

Оглавление

Введение	3
1.Исходные данные	4
2. Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет электрических нагрузок	9
3. Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом	11
4. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок	12
5. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП	15
6. Компенсация реактивной мощности цеховых трансформаторных подстанций и уточнение их нагрузки	19
7. Выбор и проверка питающих линий ГПП	20
8. Выбор и проверка внутривозовских линий	22
9. Расчет токов КЗ в сети выше 1000 В	25
10. Выбор высоковольтного оборудования	27
11. Электроснабжение цеха по производству бильярдных столов	32
12. Расчет токов КЗ ниже 1000 В	33
13. Расчет электрической сети по потери напряжения	36
14. Построение карты селективности действия аппаратов защиты	40
ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ Ошибка! Закладка не опре	
2.Анализ конкурентных технических решений	Ошибка! Закладка не определена.
3.SWOT-анализ системы электроснабжения мебельного завода	Ошибка! Закладка не определена.
3.2. Организация работ технического проекта	Ошибка! Закладка не определена.
3.3. Структура работ в рамках технического проектирования	Ошибка! Закладка не определена.
3.4. Определение трудоемкости выполнения работ	Ошибка! Закладка не определена.
3.5. Разработка графика проведения технического проекта	Ошибка! Закладка не определена.
3.6. Составление сметы затрат на разработку технического проекта	Ошибка! Закладка не определена.
3.7. Расчет материальных затрат	Ошибка! Закладка не определена.
3.8. Расчет полной заработной платы исполнителей темы	Ошибка! Закладка не определена.
3.9. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	Ошибка! Закладка не определена.
3.10. Накладные расходы	Ошибка! Закладка не определена.
3.11. Формирование сметы технического проекта	Ошибка! Закладка не определена.
3.12. Определение ресурсоэффективности проекта	Ошибка! Закладка не определена.
СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Ошибка! Закладка не определена.
1. Описание рабочего места	Ошибка! Закладка не определена.
2. Анализ опасных и вредных факторов	Ошибка! Закладка не определена.

3. Производственная санитария	Ошибка! Закладка не определена.
4. Воздух рабочей зоны	Ошибка! Закладка не определена.
5. Вентиляция	Ошибка! Закладка не определена.
6. Защита от шума и вибрации	Ошибка! Закладка не определена.
7. Освещение	Ошибка! Закладка не определена.
8. Электробезопасность	Ошибка! Закладка не определена.
9. Защита от случайного прикосновения	Ошибка! Закладка не определена.
10. Защитное заземление	Ошибка! Закладка не определена.
11. Зануление	Ошибка! Закладка не определена.
12. Пожарная безопасность	Ошибка! Закладка не определена.
13. Охрана окружающей среды	Ошибка! Закладка не определена.
14. Эвакуация людей из зданий и помещений	Ошибка! Закладка не определена.
15. Чрезвычайные ситуации	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	42
Список литературы:	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

В данной выпускной квалификационной работе будет рассмотрена схема электроснабжения мебельного завода. Цель работы – развитие навыков по решению практических вопросов проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий.

Данный завод предполагает наличие нагрузки как 2 так и 3 категории по степени надежности электроснабжения. В состав завода входят различные цеха, каждый из них выполняет отведенную ему роль.

В данной работе будут выполнены следующие этапы:

- расчет нагрузки цеха по производству бильярдных столов №1
- определение расчетной нагрузки всего предприятия с учетом освещения, размеров территории, а также различных потерь. Расчет производится для низковольтной и высоковольтной нагрузки отдельно.
- построение картограммы электрических нагрузок и определение оптимального места для расположения ГПП
- расчет схемы внутризаводского электроснабжения, выбор числа и мощности трансформаторов
- расчет токов КЗ выше 1000 В, выбор сечения проводников и их проверка
- расчет электроснабжения цеха по производству бильярдных столов №1: распределение приемников по пунктам питания, определение расчетных нагрузок и выбор сечений питающей сети, выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты, построение эпюр отклонения напряжения.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» производится оценка проекта при помощи SWOT-анализа эксплуатации спроектированной системы электроснабжения данного завода. Рассматриваются организационно-технические вопросы, связанные с определением обязанностей и выполнением всех видов работ исполнителей дипломной работы.

Раздел «Социальная ответственность» предполагает оценку условий труда, наличие вредных и опасных факторов и их анализ, пожарную безопасность и охрану окружающей среды.

1.Исходные данные
Исходные данные для проектирования

Таблица 1

Сведения об электрических нагрузках завода

№ п/п	Наименование цеха	Установленная мощность цеха,кВт
1	Административный корпус	700
2	Холодный склад	250
3	Цех по производству теннисных столов №1	1390
4	Цех по производству теннисных столов №2	800
5	Сушильный цех №1	980
6	Сушильный цех №2	850
7	Цех обработки каменных плит №1	2500
8	Цех обработки каменных плит №2	1300
9	Цех по производству бильярдных столов №1	-
10	Цех по производству бильярдных столов №2	1100
11	Гараж	100
12	Котельная	800
13	Насосная 0,38кВ 10кВ	400 1260
14	Лаборатория	300
15	Склад	125

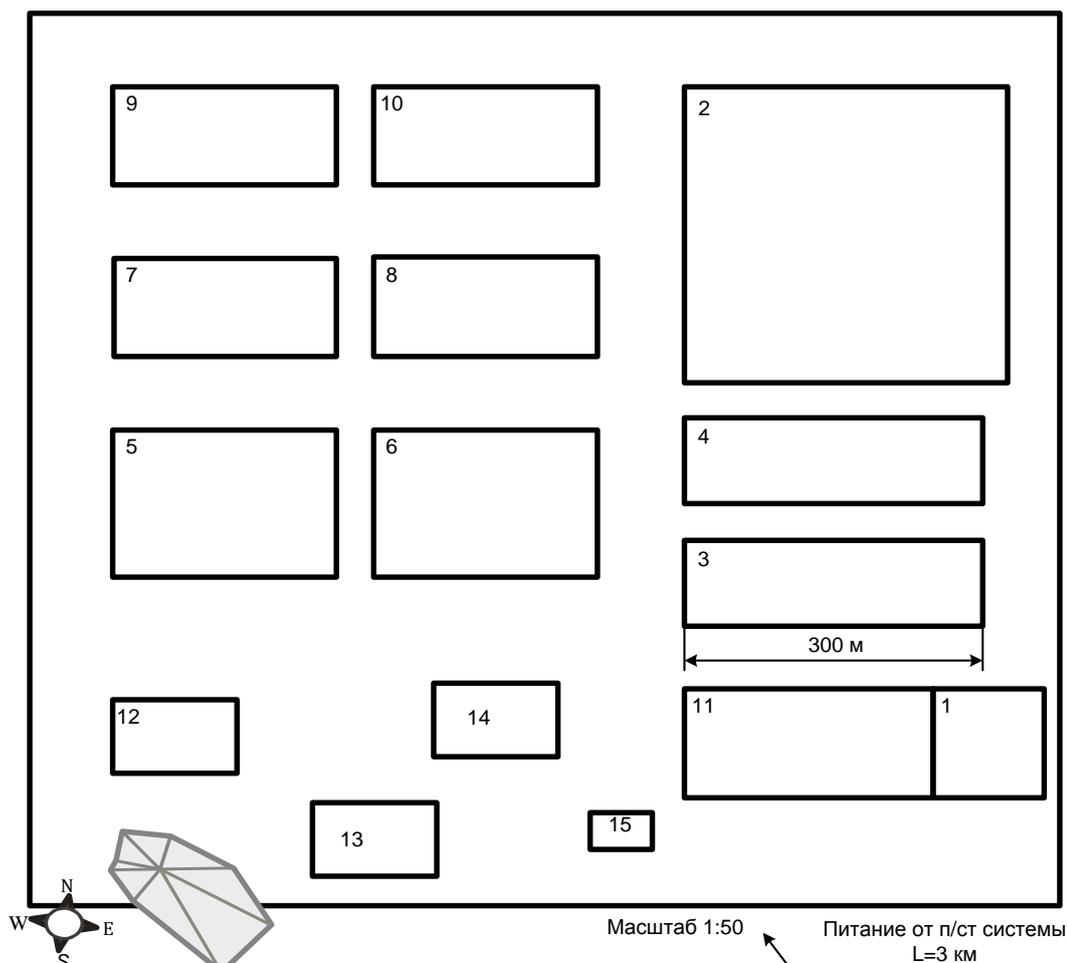


Рисунок 1. Генплан мебельного завода

Таблица 2

Сведения об электрических нагрузках цеха по производству бильярдных столов №1

Номер на плане	Наименование электроприемника	Тип	Кол-во, шт	Установленная мощность ЭП, Руст, кВт
Участок первичной машинной обработки массивной древесины				
Поток переработки хвойных материалов				
1	Станок торцовочный	ЦПА-40	1	16,2
2	Станок однопильный круглопильный	Ц-6	1	12
3	Шипорезный станок	ШС-1	1	23,1
4	Пресс торцевого давления	ПС-3М	1	11,64
5	Станок фрезерный	Ф-130	1	22,5
6	Четырехсторонний строгальный станок	GS-523	1	46,5
Поток переработки пиломатериалов лиственных пород				

7	Станок торцовочный	ЦМЭ-3Б	1	12
8-9	Станок однопильный круглопильный	Ц-6	2	12
10	Станок фуговальный	СФ4-1А	1	12
11	Четырехсторонний строгальный станок	GS-623U	1	61,8
Прессовый участок, промежуточная машинная обработка				
12-13	Вайма веерная	МУ- 4500-6В	2	13,2
14	Форматно-обрезной станок	-	1	15
15-17	Станок фуговальный	СФ4-1А	3	12
18-19	Станок рейсмусовый	S 630	2	22,5
20	Пресс гидравлический горячего отверждения	NPS6/120	1	81
21-22	Станок однопильный круглопильный	Ц-6	2	12
23	Станок фрезерный	Ф-130	1	22,5
Участок обработки царг				
24	Обрабатывающий центр	Rovez 24	1	62,7
25	Фрезерный станок	Ф-4	1	12
Участок обработки ножек				
26-27	Токарный полуавтомат	С1-1500	2	31,5
28-29	Ленточно- шлифовальный полуавтомат по копиру	Prisma	2	18
30-31	Токарный станок ручной	-	2	25,5
32	Фрезерный станок для декорирования ножек	-	1	12
Участок раскроя листовых и плитных материалов				
33	Форматно раскроечный станок	Robland	1	13,65
34	Форматно раскроечный станок	Formula S35	1	18,75
35	Круглопильный ламельный станок	MJ153	1	18,75
Аксессуары				
36	Фуговальный станок	СФ4-1А	1	12
37	Рейсмусовый станок	СР6-9	1	28,8
38	Универсальный станок (фрезерный, круглопильный)	-	1	15
39	Станок фрезерный с	ФСШ	1	16,5

	шипорезной кареткой			
40	Станок круглопильный однопильный	Ц-6	1	12
41	Колибровально- шлифовальный станок	-	1	24
42	Ленточно- шлифовальный полуавтомат по копиру	-	1	18
43	Ленточно- шлифовальный станок	ШЛПС	1	12
44	Токарный станок	-	1	12
Участок изготовления бортов				
45	Станок сверлильно- присадочный восьмишпинд.		1	18
46	Станок фрезерный	-	1	18
47-49	Колибровально- шлифовальный станок	SR-P400	3	27
50-51	Станок ленточно- шлифовальный	ШЛПС	2	12
52	Станок для усовой торцовки		1	21
53	Станок фуговальный	СФ4-1А	1	12
Участок раскроя гофрокартона				
54-55	Станок однопильный круглопильный	Ц-6	2	12
Сборочный участок				
56	Станок кромкооблицовочный		1	24
57	Станок фуговальный	Elektra beckum	1	9
Отделение наклеивания пластика на борта				
58	Постфоринг	-	1	9
59	Станок круглопильный	-	1	12
Отделочный участок				
60-61	Кабина распылительная	MF9240E	2	18
62	Кабина распылительная	MF9230E	1	15,6
63-66	Вентилятор		4	12

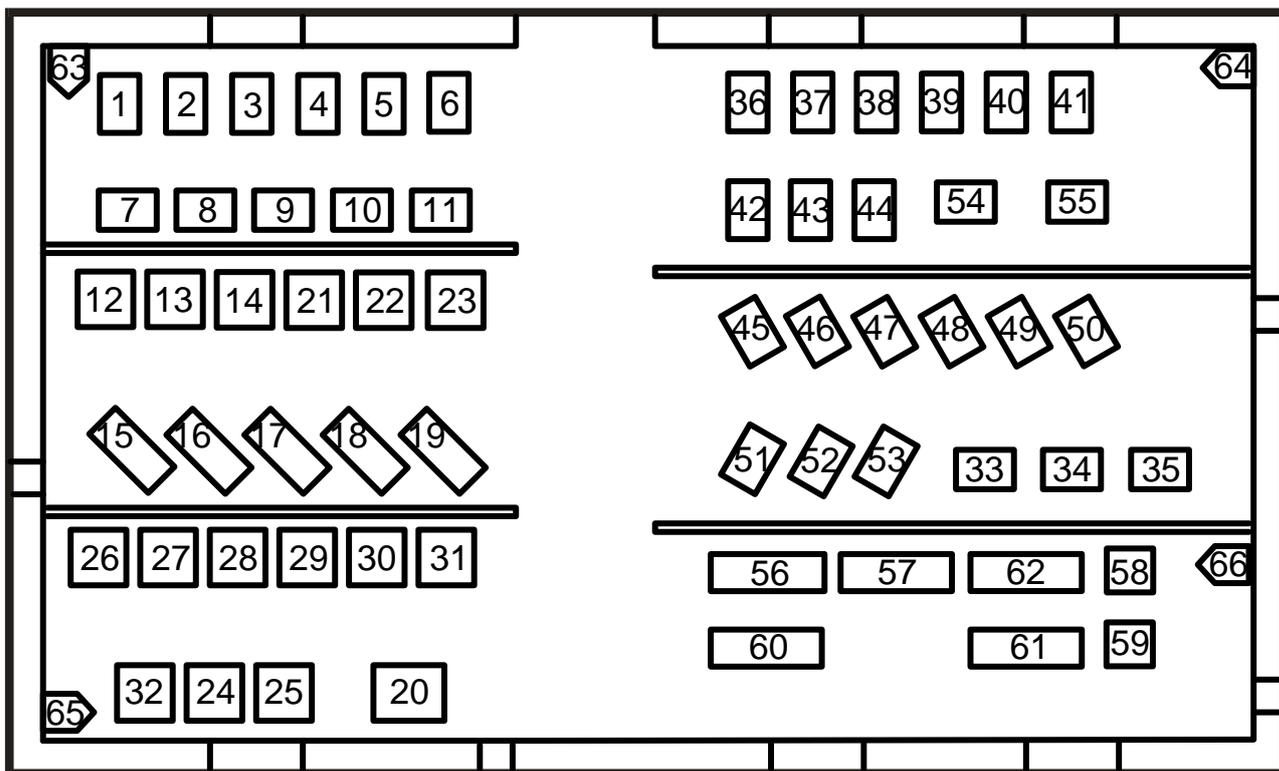


Рисунок 2. План цеха по производству бильярдных столов №1

2. Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет электрических нагрузок

Для правильного выбора сечений линий, коммутационных и защитных аппаратов произведем расчет электрических нагрузок цеха по производству бильярдных столов.

1. Графы 1-6 заполняются на основе исходных и справочных данных
2. В графах 7-8 считаются и записываются величины $K_u \cdot P_n$ (кВт) и $K_u \cdot P_n \cdot tg$, в итоговой строке записываются суммы этих величин.

Пример.

ПР1

$$K_u = 0,6$$

Вентилятор: $P_n = 12 \text{ кВт}$

$$K_u \cdot P_n = 0,6 \cdot 12 = 7,2$$

$$K_u \cdot P_n \cdot tg = 0,6 \cdot 12 \cdot 0,75 = 5,4$$

Средневзвешенный K_u определяется как:

$$K_{u,sp} = \frac{\sum K_u P_n}{\sum P_n} = \frac{47,89}{253,74} = 0,2$$

3. Для определения количества эффективных ЭП рассчитаем значения:

$$n \cdot p_n^2 = 1 \cdot 12^2 = 144$$

$$\sum n \cdot p_n^2 = 1 \cdot 12^2 = 8283,28$$

Далее определим число эффективных электроприемников:

$$n_s = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum n \cdot p_n^2} = \frac{253,74^2}{8283,28} = 7,3 \approx 7$$

4. Далее определяем значение K_p по справочной таблице [3, с.72]. Если значение попадает в диапазон, то определяем по формуле:

$$K_p = y = y_1 - \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

5. Далее находим расчетную активную мощность ЭП до 1000 В по формуле:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_u \cdot P_n = 1,54 \cdot 47,89 = 73,8 \text{ кВт}$$

6. Расчетная реактивная мощность определяется как:

$$\text{При } n_s < 10 \quad Q_p = 1,1 \cdot \sum K_u \cdot P_n \cdot tg = 1,1 \cdot 45,62 = 50,2 \text{ кВт}$$

$$\text{При } n_s > 10 \quad Q_p = \sum K_u \cdot P_n \cdot tg$$

7. Полная расчетная мощность определяется по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{73,8^2 + 50,2^2} = 89,2 \text{ кВА}$$

8. Расчетный ток определяем по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{86,84}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 135,5 \text{ А.}$$

9. Расчетную осветительную нагрузку рассчитаем для цеха по производству бильярдных столов.

Для этого определим площадь цеха

$$a = 1,3 \text{ см}; b = 3 \text{ см.}$$

$$F = a \cdot b = 1,3 \cdot 3 = 3,9 \text{ см}^2.$$

$$m = (1:50)$$

Площадь цеха по производству бильярдных столов:

$$F = (a \cdot b) \cdot m^2 = (1,3 \cdot 3) \cdot 50^2 = 9750 \text{ м}^2$$

Для цеха по производству бильярдных столов: $P_{уд.л.} = 16 \text{ Вт} / \text{м}^2$. – (для ДРЛ) удельная плотность осветительной нагрузки.

Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{p.o} = K_{c.o} \cdot P_{н.o} = K_{c.o} \cdot P_{уд.л.} \cdot F \text{ (кВт)}.$$

Номинальная активная мощность:

$$P_{н.o} = P_{уд.л.} \cdot F = 0,016 \cdot 9750 = 156 \text{ кВт}.$$

Коэффициент спроса осветительной нагрузки для производственных зданий, состоящих из ряда отдельных помещений: $K_{c.o.} = 0,85$

$$P_{p.o} = K_{c.o} \cdot P_{н.o} = 0,85 \cdot 156 = 132,6 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \text{tg}\varphi = 132,6 \cdot 2,68 = 355,37 \text{ кВар}$$

$\cos \varphi = 0,35$ - для ДРЛ ламп;

Полная расчетная нагрузка цеха (с учетом освещения):

Определение расчётной нагрузки цеха по производству бильярдных столов.

Расчет произведем по формуле:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ = \sqrt{(360,3^2 + 132,6^2) + (288,3^2 + 355,37^2)} = 423,16 \text{ кВА},$$

Определение расчетного тока цеха по производству бильярдных столов.

Расчет произведем по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{423,16}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 642,9 \text{ А.}, \text{ для всего цеха}$$

Все расчёты сведем в **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Характеристика среды производственных помещений и распределение электроприёмников по степени бесперебойности питания предприятия представлена в таблице 3.

Таблица 3 Характеристика производственных помещений

№ п/п	Наименование цехов	Категории ЭП по степени бесперебойности питания	Кс	$\frac{\cos \varphi}{\text{tg} \varphi}$
1	Административный корпус	III	700	0.8
2	Холодный склад	III	250	0.8
3	Цех по производству теннисных столов №1	II	1390	0.8
4	Цех по производству теннисных столов №2	II	800	0.8
5	Сушильных цех №1	II	980	0.8
6	Сушильных цех №2	II	850	0.8
7	Цех обработки каменных плит №1	II	2500	0.75
8	Цех обработки каменных плит №2	II	1300	0.75
9	Цех по производству бильярдных столов №1	II	-	
10	Цех по производству бильярдных столов №2	II	1100	0.65
11	Гараж	III	100	0.7
12	Котельная	III	800	0.8
13	Насосная 0.38кВ 10кВ	II	400 1260	0.7 1
14	Лаборатория	III	300	0.7
15	Склад	III	125	0.8

3. Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом.

Расчётная нагрузка (активная и реактивная) силовых приёмников цехов определяются из выражений:

$$P_p = K_c \cdot P_n.$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где P_n – суммарная установленная мощность всех приёмников цеха;

K_c – коэффициент спроса, в соответствии с [3, с. 86]

$\operatorname{tg} \varphi$ – принимается по соответствующему значению коэффициента мощности;

Пример расчетов для мебельного завода:

Расчётные активная и реактивная нагрузки административного корпуса: $P_p = K_c \cdot P_n = 0,5 \cdot 700 = 350 \text{ кВт}$;

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 350 \cdot 0,75 = 262,5 \text{ кВАр}.$$

Номинальная мощность осветительной нагрузки цеха:

$$P_{н.о.} = P_{уд.о.} \cdot F = 0,02 \cdot 3600 = 72 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка от освещения:

$$P_{р.о.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о.} = 72 \cdot 0,9 = 64,8 \text{ кВт}.$$

Полная расчетная нагрузка цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{р.о.})^2 + (Q_p + Q_{р.о.})^2} = \sqrt{414,8^2 + 262,5^2} = 490,9 \text{ кВА}.$$

Все данные сводим в таблицу в **Приложение Б**

4. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок.

У каждого предприятия существует символический центр (центры) потребления электрической энергии – центр электрических нагрузок (ЦЭН). Главную понизительную подстанцию (ГПП) и цеховые ТП рекомендуется располагать как можно ближе к ЦЭН. Это обеспечивает возможность построения экономически целесообразной системы внутривозовского электроснабжения, с минимальной протяженностью сетей вторичного

напряжения, значительным снижением расхода проводникового материала, наименьшими потерями энергии.

Осветительную нагрузку наносим в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора (α) определяем из соотношения полных расчётных (P_{pi}) и осветительных нагрузок (P_{po}) цехов:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{S_{pi}}$$

Координаты центра электрических нагрузок предприятия x_0 и y_0 определяем по формулам:

$$y_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot y_i}{\sum P_{pi}}$$

$$x_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot x_i}{\sum P_{pi}}$$

Пример расчета для цеха по производству бильярдных столов №1:

Радиус окружности:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{p9}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{185,5}{3,14 \cdot 5}} = 5 \text{ мм.}$$

Угол сектора осветительной нагрузки:

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o}}{P_{p1}} = \frac{360^\circ \cdot 204,2}{185,5} = 188,7 \text{ град.}$$

Координаты центра электрических нагрузок предприятия:

$$x_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot x_i}{\sum P_{pi}} = \frac{550674,9}{8183,9} = 67,28 \text{ м,}$$

$$y_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot y_i}{\sum P_{pi}} = \frac{499043,1}{8183,9} = 60,9 \text{ м.}$$

Так как расположить ГПП в центре электрических нагрузок невозможно смещаем его в сторону. Фактические координаты расположения ГПП следующие $x_0 = 61,6$ (мм) $y_0 = 55,8$ (мм).

Построение зоны рассеяния ЦЭН

Полуоси эллипса:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}; R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y};$$

Где
$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}}; h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}}.$$

σ_x, σ_y дисперсии случайных координат.

Для цеха по построению бильярдных столов №1:

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n P_{xi} \cdot (x_i - x_{0a})^2 = 1234,96$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n P_{yi} \cdot (y_i - y_{0a})^2 = 954,68$$

Где P_{xi}, P_{yi} - эмпирическая вероятность появления x_i, y_i в о.е.

$$P_{xi} = P_{yi} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,02} = 85,5; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,023} = 76,1$$

Расчетные данные для построения картограммы нагрузок приведены в **Приложении В**. Генплан предприятия с картограммой нагрузок представлен в **Приложение В**.

5. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

При установке на крупных промышленных предприятиях группы цеховых трансформаторов их номинальная мощность определяется плотностью нагрузки и выбирается, как правило, одинаковой для всей группы. Удельная плотность нагрузки определяется по следующей формуле согласно:

$$\delta = \frac{S_p^H}{F_u} = \frac{9254,21}{105232} = 0,088 \text{ кВА/м}^2,$$

где F_u – площадь всех цехов предприятия, м².

В зависимости от полученной плотности нагрузки, наиболее предпочтителен вариант номинальной мощности цеховых трансформаторов типа ТМ-630/10

Минимальное возможное число трансформаторов определяем по формуле:

$$N_{\min} = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{\beta_m \cdot S_{н.тр.}} = \frac{7655,953}{0,8 \cdot 630} = 17,6,$$

где β_m – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме (принимается $\beta_m = 0,7$);

$S_{н.тр.}$ – номинальная мощность одного трансформатора, кВА;

$(\sum P_p^H + \sum P_{p.o})$ – суммарная активная расчетная низковольтная нагрузка цехов, кВт.

Полученную расчетную величину округляем до ближайшего большего целого значения $N = 18$ шт.

Активная нагрузка, приходящаяся на один цеховой трансформатор:

$$P_1 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{N} = \frac{7655,953}{16} = 425,3 \text{ кВт.}$$

Число трансформаторов N_i , которое следует установить в том или ином цехе

$$N_i = \frac{P_p + P_{p.o}}{P_1}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 5

Таблица 4. Число трансформаторов в цехе на 630кВА

		Рр+Ро	Нцтр
1	Административный корпус	414,8	0,87
2	Холодный склад	458,04	0,96
3	Цех по производству теннисных столов №1	1066,024	2,23
4	Цех по производству теннисных столов №2	653,024	1,36
5	Сушильный цех №1	507,16	1,06
6	Сушильный цех №2	461,66	0,96
7	Цех обработки каменных плит №1	1074,256	2,25
8	Цех обработки каменных плит №2	594,256	1,24
9	Цех по производству бильярдных столов №1	418,78	0,88
10	Цех по производству бильярдных столов №2	849,56	1,78
11	Гараж	94,512	0,20
12	Котельная	504,576	1,05
13	Насосная 0,38кВ	304,576	0,64
14	Лаборатория	170,688	0,36
15	Склад	43,26	0,09

Так как зона рассеяния электрических нагрузок практически равна предприятию, можно сделать вывод о том, что нагрузка распределена равномерно и можно использовать трансформаторы одной мощности.

Но, так как мы имеем достаточно большое количество потребителей второй категории, для которых нужны двухтрансформаторные подстанции,

количество трансформаторов нужно увеличить и мощности разбить на 630 кВА и 400 кВА

Определяем расчетное число трансформаторов на 630кВА для цехов(№2,10,7,5,6,4,3,13):

Определим необходимое количество трансформаторов номиналом 630 кВА:

$$N_{\min}^{400} = \frac{\sum P_p^u + \sum P_{p.o}}{\beta_m \cdot S_{н.мп.}} + \Delta N = \frac{6548,076}{0,7 \cdot 630} = 14,89 = 15 \text{ шт.};$$

Для номинальной мощности 400 кВА (Цеха №9,8,12,14) :

Определим необходимое количество трансформаторов номиналом 400 кВА:

$$N_{\min}^{1600} = \frac{\sum P_p^u + \sum P_{p.o}}{\beta_m \cdot S_{н.мп.}} + \Delta N = \frac{1904,66}{0,7 \cdot 400} = 6,4 = 7 \text{ шт.};$$

После выбора числа и мощности цеховых трансформаторов распределяют активные нагрузки цехов между ними равномерно. Активная нагрузка, приходящаяся на один цеховой трансформатор может быть определена по формуле:

$$P_1 = \frac{\sum (P_p + P_{p.o})}{N}$$

$$P_1 = \frac{6548,076}{15} = 436,5 \text{ (кВт)} - \text{ для номинала 400кВА}$$

$$P_1 = \frac{1904,656}{7} = 272,09 \text{ (кВт)} - \text{ для номинала 630кВА}$$

Число трансформаторов N_i , которое следует установить в том или ином цехе, определяется делением нагрузки цеха $(P_p + P_{p.o})_i$ на P_1 :

$$N_i = \frac{(P_p + P_{p.o})_i}{P_1}$$

$$N_9 = \frac{458,04}{478,5} = 0,96, \text{ для холодного склада}$$

Для систематизации расчёта представим полученное число трансформаторов, устанавливаемое в каждом цехе в виде таблицы, представленной ниже.

Таблица 5. Распределение трансформаторов по цехам предприятия

№ п/п	Наименование пункта питания	Потребитель и Электроэнергии	Месторасположение пунктов питания на генплане	P_p , кВт	Количество и мощность трансформаторов
1	КТП-2	Цеха № 2	Цех № 2	458,04	1хТМ – 630/6-10
2	КТП-3	Цех № 3	Цех № 3	1066,024	2хТМ – 630/6-10
3	КТП-4	Цех № 4	Цех № 4	653,024	2хТМ – 630/6-10
4	КТП-5	Цех № 5	Цех № 5	507,16	2хТМ – 400/6-10
5	КТП-6	Цеха № 6,1	Цех № 6	461,66+4 14,8	2хТМ – 630/6-10
6	КТП-7	Цех № 7	Цех № 7	1074,256	2хТМ – 630/6-10
7	КТП-8	Цех № 8	Цех № 8	594,256	2хТМ – 400/6-10
8	КТП-9	Цех № 9	Цех № 9	418,78	2хТМ – 400/6-10
9	КТП-10	Цех № 10	Цех № 10	849,56	2хТМ – 630/6-10
10	КТП -12	Цех № 12	Цех № 12	504,576	2хТМ – 400/6-10
11	КТП-13	Цех № 13,11	Цех № 13	304,576	2хТМ – 400/6-10
12	КТП-14	Цеха №14,15	Цех№14	170,688+ 43,26+94, 512	1хТМ – 400/6-10

В цехах устанавливаем трансформаторы марки ТМ. Нагрузки близлежащих цехов объединяем, трансформаторы запитываем по радиальной схеме.

Параметры выбранных трансформаторов цеховых ТП сводим в таблицу 6

Таблица 6. Параметры трансформаторов цеховых ТП

Тип трансформатора	S _{но} м,кВ А	Уном обмоток,кВ		U _к ,%	P _{кз} , кВт	P _{хх} , кВт	I _х ,%	Схема и группа соединения обмоток
		ВН	НН					
ТМ-630/10	630	10	0,4	5,5	8,5	1,56	2	Δ-У _н – 11
ТМ-400/10	400	10	0,4	5,5	5,5	1,2	2,1	Δ-У _н – 11

При таком количестве трансформаторов мощностями 630 и 400 кВА загрузка ТП производится неравномерно, для экономичности и равномерности загрузки трансформаторов в некоторых цехах целесообразно заменить двухтрансформаторные подстанции 630 кВА на двухтрансформаторные подстанции 400 кВА. И в итоге получаем количество трансформаторов 630 кВА – 11 шт, 400 кВА – 11 штук

6. Компенсация реактивной мощности цеховых трансформаторных подстанций и уточнение их нагрузки

Для снижения потерь в линиях и трансформаторах примем вариант компенсации реактивной мощности на напряжении 0,4 кВ непосредственно вблизи электроприёмников. КБ присоединяем к сборным шинам НН КТП и РУ.

Реактивная мощность, которую возможно передавать через трансформаторы КТП в сеть напряжением до 1000 В при заданном коэффициенте загрузки, определяется соотношением:

$$Q_{\max} = \sqrt{(n \cdot \beta \cdot S_{н.м})^2 - \sum P_p^2},$$

где n – число трансформаторов на ТП;

$\beta = 0,7$ – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме;

$S_{н.м}$ – номинальная мощность трансформаторов, установленных на ТП;

$\sum P_{p+o}$ – расчетная активная нагрузка ТП на шинах 0,4 кВ.

Для **ТМ -630/10**, КТП-2, КТП-3, КТП-4, КТП-5, КТП-6, КТП-7, КТП-10, КТП-13.

$$Q_{\max}^{630} = \sqrt{(15 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 6548,076^2} = 938,576 \text{ кВАр};$$

Для **ТМ-400/10**, КТП-8, КТП-9, КТП-12, КТП-14.

$$Q_{\max}^{400} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1904,66^2} = 462,46 \text{ кВАр};$$

Мощность необходимую для компенсации определяем по формуле:

$$Q_{\text{ком}}^{630} = Q_{\text{сумм}}^{630} - Q_{\text{max}}^{630} = 4964,5 - 938,576 = 4025,9 \text{кВар}$$

$$Q_{\text{ком}}^{400} = Q_{\text{сумм}}^{400} - Q_{\text{max}}^{400} = 1173,4 - 462,46 = 710,9 \text{кВар}$$

Суммарная мощность. Которую нужно компенсировать на низкой стороне:

$$Q_{\text{ком}}^{\text{нн}} = 2916,7 \text{кВар}$$

Данные по компенсации реактивной мощности по цехам приведены в **ПРИЛОЖЕНИИ 3**

Высоковольтная нагрузка:

К шинам 10 кВ присоединены 2 СД мощностью по 630 кВт

$$Q_{\text{СД}} = \frac{\alpha_m \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} = \frac{1,34 \cdot 630 \cdot 0,48}{0,96} = 422 \text{кВар};$$

Полная располагаемая мощность для генерации:

$$Q_{\text{СД}} = N \cdot Q_{\text{СД_расч}} = 2 \cdot 422 = 0,84 \text{МВар}$$

Наибольшее значение активной мощности, которую можно передать из сети энергосистемы в сеть предприятия в режиме наибольших активных нагрузок энергосистемы:

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 7822 = 1877,3 \text{кВар}$$

Определяем мощность, которую необходимо компенсировать:

$$Q_{\text{расч_нн}} = 5413,024 \text{кВар} \geq Q_c = 1877,3 \text{кВар}$$

$$Q_{\text{БК_нн}} = Q_{\text{нн_расч}} - (Q_c + Q_{\text{сд}}) = 5,4 - 2,71 = 2,69 \text{МВар}$$

Принимаем к установке 9 конденсаторных батарей мощностью 300 кВар:

УКБН – 0,38 – 300 – 50У суммарной мощностью 2700 кВар

Расчетные данные потерь в трансформаторах приведены в **ПРИЛОЖЕНИИ И**

7. Выбор и проверка питающих линий ГПП

Расчетная мощность предприятия на шинах ГПП:

$$P_{расч_ГПП} = P_{p\Sigma 10} + \Delta P_{T_ГПП} = 6903,4 + 195 = 7098,4 \text{ кВт}$$

$$S_{расч_ГПП} = \sqrt{(P_{p\Sigma 10} + \Delta P_{T_ГПП})^2 + (Q_{p\Sigma 10} + \Delta Q_{T_ГПП} - Q_{св})^2} = \sqrt{(7098,4)^2 + (5220,6 + 975 - 2692)^2} = 9790 \text{ кВт}$$

Расстояние до ближайшей ПС энергосистемы 3 км

По формуле Илларионова:

$$U_{эк} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{3} + \frac{2500}{7,098}}} = 45,71 \text{ кВ}$$

Принимаем номинальное напряжение 110 кВ

Определяем расчетную нагрузку трансформаторов

$$S_{mp} = \frac{S_{p.ГПП}}{2 \cdot \beta} = \frac{9,79}{2 \cdot 0,7} = 6,99 \text{ МВА} - \text{Расчетная нагрузка на 1 трансформатор}$$

Принимаем к установке 2 трансформатора ТДН 10000/110

Таблица 8. Паспортные данные трансформатора маслянного ТДН-10000/110

Тип тр-ра	Сном, кВА	Уном. обмоток, кВ	Uк, %	Ркз, кВт	Рхх, кВт	Iх, %
ТДН 10000/110	10000	115/11	10,5	58	14	0,9

Определяем расчетный ток линии:

$$I_p = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,5 \text{ А}$$

Выбираем сечение

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{52,5}{1} = 52,5 \text{ мм}^2$$

Принимаем ближайшее стандартное F=70 мм

Для ВЛ АС 70/11 по справочнику выбираем значение $I_{дон} = 265 A$
Проверяем:

1. По нагреву и перегрузочной способности

$$I_p \leq I_{дон} \rightarrow 52,5 \leq 265 A$$

$$1,3 \cdot I_{дон} \geq I_{н.а.} \rightarrow 1,3 \cdot 265 \geq 105 A$$

Условия выполняются

2. По механической прочности

$$F \geq F_{\min} = 25 \text{ мм}^2 \rightarrow 70 \geq 25$$

Условие выполняется

3. По допустимой потере напряжения

$$\text{Из табл. П5.1 } l_{\Delta U 1\%} = 5,1 \text{ км}$$

Нормальный режим:

$$k_3 = \frac{I_{дон}}{I_p} = \frac{265}{52,5} = 5,05$$

$$L_{Дон} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{дон\%} \cdot k_3 = 5,1 \cdot 5 \cdot 5,05 = 128,7 \geq 3$$

Послеаварийный режим:

$$k_3 = \frac{I_{дон}}{I_p} = \frac{265}{2 \cdot 52,5} = 2,5$$

$$L_{Дон} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{дон\%} \cdot k_3 = 5,1 \cdot 10 \cdot 2,5 = 127,5 \geq 3$$

4. По условию коронирования проводов

Для напряжения 110 кВ минимальное сечение АС 70/11

8. Выбор и проверка внутризаводских линий

Распределительная сеть 10 кВ по территории завода выполняется трехжильными кабелями с алюминиевыми жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена с прокладкой в траншеях.

Выбор сечений кабелей производим по экономической плотности тока. Выбранные сечения проверяем по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учетом допустимой перегрузки в аварийном режиме. Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения.

В качестве расчетного тока принимается ток в нормальном режиме определяемый мощностью по формуле:

$$I_p = \frac{n_{mp} \cdot S_{н.мп} + \Delta S_{mp}}{n_{лин} \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}$$

Экономически целесообразное сечение определяем из выражения:

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}},$$

где I_p – расчётный ток на один кабель, А; $j_{эк}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм². Для высоковольтных кабелей с алюминиевыми жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена при $T_M = 5555$ часов принимаем $j_{эк} = 1,2$ А/мм² [1, табл. 6.1].

Выбор кабеля для линии КЛ-2 (ГПП – ТП-7):

Для обеспечения работы в послеаварийном режиме и при возможном увеличении нагрузки при развитии производства выбираем сечение кабелей по максимальном расчетному току.

$$I_p = \frac{n_{mp} \cdot S_{н.мп} + \Delta S_{mp}}{n_{лин} \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2 \cdot 630 + 60,14}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 38,1 \text{ А.}$$

Экономически целесообразное сечение $F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{38,1}{1,2} = 31,75 \text{ мм}^2$.

Принимаем стандартное сечение $F = 50 \text{ мм}^2$: $I_{дон} = 175 \text{ А}$ [3 стр.626.]

Проверка выбранного сечения:

1. Проверка по току

Нормальный режим:

$$I_{дон} \geq I_p, 175 \geq 31,75 \text{ А}$$

Послеаварийный режим:

$$I_{н/ав} = \frac{n_{mp} \cdot S_{н.мп} + \Delta S_{mp}}{(n_{лин} - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2 \cdot 630 + 60,14}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 76,2 \text{ А}$$

$$k_{пер} \cdot I_{дон} \geq I_{н/ав}, 1,25 \cdot 175 \geq 76,2$$

2. Проверка на термическую стойкость при КЗ.

Минимальное допустимое сечение проводника по данному условию определяется по выражению:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}, \text{ мм}^2$$

где, C_T – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника [1, табл. 6.2, 6.3]; где B_k – тепловой импульс тока КЗ, $\text{А}^2\text{с}$.

$$B_k = I_{\text{п0}}^2 (\tau + T_a)$$

где $I_{\text{п0}}$ – начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ; τ – расчетное время отключения выключателя; T_a – постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с определяется как:

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}}, \text{ с}$$

где x_{Σ} r_{Σ} - результирующие индуктивное и активное сопротивления схемы относительно точки КЗ; ω – угловая частота.

В качестве линии КЛ-1 принимаем кабель марки АПвП – (3х50).

Результаты расчетов и выбор сечений внутрив заводских линий 10 кВ приведены в **ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

$$T_a = \frac{x_{\Sigma 1^*}}{\omega \cdot r_{\Sigma 1^*}} = \frac{1.0578}{314 \cdot 0.01} = 0.337 \text{ с}$$

Определяем тепловой импульс тока

$$B_k = I_{\kappa, \text{К}2}^2 (\tau + T_a) = (5.1 \cdot 10^3)^2 \cdot (0.08 + 0.337) = 10.84 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$$

Минимальное сечение жилы кабеля:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{10.84 \cdot 10^6}}{90} = 36.58, \text{ мм}^2$$

9. Расчет токов КЗ в сети выше 1000 В

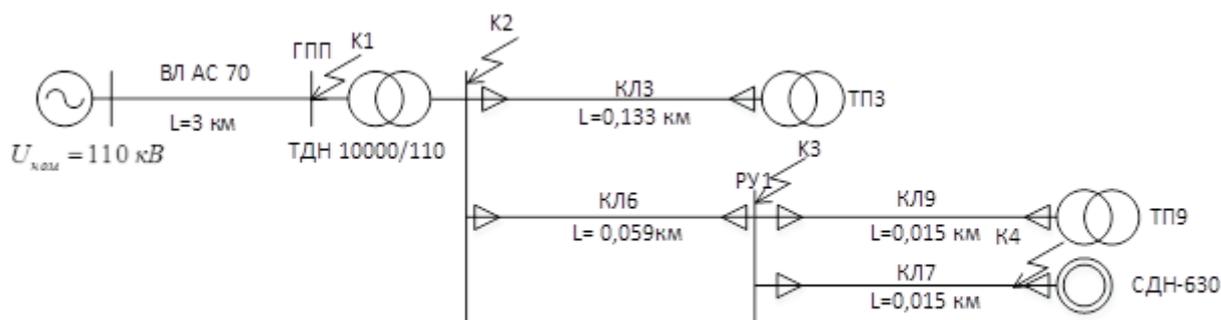


Рисунок 3. Схема для расчета токов КЗ

Произведем расчет токов КЗ в четырех точках:

Принимаем базисную мощность $S_{\sigma} = 100$ МВА и среднее напряжение ступени с точками КЗ $U_{\text{ср.ном}} = 115$ кВ; $U_{\text{ср.ном1}} = 10,5$ кВ; Определяем базисные токи:

1) $X_{\text{сист}} = 0$

2) Базисный ток на двух ступенях трансформации:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502$$

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499$$

3) Воздушная линия:

$$x_{\text{вл}^*} = x_{\text{yд}} \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,345 \cdot 3 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,0078 \text{ о.е.}$$

$$r_{\text{вл}^*} = r_{\text{yд}} \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,447 \cdot 3 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,01 \text{ о.е.}$$

4) Трансформатор ГПП

$$x_{\text{трГПП}^*} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{н.мп}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 1,05 \text{ о.е.}$$

5) Кабельные линии:

$$x_{\text{кл}6*} = x_{\text{y}\delta} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0.134 \cdot 0.059 \frac{100}{10.5^2} = 0.0072 \text{ о.е.}$$

$$r_{\text{кл}6*} = r_{\text{y}\delta} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0.447 \cdot 0.059 \frac{100}{10.5^2} = 0.024 \text{ о.е.}$$

$$x_{\text{кл}7*} = x_{\text{y}\delta} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0.134 \cdot 0.015 \frac{100}{10.5^2} = 0.0018 \text{ о.е.}$$

$$r_{\text{кл}7*} = r_{\text{y}\delta} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 1.25 \cdot 0.015 \frac{100}{10.5^2} = 0.017 \text{ о.е.}$$

Расчет точек короткого замыкания:

Точка К1:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{r_{\text{вл}}^2 + x_{\text{вл}}^2} = \sqrt{0,01^2 + 0,0078^2} = 0,0126 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{кз1}} = \frac{I_{\delta}}{Z_{\text{рез}}} = \frac{0,502}{0,0126} = 39,8 \text{ кА}$$

$$i_{\text{y}\delta} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{y}\delta} \cdot I_{\text{кз1}} = 101,3 \text{ кА}$$

Точка К2:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,4$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{r_{\text{вл}}^2 + (x_{\text{вл}} + x_{\text{мп}})^2} = \sqrt{0,01^2 + 1,0578^2} = 1,057 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{I_{\delta}}{Z_{\text{рез}}} = \frac{5,4}{1,057} = 5,1 \text{ кА}$$

$$i_{\text{y}\delta} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{y}\delta} \cdot I_{\text{кз1}} = 12,98 \text{ кА}$$

Ток К3 от СД:

$$E'' = 1,1$$

$$x_d'' = 0,2$$

$$I_{\text{номСД}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,96 \cdot 0,9} = 42,15$$

$$I_{\text{кзСД}} = \frac{E'' \cdot I_{\text{номСД}}}{\sqrt{(x_d'' + x_{\text{кл1}})^2 + r_{\text{кл1}}^2}} = \frac{1,1 \cdot 42,15}{\sqrt{(0,2 + 0,0072)^2 + 0,024^2}} = 0,23 \text{ кА}$$

$$i_{\text{y}\delta\text{СД}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{y}\delta} \cdot I_{\text{кз1}} = 0,57 \text{ кА}$$

$$I_{\text{кз2}} = 5,1 + 0,23 = 5,33 \text{ кА}$$

$$i_{\text{y}\delta} = 12,98 + 0,57 = 13,55 \text{ кА}$$

Точка К3:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,4$$

$$Z_{рез} = \sqrt{(r_{вл} + r_{кл1})^2 + (x_{вл} + x_{мп} + x_{кл1})^2} = 1,065 \text{ Ом}$$

$$I_{кз} = \frac{I_{\sigma}}{Z_{рез}} = \frac{5,4}{1,057} = 5,07 \text{ кА}$$

$$i_{yd} = \sqrt{2} \cdot k_{yd} \cdot I_{кз1} = 12,9 \text{ кА}$$

С учетом подпитки от СД:

$$I_{кз3} = 5,07 + 0,23 = 5,3 \text{ кА}$$

$$i_{yd} = 12,9 + 0,57 = 13,47 \text{ кА}$$

Точка К4:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,4$$

$$Z_{рез} = \sqrt{(r_{вл} + r_{кл1})^2 + (x_{вл} + x_{мп} + x_{кл1})^2} = 1,08 \text{ Ом}$$

$$I_{кз} = \frac{I_{\sigma}}{Z_{рез}} = \frac{5,4}{1,08} = 5 \text{ кА}$$

$$i_{yd} = \sqrt{2} \cdot k_{yd} \cdot I_{кз1} = 12,7 \text{ кА}$$

С учетом подпитки от СД:

$$I_{кз2} = 5 + 0,23 = 5,23 \text{ кА}$$

$$i_{yd} = 12,7 + 0,57 = 13,25 \text{ кА}$$

10. Выбор высоковольтного оборудования

Все виды аппаратов должны выбираться в соответствии с вычисленными максимальными расчетными величинами для нормального режима и короткого замыкания. Для их выбора производится сравнение указанных расчетных величин с допускаемыми значениями высоковольтного оборудования. Составляется таблица сравнения указанных расчетных и допустимых величин. При этом для обеспечения надежной безаварийной работы расчетные величины должны быть меньше допустимых.

Выберем высоковольтный выключатель с низкой стороны ГПП.

Рабочий ток в данном случае определяется номинальным током трансформатора.

$$I_{н.мп} = \frac{S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}} = \frac{1.4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 808.29 \text{ А}$$

$$I_{н.мп} = \frac{S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}} = \frac{1.4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 73,48 \text{ А}$$

Зная начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ и ударный ток КЗ выберем высоковольтный выключатель.

Таблица 9.

Расчетные данные		Справочные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	=	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 808.29 \text{ А}$	<	$I_{\text{НОМ}} = 1250 \text{ А}$
$I_{п.о.} = 5.33 \text{ кА}$	<	$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$i_y = 14,307 \text{ кА}$	<	$i_{\text{дин}} = 112 \text{ кА}$
$B_k = 8,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	<	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимаем к установке выключатель марки ВВЭ-10-40/1250ТЗ

Термическая стойкость:

$$B_k = I_{к,к1}^2 (\tau + T_a) = (5.33)^2 \cdot (0,08 + 0,23) = 8.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Таблица 10.

Расчетные данные		Справочные данные
$U_H = 110 \text{ кВ}$		$U_H = 110 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 73,48 \text{ А}$		$I_{\text{НОМ}} = 2000 \text{ А}$
$I_{п.о.} = 39,8 \text{ кА}$		$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$i_y = 101,3 \text{ кА}$		$i_{\text{дин}} = 112 \text{ кА}$
$B_k = 475 \text{ А}^2 \cdot \text{с.}$		$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 102^2 \cdot 0,055 = 572,22 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимаем к установке элегазовый выключатель марки ВГТ-110У1.

Выбор разъединителей 110 кВ:

Таблица 11.

Расчетные данные		Справочные данные
$U_H = 110 \text{ кВ}$		$U_H = 110 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 73,48 \text{ А}$		$I_{\text{НОМ}} = 2000 \text{ А}$
$I_{п.о.} = 39,8 \text{ кА}$		$I_{\text{откл.ном}} = 50 \text{ кА}$
$i_y = 101,3 \text{ кА}$		$i_{\text{дин}} = 125 \text{ кА}$
$B_k = 475 \text{ А}^2 \cdot \text{с.}$		$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 102^2 \cdot 0,055 = 572,22 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

РГ – 110/2000-50 ухл1

Lous.ru

Выбираем ограничители перенапряжения согласно [2 с.182]

ОПН – П1 – 110/77/10/2 УХЛ1

Выбор трансформаторов тока

Выбираем ТОЛ – 10 – 9

$U_n = 10 \text{ кВ}, I_{n1} = 2000 \text{ А}, I_{n2} = 5 \text{ А}$

Проведем проверку выбранного трансформатора тока:

1. По номинальному напряжению

$$U_{уст} \leq U_{ном} \rightarrow 10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}$$

2. Номинальный ток

$$I_{н.тр} \leq I_{н1} \rightarrow 808,29 \text{ А} \leq 2000 \text{ А}$$

3. Электродинамическая стойкость

$$I_{н0} \leq I_{дон} \rightarrow 5,33 \text{ кА} \leq 81 \text{ кА}$$

$$i_y \leq i_{дин} \rightarrow 14,307 \text{ кА} \leq 81 \text{ кА}$$

4. Термическая стойкость

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм} \rightarrow 8,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 40^2 \cdot 0,055 = 88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Таблица 12. Приборы

Прибор	Тип	Фазы		
		А	В	С
Амперметр	Э-365	0,5	-	-
Ваттметр	Д-335	0,5	-	0,5
Счетчик активной энергии	И-674	2,5	-	2,5
Счетчик реактивной энергии	И-673	2,5	-	2,5
Итого		6		5,5

Общее сопротивление приборов определяется:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_{н2}^2} = \frac{6}{5} = 0,24 \text{ Ом}$$

$$Z_{2ном} = \frac{S_{2н}}{I_{н2}^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}$$

Где номинальная мощность вторичной обмотки ТТ:

$$S_{2H} = 20BA$$

Сопротивление $r_k = 0,10M$ при числе приборов больше трех.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{np} = z_{2ном} - r_{приб} - r_k = 0,8 - 0,24 - 0,1 = 0,460M$$

Длина проводов $l_{расч} = \sqrt{3} \cdot 30 = 51,96$ - расчетная длина соединительных проводов, где $l=30m$ - длина соединительных проводов от трансформатора тока до приборов.

Сечение проводов:

$$q = \frac{\rho \cdot l}{r_{np}} = \frac{0,0283 \cdot 51,96}{0,46} = 3,19.мм^2$$

$$\rho = 0,02830M \cdot мм^2 / м$$

По условиям прочности принимаем кабель АКРВ с сечением жил $4мм^2$

Трансформатор тока

110 кВ ТОЛ – 110 III

$$U_H = 110 \text{ кВ}, I_{H1} = 200 \text{ А}, I_{H2} = 5 \text{ А}$$

Трансформатор напряжения

ЗНОЛ – 10

Проводим проверку данного трансформатора:

$$1) U_{уст} \leq U_{ном} \rightarrow 10кВ \leq 10кВ$$

Вторичная нагрузка:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{26^2 + 12^2} = 28,63BA$$

Вторичная обмотка имеет мощность 150ВА, что больше 28,63 ВА.

Защита данного трансформатора напряжения осуществляется плавким предохранителем ПКН 001- 10УЗ

Выбор трансформатора напряжения 110 кВ:

ЗНГ 110

Вторичная обмотка с суммарной мощностью $S_2 = 400BA$

Таблица 13.

прибор	тип	Число обмоток	Кол-во	$P_{\text{потр, Вт}}$	$Q_{\text{потр,}}$	$P_{\text{сум}}$	$Q_{\text{сум}}$
вольтметр	Э-350	1	4	2		8	
ваттметр	Д-304	3	1	2	1,5	6	3
Счетчик активной энергии	САЗ - 681	2	1	3	2,25	6	4,5
Счетчик реактивной энергии	СРЗ- 682	2	1	3	2,25	6	4,5
						26	12

Выбор трансформатора собственных нужд

$$S_{\text{сн}} = 0,05 \cdot S_{\text{тр.ном}} = 0,05 \cdot 10000 = 500 \text{кВА}$$

Выбираем 2 трансформатора мощностью 250 кВА ТМ – 250/10

Предохранители для защиты трансформаторов собственных нужд:

Номинальный ток обмотки ВН тр-ра ТМ 250/10

$$I_{\text{номВН}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номВН}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,4 \text{А}$$

Выбираем предохранитель ПТ 1.1-10У1

Таблица 14.

Расчетные данные		Справочные данные
$U_{\text{ном}}=10\text{кВ}$	=	$U_{\text{ном}}=10\text{кВ}$
$I_{\text{max}}=14,4\text{А}$	≤	$I_{\text{ном}}=16\text{А}$
$I_{\text{по}}=5,33\text{кА}$	≤	$I_{\text{откл.ном}}=20\text{кА}$

11. Электроснабжение цеха по производству бильярдных столов

Электроснабжение цеха выполняется:

1. Все электроприемники цеха распределяются по шкафам, затем производится выбор схемы и способа прокладки питающей сети. Данная схема должна обеспечить надежность при питании электроприемников, а также гибкость и универсальность в отношении к присоединенным приемникам. Выбор способа прокладки такой сети осуществляется при учете внешней среды и условий места прокладки. Определяются все расчетные нагрузки.

2. Выбираются сечения питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условий нагрева и проверки их по потере напряжения.

3. Выбирается силовая распределительная сеть и аппараты защиты и управления цеха.

4. Для участка цеховой сети строится карта селективности действия аппаратов защиты.

5. Производится расчёт питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной, минимальной и послеаварийной нагрузок.

6. Производится расчёт токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха. Полученные данные наносятся на карту селективности действия аппаратов защиты.

Распределение приемников по пунктам питания

Вводное распределительное устройство входит в комплектную распределительную подстанцию и рассчитано на ток 2000 А, что подходит для заданной нагрузки 808, 29 А.

Выбор распределительных шкафов вводного распределительного устройства цеха №9:

Таблица 15.

Узел питания	I_p, A	$n_{\text{линРП}}$	наименование	$n_{\text{линРП}}$	$I_{\text{нРП}}$	Аппарат защиты
ПР1	135,5	12	ПР8703-1134-1	12	200	ВА57-35
ПР2	78,1	11	ПР8703-1134-1	12	200	ВА57-35
ПР3	199	11	ПР8703-1134-1	12	200	ВА57-35
ПР4	96	8	ПР8703-1132-1	8	200	ВА57-35
ПР5	99,5	12	ПР8703-1134-1	12	200	ВА57-35
ПР6	102,3	12	ПР8703-1134-1	12	200	ВА57-35

Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры для ПР

Прокладка кабеля внутри цеха осуществляется с учетом внутрицеховой среды (пожароопасная и пыльная). Прокладка кабеля осуществляется с помощью магистрального кабель – канала серии “Элекор”.

Преимущества такого типа прокладки кабеля:

- Обеспечение электробезопасности (дополнительная изоляция электропроводки).
- Предохранение проводки от механических повреждений.
- Исключение возможного пожара при коротком замыкании.
- Ограничение несанкционированного доступа к проводке.
- Упрощение монтажа электропроводки при строительстве и реконструкции зданий.
- Обеспечение быстрого доступа к проводке в аварийной ситуации.
- Возможность быстрой модернизации и дополнения проводки

Все расчеты сведены в таблицы по отдельным распределительным пунктам ПР1-ПР6 в **приложении Е**

12. Расчет токов КЗ ниже 1000 В

Для расчета токов КЗ составляется расчетная схема – упрощенная однолинейная схема электроустановки, в которой учитываются все источники питания, трансформаторы, воздушные и кабельные линии.

По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки для расчета токов КЗ.

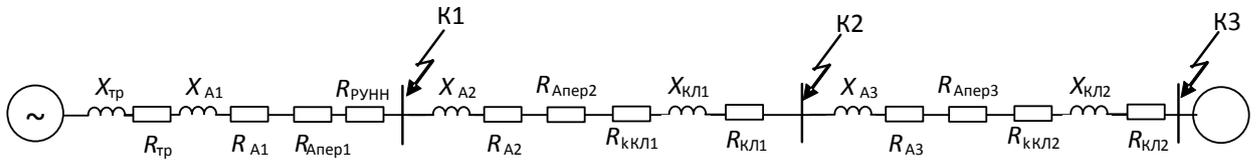


Рисунок 4. Схема замещения цеховой сети

1. Сопротивление трансформатора:

$$R_{тр} = 5.5 \text{ мОм}; \quad X_{тр} = 17.1 \text{ мОм};$$

2. Сопротивления автоматического выключателя QF1:

$$R_{QF1} = 0.08 \text{ мОм}; \quad X_{QF1} = 0.08 \text{ мОм}; \quad R_{кQF1} = 0.1 \text{ мОм}$$

3. Сопротивления автоматического выключателя QF2:

$$R_{QF2} = 0.4 \text{ мОм}; \quad X_{QF2} = 0.5 \text{ мОм}; \quad R_{кQF2} = 0,6 \text{ мОм} \quad 3$$

Сопротивления автоматического выключателя QF3:

$$R_{QF3} = 0.4 \text{ мОм}; \quad X_{QF3} = 0.5 \text{ мОм}; \quad R_{кQF3} = 0,6 \text{ мОм}$$

Для нахождения сопротивлений для АВ воспользовались методом линейной интерполяции.

4. Сопротивления кабельных линий

$$R_{кЛ1} = r_0 \cdot l_1 = 0.130 \cdot 0,125 / 4 = 4.06 \text{ мОм} \quad X_{кЛ1} = x_0 \cdot l_1 = 0.077 \cdot 0,125 = 9.6 \text{ мОм}$$

$$R_{кЛ2} = r_0 \cdot l_2 = 0.261 \cdot 55 / 4 = 3.58 \text{ мОм} \quad X_{кЛ2} = x_0 \cdot l_2 = 0.0602 \cdot 55 = 3.31 \text{ мОм}$$

5. Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений:

$$R_{кКЛ1} = 0.012 \text{ мОм} \quad R_{кКЛ2} = 0.0024 \text{ мОм}$$

Упростим схему замещения, определив эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ

$$R_1 = R_{тр} + R_{A1} + R_{Апер1} + R_{рунн} = 5.5 + 0,08 + 0.1 + 15 = 20,59 \text{ мОм}.$$

$$X_1 = X_{тр} + X_{A1} = 17.1 + 0.08 = 17,18 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{A2} + R_{Апер2} + R_{кКЛ1} + R_{кЛ1} = 0.4 + 0.6 + 0.012 + 4.06 = 5.072 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{A2} + X_{кЛ1} = 0.5 + 9.6 = 10.1 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{A3} + R_{Апер3} + R_{кКЛ2} + R_{кЛ2} = 0.4 + 0.6 + 0.0024 + 3.58 = 4.5824 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{A3} + X_{KJ2} = 0.5 + 3.31 = 3.81 \text{ мОм}$$

Упрощенная схема замещения представлена на рисунке 9.

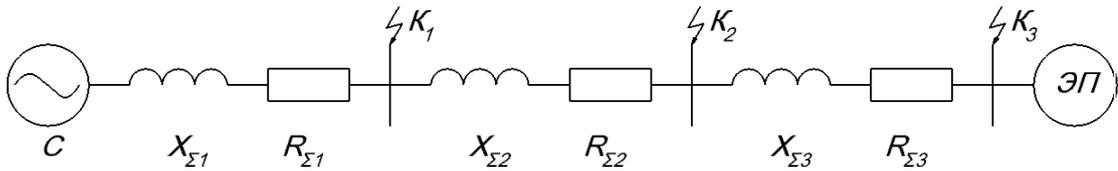


Рисунок 5. Расчёт токов КЗ для точки К-1

Определим суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2} = \sqrt{20.59^2 + 17.18^2} = 26.8 \text{ мОм.}$$

Определим действующее значение тока КЗ:

$$I_{к1} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{к1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 26.8} = 8.6 \text{ кА.}$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_y^{к1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1} = 1.05 \cdot \sqrt{2} \cdot 8.6 = 12.77 \text{ кА,}$$

Расчёт токов КЗ для точки К-2

Определим суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$Z_{к2} = \sqrt{(R_{к1} + R_{к2})^2 + (X_{к1} + X_{к2})^2} = \sqrt{(5.072 + 20.59)^2 + (17.18 + 10.1)^2} = 47.45 \text{ мОм.}$$

Определим действующее значение тока КЗ:

$$I_{к2} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{к2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 37.45} = 6.16 \text{ кА.}$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_y^{к2} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к2} = 1.05 \cdot \sqrt{2} \cdot 6.16 = 9.3 \text{ кА,}$$

Расчёт токов КЗ для точки К-3

Определим суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$Z_{к3} = \sqrt{(R_{к1} + R_{к2})^2 + (X_{к1} + X_{к2})^2} = \sqrt{(5.072 + 20.59 + 4.58)^2 + (17.18 + 10.1 + 3.81)^2} = 43.3 \text{ мОм.}$$

Определим действующее значение тока КЗ:

$$I_{к3} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{к3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 43.3} = 5.33 \text{ кА.}$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_y^{к3} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к3} = 1.05 \cdot \sqrt{2} \cdot 5.33 = 7.9 \text{ кА,}$$

Таблица 16.

Точка	X_{Σ} , МОм	R_{Σ} , МОм	$I_{к}$, кА	k_y	i_y , кА
К1	20.59	17.18	8.6	1,05	12.78
К2	5.072	10.1	6.16	1,05	9.3
К3	4.58	3.81	5.33	1,05	7.9

13. Расчет электрической сети по потери напряжения

Для расчета выберем цепь ГПП-ТП1-ПР20-Пресс гидравлический



Рисунок 6. Радиальная схема для расчета отклонения напряжения

Участок 1-2

Потери напряжения на данном участке определим по выражению:

$$\Delta U_i = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U^2}, \%$$

где R , X – активное и индуктивное сопротивления соответствующих участков сети, l – соответствующие длины участков сети, P , Q – активная и реактивная мощность на соответствующих участках.

Для этого рассчитаем активное и реактивное сопротивления кабельной линии:

$$R_{кл4} = r_0 \cdot l_4 = 1.25 \cdot 0.106 = 0.132 \text{ Ом}$$

$$X_{кл4} = x_0 \cdot l_4 = 0.091 \cdot 0.106 = 0.0096 \text{ Ом}$$

Определим потери напряжения на данном участке:

$$\begin{aligned} \Delta U_{12} &= \frac{(P_{12} + \Delta P_{ТП8}) \cdot R_{12} + (Q_{12} + \Delta Q_{ТП8}) \cdot X_{12}}{10 \cdot U^2} = \\ &= \frac{(185.5 + 6.07) \cdot 0.132 + (204.2 + 31.5) \cdot 0.0096}{10 \cdot 10.5^2} = 0.025\% \end{aligned}$$

Определим потери напряжения в вольтах:

$$\Delta U_{12} = 0.025 \cdot \frac{10500}{100} = 2.634 \text{ В}$$

Тогда напряжение в конце данного участка составляет:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 2.634 = 10497 \text{ В}$$

Участок 2-3

Потери напряжения на участке определяются потерей напряжения на цеховом трансформаторе и определяется по выражению:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2)^2$$

где U_a , U_p – активная и реактивная составляющие напряжения КЗ, $U_{к\%}$, $\cos \varphi_2$ и $\sin \varphi_2$ – коэффициенты мощности по нагрузке трансформатора (с учетом установки компенсирующих устройств).

Активная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора определяется:

$$U_a \% = \frac{\Delta P_k \cdot 100}{S_{ном.тр}} = \frac{5,5 \cdot 100}{400} = 1,375, \%$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{кз}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,375^2} = 5,325, \%$$

Коэффициенты мощности для вторичной нагрузки цехового трансформатора определяем по выражению:

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_{12}}{\sqrt{(P_{12} + \Delta P_{ТТ8})^2 + (Q_{12} + \Delta Q_{ТТ8})^2}} = \frac{185,5}{\sqrt{(185,5 + 6,07)^2 + (204,4 + 31,5)^2}} = 0,610$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Q_{12}}{\sqrt{(P_{12} + \Delta P_{ТТ8})^2 + (Q_{12} + \Delta Q_{ТТ8})^2}} = \frac{204,2}{\sqrt{(185,5 + 6,07)^2 + (204,2 + 31,5)^2}} = 0,672$$

β_T – отношение фактической нагрузки одного трансформатора к его номинальной мощности в рассматриваемом режиме работы;

$$\beta_T = \frac{\sqrt{(P_{12})^2 + (Q_{12})^2}}{S_{н.мп}} = \frac{\sqrt{185,5^2 + 204,2^2}}{400} = 0,7$$

Определяем потери напряжения на цеховом трансформаторе:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2)^2 = 3,061 \%$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН будет равно:

$$\Delta U_{23} = 10497 - 3,061 \cdot \frac{10500}{100} = 10176 \text{ В}$$

Напряжение на низкой стороне с учетом потерь будет составлять

$$U_3 = 0.4 \cdot \frac{10,176}{10,5} = 388B$$

Участок 3-4

Рассчитаем активное и реактивное сопротивления кабеля АВВГ(4х240)

$$R_{кв11} = r_0 \cdot l_{11} = 0.130 \cdot 0.125 = 0.0162 \text{ Ом}$$

$$X_{кв11} = x_0 \cdot l_{11} = 0.077 \cdot 0.125 = 0.0096 \text{ Ом}$$

Определяем потери напряжения на данном участке:

$$\Delta U_{34} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U^2} = \frac{99.2 \cdot 0.0162 + 85.6 \cdot 0.0096}{10 \cdot 0,388^2} = 1.618\%$$

Потери напряжения на данном участке в вольтах составляет

$$\Delta U_{34} = 1.618 \cdot \frac{388}{100} = 6,2B$$

Напряжение в конце данного участка составит:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 388 - 6.278 = 381.38B$$

Аналогично рассчитываем участок 4-5

Мощности ЭП:

$$P_{45} = 81кВт$$

$$Q_{45} = P_{45} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 60,75кВар$$

Потери напряжения на данном участке: $\Delta U_{45} = 0.937\%$

Напряжение в конце данного участка: $U_5 = 377.8B$

Расчет минимального режима

С помощью графика нагрузок для деревообрабатывающего предприятия имеем:

$$P_{\min} = 0,26 \cdot P_{\max}$$

$$Q_{\min} = \frac{0,12}{0,55} \cdot Q_{\max}$$

С учетом этого повторяем все расчеты и получаем следующие потери напряжения:

$$U_0 = 0\%$$

$$U_{12} = -0,007\%$$

$$U_{23} = -0,544\%$$

$$U_{34} = -0,942\%$$

$$U_{45} = -1,179\%$$

Расчет послеаварийного режима

В качестве аварийного режима рассмотрим выход из строя одного из трансформаторов цеховой подстанции, тогда мощность в узлах 2,3 возрастет в 2 раза, а в узлах 4,5 останется без изменений.

С учетом этого выполняем расчет и получаем:

$$U_0 = 5\%$$

$$U_{12} = 4,951\%$$

$$U_{23} = -1,449\%$$

$$U_{34} = -3,067\%$$

$$U_{45} = -4\%$$

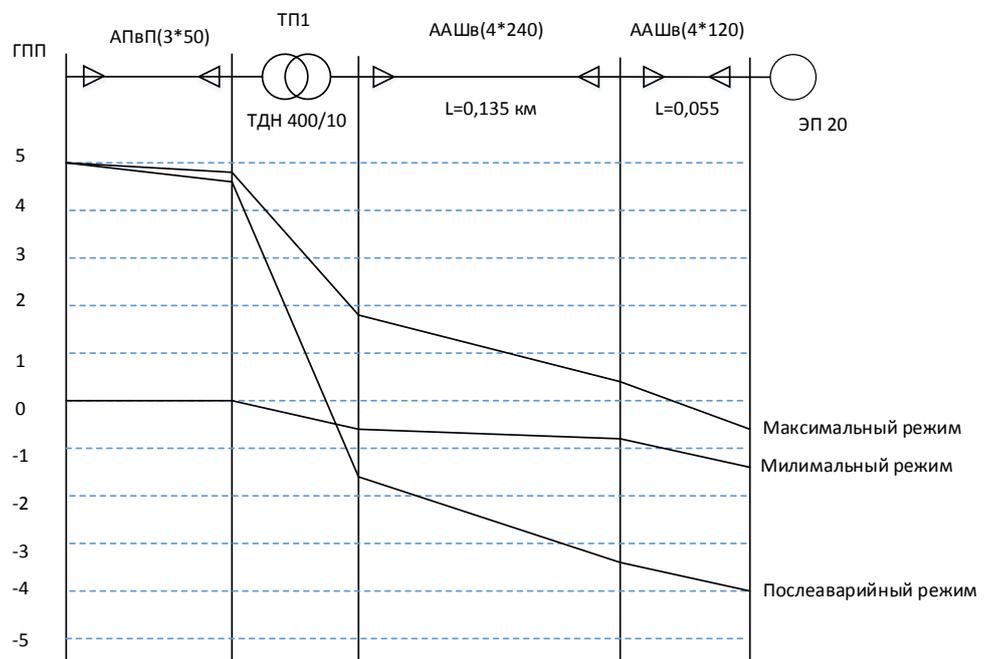


Рисунок 7. Эпюра отклонения напряжения

14. Построение карты селективности действия аппаратов защиты

Карта селективности действия аппаратов защиты строится в логарифмической системе координат и служит для проверки правильности выбора аппаратов защиты.

Таблица 17 Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	ТП-1	ПР-3	ЭП№20	Ток КЗ в соотв.точках, КА		
				1	2	3
I_p, A	607,7	199,04	–	8,6	6,16	5,33
$I_{пик}, A$	1520,4	995,2	–			
$I_{ном}, A$	–	–	195,34			
$I_{пуск}, A$	–	–	976,7			

Таблица 18 Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА 53-43 (ТП)	1000	5000
ВА 57-35 (ПР)	200	1100
ВА 57-35 (ЭП)	250	2000

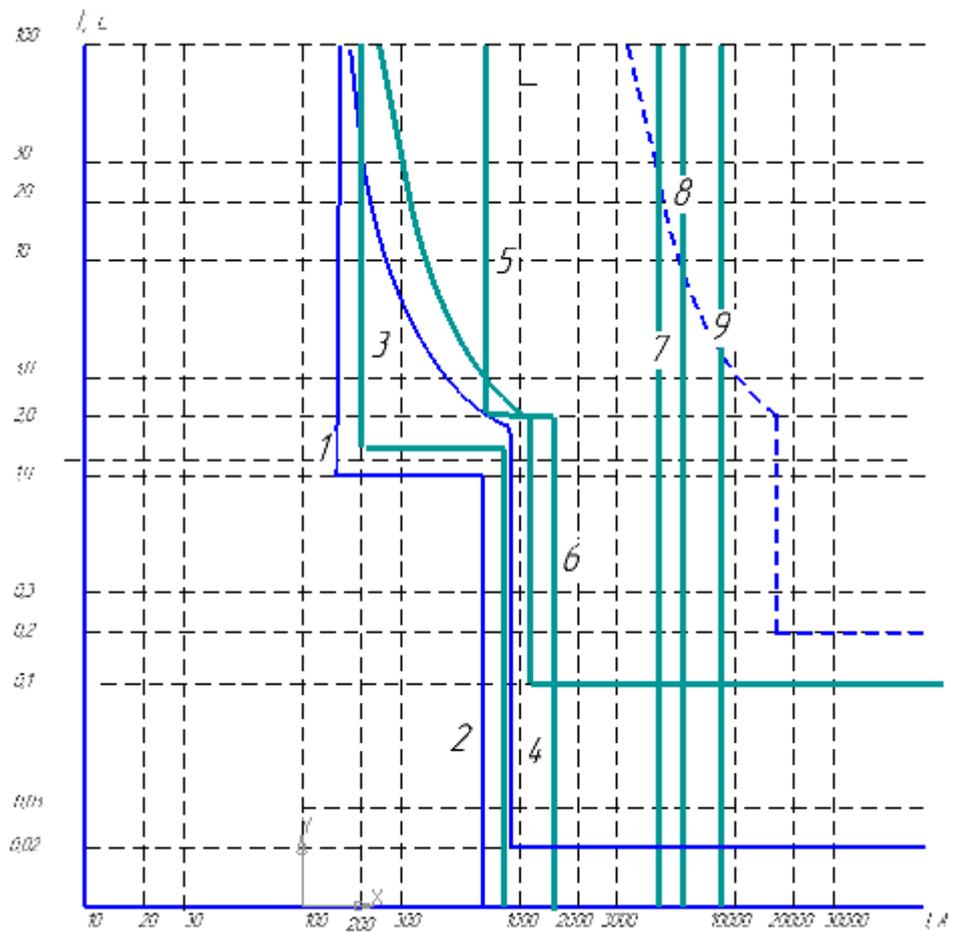


Рисунок 8. Карта селективности

- 1 - Номинальный ток ЭП№20;
- 2 - Пусковой ток ЭП№20
- 3- Расчетный ток ПР5;
- 4 - Пиковый ток ПР5;
- 5 – Расчетный ток ТП-9;
- 6 –Пиковый ток ТП-9;
- 7 - Значение тока короткого замыкания в точке K_1 ;
- 8 - Значение тока короткого замыкания в точке K_2 ;
- 9 - Значение тока короткого замыкания в точке K_3 ;

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены все поставленные задачи.

В результате расчета электрических нагрузок цеха по производству бильярдных столов были получены: расчетный ток, полная расчетная мощность. Также были определены полные расчетные мощности остальных цехов предприятия и полная расчетная мощность завода с учетом высоковольтной нагрузки и освещения территории.

По результатам расчета нагрузки по цехам завода построена картограмма нагрузок, определен центр электрических нагрузок. Место установки ГПП было выбрано вблизи центра электрических нагрузок в зоне рассеяния.

Определено число и мощность цеховых силовых трансформаторов марки ТМ мощностью 400 и 630 и произведено их распределение по цехам завода с учетом категории надежности.

Для рассматриваемой КТП был выбран трансформатор марки ТМ-630/10. Для питания трансформаторов от ТП-1 были выбраны кабели марки АПвП 3х50. Эти сети были проверены на действие токов КЗ.

Электроснабжение завода осуществляется от энергосистемы. На ГПП, с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей второй категории, устанавливаются два трансформатора ТМ-10000/110. Выбор трансформаторов осуществлялся с учетом компенсации реактивной мощности на предприятии путем установки КБ.

Питание к электроприемникам выполнено кабелями марок ААшВ сечением от 6 до 120 мм². В качестве защитной аппаратуры в сетях 0,4 кВ были приняты автоматические выключатели серии ВА.

Токи КЗ были просчитаны в нескольких точках как в сетях выше 1000 В, так и в низковольтных сетях.

По результатам расчетов были построены эпюры отклонений напряжения для максимального, минимального и послеаварийного режимов. Анализ эпюр показал, что во всех режимах отклонение напряжения не превышает максимально допустимого $\pm 5\%$.

По результатам расчета токов КЗ в сети 0,4 кВ построена карта селективности действия защитных аппаратов.

Произведен анализ технического проекта в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: SWOT-анализ работы и эксплуатации системы электроснабжения данного завода, планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. Была

произведена разработка плана-графика по выполнению технического проекта, а также была найдена ресурсоэффективность проекта.

В разделе « Социальная ответственность» была произведена оценка условий труда, приведены вредные и опасные факторы, их анализ, рассмотрены меры по защите от опасных факторов, пожарная безопасность и охрана окружающей среды.

В результате была спроектирована безопасная. надежная система электроснабжения мебельного завода для цеха по производству бильярдных столов.