

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 завода по производству пластмасс

Обучающийся

А.Ю. Иванюх

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н, О.В. Самолина

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

Тольятти 2023

Аннотация

Выпускная квалифицированная работа 48 с., 10 рис., 14 табл., 20 источник.

Ключевые слова: завод, электроснабжение, нагрузка, потребитель, электрооборудование, надежность, безопасность.

Выполняется проектирование системы электроснабжения (СЭС) завода.

Объект исследования: завод по производству пластмасс.

Предмет исследования: электроснабжение завода.

Цель работы: разработка предложений по электроснабжению предприятия.

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 по предприятию, разработка электроснабжения завода, выбор электрооборудования ГПП, расчет заземления цеховых ТП и ГПП.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходные данные по предприятию.....	6
1.1 Характеристика предприятия.....	6
1.2 Генплан предприятия, характеристики участков.....	7
2 Разработка электроснабжения завода.....	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.....	30
2.7 Электрооборудование ГПП.....	35
2.8 Релейная защита.....	38
2.9 Заземление цеховых ТП и ГПП.....	40
Заключение.....	45
Список используемых источников.....	47

Введение

Выполняется разработка системы электроснабжения (СЭС) завода по производству пластмасс.

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: завод по производству пластмасс.

Предмет исследования: электроснабжение завода.

Цель работы: разработка предложений по электроснабжению предприятия.

Задачи работы:

- в соответствии с проектно-технической документацией по рассматриваемому предприятию, необходимо определить ожидаемые электрические нагрузки по отдельным цехам и заводу 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;
- 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 по предприятию

1.1 Характеристика предприятия

«Основной технологический процесс предприятия – производство пластмасс различных типов и изготовление пластиковых конструкций. На территории предприятия будет расположено 19 производственных участков (ПУ), в основных ПУ будет установлено современное оборудование по выпуску отдельных частей, сборке и финальной подготовке пластиковых конструкций.

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

Основные ПУ:

- производственные цеха;
- хранилища;
- склад;
- компрессорная;
- котельная;
- насосная;
- гараж;
- заводоуправление.

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 предприятия» [11].

1.2 Генплан предприятия, характеристики участков

«Генплан предприятия – на рисунке 1.

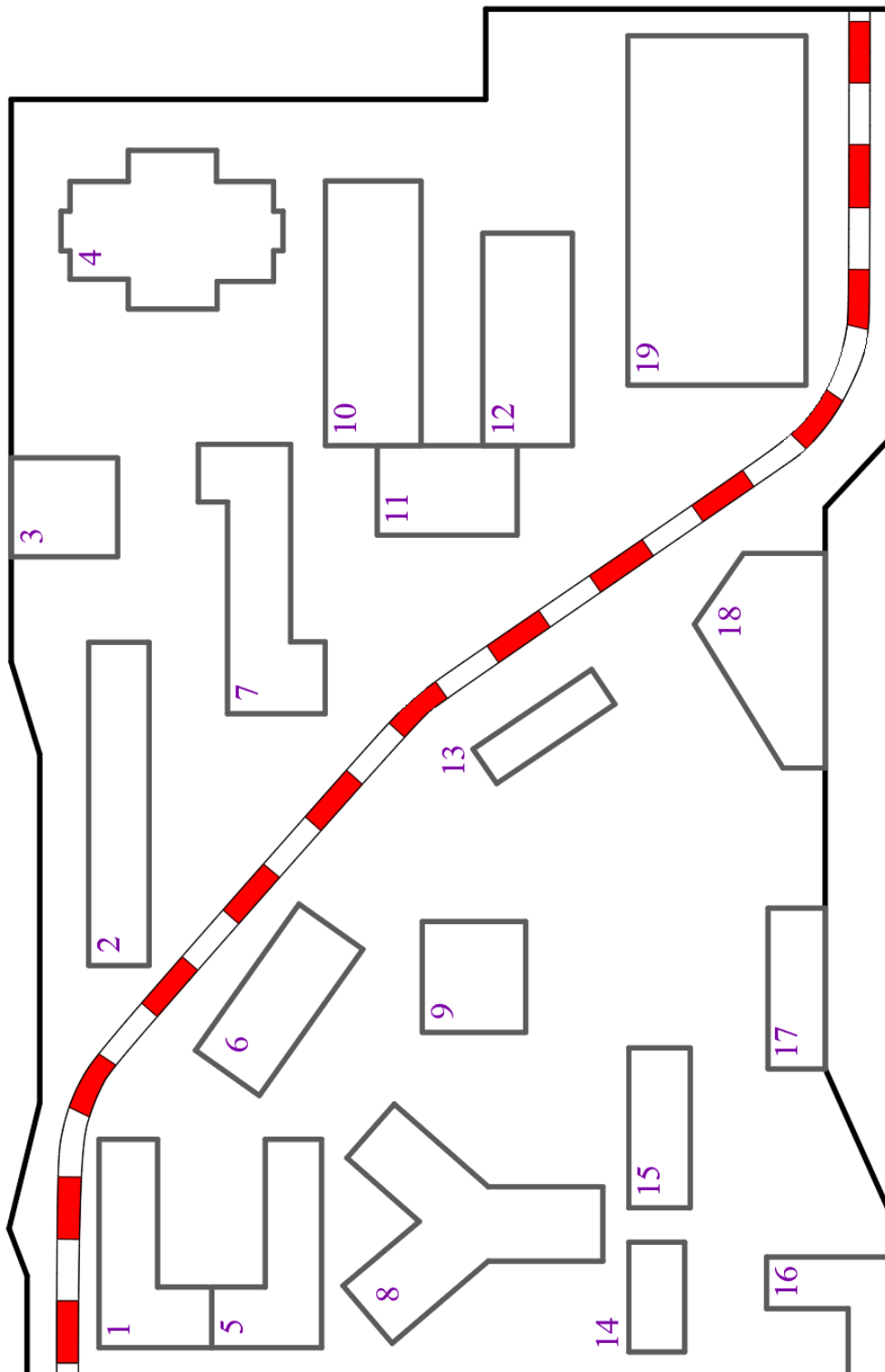


Рисунок 1 – Генплан предприятия

ПУ и их характеристики электропотребления – в таблице 1.

Таблица 1 – ПУ и их характеристики

Номер на генплане	Цеха	$\Sigma P_{ном}$, кВт	cosφ	Kс
1	Цех сырья №1	505	0,7	0,4
2	Цех переработки №1	647	0,75	0,5
3	Цех переработки №2	352	0,72	0,4
4	Хранилище	125	0,9	0,2
5	Цех сырья №2	1204	0,7	0,4
6	Хранилище	169	0,9	0,2
7	Цех пластмасс №1	841	0,75	0,4
8	Цех полистирола	792	0,74	0,4
9	Цех пенопласта	361	0,75	0,5
10	Хранилище	140	0,88	0,2
11	Механический цех	187	0,71	0,5
12	Цех экструзии	940	0,75	0,4
13	Компрессорная, СД 10 кВ	2000	0,8	0,7
14	Склад	48	0,88	0,2
15	Котельная	438	0,75	0,8
16	Насосная	546	0,78	0,7
17	Гараж	86	0,9	0,3
18	Заводоуправление	438	0,8	0,3
19	Цех пластмасс №2	1210	0,75	0,5

Электроснабжение предприятия будет выполнено по двум вводам ВЛ 110 кВ от подстанции ПС 110/10 кВ энергосистемы, расположенной на расстоянии 13,7 км. Марка проводов двухцепной ВЛ 110 кВ – АС-70/11» [11]. Категории надёжности электроснабжения ПУ – в таблице 2.

Таблица 2 – Категории надёжности электроснабжения ПУ

Участки	Категория.
Цех сырья №1	II
Цех переработки №1	
Цех переработки №2	
Хранилище	III
Цех сырья №2	II
Хранилище	III
Цех пластмасс №1	II
Цех полистирола	
Цех пенопласта	
Хранилище	III
Механический цех	II
Цех экструзии	
Компрессорная, СД 10 кВ	I
Склад	III
Котельная	I
Насосная	
Гараж	II
Заводоуправление	III
Цех пластмасс №2	II

Вывод.

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

2 Разработка электроснабжения завода

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 сырья №1, по (1-3):

$$P_c = 0,4 \cdot 505 = 202 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 202 \cdot 1,02 = 206,08 \text{ квар};$$

$$S_c = \sqrt{202^2 + 206,08^2} = 288,57 \text{ кВА}.$$

Результаты расчетов сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Нагрузки предприятия

Цеха	$\Sigma P_{ном}$, кВт	tgφ	Kс	Среднесменные нагрузки		
				Pс, кВт	Qс, квар	Sc, кВА
Цех сырья №1	505	1,02	0,4	202	206,08	288,57
Цех переработки №1	647	0,88	0,5	323,5	285,30	431,33
Цех переработки №2	352	0,96	0,4	140,8	135,71	195,56
Хранилище	125	0,48	0,2	25	12,11	27,78
Цех сырья №2	1204	1,02	0,4	481,6	491,33	688,00
Хранилище	169	0,48	0,2	33,8	16,37	37,56
Цех пластмасс №1	841	0,88	0,4	336,4	296,68	448,53
Цех полистирола	792	0,91	0,4	316,8	287,95	428,11
Цех пенопласта	361	0,88	0,5	180,5	159,19	240,67
Хранилище	140	0,54	0,2	28	15,11	31,82
Механический цех	187	0,99	0,5	93,5	92,74	131,69
Цех экструзии	940	0,88	0,4	376	331,60	501,33
Компрессорная, СД 10 кВ	2000	0,75	0,7	1400	0	1400
Склад	48	0,54	0,2	9,6	5,18	10,91
Котельная	438	0,88	0,8	350,4	309,02	467,20
Насосная	546	0,8	0,7	382,2	306,63	490,00
Гараж	86	0,48	0,3	25,8	12,50	28,67
Заводоуправление	438	0,75	0,3	131,4	98,55	164,25
Цех пластмасс №2	1210	0,88	0,5	605	533,56	806,67
Σ	-	-	-	5442,3	3595,6	6522,81

«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):.

$$P_{po} = 3,8 \cdot 0,85 \cdot 3324 = 10,74 \text{ кВт}$$

$$Q_{po} = 10,74 \cdot 0,88 = 9,45 \text{ квар}$$

С освещением:

$$P_p' = 202 + 10,74 = 212,74 \text{ кВт};$$

$$Q_p' = 206,08 + 9,45 = 215,53 \text{ квар};$$

$$S_p' = \sqrt{212,74^2 + 215,53^2} = 302,84 \text{ кВА}.$$

Нагрузки ПУ сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Нагрузки ПУ

Участки	Рр', кВт	Qp', квар	Sp', кВА
Цех сырья №1	212,74	215,53	302,84
Цех переработки №1	336,38	296,64	448,50
Хранилище	30,42	16,88	34,79
Цех сырья №2	492,34	500,78	702,26
Хранилище	37,56	19,68	42,40
Цех пластмасс №1	348,64	307,45	464,84
Цех полистирола	331,10	300,53	447,16
Цех пенопласта	188,07	165,85	250,75
Механический цех	101,75	100,00	142,67
Цех экструзии	388,58	342,67	518,09
Компрессорная	1404,45	3,92	1404,46
Склад	11,26	6,64	13,07
Котельная	357,26	315,06	476,34
Насосная	388,44	312,12	498,30
Гараж	32,23	18,15	36,99
Заводоуправление	146,62	111,94	184,47
Цех пластмасс №2	646,03	569,67	861,32
∑ по цехам	5636,43	3766,44	6779,04
Территория	47,93	42,18	-
∑	5684,36	3808,62	6842,34

Как видно из таблицы, наибольшей расчетной мощностью обладает компрессорная, наименьшей - склад.

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

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

Расчет координат ЦЭН – в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет координат ЦЭН

Цеха	X _i , м	Y _i , м	Sp, кВА	Sp·X _i , кВА	Sp·Y _i , кВА
Цех сырья №1	55	287,5	302,8	16656,0	87065,4
Цех переработки №1	167,5	310	448,5	75123,0	139033,6
Цех переработки №2	167,5	310	204,8	34303,7	63487,5
Хранилище	270	287,5	34,8	9394,0	10002,8
Цех сырья №2	420	300	702,3	294950,7	210679,1
Хранилище	55	210	42,4	2332,2	8904,9
Цех пластмасс №1	55	167,5	464,8	25566,1	77860,3
Цех полистирола	55	130	447,2	24593,6	58130,2
Цех пенопласта	197,5	220	250,7	49522,6	55164,4
Хранилище	197,5	220	40,7	8043,1	8959,4
Механический цех	302,5	182,5	142,7	43157,0	26036,8
Цех экструзии	400	195	518,1	207234,6	101026,9
Компрессорная	97,5	65	1404,5	136934,6	91289,7
Склад	272,5	65	13,1	3560,8	849,4
Котельная	207,5	115	476,3	98840,2	54778,9
Насосная	410	65	498,3	204302,7	32389,5
Гараж	20	17,5	37,0	739,8	647,3
Заводоуправление	240	12,5	184,5	44272,6	2305,9
Цех пластмасс №2	240	12,5	861,3	206717,3	10766,5
Σ			6842	1486244	1039378
Координаты ЦЭН	X, м	Y, м	-	-	-
	217,2	151,9	-	-	-

Например, для ПУ №1, по (6,7):

$$R = \sqrt{\frac{302,8}{0,5 \cdot 3,14}} = 13,89 \text{ м}$$

$$\alpha = 360 \cdot 14,32 / 302,8 = 17^{\circ}$$

Расчеты сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет картограммы нагрузок

Цеха	R, м	α	Soc, кВА
Цех сырья №1	13,9	17,0	14,32
Цех переработки №1	16,9	13,8	17,18
Цех переработки №2	11,4	16,3	9,26
Хранилище	4,7	74,8	7,23
Цех сырья №2	21,1	7,3	14,32
Хранилище	5,2	42,6	5,01
Цех пластмасс №1	17,2	12,6	16,32
Цех полистирола	16,9	15,4	19,07
Цех пенопласта	12,6	14,5	10,09
Хранилище	5,1	80,4	9,10
Механический цех	9,5	27,8	11,01
Цех экструзии	18,2	11,7	16,77
Компрессорная	29,9	1,5	5,94
Склад	2,9	60,8	2,21
Котельная	17,4	6,9	9,15
Насосная	17,8	6,0	8,32
Гараж	4,9	83,4	8,57
Заводоуправление	10,8	39,6	20,29
Цех пластмасс №2	23,4	22,9	54,71

Картограмма нагрузок – на рисунке 2.

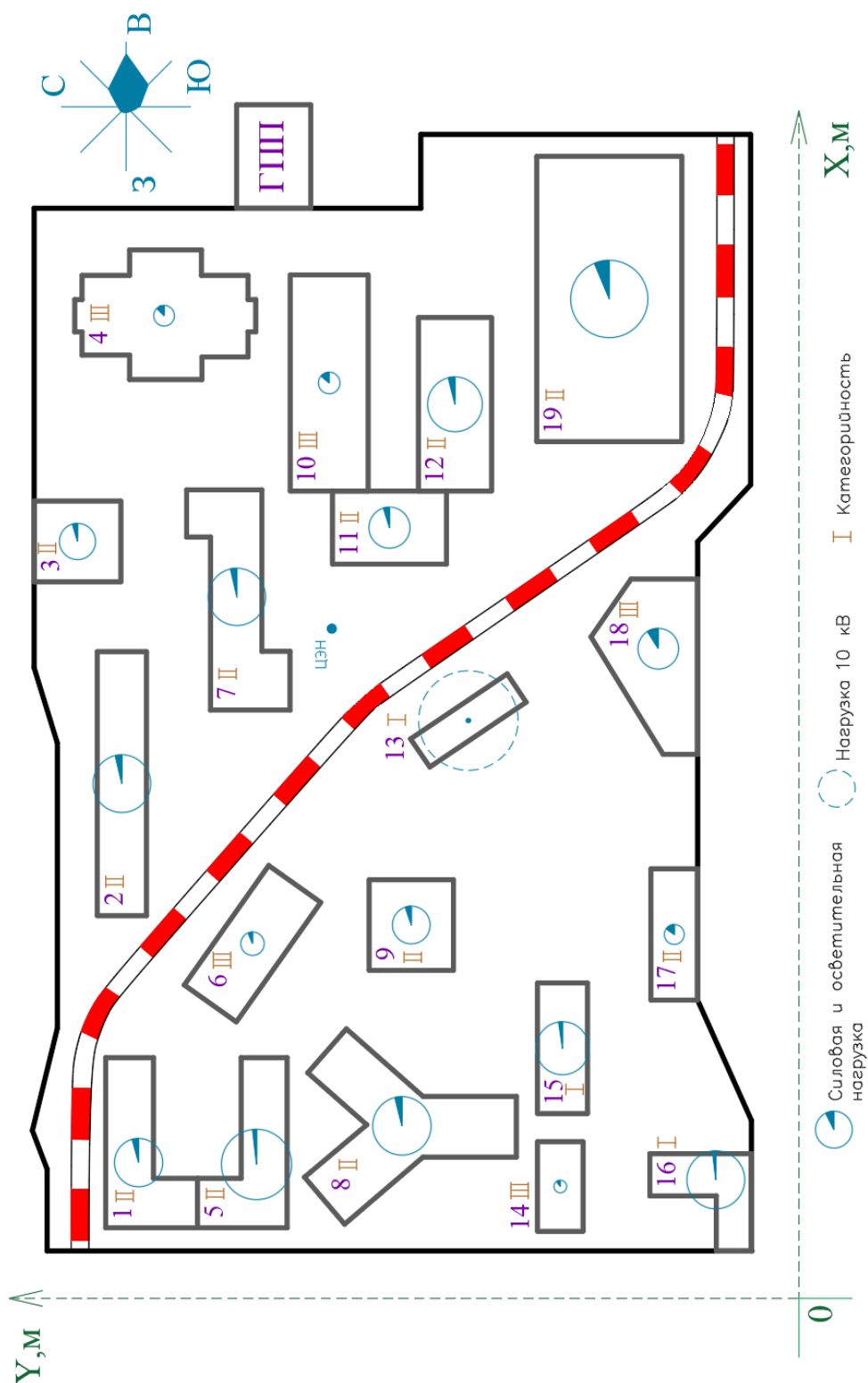


Рисунок 2 – Картограмма нагрузок

Как видно из рисунка, местоположение ГПП обеспечено таким образом, чтобы обеспечить удобные подъездные пути.

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 потребителей, 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» [17]:

$$Q_{HH} = Q_p - Q_{БК} \quad (12)$$

Для ТП-1, по (9):

$$S_o = \frac{302,84}{0,7 \cdot 2} = 216,3 \text{ кВА}$$

Устанавливается два ТМГ12-250/10.

«Выбор трансформаторов – в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор трансформаторов ТП

Подстанции	Зона охвата, № цехов	S_o , кВА	Ст, кВА (ТМГ12)
ТП-1	1	216,3	250
ТП-2	2	320,4	400
ТП-5	5	501,6	630
ТП-7	7,3,4	502,5	630
ТП-8	8,14	328,5	400
ТП-9	9,6, освещ. 13	212,9	250
ТП-12	12,11,10	500,5	630
ТП-15	15,17	366,1	400
ТП-16	16	355,9	400
ТП-19	19,18, освещ. терр.	792,3	1000

Расчет КРМ на ТП-1 по (10,11)» [17]:

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 250)^2 - 212,74^2} = 277,9 \text{ квар}$$

$$Q_{0,4} = 215,53 - 277,9 = -62,4 \text{ квар}$$

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

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

$$K_n = \frac{302,84}{250} = 1,21 \leq 1,4$$

Расчет КРМ на ТП – в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет КРМ на ТП

Подстанции	Q _{0,4} , квар	K _п
ТП-1	-62,4	1,21
ТП-2	-151,1	1,12
ТП-5	-231,0	1,11
ТП-7	-241,2	1,12
ТП-8	-136,0	1,15
ТП-9	-74,3	1,19
ТП-12	-244,8	1,11
ТП-15	-69,2	1,28
ТП-16	-91,3	1,25
ТП-19	-395,8	1,11

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:

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

где ΔP_{κ} – потери КЗ, кВт;

n – число трансформаторов, шт;

S_n – номинальная мощность, кВА;

ΔP_{xx} – потери ХХ, кВт.

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

где U_{κ} – напряжение КЗ, %;

I_{xx} – ток ХХ, %» [20].

Для ТП-1, по (14,15):

$$\Delta P_m = \frac{3,25}{2} \cdot \frac{212,7^2 + 215,5^2}{250^2} + 2 \cdot 0,425 = 3,23 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \frac{4,5}{2 \cdot 100} \cdot \frac{212,7^2 + 215,5^2}{250^2} + \frac{2 \cdot 0,9}{100} \cdot 250 = 12,75 \text{ квар}$$

«Нагрузка ТП с учетом потерь – в таблице 9.

Таблица 9 – Нагрузка ТП с учетом потерь

Подстанции	ΔP , кВт	ΔQ , квар	$P_p + \Delta P$, кВт	$Q_p + \Delta Q$, квар
ТП-1	3,23	12,75	215,97	228,28
ТП-2	4,15	17,71	340,54	314,35
ТП-5	5,79	30,35	498,13	531,13
ТП-7	5,81	30,42	532,62	496,57
ТП-8	4,30	18,30	346,66	325,47
ТП-9	3,16	12,49	233,24	201,94
ТП-12	5,77	30,25	530,93	494,03
ТП-15	5,04	21,18	394,53	354,39
ТП-16	4,83	20,37	393,27	332,49
ТП-19	8,66	45,84	849,24	769,63
Σ	50,75	239,66	5735,11	4048,28

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].

$$Q_{10} = 3808,62 + 239,66 = 4048,28 \text{ квар}$$

«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].

$$P_{\text{сумм}} = 5684,36 + 50,75 = 5735,11 \text{ кВт}$$

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

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

где 2 – число секций шин, шт;

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

Q_c – РМ, получаемая от синхронных двигателей, квар;

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

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

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].

$$\Delta Q_m = \frac{10,5}{2 \cdot 100} \cdot \frac{5735,11^2 + 4048,28^2}{6300^2} + \frac{2 \cdot 0,7}{100} \cdot 6300 = 770,68 \text{ квар}$$

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

$$Q_{\text{кв}} / 2 = \frac{4048,28 + 770,68 - 0,33 \cdot 5684,34 - 1452,63}{2} = 745,2 \text{ квар}$$

Устанавливается две батареи по 750 квар.

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

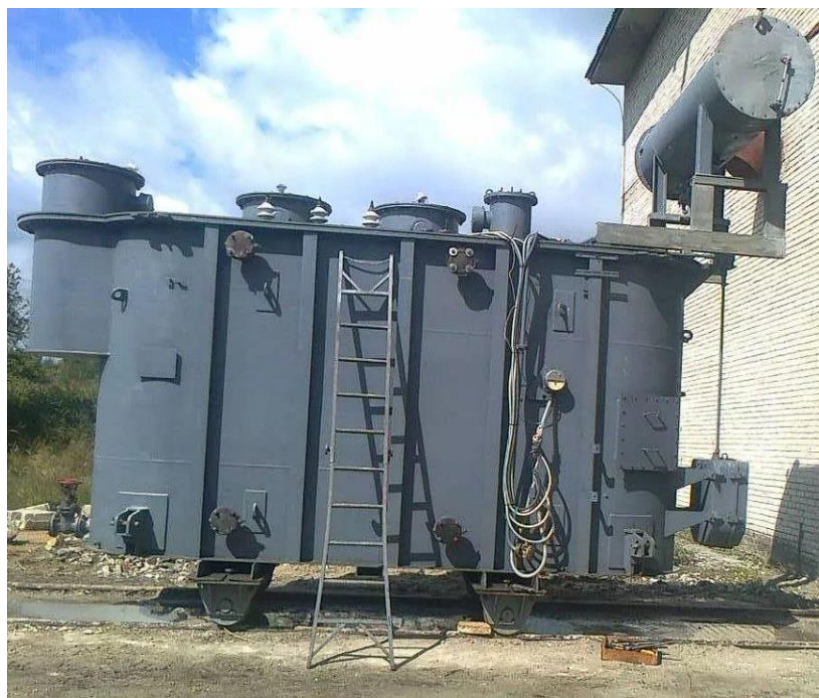


Рисунок 3 – Трансформатор ТМН-6300/110

Нагрузки после КРМ:

$$Q_{\text{рк}} = 4048,28 - 2 \cdot 750 = 2548,28 \text{ квар}$$

$$P_{\text{рк}} = P_{\text{сумм}} = 5735,11 \text{ кВт}$$

«Полная нагрузка ГПП:

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

где k_{pma} и k_{pmp} – коэффициенты разновременности нагрузок» [8].

$$S_p = \sqrt{(0,95 \cdot 5735,11)^2 + (0,95 \cdot 2548,28)^2} = 5961,98 \text{ кВА}$$

Послеаварийная перегрузка, по (13):

$$K_n = \frac{5961,98}{6300} = 0,95 < 1,4$$

Потери мощности, по (14,15):

$$\Delta P_m = \frac{44}{2} \cdot \frac{5448,35^2 + 2420,87^2}{6300^2} + 2 \cdot 11,5 = 60,93 \text{ кВт}$$

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

Итого нагрузка ГПП по ВН:

$$S_p = \sqrt{(5448,35 + 60,93)^2 + (2420,87 + 671,11)^2} = 6317,64 \text{ кВА}$$

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» [8].

План прокладки КЛ – на рисунке 4.

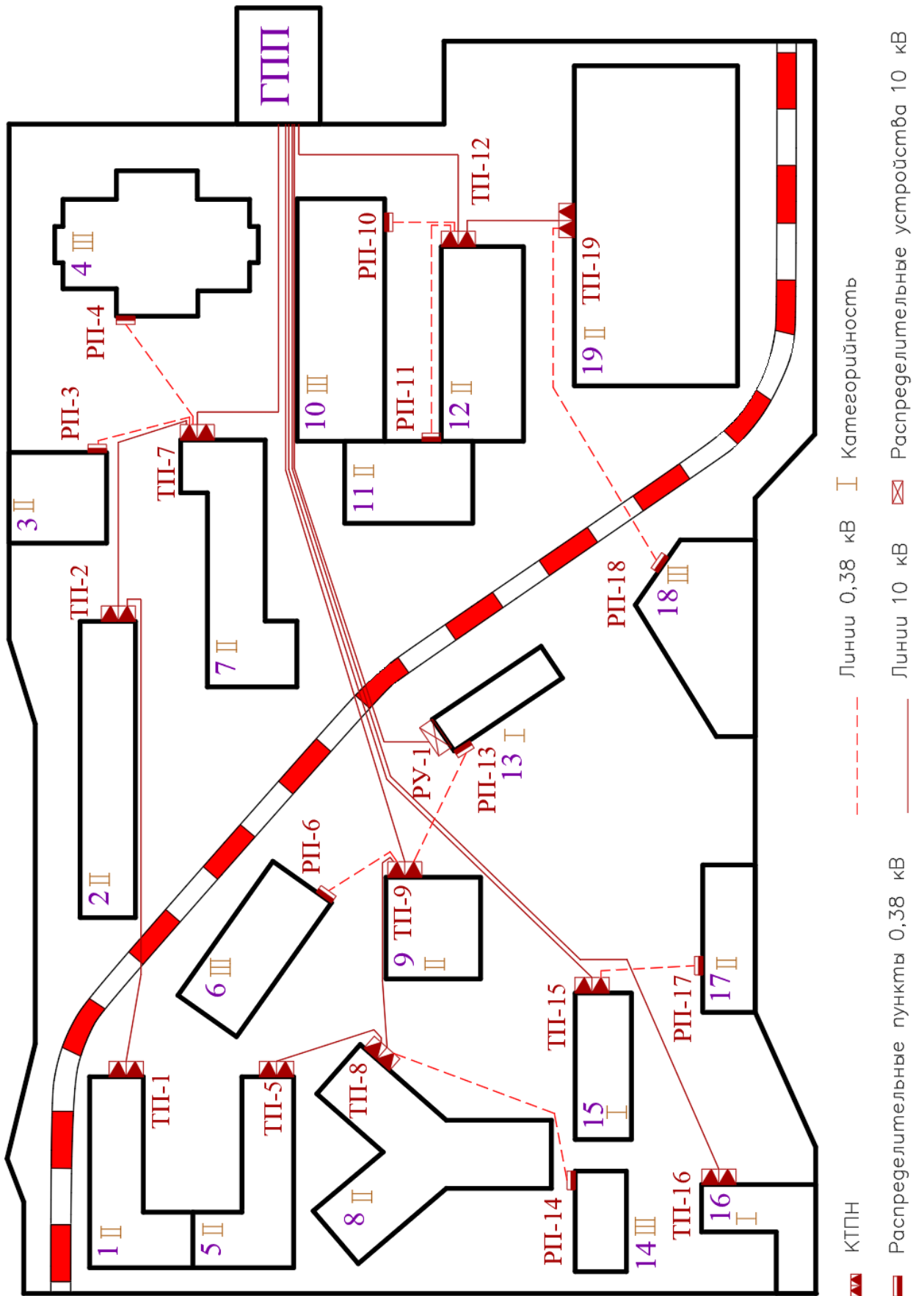


Рисунок 4 – План прокладки КЛ

Расчет для КЛ до ТП-7.

«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].

$$I_p = \frac{1505,9}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 43,5 \text{ A}$$

$$I_{ав} = \frac{1505,9}{\sqrt{3} \cdot 10} = 86,9 \text{ A}$$

«Экономическое сечение жил:

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

где $j_{эк}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [8].

$$F_{эк} = \frac{43,5}{1,4} = 31 \text{ мм}^2$$

Выбирается сечение 35 мм², $I_{дон} = 98 \text{ A}$.

Выбор кабелей 10 кВ – в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор кабелей 10 кВ

КЛ	I _{ав} , А	сечение жил, мм ²	I _{доп} , А
ГПП--ТП-7	86,9	35	98

Продолжение таблицы 10

КЛ	Iав, А	сечение жил, мм ²	Iдоп, А
ТП-7--ТП-2	44,9	16	64
ТП-2--ТП-1	18,1		
ГПП--ТП-9	87,3	35	98
ТП-9--ТП-8	69,5	25	77
ТП-8--ТП-5	42,0	16	64
ГПП--ТП-12	108,0	50	119
ТП-12--ТП-19	66,2	25	77
ГПП--ТП-15	30,6	16	64
ГПП--ТП-16	29,7		
ГПП--РУ-1	101,0	35	98

«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].

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot 86,9 \cdot 0,188 \cdot 100}{400} (0,89 \cdot 0,841 + 0,1 \cdot 0,54) = 0,05 \%$$

«Согласно ПУЭ, потери напряжения не должны превышать 5 %, потери меньше допустимых 5 %» [10].

Проверка КЛ 10 кВ – в таблице 11.

Таблица 11 – Проверка КЛ 10 кВ

КЛ	го, Ом/км	хо, Ом/км	ΔU, %
ГПП--ТП-7	0,89	0,1	0,05
ТП-7--ТП-2	1,95	0,11	0,36
ТП-2--ТП-1			0,29
ГПП--ТП-9	0,89	0,1	1,00
ТП-9--ТП-8	1,24	0,1	0,29
ТП-8--ТП-5	1,95	0,11	0,16
ГПП--ТП-12	0,63	0,09	0,31
ТП-12--ТП-19	1,24	0,1	0,14
ГПП--ТП-15	1,95	0,11	0,97
ГПП--ТП-16			1,25
ГПП--РУ-1	0,89	0,1	1,04

Выбор кабеля 0,4 кВ до РПЗ.

Расчётный ток, по (22):

$$I_p = \frac{204,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 311,2 \text{ A}$$

Принимаем кабель АВБШв 4x150 мм², $I_{дон} = 335 \text{ A}$.

Потери напряжения в КЛ, по (24):

$$\Delta U_{\lambda} = \frac{\sqrt{3} \cdot 155,6 \cdot 0,052 \cdot 100}{380} (0,206 \cdot 0,878 + 0) = 0,16 \%$$

«Потери напряжения не превышают допустимые 5%» [10].

Выбор кабелей 0,4 кВ – в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор кабелей 0,4 кВ

КЛ	Сечение АВБШв, мм ²	Идоп, А	ΔU,%
ТП7- РП3	4x150	335	0,16
ТП7- РП4	4x6	55	1,23
ТП12- РП10	4x10	75	2,07
ТП12- РП11	4x70	220	1,70
ТП9- РП6	4x10	75	2,55
ТП9- РП13	4x4	42	0,61
ТП8- РП14			0,90
ТП15- РП17	4x10	75	1,34
ТП19- РП18	4x120	300	2,68

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 5.

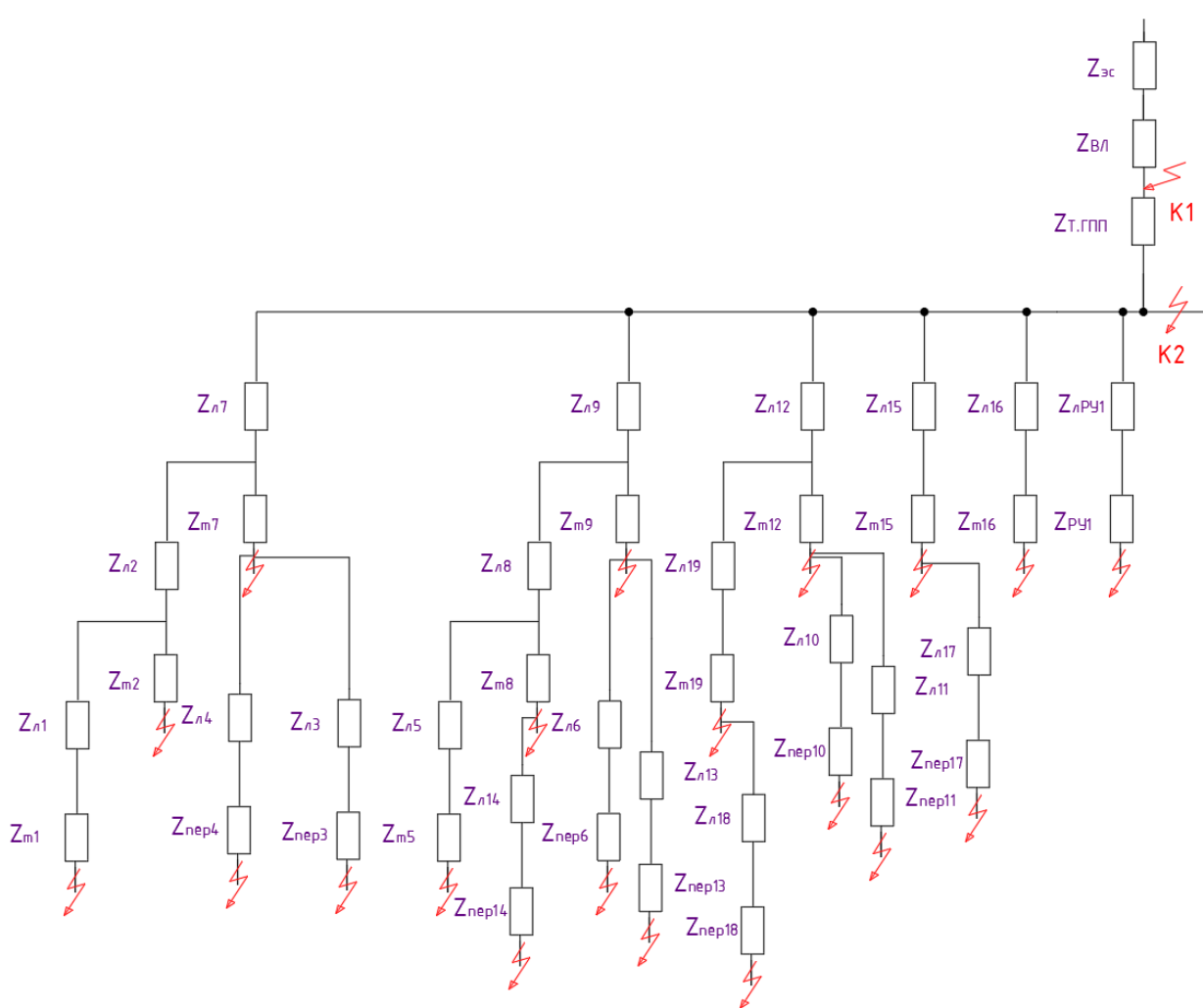


Рисунок 5 – Схема замещения

«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.

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

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-7.

Сопротивления элементов:

- трансформаторов ГПП, по (26-28):

$$R_m = \frac{44000 \cdot 110^2}{6300^2} \cdot (10 / 110)^2 = 0,111 \text{ Ом}$$

$$Z_m = \frac{10,5 \cdot 110^2}{100 \cdot 6,3^2} \cdot (10 / 110)^2 = 1,667 \text{ Ом}$$

$$X_m = \sqrt{1,667^2 - 0,111^2} = 1,663 \text{ Ом}$$

- трансформатора ТП, по (26-28):

$$R_m = \frac{3250 \cdot 10^2}{250^2} = 5,2 \text{ Ом}$$

$$Z_m = \frac{4,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 0,25^2} = 18 \text{ Ом}$$

$$X_m = \sqrt{18^2 - 5,2^2} = 17,233 \text{ Ом}$$

- ВЛ 110 кВ:

$$R_{вл} = 1480 \cdot \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 24,29 \text{ мОм}$$

$$X_{вл} = 1532 \cdot \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 25,14 \text{ мОм}$$

«Эквивалентные сопротивления цепи, с учетом переходного сопротивления, сопротивления трансформаторов и линий» [12]:

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

$$\Sigma r = 24,29 + 111 + 83,55 + 1701 = 1920 \text{ мОм}$$

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

$$\Sigma x = 25,14 + 1663 + 9,39 + 8563 = 10260 \text{ мОм}$$

$$z = \sqrt{1920^2 + 10260^2} = 10438 \text{ мОм}$$

По формулам (28–32):

$$I'' = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 10438} = 0,553 \text{ кА}$$

$$T_a = 10260 / (314 \cdot 1920) = 0,017$$

$$\kappa_y = 1 + e^{\frac{0,01}{0,017}} = 1,556$$

$$I_y = 0,553 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,556 - 1)^2} = 0,704 \text{ кА}$$

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,553 = 0,479 \text{ кА}$$

Результаты расчетов – в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчетов токов КЗ

место КЗ	$I^{(3)}_{кз}$, кА	I_y , кА	$I^{(2)}_{кз}$, кА
ГПП--ТП-7	0,553	0,704	0,479
ТП-7--ТП-2	0,446	0,533	0,387
ТП-2--ТП-1	0,553	0,692	0,479
ГПП--ТП-9	0,553	0,698	0,479
ТП-9--ТП-8	0,447	0,535	0,387
ТП-8--ТП-5	0,294	0,339	0,254

Продолжение таблицы 13

место КЗ	$I^{(3)}_{кз}, \text{кА}$	$I_y, \text{кА}$	$I^{(2)}_{кз}, \text{кА}$
ГПП--ТП-12	0,555	0,710	0,480
ТП-12--ТП-19	0,447	0,537	0,387
ГПП--ТП-15	0,443	0,516	0,384
ГПП--ТП-16	0,628	0,864	0,544
ГПП--РУ-1	0,571	0,773	0,495
Точка К2	8,1	11,6	7,01
Точка К1	9,7	14,2	8,4

С учетом токов КЗ выбирается ЭО для ГПП,

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 $i_{пр.с}$ – сквозной ток КЗ, кА;

i_y – ударный ток КЗ, кА.

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

где I_m – ток термической стойкости, кА;

t_m – время протекания тока, с;

B_k – тепловой импульс, кА²/с.

Условия выбора разъединителей» [14]:

$$U_{н.апп.} \geq U_{н.уст.}$$

$$I_{н.апп.} \geq I_{раб.мах.}$$

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

$$i_{дин} \geq i_y.$$

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} , кВ	110	110	110	10	10
I _{ном} , А	33,2	2000	2000	344,2	630
I _{н.откл.} , кА	9,7	31,5	20	8,1	20
B _к , кА ² ·с	12,1	3600	1200	7,6	1200
i _{дин} , кА	14,2	40	40	11,6	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)» [10]: на фидерах 10 кВ: ТПЛК10-20..150/5; на вводах ЗРУ 10 кВ: ТПЛК10-400/5; на ОРУ 110 кВ: ТФНД-110 – 50/5.

Проверка ТТ в режиме КЗ:

- в ЗРУ 10 кВ:

По динамической стойкости: $i_{дин} = 74,5 \text{ кА} \geq i_{уд} = 11,6 \text{ кА}$,

По термической стойкости: $I_m^2 \cdot t_m = 2900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_k = 7,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$.

- на ОРУ 110 кВ:

$i_{дин} = 42 \text{ кА} \geq i_{уд} = 14,2 \text{ кА}$

$I_m^2 \cdot t_m = 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_k = 12,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

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

$U_{ном} \geq U_{уст}$

$S_{ном} \geq S_{2\Sigma}$.

Принимаем ТН типа НАМИ-10-95.

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

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

ТТ и ТН проходят проверку.

Выбираются КРУ К-132/630 А, внешний вид – на рисунке 6.



Рисунок 6 – Ячейки КРУ

Защита ЭО обеспечивается терминалами релейной защиты (РЗ).

2.8 Релейная защита

«РЗ трансформаторов ГПП – на терминалах Сириус-Т, схема РЗ – на рисунке 7.

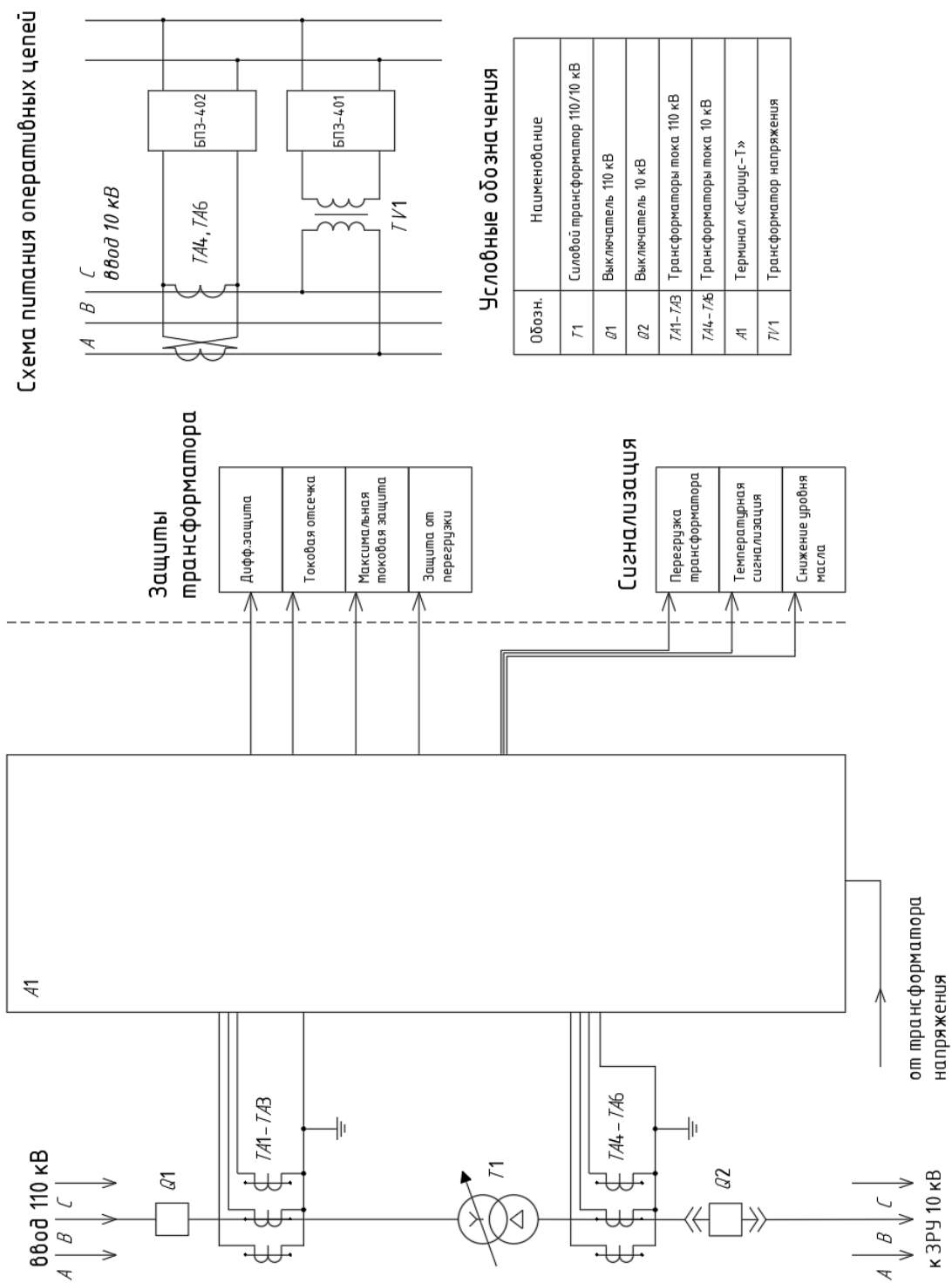


Рисунок 7 – Схема РЗ трансформаторов ГПП

РЗ КЛ 10 кВ – на терминалах Сириус-2Л-02, схема РЗ – на рисунке 8.

Схема питания оперативных цепей

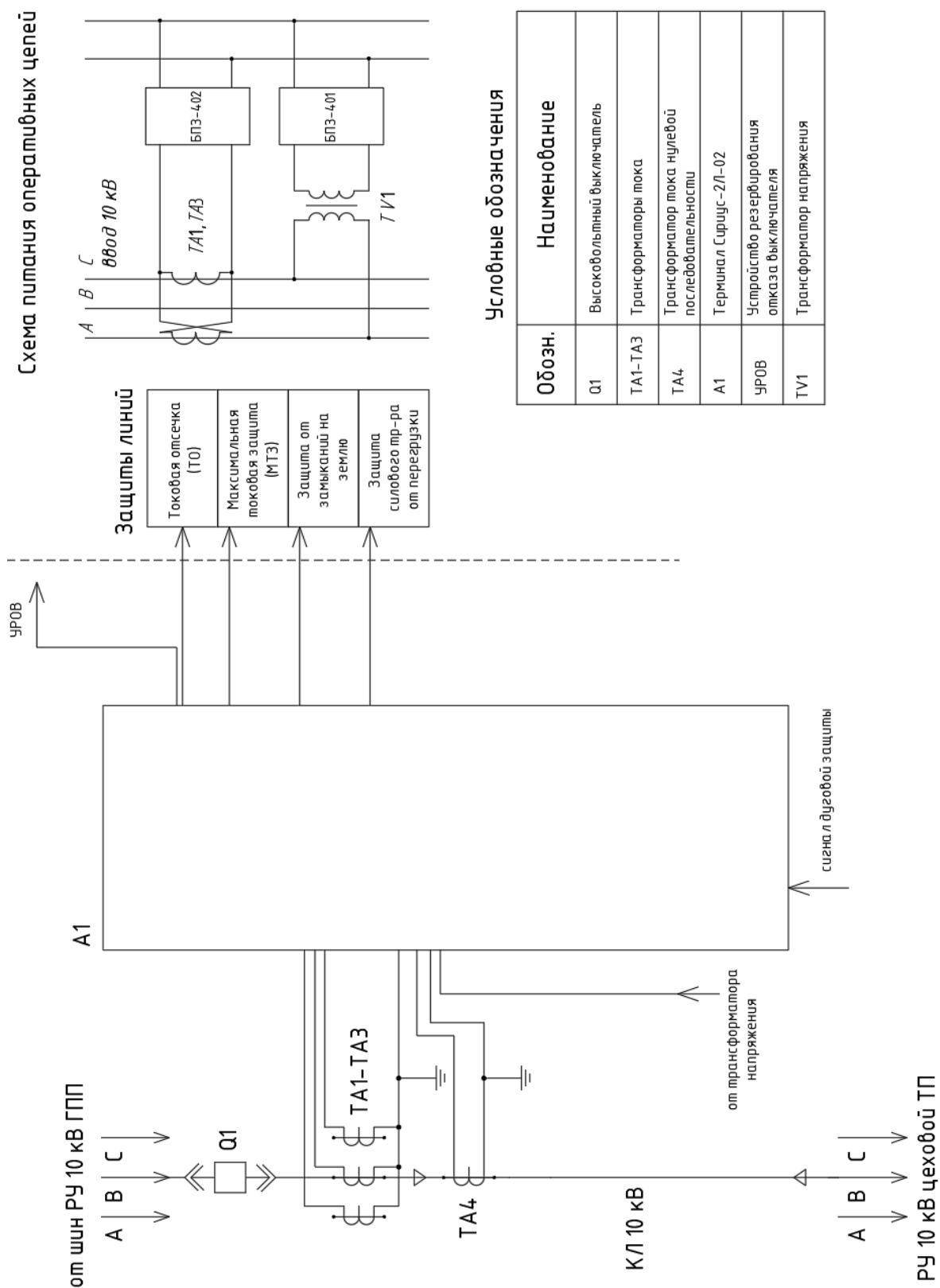


Рисунок 8 – Схема РЗ линий 10 кВ

Внешний вид терминалов РЗ – на рисунке 9.



Рисунок 9 – Внешний вид терминалов РЗ

Уставки защит задаются программно» [1].

2.9 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].

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

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

«Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50х50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50х5 мм.

Сопротивление растеканию для одного ВЭ:

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

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:

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

$$t = 3/2 + 0,8 = 2,3 \text{ м}$$

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

«Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{овэ} / R_n \quad (39)$$

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:

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

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

где b – ширина полосы, м» [20].

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

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

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

Схема заземления ТП – на рисунке 10.

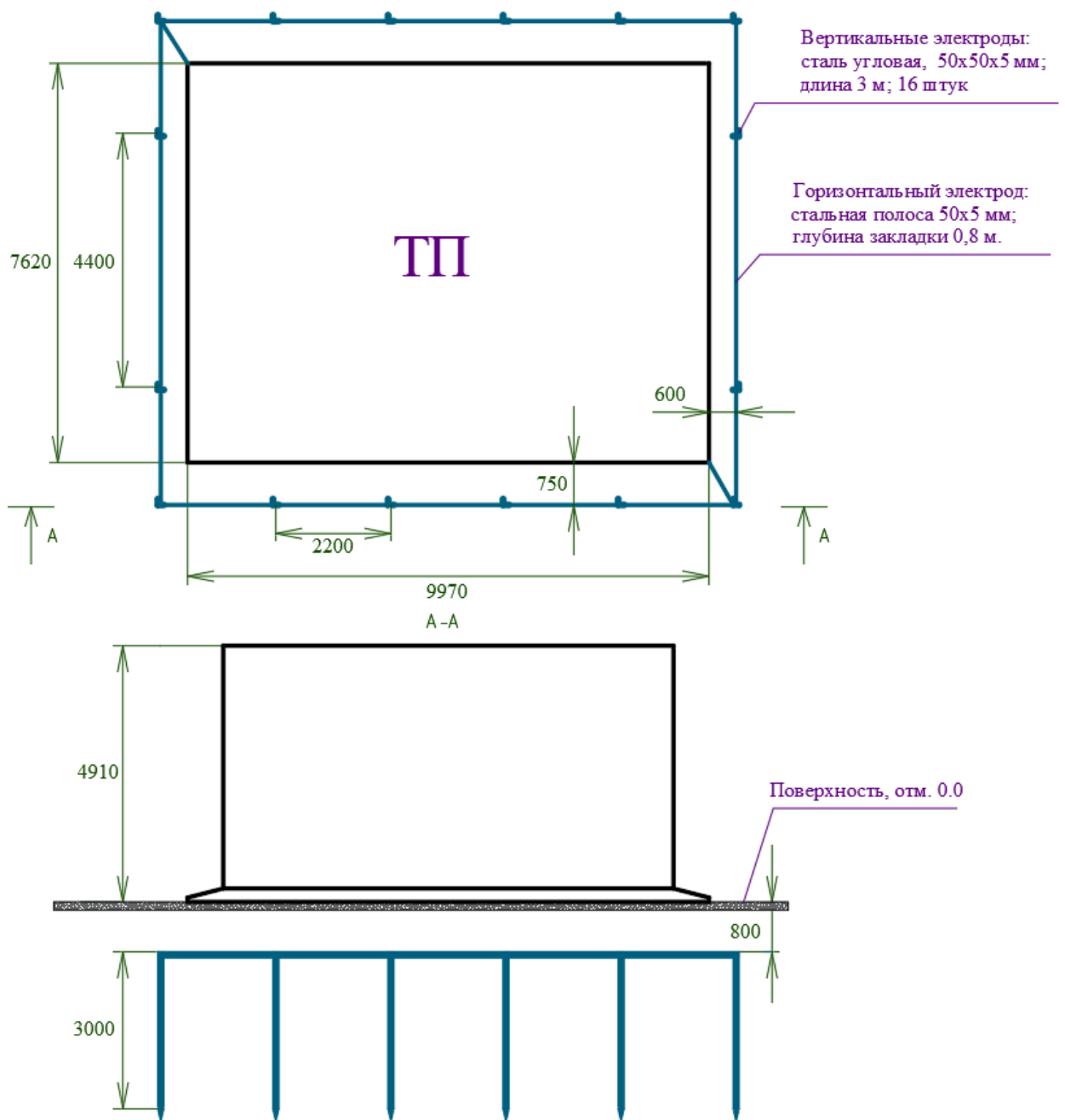


Рисунок 10 – Схема заземления ТП

«Сопротивление ЗУ:

$$R_{зп} = \frac{R_{обэ} \cdot R_{гэ}}{R_{обэ} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{гэ} \cdot \eta_2} \quad (44)$$

где η_6 , η_2 – коэффициенты использования ВЭ и ГЭ» [10].

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

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):

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

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

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

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

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

$$a = 160 / 44 = 3,64 \text{ м}$$

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

$$R_{z3} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 168} \cdot \ln \left(\frac{168^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 0,211 \text{ Ом}$$

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

Сопротивления ЗУ менее предельно допустимых по ПУЭ.

Вывод.

Согласно актуальным требованиям к СЭС разработано электроснабжение завода по производству пластмасс. Выбрано современное оборудование СЭС. Предложенные решения по электроснабжению предприятия обеспечат его надежную работу и безопасную эксплуатацию СЭС.

Заключение

Разработано электроснабжение завода по производству пластмасс.

Решены задачи:

- определены ожидаемые электрические нагрузки по отдельным цехам и заводу в целом. Итоговые нагрузки предприятия составили 5509,29 кВт; 3091,97 квар; 6317,64 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-10-750 по 750 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 предприятия для удобства обслуживания и исключения прохождения высоковольтной ЛЭП по территории завода;
- выбраны трансформаторы ГПП марки ТМН-6300/110. 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, ТПЛК10-20..150/5 и ТПЛК10-400/5; ТФНД-110 – 50/5, НАМИ-10-95, ОПН-110/88/10/450-У1 и ОПН-10/11,5-10/400-У1; 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;
- 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 завода может быть рекомендована к исполнению.

Список используемых источников

1. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 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.: Солон-Пресс, 2019. 416 с.
4. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. М.: Энергоатомиздат, 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. Методы и средства обеспечения качества энергии. - 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. Завод по производству пластмасс, 2023. 205 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., Сибикин М.Ю. Электроснабжение: Учебное пособие. 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 08.04.2023).
20. Юндин М. А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению. М.: Лань, 2019. 320 с.