

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему: Электроснабжение ремонтной базы ООО ПК «Венткомплекс», г. Глазов

Студент

_____ (И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Руководитель

_____ (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Выпускная квалифицированная работа 47 с., 8 рис., 14 табл., 20 источников.

Ключевые слова: ремонтная база, электроснабжение, нагрузка, потребитель, электрооборудование, надежность, безопасность.

Выполняется проектирование системы электроснабжения (СЭС) ремонтной базы.

Объект исследования: ремонтная база.

Предмет исследования: электроснабжение базы.

Цель работы: разработка предложений по электроснабжению базы.

Актуальность работы: оборудование производственных цехов предприятий включает значительное количество потребителей электрической энергии: электродвигатели, различные станки, электросварочное оборудование, производственные линии, различные электроагрегаты и т.д. Очевидно, что без качественного и надежного электроснабжения, ввод в работу и дальнейшая эксплуатация предприятий невозможны, потому актуальность разработки СЭС является обоснованной и важной.

Содержание ВКР включает в себя вопросы: исходные данные, электроснабжение ремонтной базы, выбор электрооборудования ГПП, расчет заземления цеховых ТП и ГПП, безопасность и экологичность.

Содержание

Введение	4
1 Исходные данные	6
1.1 Характеристика базы.....	6
1.2 Генплан базы, характеристики участков.....	7
2 Электроснабжение ремонтной базы.....	10
2.1 Определение нагрузок.....	10
2.2 Выбор местоположения ГПП	14
2.3 Выбор трансформаторов ТП.....	18
2.4 Выбор трансформаторов ГПП	21
2.5 Выбор кабелей	25
2.6 Определение токов КЗ.....	29
2.7 Электрооборудование ГПП	34
2.8 Релейная защита	37
3. Безопасность и экологичность.....	40
3.1 Обеспечение безопасности	40
3.2 Заземление цеховых ТП и ГПП	41
3.3 Экологичность проекта	44
Заключение	45
Список используемых источников.....	47

Введение

Выполняется разработка системы электроснабжения (СЭС) ремонтной базы.

Рассматриваемая организация – среднее промышленное предприятие.

Актуальность разработки: оборудование производственных цехов предприятий включает значительное количество потребителей электрической энергии: электродвигатели, различные станки, электросварочное оборудование, производственные линии, различные электроагрегаты и т.д. Очевидно, что без качественного и надежного электроснабжения, ввод в работу и дальнейшая эксплуатация предприятий невозможны, потому актуальность разработки СЭС является обоснованной и важной. Также результаты разработки СЭС могут использоваться при проектировании СЭС различных других промышленных и иных объектов, а также разработке проектов реконструкции и модернизации СЭС.

Объект исследования: ремонтная база.

Предмет исследования: электроснабжение базы.

Цель работы: разработка предложений по электроснабжению базы.

Задачи работы:

- в соответствии с проектно-технической документацией по рассматриваемому предприятию, необходимо определить ожидаемые электрические нагрузки по отдельным цехам и базе в целом;
- обеспечить достаточную энергоэффективность электроснабжения, предложив соответствующие технические решения (установка энергоэффективных силовых трансформаторов на цеховых трансформаторных подстанциях (ТП), установка устройств компенсации реактивной мощности (КРМ) на шинах низкого напряжения ГПП, минимальная суммарная длина линий распределительной сети и т.д.);

- выбрать трансформаторы цеховых ТП для электроснабжения производственных участков (цехов и других зданий) и трансформаторы ГПП. Номинальная мощность трансформаторов должна соответствовать ожидаемым электрическим нагрузкам и быть оптимальной с точки зрения энергоэффективности и надежности электроснабжения;
- выбрать марки и сечения жил силовых кабелей распределительной сети (линий 10 кВ от ГПП до цеховых ТП и линий 0,4 кВ от ТП до вводных распределительных пунктов цехов);
- определить токи короткого замыкания (КЗ). Это необходимо для выбора оборудования СЭС;
- выбрать электрооборудование ГПП, параметры должны соответствовать расчетным данным по местам установки;
- выбрать оборудование защиты силовых трансформаторов и линий распределительной сети (релейная защита и автоматика). Необходимо использовать микропроцессорные терминалы, что позволяет обеспечить требуемую надежность, селективность и быстрдействие релейной защиты и автоматики (РЗА), а также проводить эффективный мониторинг режимов работы РЗА с передачей данных в общую цифровую сеть;
- рассмотреть обеспечение безопасности и экологичности. Для надежной работы СЭС и ее безопасной эксплуатации требуется спроектировать заземляющие устройства цеховых ТП и главной понизительной подстанции. Эквивалентные сопротивления заземляющих устройств не должны превышать предельно допустимых значений, которые регламентированы Правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

1 Исходные данные

1.1 Характеристика базы

«Основной технологический процесс базы – производство работ по ремонту и восстановлению различного оборудования и узлов. На территории будет расположено 15 производственных участков (ПУ), в основных ПУ будет установлено современное оборудование.

Основные виды производственного оборудования: станки с частотно-программируемым управлением (ЧПУ), высокотехнологичные производственные линии, электроплавильни и электропечи, экструзионные линии, комплексы финишной обработки, тестировочные стенды покраски и обработки.

Основные ПУ:

- производственные цеха;
- хранилище;
- склад;
- компрессорная;
- закалочный цех;
- насосная;
- покрасочная;
- мастерские;
- управление базой.

Производственные цеха обеспечивают основной технологический процесс. Вспомогательные участки будут обеспечивать снабжение, управление основным технологическим процессом и ряд других вспомогательных функций.

Далее систематизированы исходные данные для проектирования СЭС базы» [11].

1.2 Генплан базы, характеристики участков

«Генплан базы – на рисунке 1.

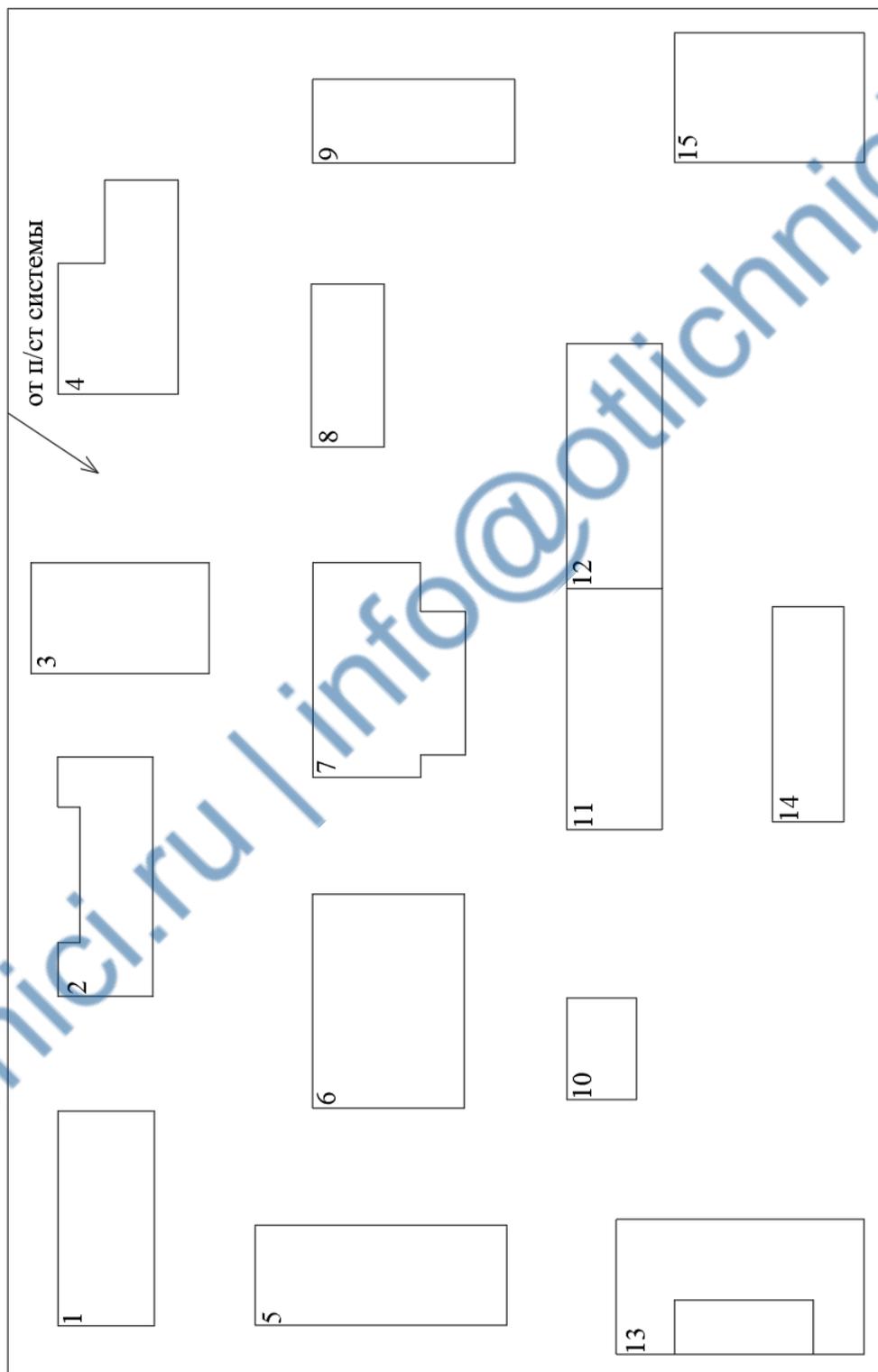


Рисунок 1 – Генплан базы

ПУ и их характеристики электропотребления – в таблице 1.

Таблица 1 – ПУ и их характеристики

№	Цеха	$\Sigma P_{ном}$, кВт	cosφ	Kс
1	Цех №1	2705	0,74	0,56
2	Цех №2	2890	0,74	0,73
3	Склад	405	0,92	0,39
4	Цех №3	1295	0,74	0,6
5	Цех №4	710	0,74	0,55
6	Цех №5	1098	0,74	0,48
7	Закалочный цех	1110	0,85	0,54
8	Управление базой	164	0,9	0,3
9	Покрасочная	498	0,81	0,3
10	Компрессорная 0,38 кВ	215	0,8	0,6
	10 кВ	2000	0,8	0,6
11	Мастерская №1	1605	0,82	0,7
12	Мастерская №2	204	0,82	0,7
13	Хранилище	410	0,92	0,25
14	Насосная	945	0,75	0,58
15	Цех №6	265	0,74	0,3

Электроснабжение базы будет выполнено по двум вводам ВЛ 110 кВ от подстанции ПС 110/10 кВ энергосистемы, расположенной на расстоянии 7,1 км. Марка проводов двухцепной ВЛ 110 кВ – АС-70/11» [11]. Категории надёжности электроснабжения ПУ – в таблице 2.

Таблица 2 – Категории надёжности электроснабжения ПУ

Цеха	Категория
Цех №1	2
Цех №2	
Склад	3
Цех №3	2
Цех №4	
Цех №5	
Закалочный цех	
Управление базой	3
Покрасочная	2
Компрессорная	1
Мастерская №1	2
Мастерская №2	
Хранилище	3
Насосная	1
Цех №6	2

Вывод.

Приведены исходные данные по базе. Согласно документации составлен генплан с расположением участков, систематизированы данные их электропотребления.

2 Электроснабжение ремонтной базы

2.1 Определение нагрузок

«Для расчета актуальных электрических нагрузок производственных участков используется метод коэффициента спроса активной нагрузки. Формула для расчета среднесменных активных мощностей по участкам:

$$P_c = K_c \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент спроса нагрузки;

$P_{ном}$ – номинальная нагрузка, кВт.

Формула для расчета среднесменных реактивных мощностей по участкам:

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

Формула для расчета среднесменных полных мощностей по участкам» [5]:

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}, \quad (3)$$

Пример расчета, цех №1, по (1-3):

$$P_c = 0,56 \cdot 2705 = 1514,8 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 1514,8 \cdot 0,91 = 1376,84 \text{ квар};$$

$$S_c = \sqrt{1514,8^2 + 1376,84^2} = 2047,03 \text{ кВА}.$$

Результаты расчетов сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Нагрузки базы

Цеха	$\Sigma P_{ном}$, кВт	tgφ	Kс	Среднесменные нагрузки		
				Pс, кВт	Qс, квар	Sc, кВА
Цех №1	2705	0,91	0,56	1514,8	1376,84	2047,03
Цех №2	2890	0,91	0,73	2109,7	1917,57	2850,95
Склад	405	0,43	0,39	157,95	67,29	171,68
Цех №3	1295	0,91	0,6	777	706,24	1050,00
Цех №4	710	0,91	0,55	390,5	354,94	527,70
Цех №5	1098	0,91	0,48	527,04	479,04	712,22
Закалочный цех	1110	0,62	0,54	599,4	371,47	705,18
Управление базой	164	0,48	0,3	49,2	23,83	54,67
Покрасочная	498	0,72	0,3	149,4	108,16	184,44
Компрессорная 0,38 кВ	215	0,75	0,6	129	96,75	161,25
10 кВ	2000	0,75	0,6	1200	0	1200
Мастерская №1	1605	0,7	0,7	1123,5	784,21	1370,12
Мастерская №2	204	0,7	0,7	142,8	99,68	174,15
Хранилище	410	0,43	0,25	102,5	43,66	111,41
Насосная	945	0,88	0,58	548,1	483,38	730,80
Цех №6	265	0,91	0,3	79,5	72,26	107,43

«Нагрузка освещения рассчитывается методом удельной мощности.

Формула для определения расчетных активных мощности по участкам:

$$P_{po} = P_0 \cdot K_{co} \cdot F, \quad (4)$$

где P_0 – удельная мощность, Вт/м²;

K_{co} – коэффициент спроса освещения;

F – площадь здания, м².

Формула для определения расчетных реактивных мощности по участкам:

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

Освещение обеспечивается современными светодиодными светильниками» [18].

«Для ПУ №1 по (8,9):

$$P_{po} = 3,8 \cdot 0,85 \cdot 2923 = 9,44 \text{ кВт}$$

$$Q_{po} = 9,44 \cdot 0,88 = 8,31 \text{ квар}$$

С освещением:

$$P_p' = 1514,8 + 9,44 = 1524,24 \text{ кВт};$$

$$Q_p' = 1376,84 + 8,31 = 1385,15 \text{ квар};$$

$$S_p' = \sqrt{1524,24^2 + 1385,15^2} = 2059,6 \text{ кВА}.$$

Нагрузки ПУ сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Нагрузки ПУ

Цеха	P_p' , кВт	Q_p' , квар	S_p' , кВА
Цех №1	1524,24	1385,15	2059,60
Цех №2	2119,74	1926,40	2864,32
Склад	161,70	70,59	176,44
Цех №3	787,15	715,17	1063,52
Цех №4	402,32	365,34	543,44
Цех №5	542,02	492,22	732,16
Закалочный цех	612,82	383,28	722,80
Управление базой	51,36	25,73	57,44
Покрасочная	157,25	115,07	194,85
Компрессорная 0,38 кВ	132,58	99,90	166,00
10 кВ	1200	0	1200
Мастерская №1	1133,91	793,36	1383,90
Мастерская №2	153,40	109,00	188,18
Хранилище	115,52	55,12	128,00
Насосная	554,78	489,25	739,69
Цех №6	91,99	83,25	124,07
Σ по цехам	9740,75	7108,84	12058,93
Территория	26,33	23,17	
	9767,09	7132,01	12093,86

Согласно данным нагрузкам требуется выбрать расположение ГПП»

[11].

2.2 Выбор местоположения ГПП

«Картограмма электрических нагрузок представляет собой размещенные на генеральном плане окружности, площади которых в принятом масштабе равны расчетным нагрузкам цехов. Радиус окружностей определяется как:

$$R = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}}, \quad (6)$$

где S_p – расчетная нагрузка цеха, кВА;

m – масштаб.

Доля осветительной нагрузки:

$$\alpha = 360 \cdot S_{oc} / S_p, \quad (7)$$

где S_{oc} – нагрузка освещения, кВА.

Центр электрических нагрузок (ЦЭН) по предприятию определяется для нахождения местоположения ГПП. Координаты ЦЭН можно определить по формуле:

$$x_0 = \frac{\sum_1^n (S_p \cdot x_i)}{\sum_1^n S_p}; \quad y_0 = \frac{\sum_1^n (S_p \cdot y_i)}{\sum_1^n S_p}, \quad (8)$$

где x_i, y_i – координаты центра цеха, м;

n – количество цехов» [6].

«ГПП должна располагаться не в ЦЭН, а должна быть смещена в направлении от ЦЭН к источнику внешнего питания за территорию базы,

чтобы обеспечить удобные подъездные пути, и не мешать производственному процессу базы» [16].

«Расчет координат ЦЭН – в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет координат ЦЭН

Цеха	X_i , м	Y_i , м	S_p , кВА	$S_p \cdot X_i$, кВА	$S_p \cdot Y_i$, кВА
Цех №1	62	326	2059,6	127993	671963
Цех №2	210	326	2864,3	600755	934508
Склад	326	318	176,4	57563	56193
Цех №3	470	318	1063,5	499818	338720
Цех №4	35	206	543,4	18997	111870
Цех №5	155	202	732,2	113750	147874
Закалочный цех	299	206	722,8	216169	148792
Управление базой	435	225	57,4	24989	12941
Покрасочная	540	194	194,9	105196	37840
Компрессорная 0,38 кВ	132	113	166,0	21921	18698
10 кВ	132	113	1200,0	158468	135164
Мастерская №1	284	105	1383,9	392382	145128
Мастерская №2	388	105	188,2	73090	19734
Хранилище	31	54	128,0	3977	6960
Насосная	284	23	739,7	209728	17238
Цех №6	552	43	124,1	68429	5301
Σ			12093,9	2693226	2808923
Координаты ЦЭН	X , м	Y , м			
	223	202			

Например, для ПУ №1, по (6,7):

$$R = \sqrt{\frac{2059,6}{0,4 \cdot 3,14}} = 40,49 \text{ м}$$

$$\alpha = 360 \cdot 12,6 / 2059,6 = 2,2^\circ$$

Расчеты сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет картограммы нагрузок

Цеха	R, м	α	Soc, кВА
Цех №1	40,5	2,2	12,6
Цех №2	47,8	1,7	13,4
Склад	11,9	10,2	5,0
Цех №3	29,1	4,6	13,5
Цех №4	20,8	10,4	15,8
Цех №5	24,1	9,8	20,0
Закалочный цех	24,0	8,9	17,9
Управление базой	6,8	18,0	2,9
Покрасочная	12,5	19,3	10,5
Компрессорная 0,38 кВ	11,5	10,3	4,8
10 кВ	30,9	0,0	0,0
Мастерская №1	33,2	3,6	13,9
Мастерская №2	12,2	27,0	14,1
Хранилище	10,1	48,8	17,4
Насосная	24,3	4,3	8,9
Цех №6	9,9	48,3	16,7

Картограмма нагрузок – на рисунке 2» [11].

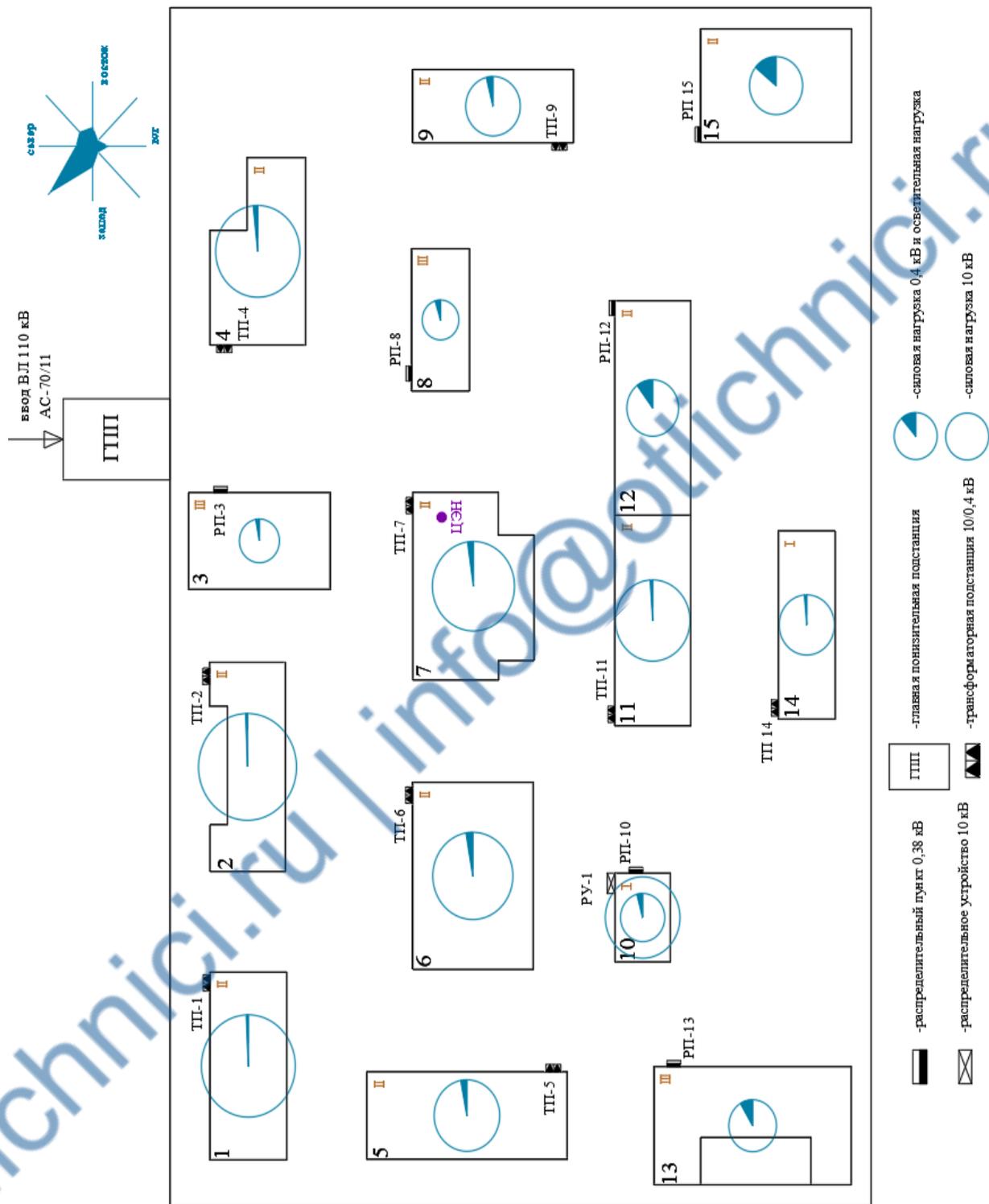


Рисунок 2 – Картограмма нагрузок

Электроснабжение участков обеспечивается подстанциями 10/0,4 кВ.

2.3 Выбор трансформаторов ТП

«Нагрузки производственных участков группируются по ТП 10/0,4 кВ с целью оптимального выбора трансформаторов по мощности, а также обеспечения минимальной суммарной длины линий распределительной сети. Если расчетная нагрузка участка составила менее 250 кВА, то целесообразно установить РП 0,4 кВ (одно- или двухсекционный), который будет питать от ближайшей ТП другого участка. Если в состав нагрузки ТП входят потребители 1 и 2 категорий надежности электроснабжения, то на ТП устанавливается два силовых трансформатора (как два источника питания)» [7].

«Оптимальная мощность силовых трансформаторов ТП рассчитывается согласно выражению:

$$S_o = \frac{\sum S_p}{\beta \cdot N}, \quad (9)$$

где $\sum S_p$ – нагрузка, кВА;

β – нормативный коэффициент загрузки;

N – число трансформаторов, шт» [2,10].

«Допустимая к передаче в сеть 0,4 кВ величина реактивной мощности (РМ):

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{н.т.})^2 - P_p^2}, \quad (10)$$

где $S_{н.т.}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

P_p – активная нагрузка, кВт» [4].

«Требуемая для компенсации со стороны 0,4 кВ РМ рассчитывается согласно выражению:

$$Q_{0,4} = Q_p - Q_1 \quad (11)$$

где Q_p – реактивная нагрузка, квар» [13].

«При полученном отрицательном значении $Q_{0,4}$, либо менее 50 квар, компенсация не требуется. Далее, в случае выбора установок КРМ, рассчитывается остаточное значение РМ согласно выражению:

$$Q_{HH} = Q_p - Q_{БК} \quad (12)$$

Для ТП-1, по (9):

$$S_o = \frac{2059,6}{0,7 \cdot 2} = 1471,1 \text{ кВА}$$

Устанавливается два ТМГ12-1600/10» [17].

«Выбор трансформаторов – в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор трансформаторов ТП

№ ТП	Нагрузка, № ПУ	So, кВА	St, кВА
ТП-1	1	1471,1	1600
ТП-2	2	2045,9	2500
ТП-4	4,3,8	920,0	1000
ТП-5	5,13, освещ. терр.	501,5	630
ТП-6	6	523,0	630
ТП-7	7	516,3	630
ТП-9	9,12,15	361,8	400
ТП-11	11,10	1107,0	1250

ТП-14	14	528,4	630
-------	----	-------	-----

Расчет КРМ на ТП-1 по (10,11)» [17]:

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 1524,2^2} = 1641,4 \text{ квар}$$

$$Q_{0,4} = 1385,2 - 1641,4 = -256,3 \text{ квар}$$

«КРМ не требуется. Коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме:

$$K_n = \frac{S_{p.комп.}}{S_{н.т.}}, \quad (13)$$

$$K_n = \frac{2059,6}{1600} = 1,29 \leq 1,4$$

Расчет КРМ на ТП – в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет КРМ на ТП

№ ТП	Q _{0,4} , квар	K _п
ТП-1	-256,3	1,29
ТП-2	-858,7	1,15
ТП-4	-168,1	1,29
ТП-5	-250,5	1,11
ТП-6	-203,6	1,16
ТП-7	-251,1	1,15
ТП-9	-81,9	1,27
ТП-11	-314,4	1,24

ТП-14	-196,4	1,17
-------	--------	------

ТП выбираются комплектные 2КТПН-10/0,4» [19].

2.4 Выбор трансформаторов ГПП

«Для расчета нагрузки ГПП необходимо учесть потери в ТП 10/0,4 кВ. Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах рассчитывается согласно выражениям:

$$\Delta P_m = \frac{\Delta P_k}{n} \cdot \frac{P_p^2 + Q_p^2}{S_n^2} + n \cdot \Delta P_{xx} \quad (14)$$

где ΔP_k – потери КЗ, кВт;

n – число трансформаторов, шт;

S_n – номинальная мощность, кВА;

ΔP_{xx} – потери ХХ, кВт.

$$\Delta Q_m = \frac{U_k}{n \cdot 100} \cdot \frac{P_p^2 + Q_p^2}{S_n^2} + \frac{n \cdot I_{xx}}{100} \cdot S_n \quad (15)$$

где U_k – напряжение КЗ, %;

I_{xx} – ток ХХ, %» [20].

Для ТП-1, по (14,15):

$$\Delta P_m = \frac{16}{2} \cdot \frac{1524,2^2 + 1385,2^2}{1600^2} + 2 \cdot 1,7 = 16,66 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \frac{6}{2 \cdot 100} \cdot \frac{1524,2^2 + 1385,2^2}{1600^2} + \frac{2 \cdot 0,5}{100} \cdot 1600 = 95,54 \text{ квар}$$

«Нагрузка ТП с учетом потерь – в таблице 9.

Таблица 9 – Нагрузка ТП с учетом потерь

№	ΔP , кВт	ΔQ , квар	$P_p + \Delta P$, кВт	$Q_p + \Delta Q$, квар
ТП-1	16,66	95,54	1540,90	1480,69
ТП-2	19,37	115,25	2139,11	2041,65
ТП-4	10,91	57,62	1011,12	869,10
ТП-5	5,79	30,34	549,96	473,97
ТП-6	6,16	32,22	548,17	524,44
ТП-7	6,04	31,63	618,86	414,91
ТП-9	3,46	21,63	406,09	328,95
ТП-11	13,09	70,15	1279,57	963,41
ТП-14	6,25	32,70	561,03	521,96
Σ	87,72	487,07	9854,81	7619,08

Итоговая реактивная нагрузка ГПП:

$$Q_{10} = \Sigma Q_{HH} + \Sigma \Delta Q_m \quad (16)$$

где ΣQ_{HH} – реактивная нагрузка, квар;

$\Sigma \Delta Q_m$ – потери РМ в трансформаторах, квар» [5].

$$Q_{10} = 7132,01 + 487,07 = 7619,08 \text{ квар}$$

«Итоговая активная нагрузка ГПП:

$$P_{\text{сумм}} = \Sigma P_p + \Sigma \Delta P_m \quad (17)$$

где ΣP_p – активная нагрузка ТП, кВт;

$\Sigma \Delta P_m$ – потери активной мощности в трансформаторах всех ТП, кВт» [5].

$$P_{\text{сумм}} = 9767,09 + 87,72 = 9854,81 \text{ кВт}$$

«Требуемая для компенсации со стороны каждой шины 10 кВ РМ рассчитывается согласно выражению:

$$Q_{\text{ку}} / 2 = \frac{Q_{10} + \Delta Q_m - Q_{\text{суст}} - Q_c}{2}, \quad (18)$$

где 2 – число секций шин, шт;

$Q_{\text{суст}}$ – РМ, получаемая из энергосистемы, квар;

Q_c – РМ, получаемая от синхронных двигателей, квар;

ΔQ_m – предварительные потери РМ в силовых трансформаторах ГПП, квар.

$$Q_{\text{суст}} = \alpha \cdot \Sigma P_p \quad (19)$$

где α – эквивалент нормативного $\text{tg}\varphi=0,33$.

$$Q_c = \frac{\alpha_m \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi_n}{\eta_n}, \quad (20)$$

где α_m – допустимая перегрузка СД;

P_n – номинальная активная мощность СД, кВт;

$\text{tg}\varphi_n$ – коэффициент РМ, соответствующий номинальному $\cos\varphi$;

η_n – КПД двигателя, о.е.» [15].

$$\Delta Q_m = \frac{10,5}{2 \cdot 100} \cdot \frac{9854,81^2 + 7619,08^2}{10000^2} + \frac{2 \cdot 0,7}{100} \cdot 10000 = 1240,51 \text{ квар}$$

$$Q_c = \frac{0,92 \cdot 2000 \cdot 0,75}{0,95} = 1452,63 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{кв}} / 2 = \frac{7619,08 + 1240,51 - 0,33 \cdot 9767,09 - 1452,63}{2} = 2091,9 \text{ квар}$$

«Устанавливается две батареи по 2100 квар.

Устанавливаются трансформаторы ТМН-6300/110, внешний вид – на рисунке 3.



Рисунок 3 – Трансформатор ТМН-6300/110

Нагрузки после КРМ» [15]:

$$Q_{\text{рк}} = 7619,08 - 2 \cdot 2100 = 3419,08 \text{ квар}$$

$$P_{pk} = P_{сумм} = 9854,81 \text{ кВт}$$

«Полная нагрузка ГПП:

$$S_p = \sqrt{(k_{рма} \cdot P_{рк})^2 + (k_{рмп} \cdot Q_{рк})^2} \quad (21)$$

где $k_{рма}$ и $k_{рмп}$ – коэффициенты разновременности нагрузок.

$$S_p = \sqrt{(0,95 \cdot 9854,81)^2 + (0,95 \cdot 31419,08)^2} = 9909,52 \text{ кВА}$$

Послеаварийная перегрузка, по (13):

$$K_n = \frac{9909,52}{10000} = 0,99 < 1,4$$

Потери мощности, по (14,15):

$$\Delta P_m = \frac{60}{2} \cdot \frac{9362,07^2 + 3248,12^2}{10000^2} + 2 \cdot 14 = 86,59 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \frac{10,5}{2 \cdot 100} \cdot \frac{5448,35^2 + 2420,87^2}{6300^2} + \frac{2 \cdot 0,7}{100} \cdot 6300 = 671,11 \text{ квар}$$

Итого нагрузка ГПП по ВН» [8]:

$$S_p = \sqrt{(9362,07 + 86,59)^2 + (3248,12 + 1315,41)^2} = 10493 \text{ кВА}$$

Далее рассчитывается внутреннее электроснабжение предприятия.

2.5 Выбор кабелей

«Для распределительной сети выбирается смешанная схема, как обеспечивающая наилучшие технико-эксплуатационные показатели при минимальных капиталовложениях. Кабельные линии на 10 кВ выполняются кабелем АПвП и на 0,4 кВ кабелем АВБШв. Кабели прокладываются в траншеях под землей. План прокладки КЛ – на чертеже 1 графической части» [8].

«Расчет для КЛ до ТП-2.

Наибольший ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n} \quad (22)$$

где S_p – нагрузка участка, кВА;

n – число цепей, шт» [3].

$$I_p = \frac{5094,1}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 147,1 \text{ A}$$

$$I_{ав} = \frac{5094,1}{\sqrt{3} \cdot 10} = 294,1 \text{ A}$$

«Экономическое сечение жил:

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} \quad (23)$$

где $j_{эк}$ – экономическая плотность тока, А/мм².

$$F_{эк} = \frac{147,1}{1,4} = 105 \text{ мм}^2$$

Выбирается сечение 240 мм², $I_{доп} = 302$ А (с учетом условий прокладки). Выбор кабелей 10 кВ – в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор кабелей 10 кВ

КЛ	Iав, А	Сечение АПвП, мм ²	Iдоп, А
ГПП--ТП-2	294,1	240	302
ТП-2--ТП-1	123,4	70	140
ГПП--ТП-4	107,2	50	119
ТП-4--ТП-9	30,2	16	64
ГПП--ТП-7	126,2	70	140
ТП-7--ТП-6	85,7	35	98
ТП-6--ТП-5	41,9	16	64
ГПП--ТП-14	150,4	95	174
ТП-14--ТП-11	92,5	35	98
ГПП--РУ-1	108,8	50	119

Потери напряжения в линии:

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_n} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \quad (24)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

L – длина линии, км;

r_0 и x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления кабелей, Ом/км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки» [14].

$$\Delta U_{\lambda} = \frac{\sqrt{3} \cdot 294,1 \cdot 0,131 \cdot 100}{400} (0,129 \cdot 0,841 + 0,08 \cdot 0,54) = 0,2 \% < 5 \%$$

«Проверка КЛ 10 кВ – в таблице 11.

Таблица 11 – Проверка КЛ 10 кВ

КЛ	го, Ом/км	хо, Ом/км	ΔU, %
ГПП--ТП-2	0,129	0,08	0,2
ТП-2--ТП-1	0,443	0,09	0,5
ГПП--ТП-4	0,63	0,09	0,3
ТП-4--ТП-9	1,95	0,11	0,9
ГПП--ТП-7	0,443	0,09	0,7
ТП-7--ТП-6	0,89	0,1	0,5
ТП-6--ТП-5	1,95	0,11	0,5
ГПП--ТП-14	0,326	0,09	0,6
ТП-14--ТП-11	0,89	0,1	0,3
ГПП--РУ-1	0,63	0,09	0,7

Выбор кабеля 0,4 кВ до РПЗ.

Расчётный ток, по (22):

$$I_p = \frac{176,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 247 \text{ A}$$

Принимаем кабель АВБШв 4x95 мм², $I_{дон} = 260 \text{ A}$.

Потери напряжения в КЛ, по (24):

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot 247 \cdot 0,09 \cdot 100}{380} (0,326 \cdot 0,878 + 0) = 1,5 \% < 5 \%$$

Выбор кабелей 0,4 кВ – в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор кабелей 0,4 кВ

КЛ	Сечение АВБШв, мм ²	Идоп, А	Иав, А	ΔU, %
ТП4-РП3	4x95	260	247,0	1,5
ТП4-РП8	4x16	90	82,9	1,6
ТП11-РП10	4x95	242	239,6	0,6
ТП9-РП12	4x120	279	271,6	0,6
ТП9-РП15	4x70	205	179,1	1,3
ТП5-РП13	4x70	220	184,7	1,9

Выбранные сечения кабелей подходят» [11].

Все принятые к монтажу кабели подходят по допустимым токам, перегрева линий не будет, будет обеспечено надежное электроснабжение в рабочем и аварийном режимах. Уровень напряжения на вводах потребителей будет соответствовать норме.

Далее определяются токи КЗ.

2.6 Определение токов КЗ

«Далее, для проверки выбранного электрооборудования необходимо рассчитать токи короткого замыкания (КЗ) в местах установки электрооборудования.

Исходными для расчета являются принятый вариант схемы электроснабжения, выбранные к установке кабели. Составляется

эквивалентная схема замещения, куда вносятся только элементы сети, значимо влияющие на величину токов короткого замыкания, наносятся точки КЗ» [12].

Схема замещения – на рисунке 4.

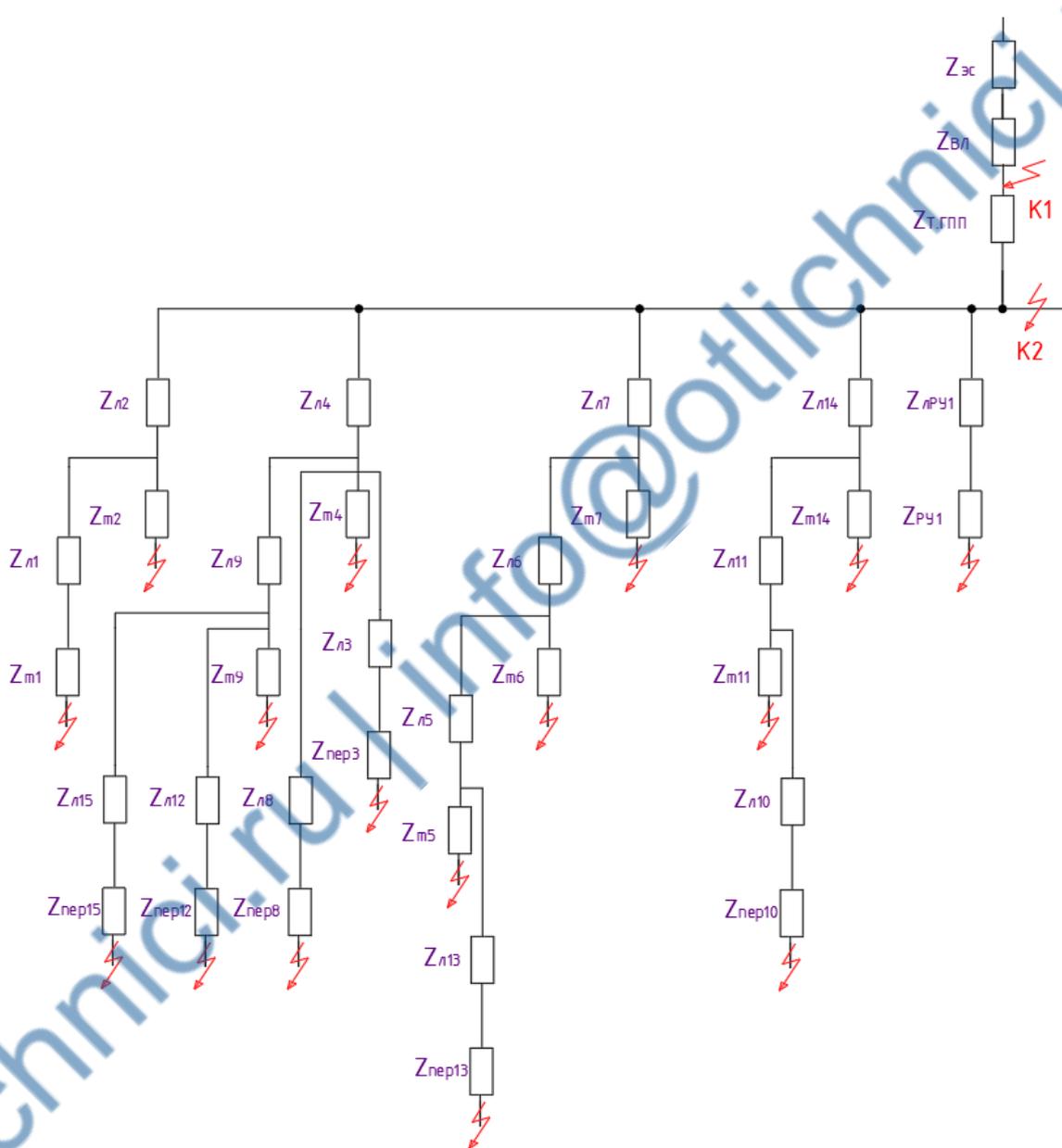


Рисунок 4 – Схема замещения

«Полное сопротивление цепи КЗ:

$$z = \sqrt{\left(\sum r^{\circ}\right)^2 + \left(\sum x^{\circ}\right)^2} \quad (25)$$

где $\sum r^{\circ}$, $\sum x^{\circ}$ – активное и индуктивное сопротивления цепи, Ом.

Сопротивления трансформаторов:

$$R_m = \Delta P_{\kappa} \cdot U_{н.в.}^2 / (S_n^2 \cdot 1000), \quad (26)$$

где ΔP_{κ} – потери КЗ, кВт;

$U_{н.в.}$ – напряжение ВН, кВ;

S_n – номинальная мощность, кВА.

$$Z_m = \Delta U_{\kappa} / 100 \cdot 10^2 / S_n, \quad (27)$$

где ΔU_{κ} – потери напряжения КЗ, %» [12].

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2}, \quad (28)$$

«Токи трехфазного и двухфазного КЗ:

$$I'' = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot z} \quad (29)$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I'' \quad (30)$$

Ударный ток КЗ:

$$I_y = I'' \sqrt{1 + 2(\kappa_y - 1)^2} \quad (31)$$

где κ_y – ударный коэффициент.

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \quad (32)$$

где T_a – постоянная апериодической слагающей, с» [12].

$$T_a = \sum X / 314 \sum R \quad (33)$$

«Пример расчета для стороны 0,4 кВ ТП-2.

Сопротивления элементов:

- трансформаторов ГПП, по (26-28):

$$R_m = \frac{60000 \cdot 110^2}{10000^2} \cdot (10/110)^2 = 0,06 \text{ Ом}$$

$$Z_m = \frac{10,5 \cdot 110^2}{100 \cdot 10^2} \cdot (10/110)^2 = 1,05 \text{ Ом}$$

$$X_m = \sqrt{1,05^2 - 0,06^2} = 1,048 \text{ Ом}$$

- трансформатора ТП, по (26-28):

$$R_m = \frac{22500 \cdot 10^2}{2500^2} = 0,36 \text{ Ом}$$

$$Z_m = \frac{5,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 2,5^2} = 2,2 \text{ Ом}$$

$$X_m = \sqrt{2,2^2 - 0,36^2} = 2,17 \text{ Ом}$$

- ВЛ 110 кВ» [17]:

$$R_{\text{вЛ}} = 1523 \cdot \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 12,59 \text{ мОм}$$

$$X_{вл} = 1576 \cdot \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 13,03 \text{ мОм}$$

«Эквивалентные сопротивления цепи, с учетом переходного сопротивления, сопротивления трансформаторов и линий:

$$\Sigma r = R_{ВЛ} + R_{м.ГПП} + R'_{(ГПП-ТП)} + R_{м.ТП}, \quad (34)$$

$$\Sigma r = 12,59 + 60 + 8,45 + 360 = 441 \text{ мОм}$$

$$\Sigma x = X_{ВЛ} + X_{м.ГПП} + X'_{(ГПП-ТП)} + X_{м.ТП}, \quad (35)$$

$$\Sigma x = 13,03 + 1048 + 5,24 + 2170 = 3236 \text{ мОм}$$

$$z = \sqrt{441^2 + 3236^2} = 3266 \text{ мОм}$$

По формулам (28–32):

$$I'' = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3266} = 1,86 \text{ кА}$$

$$T_a = 3236 / (314 \cdot 441) = 0,02$$

$$k_y = 1 + e^{\frac{0,01}{0,02}} = 1,65$$

$$I_y = 1,86 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,65 - 1)^2} = 2,52 \text{ кА}$$

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,86 = 1,61 \text{ кА}$$

Результаты расчетов – в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчетов токов КЗ

место КЗ	$I^{(3)}_{кз}$, кА	I_y , кА	$I^{(2)}_{кз}$, кА
ТП-2	1,86	2,52	1,61

ТП-1	1,20	1,30	1,04
ТП-4	1,21	1,31	1,04
ТП-9	1,09	1,14	0,95
ТП-7	1,96	2,16	1,70

Продолжение таблицы 13

место КЗ	$I^{(3)}_{кз}, \text{кА}$	$I_y, \text{кА}$	$I^{(2)}_{кз}, \text{кА}$
ТП-6	1,46	1,52	1,27
ТП-5	1,22	1,27	1,06
ТП-14	1,48	2,32	1,28
ТП-11	1,18	1,86	1,03
РУ-1	1,78	2,78	1,54
Точка К2(шины 10 кВ ГПП)	5,70	8,65	4,94
Точка К1(ОРУ 110 кВ ГПП)	11,66	19,04	10,10

С учетом токов КЗ выбирается ЭО для ГПП» [12].

2.7 Электрооборудование ГПП

«Условия выбора выключателей:

$$U_{ном} \geq U_{раб}, \text{кВ};$$

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \text{кВ}.$$

$$I_{ном.откл} \geq I_{к}, \text{кА}$$

где $I_{ном.откл}$ – ток отключения, кА;

$I_{к}$ – ток трехфазного КЗ, кА.

$$i_{пр.с} \geq i_y, \text{кА}$$

где $i_{np.c}$ – сквозной ток КЗ, кА;

i_y – ударный ток КЗ, кА.

$$I_m^2 t_m \geq B_k, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

где I_m – ток термической стойкости, кА;

t_m – время протекания тока, с;

B_k – тепловой импульс, кА²/с.

Условия выбора разъединителей» [14]:

$$U_{н.анп.} \geq U_{н.уст.}$$

$$I_{н.анп.} \geq I_{раб.мах.}$$

$$I_{мер.}^2 \cdot t_{мер.} \geq B_k$$

$$i_{дин} \geq i_y.$$

«Выбор аппаратов – в таблице 14.

Таблица 14 – Выбор коммутационных аппаратов

Параметры	ОРУ			ЗРУ	
	По расчету	По паспорту, ВВБ-110/2000	По паспорту, РНДЗ-110/1000	По расчету	По паспорту, ВВ/TEL-10/630
$U_{ном}, \text{кВ}$	110	110	110	10	10
$I_{ном}, \text{А}$	52,7	2000	2000	572,1	630
$I_{п.откл.}, \text{кА}$	11,7	31,5	20	5,7	20
$B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	17,1	3600	1200	4,1	1200
$i_{дин}, \text{кА}$	19,04	40	40	8,65	20

Выбор ОПН.

Выбираются ограничители перенапряжения серии ОПН. Для защиты трансформатора со стороны 110 кВ устанавливаем ОПН-110/88/10/450-У1. Со стороны 10 кВ устанавливаем ОПН-10/11,5-10/400-У1» [9].

Выбор трансформаторов тока и напряжения.

«Согласно напряжениям в местах установки и полученным расчетным токам выбираем следующие трансформаторы тока (ТТ): на фидерах 10 кВ: ТПЛК10-50..300/5; на вводах ЗРУ 10 кВ: ТПЛК10-600/5; на ОРУ 110 кВ: ТФНД-110 – 75/5.

Проверка ТТ в режиме КЗ:

- в ЗРУ 10 кВ:

По динамической стойкости: $i_{дин} = 74,5 \text{ кА} \geq i_{уд} = 8,65 \text{ кА}$,

По термической стойкости: $I_m^2 \cdot t_m = 2900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_k = 4,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$.

- на ОРУ 110 кВ:

$i_{дин} = 42 \text{ кА} \geq i_{уд} = 19,04 \text{ кА}$

$I_m^2 \cdot t_m = 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_k = 17,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Условия выбора трансформаторов напряжения (ТН)» [14]:

$$U_{ном} \geq U_{уст}$$

$$S_{ном} \geq S_{2\Sigma}$$

Принимаем ТН типа НАМИ-10-95.

$$U_{н.апт.} = 10 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 10 \text{ кВ}.$$

$$S_{ном} = 200 \text{ ВА} \geq S_{2\Sigma} = 43 \text{ ВА}.$$

ТТ и ТН проходят проверку.

Выбираются КРУ К-132/630 А, внешний вид – на рисунке 5.



Рисунок 5 – Ячейки КРУ

Защита ЭО обеспечивается терминалами релейной защиты (РЗ).

2.8 Релейная защита

«РЗ трансформаторов ГПП – на терминалах Сириус-Т, схема РЗ – на рисунке 6.

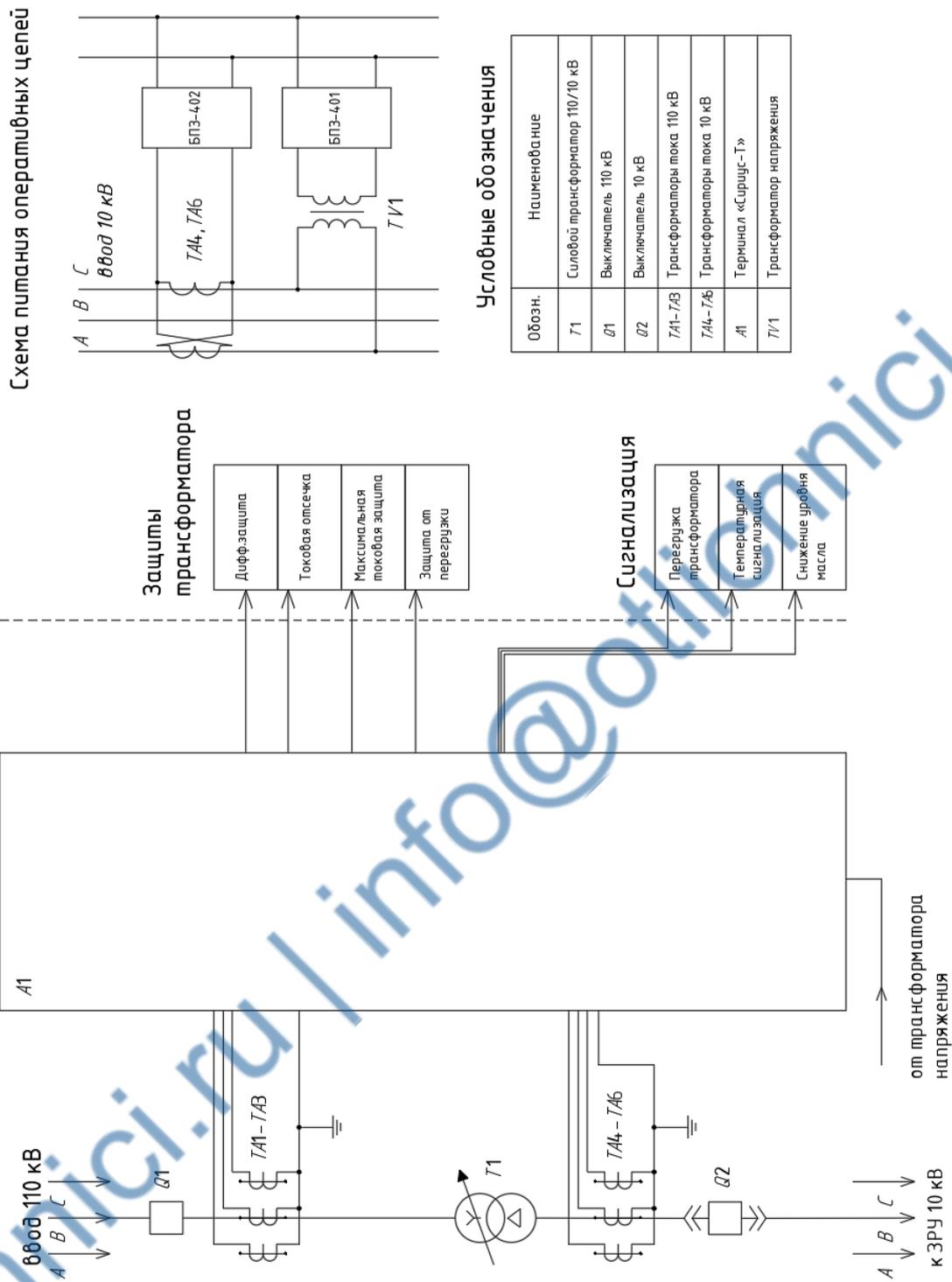


Рисунок 6 – Схема РЗ трансформаторов ГПП

РЗ КЛ 10 кВ – на терминалах Сириус-2Л-02, схема РЗ – на чертеже 4 графической части, схемы оперативных цепей и цепей сигнализации – на чертеже 5.

Внешний вид терминалов РЗ – на рисунке 7.



Рисунок 7 – Внешний вид терминалов РЗ

Уставки защит задаются программно» [1].

Вывод.

Согласно актуальным требованиям к СЭС разработано электроснабжение базы. Выбрано современное оборудование СЭС. Предложенные решения по электроснабжению базы обеспечат его надежную работу.

3. Безопасность и экологичность

3.1 Обеспечение безопасности

«Охрана труда (ОТ) и техника безопасности (ТБ) при монтаже, эксплуатации системы электроснабжения обеспечиваются согласно ГОСТ 12.0.004-2015» [4].

«Для безопасности технологического процесса в первую очередь необходимо проводить инструктажи и проверки по работе с оборудованием и использованию СИЗ. На всех производственных участках устанавливаются плакаты по ТБ, пример плаката приведен на рисунке 8.



Рисунок 8 – Плакат по электробезопасности

Обеспечение ОТ на предприятии осуществляется организационными и техническими мероприятиями. За организацию и обеспечение ОТ отвечает служба охраны труда» [9].

3.2 Заземление цеховых ТП и ГПП

Заземление цеховых ТП.

«Удельное сопротивление грунта для электродов:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (36)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

K_c – коэффициент сезонности» [18].

$$\rho_{p6} = 2000 \cdot 1,1 = 2200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{p2} = 2000 \cdot 1,4 = 2800 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

«Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50x50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50x5 мм.

Сопротивление одного ВЭ:

$$R_{\text{овз}} = \frac{\rho_{p6}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] \quad (37)$$

где l – длина ВЭ, м;

d – приведенный диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (38)$$

где b – ширина уголка, м» [18].

Для одного ВЭ:

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м}$$

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м}$$

$$R_{\text{овэ}} = \frac{2200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 60,962 \text{ Ом}$$

«Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{\text{овэ}} / R_n \quad (39)$$

где R_n – допустимое сопротивление заземляющего устройства (ЗУ), Ом» [10].

$$n' = 60,962 / 4 = 15,2 \approx 16 \text{ шт}$$

«Длина ГЭ:

$$l_2 = 1,05 \cdot a \cdot n' \quad (40)$$

где a – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n' \quad (41)$$

где $l_{\text{пер}}$ – периметр здания ТП, м» [20].

$$l_{\text{пер}} = 2 \cdot (8,76 + 7,65) = 32,82 \text{ м}$$

$$a = 32,82 / 16 = 2,05 \text{ м}$$

$$l_2 = 1,05 \cdot 2,05 \cdot 16 = 34,44 \text{ м}$$

«Сопротивление растеканию ГЭ:

$$R_{23} = \frac{\rho_{p2}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln\left(\frac{l^2}{d \cdot t}\right) \quad (42)$$

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (43)$$

где b – ширина полосы, м» [20].

$$d = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ м}$$

$$t = 0,05 / 2 + 0,8 = 0,825 \text{ м}$$

$$R_{23} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 28,98} \cdot \ln\left(\frac{28,98^2}{0,025 \cdot 0,825}\right) = 2,757 \text{ Ом}$$

«Сопротивление ЗУ:

$$R_{zp} = \frac{R_{069} \cdot R_{23}}{R_{069} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{23} \cdot \eta_2} \quad (44)$$

где η_6 , η_2 – коэффициенты использования ВЭ и ГЭ» [18].

$$R_{zp} = \frac{60,962 \cdot 2,757}{60,962 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,757 \cdot 0,3} = 3,792 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Расчет заземления ГПП.

«На стороне 110 кВ режим работы нейтрали сети – эффективно заземленная, максимально допустимое сопротивление ЗУ 0,5 Ом» [10].

По формулам (37-44):

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м}$$

$$t = 3,5 / 2 + 0,8 = 2,55 \text{ м}$$

$$R_{069} = \frac{2200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5} \left[\ln\left(\frac{2 \cdot 3,5}{0,0475}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2,55 + 3,5}{4 \cdot 2,55 - 3,5}\right) \right] = 21,855 \text{ Ом}$$

$$n' = 21,855 / 0,5 = 43,7 \approx 44 \text{ ум}$$

$$l_{nep} = 2 \cdot (35 + 45) = 160 \text{ м}$$

$$a = 160 / 44 = 3,64 \text{ м}$$

$$l_2 = 1,05 \cdot 3,64 \cdot 44 = 168 \text{ м}$$

$$R_{23} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 168} \cdot \ln\left(\frac{168^2}{0,025 \cdot 0,825}\right) = 0,211 \text{ Ом}$$

$$R_{cp} = \frac{21,855 \cdot 0,211}{21,855 \cdot 0,41 \cdot 44 + 0,211 \cdot 0,21} = 0,423 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом}$$

Сопротивления ЗУ менее предельно допустимых по ПУЭ.

3.3 Экологичность проекта

«Система электроснабжения спроектирована согласно экологическим требованиям ГОСТ Р 54906-2012. Современные автоматические выключатели серии ВА изготавливаются с учетом минимализации отходов производства. Современные марки кабелей АПвП и АВБШв соответствуют требованиям ГОСТ 31996-2012 по характеристикам в нормальных и аварийных режимах работы и ГОСТ Р 54906-2012 по экологичности эксплуатации. Силовые трансформаторы ТП серии ТМГ12 не требуют обслуживания и замены масла. Монтаж системы электроснабжения выполняется с помощью современных инструментов и оборудования, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду» [20].

Вывод.

Обеспечение безопасности при монтаже и эксплуатации СЭС будут осуществляться согласно актуальным нормативным документам. Рассчитаны контуры заземления ТП и ГПП, обеспечивающие электробезопасность и надежную работу СЭС. Предлагаемые технические решения обеспечивают высокий уровень экологической безопасности.

Заключение

Разработано электроснабжение базы. Решены задачи:

- определены ожидаемые электрические нагрузки по отдельным цехам и базе в целом. Итоговые нагрузки базы составили 9767,09 кВт; 7132,01 квар; 12093,86 кВА;
- обеспечена достаточная энергоэффективность электроснабжения. На цеховых ТП будут установлены энергосберегающие силовые трансформаторы серии ТМГ12, на шинах низкого напряжения главной понизительной подстанции КРМ будет обеспечиваться двумя установками УК-10-2100 по 2100 квар и высоковольтными синхронными электродвигателями, установленными в здании компрессорной;
- выбрано оптимальное местоположение главной понизительной подстанции, для чего составлена картограмма нагрузок. ГПП вынесена в северо-восточную часть за территорию базы для удобства обслуживания и исключения прохождения высоковольтной ЛЭП по территории базы;
- выбраны трансформаторы ГПП марки ТДН-10000/110. Номинальная мощность трансформаторов соответствует ожидаемым электрическим нагрузкам и обеспечивает достаточный резерв мощности;
- выбраны марки и сечения жил силовых кабелей распределительной сети (линий 10 кВ от ГПП до цеховых ТП и линий 0,4 кВ от ТП до вводных распределительных пунктов цехов). Линии 10 кВ и 0,4 кВ будут выполнены кабелями АПвП и АВБШв соответственно. КЛ проверены по потерям напряжения, прокладка кабелей будет проводиться в траншеях;

- составлен план прокладки кабельных линий. Распределительная сеть будет выполнена по смешанной схеме как наиболее выгодной и обеспечивающей минимальную суммарную длину КЛ;
- определены токи КЗ в ключевых точках;
- выбрано электрооборудование ГПП следующих марок: ВВБ-110/2000 и ВВ/TEL-10/630, РНДЗ-110/1000, ТПЛК10-50.300/5 и ТПЛК10-600/5; ТФНД-110-75/5, НАМИ-10-95, ОПН-110/88/10/450 и ОПН-10/11,5-10/400; ячейки КРУ К-132;
- выбрано оборудование защиты силовых трансформаторов и линий распределительной сети (релейная защита и автоматика). Необходимо использовать микропроцессорные терминалы, что позволяет обеспечить требуемую надежность, селективность и быстродействие релейной защиты и автоматики (РЗА), а также проводить эффективный мониторинг режимов работы РЗА с передачей данных в общую цифровую сеть. Защита трансформаторов ГПП будет выполнена на терминалах Сириус-Т, защита линий 10 кВ и трансформаторов ТП – на терминалах Сириус-2Л-02;
- рассмотрено обеспечение безопасности и экологичности. Для надежной работы СЭС и ее безопасной эксплуатации спроектированы заземляющие устройства цеховых ТП и главной понизительной подстанции. Эквивалентные сопротивления заземляющих устройств не превышают предельно допустимые значения 0,5 Ом для заземления ГПП и 4 Ом для заземления цеховых ТП, которые регламентированы ПУЭ.

Данная СЭС базы может быть рекомендована к исполнению.

Список используемых источников

1. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. М.: Лань, 2019. 256 с.
2. ГОСТ 14209-85. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. М.: Энергия, 2022. 41 с.
3. Дубинский Г.Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением свыше 1000 В. М.: Лань, 2019. 416 с.
4. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. М.: Лань, 2020. 337 с.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие. М.: МЭИ, 2020. 412 с.
6. Кудрин Б. И. Электроснабжение. М.: Academia, 2019. 352 с.
7. Куско А. Сети электроснабжения. М.: Додэка XXI, 2021. 336 с.
8. Можаяева С.В. Экономика энергетического производства. СПб.: Лань, 2020. 208 с.
9. Охрана труда в энергетике: Учебник для техникумов / под ред. Князевского Б.А. М.: Энергия, 2019. 376 с.
10. Правила устройства электроустановок, издание 7. М.: Энергия, 2023. 648 с.
11. Проектно-техническая документация. Ремонтная база, 2023. 198 с.
12. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания. М.: Энергия, 2023. 69 с.
13. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение. М.: РадиоСофт, 2019. 328 с.
14. Смирнов А. Д., Антипов К. М. Справочная книжка энергетика. М.: Энергия, 2020. 553 с.
15. СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока 35 - 750 кВ. М. : Энергия, 2023. 135 с.

16. Твердохлебов К. И. Рекомендации по выбору проектных решений при разработке подстанций 10...500 кВ. Хабаровск 2020. 205 с.

17. Фролов Ю. М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. М.: Лань, 2019. 480 с.

18. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. М.: Энергия, 2020. 216 с.

19. Школа электрика. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения 06.05.2023).

20. Юндин М. А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению. М.: Лань, 2019. 320 с.

otlichnici.ru | info@otlichnici.ru