цех электролиза	150	5-110	14000
2	Цех регенерации	90	1-30	2000
3	Разливочный цех	45	5-40	2050
4	Склад глинозема	30	10-25	400
5	Компрессорная станция:			
	а) 0,4 кВт;	15	10-30	300
	б) СД 10 кВт	4	630	2520
6	Насосная:			
	а) 0,4 кВт;	15	10-35	400
	б) СД 10 кВт	8	630	5040
7	Литейный цех	70	1-55	2500
8	Кузнечно-механический цех	40	4-200	1500
9	Деревообрабатывающий цех	40	3-70	300
10	Котельная	45	1-70	870
11	Склад горючего	5	10	50
12	Склад хлорной извести	9	5-10	50
13	Энергоцех	47	1-42	430
14	Заводоуправление, столовая	35	1-30	400
15	Гараж автомашин	18	1-15	210



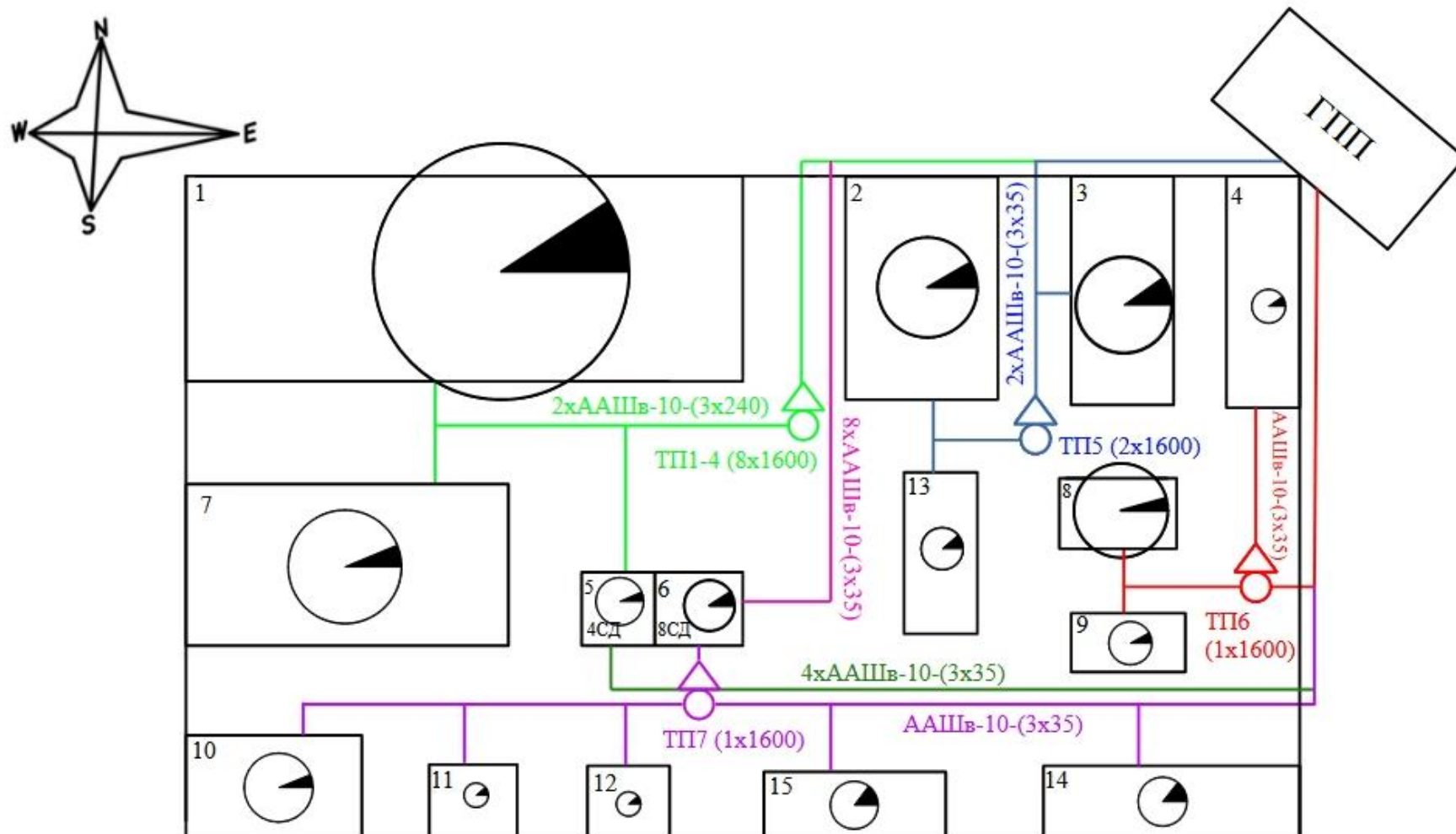


Рисунок 1.1 – Генеральный план

## 1.2 Расчет осветительной нагрузки

Расчет осветительной нагрузки при определении нагрузки предприятия производим по удельной плотности осветительной нагрузки на квадратный метр производственных площадей и коэффициенту спроса.

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

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

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

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

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

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

где  $F$ - площадь пола производственного помещения в  $\text{м}^2$ ;

$\rho_o$  - удельная расчетная мощность в кВт на  $1 \text{ м}^2$ , величина  $\rho_o$  зависит от рода помещения.

Расчет осветительной нагрузки завода занесем в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 - Расчет осветительной нагрузки

№	Наименование производственного помещения	Размеры помещения, длина (м) × ширина (м)	Площадь помещен. м <sup>2</sup>	Удельная осветительная нагрузка $p_0$ кВт/м <sup>2</sup>	Коэффициент спроса $K_c$	Установленная мощность освещения $P_{yo}$ кВт	Расчетная осветительная нагрузка		$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$
							$P_{po}$ , кВт	$Q_{po}$ , квар	
1	Цех электролиза	164×60	9840	0,018	0,8	177,12	141,7	70,85	0,8/0,75
2	Цех регенерации	44×64	2816	0,018	0,8	50,69	40,55	20,28	0,8/0,75
3	Разливочный цех	30×64	1920	0,018	0,8	34,56	27,65	13,82	0,7/1,02
4	Склад глинозема	22×64	1408	0,01	0,6	14,08	8,45	4,22	0,65/1,17
5	Компрессорная станция	22×20	440	0,013	0,7	5,72	4	2	0,7/1,02
6	Насосная	26×20	520	0,013	0,7	6,76	4,73	2,37	0,7/1,02
7	Литейный цех	96×46	4416	0,018	0,8	79,49	63,59	31,8	0,7/1,02
8	Кузнечно-механический цех	30×48	680	0,017	0,8	11,56	9,25	4,62	0,75/0,88
9	Деревообрабатывающий цех	36×16	576	0,017	0,8	9,79	7,83	3,92	0,6/1,33
10	Котельная	52×38	1976	0,013	0,7	25,69	17,98	8,99	0,8/0,75
11	Склад горючего	26×20	520	0,01	0,6	5,2	3,12	1,56	0,65/1,17
12	Склад хлорной извести	26×20	520	0,01	0,6	5,2	3,12	1,56	0,65/1,17
13	Энергоцех	22×46	1012	0,017	0,8	17,2	13,76	6,88	0,7/1,02
14	Заводоуправление, столовая	76×20	1520	0,02	0,9	30,4	27,6	13,68	0,8/0,75
15	Гараж автомашин	52×20	1040	0,013	0,7	13,52	9,46	4,73	0,7/1,02
	Территория	330×200	36796	0,001	1	36,8	36,8	18,4	0,9/0,5

### 1.3 Расчет электрических нагрузок по заводу

Расчет электрических силовых нагрузок напряжением до 1 кВ по цехам завода производим также методом упорядоченных диаграмм упрощенным способом. Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок по цехам сведены в таблицу 1.3 - 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;

$\alpha$  – угол сектора соответствующей осветительной нагрузке;

$m$  – масштаб для определения площади круга, равный 0,05 кВт/мм

Для цехов найдем:

$n$  – количество электроприемников;

$P_{ni}$  – номинальные мощности приемников;

$\Sigma P_n$  – суммарную номинальную мощность;

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

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

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

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

$$K_m = f(n_э; k_n); \quad (1.9)$$

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

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

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

Таблица 1.3 - Расчет силовых нагрузок напряжением 0,4 кВ

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол-во ЭП п	Номинальная мощность		m	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K <sub>м</sub>	Расчетная мощность			R мм	α град
			P <sub>min</sub> – P <sub>max</sub> кВт	∑P <sub>н</sub> кВт					P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар			P <sub>р</sub> кВт	Q <sub>р</sub> квар	S <sub>р</sub> кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Цех электролиза																
	силовая	150	5-110	14000	>3	0,5	0,8	0,75	7000	5250	255	1,05	7350	5250			
	осветительная												141,7	70,85			
	Итого												7491, 7	5320,8 5	9188, 96	218, 12	6,8
2	Цех регенерации																
	силовая	90	1-30	2000	>3	0,5	0,8	0,75	1000	750	133	1,1	1100	750			
	осветительная												40,55	20,28			
	Итого												1140, 55	770,28	1376, 3	85,2 3	12,8
3	Разливочный цех																
	силовая	45	5-40	2050	>3	0,4	0,7	1,02	820	836,4	102, 5	1,19	975,8	836,4			
	осветительная												27,65	13,82			
	Итого												1003, 45	850,22	1315, 21	79,9	9,9

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол-во ЭП п	Номинальная мощность		m	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K <sub>м</sub>	Расчетная мощность			R мм	α град
			P <sub>min</sub> – P <sub>max</sub> кВт	∑P <sub>н</sub> кВт					P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар			P <sub>р</sub> кВт	Q <sub>р</sub> квар	S <sub>р</sub> кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4	Склад глинозема																
	силовая	30	10-25	400	>3	0,2	0,65	1,17	80	93,6	32	1,34	107,2	93,6			
	осветительная												8,45	4,22			
	Итого												115,6 5	97,82	151,4 7	27,1 4	26,3
5	Компрессорная станция																
	силовая	15	10-30	300	>3	0,6	0,7	1,02	180	183,6	20	1,19	214,2	183,6			
	осветительная												4	2			
	Итого												218,2	185,6	286,4 6	37,2 8	6,6
6	Насосная																
	силовая	15	10-35	400	>3	0,6	0,7	1,02	240	244,8	23	1,19	285,6	244,8			
	осветительная												4,73	2,37			
	Итого												290,3 3	247,17	381,2 9	43	5,87

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол-во ЭП п	Номинальная мощность		m	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K <sub>м</sub>	Расчетная мощность			R мм	α град
			P <sub>min</sub> – P <sub>max</sub> кВт	∑P <sub>н</sub> кВт					P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар			P <sub>p</sub> кВт	Q <sub>p</sub> квар	S <sub>p</sub> кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7	Литейный цех																
	силовая	70	1-55	2500	>3	0,5	0,7	1,02	1250	1275	91	1,1	1375	1275			
	осветительная												63,59	31,8			
	Итого												1438, 59	1306,8	1943, 52	95,7 2	15,9
8	Кузнечно-механический цех																
	силовая	40	4-200	1500	>3	0,4	0,75	0,88	600	528	15	1,62	972	528			
	осветительная												9,25	4,62			
	Итого												981,2 5	532,62	116,4 8	79,0 6	3,4
9	Деревообрабатывающий цех																
	силовая	40	3-70	300	>3	0,3	0,6	1,33	90	119,7	9	2,1	189	131,67			
	осветительная												7,83	3,92			
	Итого												196,8 3	135,59	239	35,4 1	14,3

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол- во ЭП п	Номинальная мощность		m	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K <sub>м</sub>	Расчетная мощность			R мм	α град
			P <sub>min</sub> – P <sub>max</sub> кВт	∑P <sub>н</sub> кВт					P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар			P <sub>р</sub> кВт	Q <sub>р</sub> квар	S <sub>р</sub> кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	Котельная																
	силовая	20	5-30	870	>3	0,5	0,8	0,75	435	326,25	58	1,17	508,9 5	326,25			
	осветительная												17,98	8,99			
	Итого												526,9 3	335,24	624,5	57,9 3	12,28
11	Склад горючего																
	силовая	70	10-100	50	>3	0,2	0,65	1,17	10	11,7	1	2,42	24,2	12,87			
	осветительная												3,12	1,56			
	Итого												27,32	14,43	30,9	13,1 9	41,11
12	Склад хлорной извести																
	силовая	40	1-30	50	>3	0,2	0,65	1,17	10	11,7	3	2,42	24,2	12,87			
	осветительная												3,12	1,56			
	Итого												27,32	14,43	30,9	13,1 9	41,11



Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цехов и групп ЭП	Кол-во ЭП п	Номинальная мощность		m	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		пэ	K <sub>м</sub>	Расчетная мощность			R мм	α град
			P <sub>min</sub> – P <sub>max</sub> кВт	∑P <sub>н</sub> кВт					P <sub>р</sub> кВт	Q <sub>р</sub> квар			S <sub>р</sub> кВА				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
13	Энергоцех																
	силовая	47	1-42	430	>3	0,3	0,7	1,02	129	131,58	20	1,35	174,1 5	131,58			
	осветительная												13,76	6,88			
	Итого												187,9 1	138,46	233,4	34,6	26,36
14	Заводоуправление, столовая																
	силовая	35	1-30	400	>3	0,5	0,8	0,75	200	150	27	1,17	234	150			
	осветительная												27,6	13,68			
	Итого												261,6	163,68	308,6	40,8	37,98
15	Гараж автомашин																
	силовая	18	1-15	210	>3	0,2	0,7	1,02	42	42,84	28	1,15	48,3	42,84			
	осветительная												9,46	4,73			
	Итого												57,76	47,57	74,8	19,2	58,96
	Освещение территории												36,8	18,4	41,1		
	<i>Итого на шинах 0,4 кВ</i>												<i>14002</i>	<i>10179</i>	<i>16343</i>		

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

Правильное определение числа и мощности цеховых трансформаторов возможно только путем технико-экономических расчетов с учетом следующих факторов: категории надежности электроснабжения потребителей; компенсации реактивных нагрузок на напряжении до 1 кВ; перегрузочной способности трансформаторов в нормальном и аварийном режимах; шага стандартных мощностей; экономических режимов работы трансформаторов в зависимости от графика нагрузки.

Данные для расчета:

$$P_{p0,4} = 14002 \text{ кВт};$$

$$Q_{p0,4} = 10179 \text{ квар};$$

$$S_{p0,4} = 16343 \text{ кВА}.$$

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

Для каждой технологически концентрированной группы цеховых трансформаторов одинаковой мощности минимальное их число, необходимое для питания наибольшей расчетной активной нагрузки, рассчитывается по формуле:

$$N_{т \min} = \frac{P_{p0,4}}{K_з \cdot S_{нт}} + \Delta N = \frac{14002}{0,8 \cdot 1600} = 10,94 + 0,06 = 11, \quad (1.12)$$

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

$K_з$  – коэффициент загрузки трансформатора;

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

$\Delta N$  – добавка до ближайшего целого числа

Экономически целесообразное число трансформаторов определяется по формуле:

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

где  $m$  – дополнительное число трансформаторов.

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

$$Z^*п/ст = 0,5; K_з = 0,8; N_{т \min} = 11; \Delta N = 0,06.$$

Тогда из справочника (Ю.Г. Барыбина) по кривым определяем  $m$ , для нашего случая  $m = 1$ , значит  $N_{т.э} = 11 + 1 = 12$  трансформаторов.

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

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

$$Q_1 = \sqrt{(12 \cdot 1600 \cdot 0,8)^2 - 14002^2} = 6315 \text{ квар.}$$

Расчетная схема для составления баланса реактивной мощности.

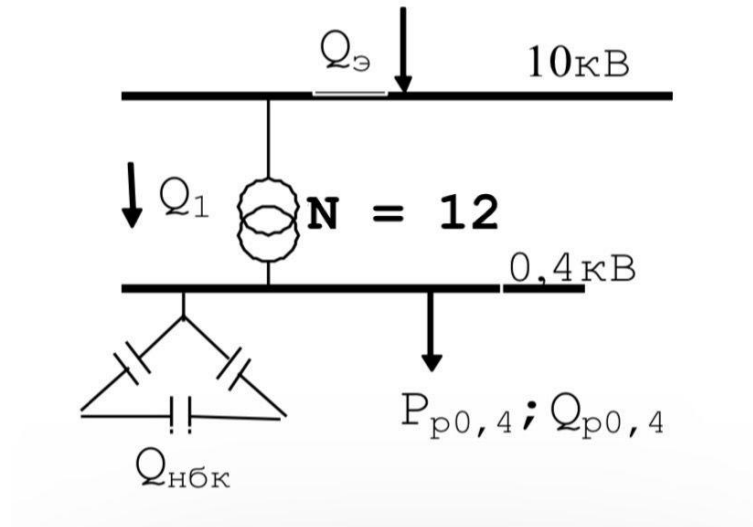


Рисунок 1.2 – Расчетная схема для составления баланса реактивной мощности

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

$$Q_{НБК1} = Q_{р0,4} - Q_1 = 10179 - 6315 = 3864 \text{ квар.}$$

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  $Q_{НБК} = 0$ ,

$$Q_{НБК} = Q_{НБК1} + Q_{НБК2}, \text{ т.к. } Q_{НБК2} = 0, \text{ то } Q_{НБК} = Q_{НБК1} = 3864 \text{ квар.} \quad (1.17)$$

Определим мощность одной батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор:

$$Q_{\text{нбк тп}} = \frac{Q_{\text{нбк}}}{N_{\text{тэ}}} = \frac{3864}{12} = 322 \text{ квар} \approx 325 \text{ квар.} \quad (1.18)$$

НБК: УК-0,38-450НЛУЗ.

На основании расчетов, полученных в данном пункте 1.4 составляется таблица 1.4 - Распределение нагрузок цехов по ТП, в которой показано распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП. В таблице  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов, равный:

$$K_3 = \frac{S_{p\ 0,4}}{N \cdot S_{\text{НТР}}} \quad (1.19)$$

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

Таблица 1.4 - Распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП

№ 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
ТП1-4 (8x1600)  $\Sigma S_{\text{н}} = 8 \times 1600 = 12800 \text{ кВА}$ $Q_{\text{нбк}} = 8 \times 325 = 2600 \text{ квар}$ <i>итого</i>	1	7491,7	5320,85	10113,2	0,79
	5	218,2	185,6		
	7	1438,59	1306,8		
	освещ.	36,8	18,4		
		9185,29	6831,65		
			-2600		
ТП5 (2x1600)  $\Sigma S_{\text{н}} = 2 \times 1600 = 3200 \text{ кВА}$ $Q_{\text{нбк}} = 2 \times 325 = 650 \text{ квар}$ <i>итого</i>	2	1140,55	770,28	2582,17	0,81
	3	1003,45	850,22		
	13	187,91	138,46		
		2331,91	1758,96		
			-650		
		2331,91	1108,96		
ТП6 (1x1600)  $S_{\text{н}} = 1 \times 1600 = 1600 \text{ кВА}$ $Q_{\text{нбк}} = 2 \times 325 = 325 \text{ квар}$ <i>итого</i>	6	290,33	247,17	1298,82	0,81
	10	526,93	355,24		
	11	27,32	14,43		
	12	27,32	14,43		
	14	261,6	163,68		
	15	57,76	47,57		
		1191,26	842,52		
			-325		
		1191,26	517,52		

Продолжение таблицы 1.4

№ ТП $S_{HT}, Q_{нбк\ TP}$	№ цехов	$P_{p\ 0,4}$ , кВт	$Q_{p\ 0,4}$ , квар	$S_{p\ 0,4}$ , кВА	$K_3$
1	2	3	4	5	6
ТП7 (1x1600)  $S_H = 1x1600 = 1600$ кВА $Q_{нбк} = 1x325 = 325$ квар <i>итого</i>	4	115,65	97,82		
	8	981,25	532,62		
	9	196,83	135,59		
		1293,73	441,03		
			-325		
		1214,88	116,03		

### 1.5 Распределение низковольтных конденсаторных батареи пропорционально реактивным нагрузкам ТП

Определяем потерь мощности

Выбираем трансформаторы ТСЗ – 1600/10/0,4

Паспортные данные:  $S_H = 1600$  кВА;  $I_{xx} = 1,3\%$ ;  $U_k = 6\%$ ;  $\Delta P_{xx} = 3,1$  кВт;  
 $\Delta P_{кз} = 11,5$  кВт.

Исходные данные:

$Q_{p\ 0,4} = 10179$  квар;

$Q_{нбк} = 3864$  квар.

ТП1-4:

$Q_{p\ TP1-4} = 6831,65$  квар,  $Q_{p\ нбк} = x$ ,

Тогда

$$Q_{p\ нбк} = \frac{Q_{нбк} \cdot Q_{p\ TP1-4}}{Q_{p\ 0,4}} \quad (1.20)$$

$$Q_{p\ нбк} = \frac{3864 \cdot 6831,65}{10179} = 2593,33 \text{ квар,}$$

выбираем из справочника (Ю.Г. Барыбина стр. 400) низковольтные конденсаторные установки: УКЛН-0,38-450-150 УЗ, то фактическая реактивная мощность:  $Q_{\phi\ TP1-4} = 8x450 = 3600$  квар, а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{неск} = Q_{p\ TP1-4} - Q_{\phi\ TP1-4} \quad (1.21)$$

$$Q_{неск} = 5320,85 - 3600 = 1720,85 \text{ квар.}$$

По приведенным выше формулам 1.20 и 1.21 рассчитаем уточненное распределение  $Q_{\text{нбк}}$  для ТП5, ТП6, ТП7 и сведем в таблицу 1.5.

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

№ ТП	$Q_{\text{р ТП}}$ , квар	$Q_{\text{р нбк}}$ , квар	НКУ	$Q_{\text{ф ТП}}$ , квар	$Q_{\text{неск}}$ , квар
ТП1-4	6831,65	2593,33	УКЛН-0,38-450-150 УЗ	8x450 = 3600	1720,85
ТП5	1758,96	677,7	УКЗ-0,38-450-150 УЗ	2x450 = 900	858,96
ТП6	842,52	319,8	УКЗ-0,38-450-150 УЗ	1x450 = 450	392,52
ТП7	441,03	167,42	УКБН-0,38-200-50 УЗ	1x200 = 200	241,03

## 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:

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

Потери реактивной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

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

Выбираем трансформаторы ТМН-1600-10/0,4

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

ТП1-4:

$K_3 = 0,79$ ,

$N = 8$ ,

$$\Delta P_{\text{T}} = (1,95 + 16,5 \cdot 0,79^2) \cdot 8 = 98 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = \left( \frac{0,5}{100} \cdot 1600 + \frac{6}{100} \cdot 1600 \cdot 0,79^2 \right) \cdot 8 = 544 \text{ квар.}$$

По формулам 1.22 и 1.23 определили потери мощности в цеховых трансформаторах для ТП5, ТП6, ТП7 и сведем в таблицу 1.6.

Таблица 1.6 – Определение потери мощности в цеховых трансформаторах

№ ТП	$K_3$	N	$\Delta P_T$ , кВт	$\Delta Q_T$ , квар
ТП1-4	0,79	8	98	544
ТП5	0,81	2	26	142
ТП6	0,81	1	13	71
ТП7	0,81	1	13	71

Суммарные потери в трансформаторах:

$$\Sigma \Delta P_T = 98 + 26 + 13 + 13 = 150 \text{ кВт},$$

$$\Sigma \Delta Q_T = 544 + 142 + 71 + 71 = 828 \text{ квар}.$$

### 1.6.2 Определение расчетных мощностей синхронных двигателей

Для компенсации реактивной мощности на стороне ВН используем СД 5-го и 6-го цеха.

Определим расчетные мощности для СД:

$$\Sigma P_{pCD} = P_{nCD} \cdot N_{CD} \cdot K_3, \text{ кВт}; \quad (1.24)$$

$$\Sigma Q_{pCD} = P_{nCD} \cdot \text{tg}\varphi \cdot N_{CD} \cdot K_3, \text{ квар}. \quad (1.25)$$

Таблица 1.7 – Расчетные мощности СД

$P_{nCD}$ , кВт	$N_{CD}$	$K_3$	$\cos\varphi$	$P_{pCD}$ , кВт	$\Sigma P_{pCD}$ , кВт	$Q_{pCD}$ , квар	$\Sigma Q_{pCD}$ , квар
Компрессорная станция							
630	4	0,8	0,7	504	2016	514,08	2056,32
Насосная							
630	8	0,8	0,7	504	4032	514,08	4112,64

### 1.6.3 Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов

Составим схему замещения, показанную на рисунке 1.3.

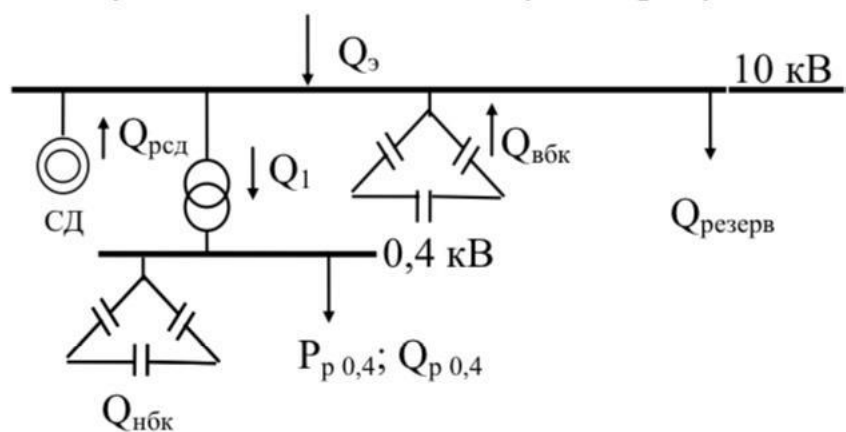


Рисунок 1.3 – Схема замещения

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

$$Q_{\text{ВБК}} = Q_{\text{р0,4}} + \Delta Q_{\text{Т}} + Q_{\text{рез}} - Q_3 - Q_{\text{НБК}} - \Sigma Q_{\text{СД}}; \quad (1.26)$$

$$Q_3 = 0,25 \cdot \Sigma P_{\text{р}} = 0,25 \cdot (P_{\text{р0,4}} + \Delta P_{\text{Т}} + P_{\text{рСД}}); \quad (1.27)$$

$$Q_3 = 0,25 \cdot (14002 + 150 + 504) = 3664 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{рез}} = 0,1 \cdot \Sigma Q_{\text{расч}} = 0,1 \cdot (Q_{\text{р0,4}} + \Delta Q_{\text{Т}}); \quad (1.28)$$

$$Q_{\text{рез}} = 0,1 \cdot (10179 + 281) = 1046 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{ВБК}} = 10179 + 828 + 1046 - 3664 - 3864 - 6168,96 = -1643,96 \text{ квар.}$$

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

Расчет силовой нагрузки по заводу, включая низковольтную и высоковольтную нагрузки, потери в трансформаторах ЦТП, расчетные мощности по компрессорной, приведены в таблице 1.8 – Расчет уточненной мощности по заводу металлургии.



Таблица 1.8 - Уточненный расчет электрических нагрузок по заводу

№ ТП	№ цехов	Количество ЭП п	Уст. мощность		K <sub>и</sub>	Средняя нагрузка		N <sub>э</sub>	K <sub>м</sub>	Расчетная мощность			K <sub>з</sub>	
			P <sub>min</sub> – P <sub>max</sub>	Общая ∑P <sub>и</sub> , кВт		P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар			P <sub>р</sub> кВт	Q <sub>р</sub> квар	S <sub>р</sub> кВА		
ТП1-4 8x1600  силовая осветительная осв. тер. Q <sub>нбк</sub> Итого	1	150	5-110	14000		7000	5250							
	5	15	10-30	300		180	183,6							
	7	70	1-55	2500		1250	1275							
			235	1-110	16800	0,5	8430	6709	305	1,15	9695	6708,6		
											209,29	104,65		
											36,8	18,4		
											-2600			
										9941,1	4231,6	10804 ,25	0,84	
ТП5 2x1600  силовая осветительная Q <sub>нбк</sub> Итого	2	90	1-30	2000		1000	750							
	3	45	5-40	2050		820	836,4							
	13	47	1-42	430		129	131,6							
			182	1-42	4480	0,4	1949	1718	213	1,2	2338,8	1718		
											81,96	40,98		
												-650		
										2420,8	1108,9	2662, 7	0,83	

Продолжение таблицы 1.8

№ ТП	№ цехов	Количество ЭП п	Уст. мощность		K <sub>и</sub>	Средняя нагрузка		N <sub>э</sub>	K <sub>м</sub>	Расчетная мощность			K <sub>з</sub>
			P <sub>min</sub> – P <sub>max</sub>	Общая ΣP <sub>н</sub> , кВт		P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар			P <sub>р</sub> кВт	Q <sub>р</sub> квар	S <sub>р</sub> кВА	
ТП6 1x1600	6	15	10-35	400	0,4	240	244,8	40	1,3	1218,1	787,3	1359,1	0,85
	10	20	5-30	870		435	326,3						
	11	70	10-100	50		10	11,7						
	12	40	1-30	50		10	11,7						
	14	35	1-30	400		200	150						
	15	18	1-15	210		42	42,84						
силовая осветитель. Q <sub>нбк</sub> Итого		198	1-100	1980		937	787,3			66,01	32,89		
											-375		
										1284,1	445,2	1359,1	0,85
ТП7 1x1600	4	30	10-25	400	0,3	80	93,6	22	1,5	1155	741,3	1239,9	0,77
	8	40	4-200	1500		600	528						
	9	40	3-70	300		90	119,7						
силовая осветитель. Q <sub>нбк</sub> Итого		110	3-200	2200		770	741,3			25,53	12,76		
											-375		
										1180,5	379,1	1239,9	0,77

Продолжение таблицы 1.8

№ ТП	№ цехов	Количество ЭП п	Уст. мощность		К <sub>и</sub>	Средняя нагрузка		N <sub>9</sub>	К <sub>м</sub>	Расчетная мощность			K <sub>3</sub>
			P <sub>min</sub> - P <sub>max</sub>	Общая ∑P <sub>н</sub> кВт		P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА	
Итого на шинах 0,4кВ										14826,5	6164,8		
∑ΔP <sub>т</sub> , ∑ΔQ <sub>т</sub>										150	828		
Нагрузка 0,4 кВ, приведенная к шинам 10 кВ										14976,5	6992,8		
Компрессорная станция	5	4	630	2520						2016	-2056,3		
Насосная	6	8	630	5040						4032	-4112,6		
<i>Итого по заводу</i>										<i>21024,5</i>	<i>823,9</i>	<i>21041</i>	

## 2 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены два трансформатора мощностью по 25 МВА, напряжением 115/10,5 кВ. На ТЭЦ имеется повысительная подстанция из двух трансформаторов мощностью по 40 МВА, напряжением 10,5/115 кВ. расстояние от транзитной ЛЭП-115 кВ до завода 0,3 км, а от ТЭЦ до завода 2,5 км. Завод работает в три смены.

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

- 1) Первый вариант – ЛЭП 115 кВ;
- 2) Второй вариант – ЛЭП 10,5 кВ;

### 2.1 Первый вариант – ЛЭП 115 кВ

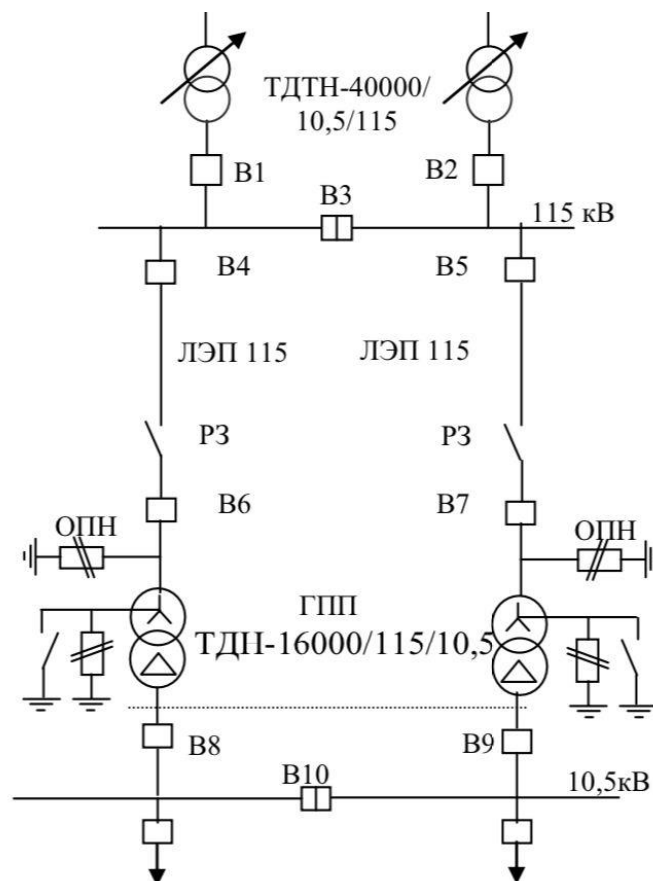


Рисунок 2.1 - Первый вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по первому варианту.

- 1) Выбираем трансформаторы ГПП:

$$S_{p \text{ ГПП}} = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} = \sqrt{21024,5^2 + 3664^2} = 21341,4 \text{ кВА} \quad (2.1)$$

Выбираем два трансформатора мощностью 16000 кВА.  
Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{S_{p \text{ ГПП}}}{2S_H} = \frac{21341,1}{2 \cdot 16000} = 0,67 \quad (2.2)$$

Паспортные данные трансформатора

Тип трансформатора ТДН –16000/115/10,5;

Паспортные данные:  $S_H = 16000$  кВА,  $U_{BH} = 115$  кВ,  $U_{HH} = 11$  кВ,  $\Delta P_{XX} = 13$  кВт,  $\Delta P_{K3} = 79,5$  кВт,  $U_{K3} = 10,5\%$ ,  $I_{XX} = 0,002\%$ .

Потери мощности в трансформаторах:

а) активной:

$$\Delta P_{\text{ТГПП}} = 2(\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) = 2(13 + 79,5 \cdot 0,67^2) = 97 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

б) реактивной:

$$\Delta Q_{\text{ТГПП}} = 0,02(I_{XX} + U_{K3} \cdot K_3^2) \cdot S_H \quad (2.4)$$

$$\Delta Q_{\text{ТГПП}} = 0,02(0,002 + 10,5 \cdot 0,67^2) \cdot 16000 = 1509 \text{ квар.}$$

Потери энергии в трансформаторах.

При трехсменном 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:

$$\Delta W = 2 \cdot (\Delta P_{XX} \cdot T_{\text{вкл}} + \Delta P_{K3} \cdot \tau \cdot K_3^2) \quad (2.6)$$

$$\Delta W = 2 \cdot (13 \cdot 6000 + 79,5 \cdot 4592 \cdot 0,67^2) = 483755 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

2) Выбираем сечение проводов ЛЭП 115 кВ.

Полная мощность, проходящая по ЛЭП:

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

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(21024,5 + 97)^2 + 3664^2} = 21437 \text{ кВА}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_p = \frac{S_{\text{лэп}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{21437}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 54 \text{ А.} \quad (2.8)$$

Ток аварийного режима:

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 54 = 108 \text{ А.} \quad (2.9)$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов:

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{54}{1} = 54 \text{ мм}^2 \quad (2.10)$$

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:

$$I_{\text{доп}} = 265 \text{ А} > I_p = 54 \text{ А},$$

При аварийном режиме:

$$I_{\text{доп ав}} = 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 265 = 345 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 108 \text{ А.} \quad (2.11)$$

Потери электроэнергии в ЛЭП:

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

$$\Delta W_{\text{лэп5}} = 2 \cdot 3 \cdot 54^2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 4592 = 20085 \text{ кВтч},$$

где  $R = r_0 \cdot L = 0,49 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ Ом}$ ,

где  $r_0 = 0,49 \text{ Ом/км}$  – удельное активное сопротивление АС - 70,  $l = 0,5 \text{ км}$  – 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.

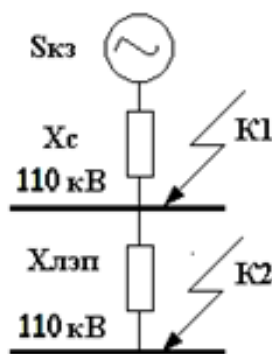


Рисунок 2.2 – Схема замещения

$S_{\sigma} = 1000 \text{ МВА}, U_{\sigma} = 115 \text{ кВ}.$

$x_c = S_{\sigma} / S_{кз} = 1000 / 600 = 1,67 \text{ о.е.},$

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}; \quad (2.13)$$

$$x_{лэп} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,5 \cdot 1,5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,06 \text{ о.е.}; \quad (2.14)$$

$$I_{к1} = \frac{I_{\sigma}}{x_c} = \frac{5,02}{1,67} = 3 \text{ кА}; \quad (2.15)$$

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{к1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3 = 7,64 \text{ кА}; \quad (2.16)$$

$$I_{к2} = \frac{I_{\sigma}}{x_c + x_{лэп}} = \frac{5,02}{1,67 + 0,06} = 2,9 \text{ кА}; \quad (2.17)$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,9 = 7,38 \text{ кА}.$$

Выбираем выключатели  $B_1$  и  $B_2$  выбираем по аварийному току трансформаторов системы. Найдем ток, проходящий через выключатели  $B_1$  и  $B_2$ :

$$I_{авB1,B2} = \frac{S_{автр}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 201 \text{ А} \quad (2.18)$$

Выбираем вакуумный выключатель  $B_1, B_2$  типа ВБЭ-110-20/125УЗ

$$I_{ном} = 1250 \text{ А} > I_{ав} = 201 \text{ А};$$

$$I_{отк} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 3 \text{ кА};$$

$$I_{пред} = 52 \text{ кА} > i_{уд1} = 7,64 \text{ кА};$$

$$I_{терм} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 3 \text{ кА}.$$

Секционный выключатель В<sub>3</sub> выбираем по току в 2 раза меньше аварийного. Найдем ток, проходящий через выключатель В<sub>3</sub>:

$$I_{B3} = I_{ав}/2 = 108/2 = 54 \text{ А}$$

Выбираем вакуумный выключатель типа ВБЭ-110-20/125УЗ

$$I_{НОМ} = 1250 \text{ А} > I_{ав} = 54 \text{ А};$$

$$I_{отк} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 3 \text{ кА};$$

$$I_{пред} = 52 \text{ кА} > i_{уд1} = 7,64 \text{ кА};$$

$$I_{терм} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 3 \text{ кА}.$$

Выберем выключатели В<sub>4</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>7</sub>:

Выбираем вакуумный выключатели типа ВБЭ-110-20/125УЗ

$$I_{НОМ} = 1250 \text{ А} > I_{ав} = 54 \text{ А};$$

$$I_{отк} = 20 \text{ кА} > I_{к2} = 2,9 \text{ кА};$$

$$I_{пред} = 52 \text{ кА} > i_{уд2} = 7,38 \text{ кА};$$

$$I_{терм} = 20 \text{ кА} > I_{к2} = 2,9 \text{ кА}.$$

Выбираем ограничитель перенапряжений типа ОПН-110 УХЛ1.

Таблица 2.1 – Затраты на оборудования 110 кВ

Оборудование	Затраты, млн тг
Выключатели В <sub>1-2</sub> , В <sub>3</sub> и В <sub>4-7</sub>	10,5
Ограничители перенапряжений ОПН <sub>1-2</sub>	2,9
Трансформаторы	40
ЛЭП-110кВ	3

*Расчет технико-экономических показателей ЛЭП-110 кВ*

Капитальные вложения на развертывание и эксплуатацию схемы снабжения составляют:

$$K_{п/ст} = K_{В1-7} + K_{ОПН1-2} + K_{тр}. \quad (2.19)$$

Капитальные вложения на выключатели: В<sub>1-2</sub>, В<sub>3</sub> и В<sub>4-7</sub> (7 шт):

$$K_{В1-7} = n \cdot K_{В}, \quad (2.20)$$



$$K_{B1-7} = 7 \cdot 1,5 = 10,5 \text{ млн. тг.}$$

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

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

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

Капитальные вложения на трансформаторы (2 шт):

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

$$K_{\text{тр2}} = 2 \cdot 20 = 40 \text{ млн. тг,}$$

Из формулы 2.21:

$$K_{\text{шт}} = 10,5 + 2,9 + 40 = 53,4 \text{ млн. тг.}$$

Капитальные вложения в ЛЭП – 110кВ:

$$K_{\text{ЛЭП-110}} = 1 \cdot K_{\text{ЛЭП}} = 0,3 \cdot 10 = 3 \text{ млн. тг.} \quad (2.23)$$

Суммарные капитальные вложения на оборудование:

$$K_{\Sigma} = K_{\text{шт}} + K_{\text{ЛЭП}}, \quad (2.24)$$

$$K_{\Sigma} = 53,4 + 3 = 56,4 \text{ млн. тг.}$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

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

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

$$I_{\text{экс ЛЭП}} = 0,028 \cdot 3 = 0,084 \text{ млн. тг.}$$

Амортизационные издержки ЛЭП:

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

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

$$I_{a \text{ ЛЭП}} = 0,1 \cdot 3 = 0,3 \text{ млн. тг.}$$

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%.

$$I_{\text{экс об}} = 0,03 \cdot 53,4 = 1,6 \text{ млн. тг.}$$

Амортизационные издержки на оборудование:

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

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

$$I_{a \text{ об}} = 0,15 \cdot 53,4 = 8 \text{ млн. тг.}$$

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.

$$I_{\text{пот}} = 8,87 \cdot 20085 = 0,2 \text{ млн. тг.}$$

Суммарные издержки:

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

$$I_{\Sigma} = 0,084 + 1,6 + 8 + 0,3 + 0,2 = 10,2 \text{ млн. тг.}$$

Расчет приведенных затрат:

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

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

$$Z = 0,15 \cdot 56,4 + 10,2 = 18,66 \text{ млн. тг.}$$

## 2.2 Второй вариант – ЛЭП 10,5 кВ

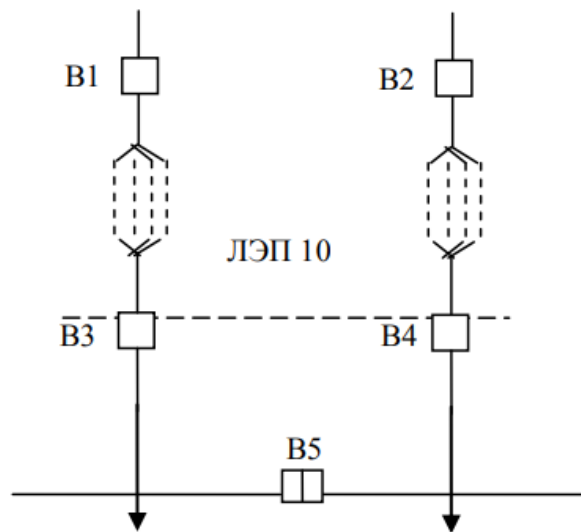


Рисунок 2.3 - Второй вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по второму варианту.

1) Выбираем трансформаторы ГПП:

$$S_{р\ ГПП} = 21341,4 \text{ кВА}, I_p = 586,7 \text{ А}, I_{ав} = 1173,4 \text{ А}.$$

Выбираем сечение ЛЭП-10 кВ:

а) Определим сечение по экономической плотности тока  $F_э = 586,7 \text{ мм}^2$ , где  $j_э = 1 \text{ А/мм}^2$  (Al,  $T_m = 6000 \text{ ч}$ )

Для 10 кВ максимальное сечение 120  $\text{мм}^2$ , то принимаем  $5 \times 120 = 600 > 494 \text{ мм}^2$ .

б) Проверим провод по пропускной способности:  $I_{доп\ пров} \geq I_p$  ( $2280 \text{ А} > 586,7 \text{ А}$ )

в) Проверим провод по аварийному режиму:  $I_{доп\ ав} \geq I_{ав}$ , где  $I_{доп\ ав} = 1,3 \cdot I_{доп} = 1,3 \cdot 2280 = 2964 \text{ А} > 1088,2 \text{ А}$

$$\Delta W_{лэп} = 2 \cdot 3 \cdot 586,7^2 \cdot 0,08 \cdot 10^{-3} \cdot 4592 = 758709 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,28/5 \cdot 1,5 = 0,08 \text{ Ом}.$$

2) Выбираем выключатели на напряжение 10 кВ:

Для выбора оборудования рассчитаем ток короткого замыкания:

Составим схему замещения:

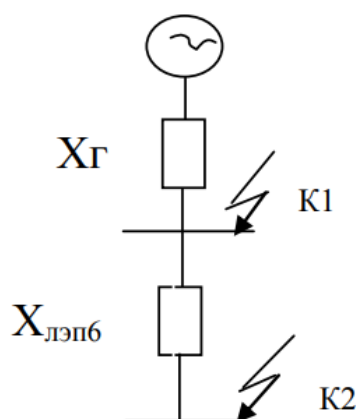


Рисунок 2.4 – Схема замещения

$S_6 = 1000 \text{ МВА}$ ,  $U_6 = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $I_6 = 54,9 \text{ кА}$ ,  $x_{ЛЭП} = 0,93 \text{ о.е.}$ ,

$$x_{Г} = X_{d*}'' \frac{S_6}{S_{\text{НОМ.Г.}}} = 0,125 \cdot \frac{1000}{60} = 2,1 \text{ о.е.} \quad (2.32)$$

Рассчитаем действующее значение тока кз в точке  $K_1$  и  $K_2$ :  $I_{к1} = 26 \text{ кА}$ ,  $I_{к2} = 10,2 \text{ кА}$ .

Ударный ток кз:  $i_{уд1} = 66,2 \text{ кА}$ ,  $i_{уд2} = 26 \text{ кА}$ .

Выключатели  $B_1$ - $B_4$  выбираем по аварийному току завода:  $I_{ав.зав} = 1088,2$

А

Выбираем выключатель типа ВБКЭ-10

$$I_{\text{НОМ}} = 1600 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 1088,2 \text{ А};$$

$$I_{\text{отк}} = 31,5 \text{ кА} > I_{к1} = 26 \text{ кА};$$

$$I_{\text{пред}} = 80 \text{ кА} > i_{уд1} = 66,2 \text{ кА};$$

$$I_{\text{терм}} = 31,5 \text{ кА} > I_{к1} = 26 \text{ кА}.$$

Расчет технико-экономических показателей для ЛЭП-10 кВ рассчитывается по формулам 2.19 – 2.31.

Таблица 2.2 – Затраты на оборудования 10 кВ

Оборудование	Затраты, млн. тг.
Выключатели $B_{1-4}$	6
ЛЭП-10кВ	25

Сравним затраты по двум вариантам и приведем в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Результаты затрат на оборудование

Вариант	$U_{\text{НОМ}}$ , кВ	$K_{\Sigma}$ , млн. тг.	$I_{\Sigma}$ , млн. тг.	Затраты, млн. тг.
I	110	56,4	10,2	18,66
II	10	73,9	18,7	29,8

Вывод: Выбираем первый вариант, так как приведенные затраты дешевле.

### 3 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания U=10,5 кВ

#### 3.1 Расчет токов короткого замыкания на шинах ГПП

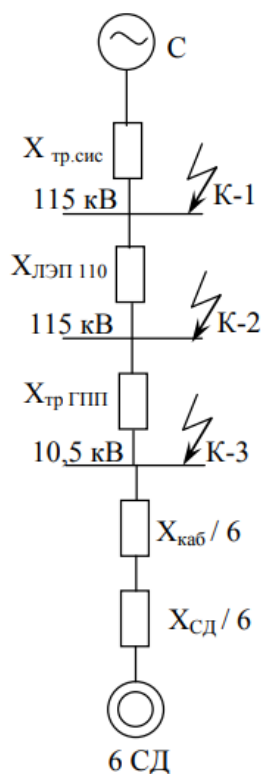


Рисунок 3.1 - Схема замещения электроснабжения ГПП

Найдем параметры схемы замещения.

$S_{\delta} = 1000 \text{ МВА}$ ,  $x_c = 1,67 + 0,06 = 1,73 \text{ о.е.}$ ,  $U_{\delta} = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $I_{\delta} = 55 \text{ кА}$ ,

$$x_T = \frac{U_{\delta} \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_n} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 40} = 2,6 \text{ о.е.} \quad (3.1)$$

Токи КЗ в точке К-1, К-2 рассчитаны выше, то остается рассчитать токи в точках К-3.

$x_{\text{ЛЭП}} = 0,04 \text{ о.е.}$

$$x_{\text{тр.ГПП}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{\text{нт}}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 16} = 6,56 \text{ о.е.} \quad (3.2)$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{I_{\delta}}{x_c + x_{\text{ЛЭП}} + x_{\text{тр.ГПП}}} = \frac{55}{1,73 + 0,04 + 6,56} = 6,6 \text{ кА.} \quad (3.3)$$

Рассчитаем ток подпитки от СД. Исходные данные: в насосной установлено 8 СД и в компрессорной установлено 4 СД типа СДН-16-41-20 со

следующими характеристиками:  $P_H = 630$  кВт,  $U_H = 10$  кВ,  $n = 375$  об/мин,  $x''_d = 14,5\%$ ,  $\eta = 93,2\%$ .

$$S_{H\text{сд}} = \frac{P_{H\text{сд}}}{\cos\varphi} = \frac{630}{0,9} = 700 \text{ кВА}; \quad (3.5)$$

$$I_{\text{сд}} = \frac{S_{H\text{сд}} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{700 \cdot 0,85}{\sqrt{3} \cdot 10} = 34,4 \text{ А}. \quad (3.6)$$

Выбираем кабель к СД:

а) по экономической плотности тока:  $F_3 = 24,6 \text{ мм}^2$ .

б) по минимальному сечению:

$$F_{\min} = \alpha \cdot I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \cdot 6,6 \cdot \sqrt{0,6} = 61,4 \text{ мм}^2 \quad (3.7)$$

Принимаем кабель маркой ААШВ-10-(3×70),  $I_{\text{доп}} = 165 > 34,4$  А.  
Данные кабеля:  $r_0 = 0,447$  Ом/км;  $x_0 = 0,08$  Ом/км.

$$X_{\text{каб.сд}} = \frac{x_0 \cdot L \cdot S_6}{2 \cdot U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,08 \cdot 1,5 \cdot 1000}{2 \cdot 10,5^2} = 0,5 \text{ о.е.} \quad (3.8)$$

$$X_{\text{сд}} = \frac{x''_d \cdot S_6}{\sum S_{H\text{сд}}} = \frac{0,2 \cdot 1000}{6 \cdot 0,7} = 47 \text{ о.е.} \quad (3.9)$$

Тогда ток от двигателей будет равен:

$$I_{\text{кзсд}} = \frac{E_{\text{сд}} \cdot I_6}{X_{\text{экв.}}} = \frac{1,048 \cdot 55}{2 + 47} = 1,1 \text{ кА}. \quad (3.10)$$

где  $E_{\text{сд}} = E_H'' \cdot U_H / U_6 = 1,1 \cdot 10 / 10,5 = 1,048$  о.е.

Суммарный ток  $K_3$  в точке К-3 на шинах 10 кВ с учетом подпитки от двигателей компрессорной и насосной будет равен:

$$\sum I_{\text{кз}} = I_{\text{кз}} + I_{\sum \text{кз СД}} = 6,6 + 1,1 = 7,7 \text{ кА}. \quad (3.11)$$

Ударный ток в точке К-3:

$$i_{\text{удз}} = K_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sum I_{\text{кз}} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,7 = 19,6 \text{ кА}. \quad (3.12)$$

### 3.2 Выбор выключателей

Выбор вводных и секционных выключателей:

$S_{p \text{ завода}} = 21437 \text{ кВА};$

$$I_{p \text{ зав.}} = \frac{S_{p \text{ зав.}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{21437}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 589,4 \text{ А}; \quad (3.13)$$

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_{p \text{ зав.}} = 2 \cdot 589,4 = 1178,8 \text{ А.}$$

Выбираем выключатель типа ВМПЭ-10-1600-31,5 УЗ.

Секционный выключатель  $I_p = I_{\text{ав}}/2 = 1178,8/2 = 589,4$

Принимаем выключатель типа ВМПЭ-10-630-31,5 УЗ.

Проверим вводный выключатель:

Таблица 3.1 – Технические параметры выключателя

Паспортные	Расчетные
$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$	$U = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{н}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{ав}} = 1178,8 \text{ А}$
$I_{\text{откл}} = 31,5 \text{ кА}$	$I_{\text{кз}} = 7 \text{ кА}$

Проверим секционный выключатель:

Таблица 3.2 – Технические параметры выключателя

Паспортные	Расчетные
$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$	$U = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{н}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{ав}} = 589,4 \text{ А}$
$I_{\text{откл}} = 31,5 \text{ кА}$	$I_{\text{кз}} = 7 \text{ кА}$

Выбор выключателей отходящих линий:

1) Магистраль ГПП-ТП1-4.

$$S_{p \text{ ТП1-4}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2} \quad (3.14)$$

$$S_{p \text{ ТП1-4}} = \sqrt{(9941,1 + 98)^2 + (4231,6 + 544)^2} = 11117,1 \text{ кВА};$$

$$I_p = S_p / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} = 11117,1 / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 305,6 \text{ А.} \quad (3.15)$$

Аварийный ток:



$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 305,6 = 611,2 \text{ А.} \quad (3.16)$$

Принимаем выключатель типа ВММ-10-630-10.  
Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.3 – Технические параметры выключателя

Паспортные	Расчетные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 630 \text{ А}$	$I_{ав} = 611,2 \text{ А}$
$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 7 \text{ кА}$
$I_{дин} = 81 \text{ кА}$	$i_{удз} = 19,6 \text{ кА}$

2) Магистраль ГПП-ТП5.

$$S_{p \text{ ТП5}} = \sqrt{(2420,8 + 26)^2 + (1108,9 + 142)^2} = 2748 \text{ кВА};$$

$$I_p = 2748/2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 75,6 \text{ А.}$$

Аварийный ток:  $I_{ав} = 151,2 \text{ А}$ .

Принимаем выключатель типа ВММ-10-400-20У2.  
Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.4 – Технические параметры выключателя

Паспортные	Расчетные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 400 \text{ А}$	$I_{ав} = 151,2 \text{ А}$
$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 7 \text{ кА}$
$I_{дин} = 81 \text{ кА}$	$i_{удз} = 19,6 \text{ кА}$

3) Магистраль ГПП-ТП6.

$$S_{p \text{ ТП6}} = \sqrt{(1284,1 + 13)^2 + (445,2 + 71)^2} = 1396 \text{ кВА};$$

$$I_p = 1396/2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 38,4 \text{ А.}$$

Аварийный ток:  $I_{ав} = 76,8 \text{ А}$ .

Принимаем выключатель типа ВММ-10-400-20У2.  
Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.5 – Технические параметры выключателя

Паспортные	Расчетные
$U_H = 10$ кВ	$U = 10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав} = 151,2$ А
$I_{откл} = 20$ кА	$I_{кз} = 7$ кА
$I_{дин} = 81$ кА	$i_{удз} = 19,6$ кА

4) Магистраль ГПП-ТП7.

$$S_{p \text{ ТП7}} = \sqrt{(1180,5 + 13)^2 + (379,1 + 71)^2} = 1275,6 \text{ кВА};$$

$$I_p = 1275,6/2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 35,1 \text{ А.}$$

Аварийный ток:  $I_{ав} = 70,2$  А.

Принимаем выключатель типа ВММ-10-400-20У2.

Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.6 – Технические параметры выключателя

Паспортные	Расчетные
$U_H = 10$ кВ	$U = 10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав} = 151,2$ А
$I_{откл} = 20$ кА	$I_{кз} = 7$ кА
$I_{дин} = 81$ кА	$i_{удз} = 19,6$ кА

5) Магистраль ГПП-СД.

$$S_{p \text{ сд}} = 700 \text{ кВА}, I_{p \text{ сд}} = 34,4 \text{ А.}$$

Принимаем выключатель типа ВММ-10-400-20У2.

Проверим выбранный выключатель:

Таблица 3.7 – Технические параметры выключателя

Паспортные	Расчетные
$U_H = 10$ кВ	$U = 10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав} = 34,4$ А
$I_{откл} = 20$ кА	$I_{кз} = 7$ кА
$I_{дин} = 81$ кА	$i_{удз} = 19,6$ кА

### 3.3 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:  $K_{\text{ТС}} = I_{\text{об}} \cdot \sqrt{t} / I_{\text{ном ТТ}} \cdot t_{\text{нт}}$ ;
- 6) по конструкции и классу точности.

а) Выбор трансформаторов тока на вводе и секционном выключателе.

Таблица 3.8 – Трансформатор тока на вводе выключателя

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
W <sub>h</sub>	САЗ-И681	2,5	2,5	2,5
V <sub>арh</sub>	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
V <sub>ар</sub>	Д-345	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Примем трансформатор тока ТЛ-103УЗ:  $I_{\text{н}} = 1600 \text{ А}$ ;  $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$ ;  $S_{\text{н}} = 30 \text{ ВА}$ .

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

Сопротивление вторичной нагрузки состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}. \quad (3.19)$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad (3.20)$$

$$r_{2 \text{ н}} = \frac{S_{2 \text{ н ТТ}}}{I_2^2} = \frac{30}{5^2} = 1,2 \text{ Ом}. \quad (3.21)$$

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

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доп пр}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ Ом}; \quad (3.22)$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \cdot 1,5}{0,84} = 0,05 \text{ мм}^2; \quad (3.23)$$

Принимаем провод АКР ТВ, F = 1,5 мм<sup>2</sup>;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{F} = \frac{0,028 \cdot 1,5}{1,5} = 0,028 \text{ Ом}; \quad (3.24)$$

$$S_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 0,39 \cdot 5^2 = 9,75 \text{ ВА}; \quad (3.25)$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,028 + 0,1 = 0,39 \text{ Ом} \quad (3.26)$$

Таблица 3.9 – Технические параметры провода

Паспортные	Расчетные
U <sub>н</sub> = 10 кВ	U = 10 кВ
I <sub>н</sub> = 1600 А	I <sub>ав</sub> = 1178,8 А
I <sub>дин</sub> = 81 кА	i <sub>уд3</sub> = 19,6 кА
S <sub>2н</sub> = 30 ВА	S <sub>2р</sub> = 9,75 ВА

Выбираем трансформатор тока на секционном выключателе шин ГПП: ТЛМ-10-УЗ: I<sub>н</sub> = 800 А; U<sub>н</sub> = 10 кВ.

Таблица 3.10 – Трансформатор тока на секционном выключателе

Прибор	Тип	A, ВА	B, ВА	C, ВА
Амперметр	Э-350	0,5	0,5	0,5
Итого		0,5	0,5	0,5

$$r_{\text{приб}} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом};$$

$$r_{2\text{н}} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{доп пр}} = 0,4 - 0,02 - 0,1 = 0,28 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 1,5}{0,28} = 0,15 \text{ мм}^2;$$

Принимаем провод АКР ТВ, F = 2,5 мм<sup>2</sup>;

$$R_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 1,5}{2,5} = 0,017 \text{ Ом};$$

$$S_2 = 0,137 \cdot 5^2 = 3,43 \text{ ВА};$$

$$R_2 = 0,02 + 0,017 + 0,1 = 0,137 \text{ Ом}.$$

Таблица 3.11 – Технические параметры провода

Расчетные величины	По каталогу
$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}} = 589,4 \text{ А}$	$I_n = 800 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 19,6 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 81 \text{ кА}$
$S_{2p} = 3,43 \text{ кА}$	$S_{2n} = 10 \text{ ВА}$

б) Выбираем трансформатор тока линии ГПП-(ТП1-4); ГПП-(ТП5); ГПП-(ТП6); ГПП-(ТП7); ГПП-СД.

Таблица 3.12 – Трансформатор тока на линии ГПП-ТП1-4

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
$V_{\text{арн}}$	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
Итого		5,5	5,5	5,5

$$r_{\text{приб}} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом};$$

$$r_{2n} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{доп пр}} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 1,5}{0,08} = 0,525 \text{ мм}^2;$$

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

$$R_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 1,5}{2,5} = 0,017 \text{ Ом},$$

$$S_2 = 0,337 \cdot 5^2 = 8,43 \text{ ВА};$$

$$R_2 = 0,22 + 0,017 + 0,1 = 0,337 \text{ Ом}$$

Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП1-4):  $I_{ав} = 611,2$  А; примем трансформатор тока ТПЛК-10У3:  $I_H = 630$  А;  $U_H = 10$  кВ;  $S_H = 10$  ВА.

Таблица 3.13 – Технические параметры трансформатора

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_{ав} = 611,2$ А	$I_H = 630$ А
$i_{уд} = 19,6$ кА	$I_{дин} = 81$ кА
$S_{2p} = 8,43$ кА	$S_{2H} = 10$ ВА

Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП5):  $I_{ав} = 151,2$  А; примем трансформатор тока ТПЛК-10У3:  $I_H = 200$  А;  $U_H = 10$  кВ;  $S_H = 10$  ВА.

Таблица 3.14 – Технические параметры трансформатора

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_{ав} = 151,2$ А	$I_H = 200$ А
$i_{уд} = 19,6$ кА	$I_{дин} = 81$ кА
$S_{2p} = 8,43$ кА	$S_{2H} = 10$ ВА

Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП6):  $I_{ав} = 76,8$  А; примем трансформатор тока ТПЛК-10У3:  $I_H = 100$  А;  $U_H = 10$  кВ;  $S_H = 10$  ВА.

Таблица 3.15 – Технические параметры трансформатора

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_{ав} = 76,8$ А	$I_H = 100$ А
$i_{уд} = 19,6$ кА	$I_{дин} = 81$ кА
$S_{2p} = 8,43$ кА	$S_{2H} = 10$ ВА

Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП7):  $I_{ав} = 70,2$  А; примем трансформатор тока ТПЛК-10У3:  $I_H = 100$  А;  $U_H = 10$  кВ;  $S_H = 10$  ВА.

Таблица 3.16 – Технические параметры трансформатора

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_{ав} = 70,2$ А	$I_H = 100$ А
$i_{уд} = 19,6$ кА	$I_{дин} = 81$ кА
$S_{2p} = 8,43$ кА	$S_{2H} = 10$ ВА

Трансформатор тока на линии СД:  $I_{ав} = 34,4$  А; примем трансформатор тока ТПЛК-10У3:  $I_H = 50$  А;  $U_H = 10$  кВ;  $S_H = 10$  ВА.

Таблица 3.17 – Технические параметры трансформатора

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_{ав} = 34,4$ А	$I_H = 50$ А
$i_{уд} = 19,6$ кА	$I_{дин} = 81$ кА
$S_{2р} = 8,43$ кА	$S_{2H} = 10$ ВА

### 3.4 Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:

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

Таблица 3.18 – Выбор трансформаторов напряжения

Прибор	Тип	$S_{об-ки}$ , ВА	Число об-к	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	Число приборо в	$P_{общ}$ , Вт	$Q_{сум}$ , Вар
V	Э-335	3	2	1	0	2	8	-
W	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
$V_{ар}$	И-335	1,5	2	1	0	1	3	-
$W_h$	СА3- И681	3 Вт	2	0,38	0,925	11	66	160,4
$V_{арh}$	СР4- И689	3 вар	2	0,38	0,925	11	66	160,4
Итого							146	320,8

Расчетная вторичная нагрузка:

$$S_{2р} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{146^2 + 320,8^2} = 352,4 \text{ ВА.} \quad (3.27)$$

Принимаем ТН типа НТМК-10У4.

Таблица 3.19 – Технические параметры трансформатора напряжения

По каталогу	Расчетные величины
$U_{HT} = 10 \text{ кВ}$ $S_{H2} = 500 \text{ кВА}$	$U_{HT} = 10 \text{ кВ}$ $S_{p2} = 352,4 \text{ ВА}$

### 3.5 Выбор выключателей нагрузки

Выбор выключателей нагрузки ТП1-4  $I_p = 305,6 \text{ А}$ ; ТП5  $I_p = 75,6 \text{ А}$ ; ТП6  $I_p = 38,4 \text{ А}$ ; ТП7  $I_p = 35,1 \text{ А}$ .

Для всех трансформаторов принимаем выключатель нагрузки типа ВНПу-10-400-10зп ЗУЗ

Проверим выбранный выключатель нагрузки.

Таблица 3.20 – Технические параметры выключателя нагрузки

Расчетные	Паспортные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_{расч} = 35,1-305,6 \text{ А}$ $I_K = 7 \text{ кА}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 400 \text{ А}$ $I_{отк} = 10 \text{ кА}$

### 3.6 Выбор силовых кабелей отходящих линий

Условия выбора кабелей:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{J_{\text{ЭК}}}; \quad (3.28)$$

$$I_p < I_{\text{доп}};$$

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

где  $J_{\text{ЭК}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$  экономическая плотность тока.

СД:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{34,4}{1,4} = 25 \text{ мм}^2;$$

Принимаем кабель ААШВ-10-(3х35) с  $I_{\text{доп}} = 106 \text{ А}$ .

$$I_{\text{доп}} = 106 \cdot 0,9 = 95,4 \text{ А} > I_p = 34,4 \text{ А}.$$



где  $K_{\pi} = 0,9$  – поправочный коэффициент при числе кабелей в траншее  $N=4$ .

ТП1-4:

$$S_{\text{эк}} = \frac{305,6}{1,4} = 218 \text{ мм}^2;$$

Принимаем сдвоенный кабель 2хААШВ-10-(3х240) с  $I_{\text{доп}} = 347 \text{ А}$ .

$$I_{\text{доп}} = 347 \cdot 0,9 = 312,3 \text{ А} > I_p = 305,6 \text{ А},$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 2 \cdot 347 = 902,2 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 611,2 \text{ А}.$$

где  $K_{\pi} = 0,9$  – поправочный коэффициент при числе кабелей в траншее  $N=2$ .

Выбираем кабели для ТП5, ТП6, ТП7 и результаты выбора занесем в таблицу 3.21.

Таблица 3.21 – Кабельный журнал

Наименование участка	$S_p$ , кВА	N	$K_{\pi}$	Нагрузка		По экон. пл. тока, мм <sup>2</sup>		По току $K_3$ , мм <sup>2</sup>		Выборный кабель	$I_{\text{доп}}$ , А
				$I_p$ , А	$I_{\text{ав}}$ , А	$j_3$	$F_3$ , мм <sup>2</sup>	$I_k$ , кА	$S_3$ , мм <sup>2</sup>		
ГПП-ТП1-4	1117,1	2	0,9	305,6	611,2	1,4	218	7	218	2хААШВ-10-(3х240)	347
ГПП-ТП5	2748	2	0,9	75,6	151,2	1,4	54	7	54	2хААШВ-10-(3х35)	106
ГПП-ТП6	1396	1	0,9	38,4	76,8	1,4	34	7	34	ААШВ-10-(3х35)	106
ГПП-ТП7	1275,6	1	0,9	35,1	70,2	1,4	25	7	25	ААШВ-10-(3х35)	106
ГПП-СД	700	4	0,8	34,4	34,4	1,4	25	7	25	ААШВ-10-(3х35)	106

### 3.7 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 АТ-60 х 8 мм;  $I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А}$  (одна полоса на фазу),  $I_{\text{ав}} = 388,4 \text{ А}$ ;  $i_{\text{уд}} = 8,35 \text{ кА}$ .

- а) проверка по аварийному току:  $I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А} \geq I_{\text{ав}} = 388,4 \text{ А}$ ;  
 б) проверка по термической стойкости к  $I_{\text{кз}}$

$$F_{\text{min}} = \alpha \cdot I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \cdot 7 \cdot \sqrt{1} = 84 \text{ мм}^2 < 480 \text{ мм}^2 (60 \times 8); \quad (3.29)$$

- в) проверка по динамической стойкости к  $i_{\text{уд кз}}$ :  $\sigma_{\text{доп}} = 91 \text{ кгс/см}^2$ :

$$f = \frac{1,75 \cdot 10^{-2} \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot L}{a} = \frac{1,75 \cdot 10^{-2} \cdot 8,35^2 \cdot 60}{80} = 0,92 \text{ кг} \cdot \text{с}; \quad (3.30)$$

$$\omega = 0,167 \cdot b \cdot h^2 = 0,167 \cdot 0,6 \cdot 8^2 = 6,4 \text{ см}^3; \quad (3.31)$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{f \cdot L^2}{10\omega} = \frac{0,92 \cdot 60^2}{10 \cdot 6,4} = 51,75 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \leq 91 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}; \quad (3.32)$$

где  $a = 80 \text{ см}$  - расстояние между фазами;  
 $L = 60 \text{ см}$  - расстояние между изоляторами;  
 $b = 0,6 \text{ см}$  - толщина одной полосы;  
 $h = 8 \text{ см}$  - 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:  $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ ;

- б) по допустимой нагрузке:  $F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}}$ .

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

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

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

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-1} \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot L}{a} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-1} \cdot 19,6^2 \cdot 80}{60} = 88,7 \text{ кгс}. \quad (3.33)$$

Выбираем изолятор типа ОНШ-10-500У1 с  $F_{\text{разруш}} = 500 \text{ кг} \cdot \text{с}$ .

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разруш}} = 0,6 \cdot 500 = 300 \text{ кг} \cdot \text{с} (> 88,7 \text{ кг} \cdot \text{с}) \quad (3.34)$$

Условие выполняется.

Из расчетов и выбранного оборудования построена однолинейная схема (рисунок 3.2).

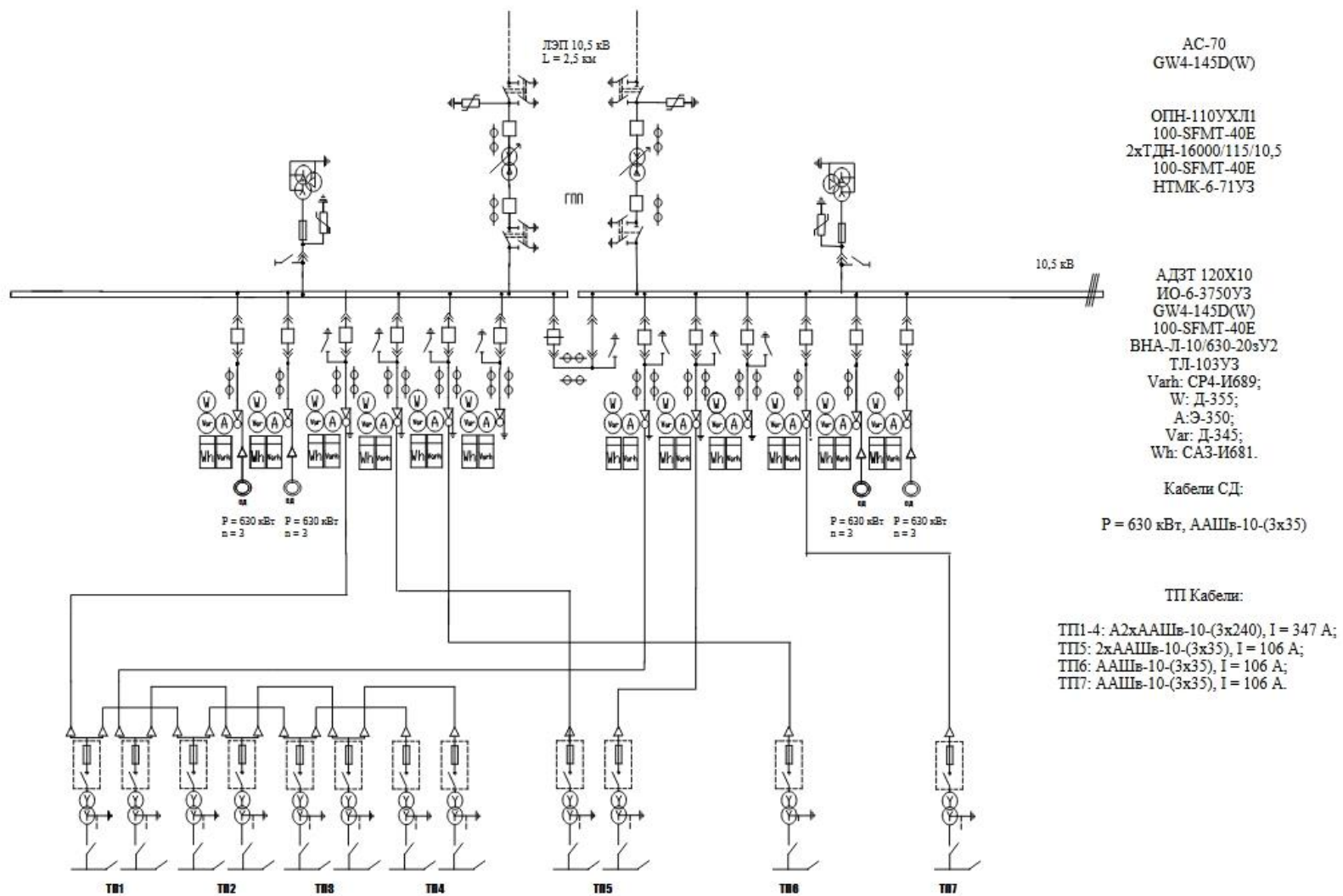


Рисунок 3.2 – Однолинейная схема электроснабжения металлургического завода

#### 4 Релейная защита силового трансформатора ГПП

К релейной защите предъявляются следующие требования:

- 1) селективность;
- 2) быстрота действия;
- 3) чувствительность;
- 4) надежность.

Повреждения и ненормальные режимы работы.

Основные повреждения:

- между или многофазные КЗ в обмотках трансформаторов и на выводах;
- однофазные КЗ на выводах;
- пожар в стали сердечника.

Междуфазные или многофазные КЗ могут вызывать значительные повреждения оборудования, так как, проходя по оборудованию, ток КЗ нагревает их выше допустимого предела, что может вызывать повреждения изоляции токоведущих частей.

Витковые замыкания в обмотках и пожар стали, сердечника могут привести к выходу из строя трансформатора. От всех видов повреждений релейная защита должна срабатывать мгновенно на отключение выключателей.

Для защиты от таких видов повреждений на трансформаторе устанавливается токовая отсечка мгновенного действия, дифференциальная защита, газовая защита и защита от однофазных КЗ (на стороне ВН трансформатора).

Ненормальные режимы работы:

- внешние КЗ;
- технологическая перегрузка;
- снижения при внешних КЗ;
- режим недопустимого уровня масла в баке.

При внешних КЗ, и как следствие – снижение напряжения, возникает режим сверхтоков, что может вызвать перегрев или повреждение обмоток трансформатора при определенной продолжительности воздействия.

Для защиты от такого режима на трансформаторе устанавливается – МТЗ от сверхтоков внешних КЗ.

Мгновенное срабатывание от такой защиты не требуется, поэтому она срабатывает с некоторой выдержкой времени -  $t_{с.з} = t_{с.з, см} + \Delta t$ .

Перегрузка оборудования, вызванная увеличением тока сверх номинального значения, приводит к дополнительному перегреву оборудования, и соответственно, к ускоренному износу изоляции, и ее повреждению.

Так как перегрузка – это симметричный режим, то достаточно установить в одну фазу, которое будет действовать на сигнал,

предупреждающий обслуживающий персонал о необходимости разгрузки оборудования.

#### 4.1 Выбор трансформаторов тока и трансформаторов напряжения для подключения РЗ

1) Трансформаторы тока - ТА<sub>1</sub>, ТА<sub>2</sub> (ВН)

Номинальный ток высокой стороны:

$$I_{ВН} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 80,3 \text{ А.} \quad (4.1)$$

Расчетный ток трансформатора:

$$I_{ТА1 \text{ расч}} = I_{ВН} \cdot k_{сх} = 80,3 \cdot \sqrt{3} = 139,1 \text{ А,} \quad (4.2)$$

где  $k_{сх}$  – коэффициент схемы, так как схема соединения первичной обмотки «треугольник», то  $k_{сх} = \sqrt{3}$ .

Выбираем трансформатора тока ТВТ-115-I-150/5:

- Номинальный ток  $I_{ном} = 150$ ;

- Коэффициент трансформации  $K_{ТА1} = 150/5$ .

2. Выбираем трансформаторы напряжения TV<sub>1</sub> – на стороне ВН и TV<sub>2</sub> – на стороне НН:

$$K_{TV1} = \frac{U_{ВН}}{100} = \frac{115000}{100} = 1150. \quad (4.3)$$

Выбираем трансформаторы напряжения TV<sub>1</sub> – НАМИ - 110 УХЛ1.

$$K_{TV2} = \frac{U_{НН}}{100} = \frac{10500}{100} = 105. \quad (4.4)$$

Выбираем трансформаторы напряжения TV<sub>2</sub> – НАМИ - 10 УХЛ2.

#### 4.2 Защита от многофазных коротких замыканий

Для защиты от многофазных КЗ применяем токовую отсечку мгновенного действия. Комплект защиты: РТ-40/10 УХЛ4.

Расчет уставок.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{сз} = 4 \cdot I_{ВН} = 4 \cdot 80,3 = 321,2 \text{ А.} \quad (4.5)$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{ср} = I_{сз} \cdot \frac{k_{сх}}{K_{ТА1}} = 321,2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{150/5} = 18,5 \text{ А.} \quad (4.6)$$

Проверка защиты по коэффициенту чувствительности:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз(2)мин}}{I_{с.з}} = \frac{2900}{321,2} = 9 \geq 1,5, \quad (4.7)$$

где  $I_{кз(2)мин} = 2,9$  кА из пункта 2.1 по формуле 2.17, что удовлетворяет требованиям ПУЭ.

### 4.3 Защита от сверхтоков внешних КЗ

Для защиты от сверхтоков внешних КЗ применяют максимальную токовую защиту (МТЗ). Комплект защиты: РТ-40/10 УХЛ4.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{сз} = \frac{k_{н} \cdot k_{сз}}{k_{в}} \cdot I_{раб.макс} = \frac{1,2 \cdot 2}{0,85} \cdot 112,42 = 317,4 \text{ А,} \quad (4.8)$$

где  $k_{н}$  – коэффициент надежности, равен 1,1 – 1,3;

$k_{сз}$  – коэффициент самозапуска, принимают от 1 до 3;

$k_{в}$  – коэффициент возврата принимают равным 0,85;

$I_{раб.макс}$  – максимальный рабочий ток стороны ВН.

$$I_{раб.макс} = 1,4 \cdot I_{ВН} = 1,4 \cdot 80,3 = 112,42 \text{ А.} \quad (4.9)$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{ср} = I_{сз} \cdot \frac{k_{сх}}{K_{ТА2}} = 317,4 \cdot \frac{1}{150/5} = 10,58 \text{ А.}$$

Проверка защиты по коэффициенту чувствительности:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз(2)мин}}{I_{с.з}} = \frac{2900}{317,4} = 9,1 \geq 1,5,$$

что удовлетворяет требованиям ПУЭ.

Время срабатывания защиты:

$$t_{с.з} = t_{с.з, см} + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ с.} \quad (4.10)$$

#### 4.4 Защита от технологических перегрузок

Для защиты от технологических перегрузок трансформатора применяют МТЗ от перегрузок. Комплект защиты: РТ-40/10 УХЛ4.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{сз} = \frac{k_H}{k_B} \cdot I_{раб.макс} = \frac{1,05}{0,85} \cdot 112,42 = 138,9 \text{ А,} \quad (4.11)$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности, равен 1,05.

Ток срабатывания реле:

$$I_{ср} = I_{сз} \cdot \frac{k_{сх}}{K_{ТА2}} = 138,9 \cdot \frac{1}{150/5} = 4,63 \text{ А.}$$

Согласно ПУЭ МТЗ от перегрузок на чувствительность не проверяется.

Время срабатывания реле делится на две очереди:

$I_{сзI} = 9 - 10 \text{ с}$  – сигнал и автоматическая разгрузка;

$I_{сзII} = 40 \text{ мин}$  – отключение.

#### 4.5 Защита от понижения напряжения

Устанавливается на стороне высокого напряжения.

Напряжение срабатывания защиты:

$$U_{сз} = 0,7 \cdot U_{НОМ} = 0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ кВ.} \quad (4.12)$$

Напряжение срабатывания реле:

$$U_{ср} = \frac{U_{сз}}{K_{ТВ1}} = \frac{80,5 \cdot 10^3}{1150} = 70 \text{ В.} \quad (4.13)$$

$$k_{ч} = \frac{U_{сз} \cdot k_B}{U_{ср}} = \frac{80,5 \cdot 1,25}{70} = 1,44 \geq 1,25, \quad (4.14)$$

где  $k_B$  – коэффициент возврата реле, равен 1,25.

Что удовлетворяет требованиям ПУЭ.

#### 4.6 Расчет дифференциальной защиты трансформатора ГПП с реле РНТ-566

Номинальные токи трансформатора равны, на стороне 115 кВ  $I_{ВН} = 80,3$  А.  
на стороне 10 кВ по формуле 4.1 номинальный ток равен

$$I_{НН} = \frac{S_{\text{нтр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ннн}}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 924 \text{ А}$$

Коэффициенты трансформации трансформаторов тока

$$K_{\text{ТА1}} = \frac{K_{\text{сх1}} I_{\text{ВН}}}{5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 80,3}{5} = 27,8 \quad (4.15)$$

Принимаем  $K_{\text{ТА1}} = 150/5$

$$K_{\text{ТА2}} = \frac{K_{\text{сх2}} I_{\text{НН}}}{5} = \frac{1 \cdot 924}{5} = 184,8 \quad (4.16)$$

Принимаем  $K_{\text{ТА2}} = 950/5$

Трансформаторы тока на стороне 115 кВ выключаются по схеме «треугольник», т.е.  $K_{\text{сх1}} = \sqrt{3}$ , а на стороне 10 кВ в «звезду»  $K_{\text{сх2}} = 1$ .

Вторичные токи в плечах защиты в номинальном режиме равны:

$$i_{2\text{ВН}} = \frac{K_{\text{сх1}} \cdot I_{\text{Н1}}}{K_{\text{Т1}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 80,3}{150/5} = 4,6 \text{ А} \quad (4.17)$$

$$i_{2\text{НН}} = \frac{K_{\text{сх2}} \cdot I_{\text{Н2}}}{K_{\text{Т2}}} = \frac{1 \cdot 924}{950/5} = 4,9 \text{ А} \quad (4.18)$$

Первичный расчетный ток небаланса без учета небаланса, обусловленного неточностью установки расчетного числа витков равен:

$$I_{\text{н.б.расч.}} = (K_{\text{апер.}} \cdot K_{\text{одн.}} \cdot f_i + \Delta U) \cdot I_{\text{к.з.мах}} \quad (4.19)$$

где  $K_{\text{апер}} = 1$  – коэффициент апериодичной составляющей;

$K_{\text{одн}} = 1$  – коэффициент однотипичности ТТ;

$f_i = 0,1$  – погрешность ТТ;



$\Delta U = 12\%$  - пределы возможных изменений коэффициента трансформации силового трансформатора;

$I_{к.з.маx}$  - максимальный ток к.з.

$$I_{н.б.расчВН} = (1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,12) \cdot 6600 = 1452 \text{ A}$$

$$I_{н.б.расчНН} = (1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,12) \cdot 26000 = 5720 \text{ A}$$

Первичный ток срабатывания защиты по условию отстройки от максимального тока небаланса ( $K_H = 1,3$  – коэффициент надежности):

$$I_{ср.з} \geq K_H \cdot I_{н.б.расч} \quad (4.20)$$

$$I_{сзВН} = 1,3 \cdot 1452 = 1887,6 \text{ A}$$

$$I_{сзНН} = 1,3 \cdot 5720 = 7436 \text{ A}$$

Ток срабатывания реле на основной стороне 10 кВ:

$$i_{ср.р} = \frac{I_{сзНН} \cdot K_{сх}}{K_{ТА2}} = \frac{7436 \cdot 1}{950/5} = 39,1 \text{ A} \quad (4.21)$$

Расчетное число витков обмотки насыщающего трансформатора реле на основной стороне:

$$W_{осн.расч} = \frac{F_{ср}}{i_{ср.р}} = \frac{100}{39,1} = 2,6 \quad (4.22)$$

где  $F_{ср} = 100 \text{ A} \cdot \text{вит.}$  – единая намагничивающая сила обмотки.

Предварительно применяется для установки на основной стороне  $W_{осн} = 2$  витков, тогда ток срабатывания на основной стороне будет:

$$I_{ср.осн} = \frac{F_{ср}}{W_{осн}} = \frac{100}{2} = 50 \text{ A} \quad (4.23)$$

Расчетное число витков обмотки насыщенного трансформатора реле для неосновной стороны:

$$W_{расч} = W_{осн} \frac{i_{2НН}}{i_{2ВН}} = 2 \cdot \frac{4,9}{4,6} = 2,1 \quad (4.24)$$

Предварительно принимаем  $W_1 = 2$  витка. Составляющая тока небаланса обусловленная округлением расчетного числа витков:

$$I_{\text{нб.расч}} = \frac{W_{\text{расч}} - W_1}{W_{\text{расч}}} = I_{\text{к.макс}} = \frac{2,1 - 2}{2} \cdot 26000 = 1238 \text{ А} \quad (4.25)$$

Уточненное значение первичного тока срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.}} \geq k_{\text{н}} \cdot I_{\text{нб.расч}} = 1,3 \cdot 1238 = 1609,4 \text{ А} \quad (4.26)$$

Уточненный ток срабатывания реле на основной стороне:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot k_{\text{сх}}}{K_{\text{ТА2}}} = \frac{1609,4 \cdot 1}{950/5} = 8,5 \text{ А} \quad (4.27)$$

Окончательно принимаем на неосновной стороне 2 витков, а на основной стороне 2 витка. Первичный ток срабатывания защиты соответствующий принятому числу витков:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{F_{\text{ср}}}{W_{\text{осн}}} \cdot \frac{K_{\text{ТА2}}}{k_{\text{сх}}} = \frac{100}{2} \cdot \frac{950}{1} = 9500 \text{ А} \quad (4.28)$$

Чувствительность защиты при двух формах короткого замыкания:

$$K_3 = \frac{0,87 I_{\text{кз.макс.НН}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{0,87 \cdot 26000}{9500} = 2,4 \quad (4.29)$$

#### 4.7 Газовая защита

Газовая защита является чувствительной, реагирующей на повреждение внутри трансформатора, особенно при витковых замыканиях в обмотках, на которые газовая защита реагирует при замыкании большого числа витков. Она также реагирует на повреждения изоляции стянутых болтов и возникновение местных очагов нагрева сердечника стали. Срабатывает при скорости движения бака от 0,6-0,8 л/м от бака до расширителя.

Реле РТЗ-261 контролирует газы, направляя их через трубопровод к расширителю и активируя предупреждающий сигнал.

При бурном газообразовании, сопровождающемся течением масла под давлением, происходит автоматическое отключение. Эта защита применяется для отключения выключателя 10 кВ и включения короткозамыкателя.

По расчетным данным построена схема релейной защиты силового трансформатора (рисунок 5.1). Аппарат которые использовались в цепи оперативного тока защиты трансформатора представлены в приложении А (стр. 62).



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дипломная работа по проектированию энергоснабжения металлургического завода с расчетом релейной защиты 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 параметров релейной защиты для обеспечения безопасности и стабильности работы оборудования.

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:  $S_p = 16343$  кВА. Выбрано 12 цеховых трансформаторов типа ТСЗ-1600/10/0,4. Произведена компенсация реактивной мощности на 0,4 кВ с помощью низковольтных батарей конденсаторов типа УК-0,4-450-НЛУЗ. Определена нагрузка по заводу напряжением 10,5 кВ на шинах ГПП с учетом подключенных к шинам ГПП СД и потерь в трансформаторах ТП:  $S_{p\text{ зав}} = 21041$  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 ТВТ-115-I-150/5 и трансформаторы напряжения НАМИ-110 УХЛ1 и НАМИ-10 УХЛ2. Для защиты от многофазных коротких замыканий, сверхтоков внешних КЗ, технических перегрузок и понижения напряжения был выбран блок РТ-40/10 УХЛ4. Также была рассчитана дифференциальная защита, для которой выбрано реле РНТ-566 и газовая защита с реле РТЗ-261.

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

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2018.
- 2 Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров) / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2015.
- 3 Кудрин Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2016.
- 4 Справочник по проектированию электроснабжения. Под ред. Б. Ю. Барыбина. 1990 года
- 5 Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. - М.: «Форум-Инфра-М», 2010.
- 6 Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. - СПб.: «Электросервис», 2010.
- 7 Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения. - М.: «ИД ФОРУМ-ИНФРА-М», 2010.
- 8 Федосеев А. М. Релейная защита электрических систем. М.: Энергия, 1976.
- 9 Авербух А. М. Релейная защита в задачах с решениями и примерами. - М.: Энергия, 1975
- 10 Шабад М. А. Расчеты релейной защиты. М., Энергия, 1972, 1974.
- 11 Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Издательство - М.: Высшая школа, 1991.
- 12 СТ КазНИТУ-09-2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию текстового и графического материала. Алматы: КазНИТУ, 2023.

## Приложение А

Обозначение	Наименование оборудования (элемент схемы)
KL	Реле промежуточное
R	Резистор
SX	Накладка оперативная
KH	Реле указательное
KSG	Реле газовое
KQC	Реле положения «включено»
KAW	Реле тока
KT	Реле времени
KLV	Реле напряжения
KA	Реле токовое

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Амангельды Мария Армановна

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Проектирование электроснабжения металлургического завода с расчетом релейной защиты силового трансформатора

**Научный руководитель:** Ерлан Сарсенбаев

**Коэффициент Подобия 1:** 8.3

**Коэффициент Подобия 2:** 0.7

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 478

**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 укрытия 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 17.06.2024*

проверяющий эксперт



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Амангельды Мария Армановна

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Проектирование электроснабжения металлургического завода с расчетом релейной защиты силового трансформатора

**Научный руководитель:** Ерлан Сарсенбаев

**Коэффициент Подобия 1:** 8.3

**Коэффициент Подобия 2:** 0.7

**Микропробелы:** 0

**Знаки из здругих алфавитов:** 478

**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 укрытия 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:

Дата 17.06.2024

Заведующий кафедрой Энергетики

Сарсенбаев ЕА.





**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

**На дипломную работу**

(наименование вида работы)

**Амангельды Мария Армановна**

(Ф.И.О. обучающегося)

**6B07101 - Энергетика**

(шифр и наименование специальности)

Тема: **Проектирование электроснабжения металлургического завода с расчетом релейной защиты силового трансформатора**

Дипломник Амангельды М.А. приступила 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.

Дипломная работа посвящена проектированию электроснабжения металлургического завода с расчетом релейной защиты силового трансформатора.

В основной части дипломной работы рассчитаны электрические нагрузки завода, выбраны мощность и количества ТП, выбрана внешняя схема электроснабжения, рассчитаны токи короткого замыкания, выбраны защитные, коммутационные аппараты и измерительные приборы.

В разделе «Релейная защита силового трансформатора» рассмотрены вопросы, связанные с релейной защитой: осуществление непрерывного контроля за состоянием всех элементов энергосистемы и реагирование на возникновение повреждений и ненормальных режимов.

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки 85%, а ее автор присвоения академической степени «бакалавр» по специальности 6B07101 – «Энергетика».

**Научный руководитель**

**Ассоц.профессор, к.т.н.**

(должность, уч. степень, звание)

**Бегентаев Б.М.**

(подпись)

« 15 » 06 2024 г.

## РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу  
(наименование вида работы)

Амангельды Мария Армановна  
(Ф.И.О. обучающегося)

6В07101 - Энергетика  
(шифр и наименование специальности)

на тему: Проектирование электроснабжения металлургического завода с расчетом релейной защиты силового трансформатора

Выполнено:

- а) графическая часть на \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_ листах  
б) пояснительная записка на \_\_\_\_\_ страницах

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В дипломной работе проектируется электроснабжение металлургического завода с расчетом релейной защиты силового трансформатора.

В работе определены электрические нагрузки завода, выбраны число и мощности трансформаторных подстанций и схемы электроснабжения предприятия в целом по результатам технико-экономических расчетов. Рационально выполненная современная система электроснабжения промышленного предприятия должна удовлетворять ряду требований, как экономичность и надежность, безопасность и удобства использования, возможность расширения производства минимальными изменениями схемы электроснабжения.

В специальной части дипломной работы рассчитана релейная защита силового трансформатора.

Выявлено несущественные недостатки дипломной работы: большой объем решений и количество страниц.

### Оценка работы

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

#### Рецензент

к.т.н., ассоциированный профессор-преподаватель кафедры «Электроэнергетика» АУЭС

им. Г. Даукеева

(должность, уч. звание)

*Утепкалиева Л. Ш.*

«15» \_\_\_\_\_ 2024 г.

