

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)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство текстильного производства»

Студент

В.Ш. Муртазин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

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

Тольятти 2020

Аннотация

Выпускная квалификационная работа (ВКР) включает в себя проектирование электрохозяйства и электрических систем текстильного завода.

Были рассчитаны нагрузки предприятия, в том числе осветительных. После этого были выбраны цеховые трансформаторные подстанции и их местоположение, компенсирующие устройства, а также трансформаторы на ГПП предприятия.

На основании данных расчетов был произведен выбор схемы внутреннего электроснабжения предприятия, а также расчет питающих линий к ТП и цеховым распределительным пунктам. После чего был осуществлен расчет токов короткого замыкания на стороне 10 кВ для выбора высоковольтного оборудования.

Для трепально-сортировочного цеха был осуществлен выбор внутрицехового электроснабжения и электрооборудования. После чего были рассчитаны токи короткого замыкания для выбранных аппаратов.

Так же была рассчитана релейная защита на стороне 10 кВ и 0,4 кВ.

В выпускной квалификационной работе бакалавра имеется пояснительная записка в 57 стр., которая состоит из 21 таблицы, 6 чертежей в формате А1 и 8 рисунков.

Annotation

Graduation qualification work includes the design of the electrical facilities and electrical systems of a textile factory.

The loads of the facility, including lighting, were calculated. After that, manufacture transformer substations and their location, compensating devices, as well as transformers at the main step-down substation were selected.

Based on these calculations, a choice of the facility's internal power supply scheme was made, as well as the calculation of supply lines to the transformer substation and manufactory distribution points was made. After that, short-circuit currents were calculated on the 10 kV side to select high-voltage equipment.

For the scutch-sorting manufactory, a selection of internal power supply and electrical equipment was made. Then short-circuit currents were calculated for the selected devices.

Relay protection on the 10 kV and 0.4 kV side was also calculated.

In the Graduation qualification work of the bachelor there is an explanatory note of 51 pages, which consists of 23 tables, 6 drawings in A1 format and 7 figures.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта электроснабжения	6
2 Расчет цеховых нагрузок текстильного завода.....	8
2.1 Расчет нагрузок методом упорядоченных диаграмм.	8
2.2 Определение расчетных нагрузок методом коэффициента спроса.	16
3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок	17
4 Определение местоположения ГПП.....	22
5 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП.....	26
6 Выбор схемы внутреннего электроснабжения предприятия.....	28
7 Расчет токов коротких замыканий	31
8 Выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ ГПП.....	36
9 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения.....	41
9.1 Выбор электрооборудования для внутреннего электроснабжения предприятия цеха	41
10 Расчет токов короткого замыкания 0,4 кВ	47
11 Релейная защита и автоматика ТП.....	52
Заключение	54
Список используемой литературы	55

Введение

Промышленные предприятия являются главными потребителями электрической энергии, поэтому очень важно обеспечить их надежную и экономичную работу. Одной из областей легкой промышленности в России является текстильное производство, которое также нуждается в обеспечении электроэнергией.

Причем данная система электроснабжения должна удовлетворять ряду технических и экономических требований. В первую очередь, энергосистема должна быть надежной. На некоторых предприятиях имеются такие электроприемники, внезапный перерыв электропитания которых может приводить к возникновению опасности для жизни и здоровья людей. Во-вторых, не стоит забывать про экономичность. Так же система электроснабжения должна иметь минимальные затраты на сооружение, монтаж и эксплуатацию. Стоит уделить внимание безопасности, связанной с взаимодействием персонала с электрооборудованием. То есть, системы электроснабжения и все без исключения их элементы должны быть построены и выполнены таким образом, чтобы они не создавали какой-либо опасности для жизни и здоровья людей. При проектировании промышленного предприятия нужно обязательно учитывать требования ПУЭ [1].

Проектирование электрохозяйства и электрических систем промышленных предприятий включает в себя ряд разработанных процедур, которые не сильно отличаются для разных типов потребителей. Однако стоит учитывать некоторые нюансы, связанные с этим. В основном, такой проект должен включать такие разделы, как расчет нагрузок предприятия, в том числе, осветительных, выбор силового трансформатора и компенсирующих устройств, расчет коротких замыканий. Так же выбор электроснабжения внутри цеха либо крупного предприятия, выбор проводников и защитного оборудования.

1 Характеристика объекта электроснабжения

Напряжение электропотребителей текстильного завода составляет 380 В, промышленная частота - 50 Гц. Ближайшая электростанция находится на расстоянии 10 км, доступные напряжения питания на ней 110 и 220 кВ.

Краткая характеристика цехов по категории надежности электроснабжения, площади и номинальной мощности потребителей приведена в таблице 1.1. Подробная характеристика сортировочно-трепального цеха и перечень оборудования даны в таблице 1.2.

Таблица 1.1 - Краткая характеристика цехов

№	Название цеха	Номинальная мощность, кВт	Категория электроснабжения	Площадь цеха, м ²
1	Сортировочно – трепальный цех	940	2	3230
2	Чесальный цех	558	2	1320
3	Прядильный цех	622	2	3400
4	Мотальный цех	544	2	2660
5	Ткацкий цех	484	2	4560
6	Крутильный цех	712	2	5400
7	Сновальный цех	448	2	2000
8	Проходная	15	3	300
9	Корпус административный	90	3	500
10	Гараж	96	3	3000
11	Столовая	80	3	1000
12	Склад	90	3	2800

Таблица 1.2 - Характеристика сортировочно-трепального цеха

№ электроприемника	Наименование электроприемника	Номинальная мощность P_n , кВт	Коэффициент использования $K_{и}$	$\cos\varphi$
1...6	Размотчик рулонов льна	3,0	0,65	0,5
7...12	Сушилка льнотресты	15,0	0,6	0,5
13...18	Питающий транспортер	35,0	0,6	0,65
19...24	Слоеформирующая машина	4,5	0,65	0,65
25...30	Мяльная машина	9,5	0,65	0,65
31...36	Трепальная машина	36,0	0,6	0,65
37...48	Пресс для волокна	22,0	0,55	0,65
49	Вентилятор вытяжной	28,0	0,6	0,8
50	Вентилятор приточный	30,0	0,6	0,8

Генеральный план предприятия указан на рисунке 1.1.

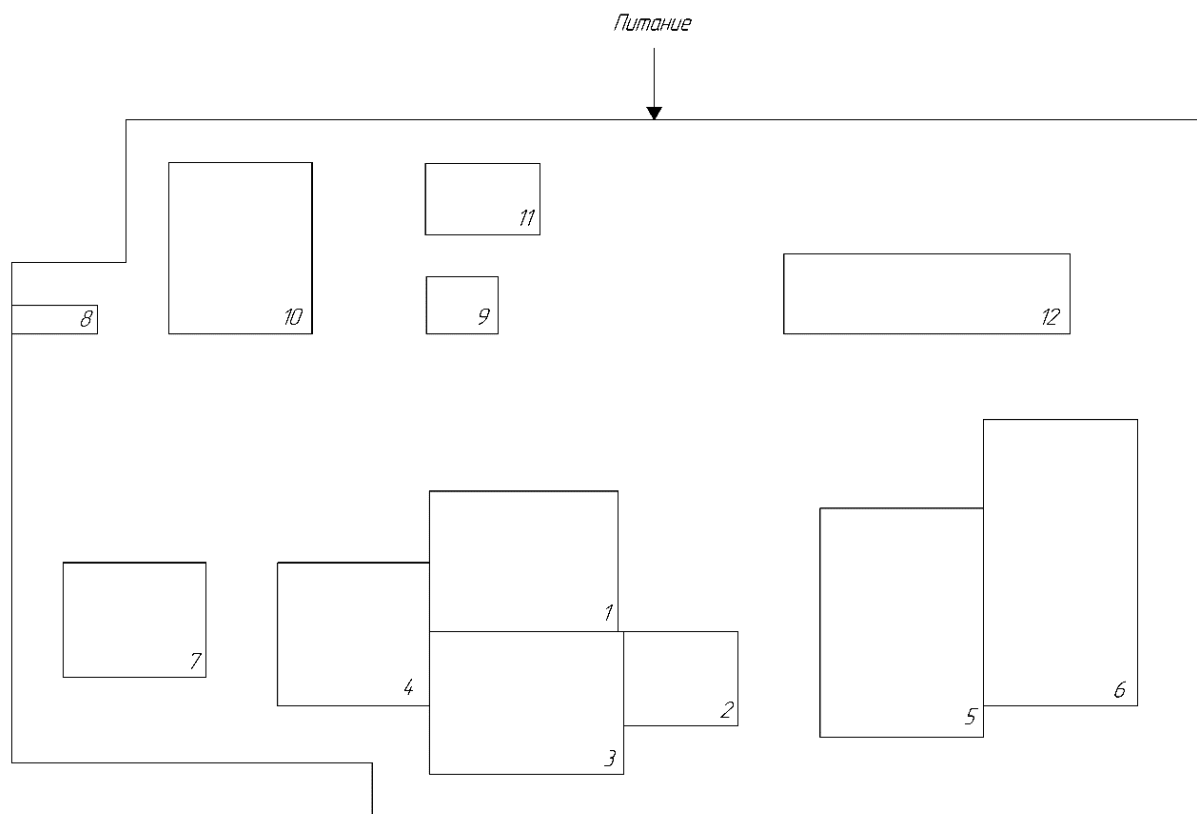


Рисунок 1.1 – Генеральный план предприятия

2 Расчет цеховых нагрузок текстильного завода

В данном пункте будет произведен расчет нагрузок цехов двумя разными способами: методом упорядоченных диаграмм показателей графиков нагрузки и методом использования коэффициента спроса.

Первый способ является наиболее точным, но при этом необходима подробная информация о каждом электроприемнике и о режиме его работы. Данный способ предусматривает нахождение расчетной нагрузки по средней потребляемой мощности за наиболее загруженную смену и коэффициенту максимума (расчетному коэффициенту)[2]. Таким образом будет рассчитан сортировочно-трепальный цех.

Второй способ применяется в случае отсутствия подробной информации об объекте электроснабжения и относится к упрощенным методам расчета нагрузок [2]. Таким образом будут рассчитаны все остальные цеха.

Также для расчета освещения цехов применяется метод удельной мощности на единицу площади.

2.1 Расчет нагрузок методом упорядоченных диаграмм.

В качестве примера расчетанагрузок методом упорядоченных диаграмм был выбран сортировочно-трепальный цех.

В сортировочно-трепальном цехе кипы с хлопковым волокном сортируются и направляются по транспортерной линии к разрыхлительно-трепальной установке. Там хлопковое волокно очищается от остатков жестких сорных примесей и формируется в холст - рулон, сложенный из уплотненного слоя хлопка.

Для этой цели установлено следующее оборудование, которое указано в таблице 1.2. Потребители цеха, в основном, относятся ко 2 категории надежности электроснабжения, работают в нормальной окружающей среде.

Размеры цеха $A \times B \times H = 66 \times 49 \times 8$ м. Цех состоит из производственного, вентиляторного, трансформаторного, складского

помещений, высота которых равна 8 м. Высота остальных помещений составляет 4 м. План цеха расположен на рисунке 2.1.

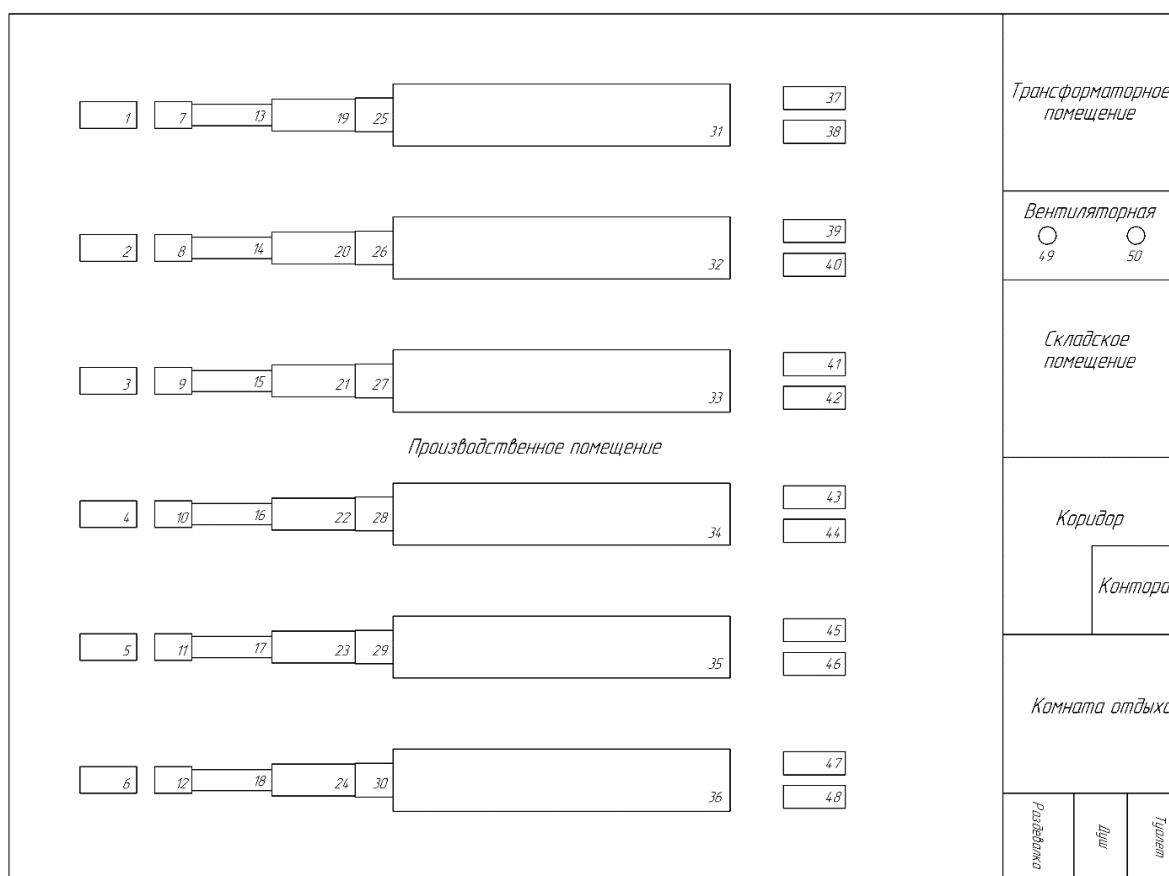


Рисунок 2.1 – План сортировочно-трепального цеха

Результаты расчетов нагрузок сортировочно-трепального цеха будут записаны в таблицу 2.3. Порядок заполнения данной таблице изложен в указанию по расчету нагрузок [3].

Сначала рассчитывается общая активная нагрузка одного электроприемника. Например, общая активная мощность всех размотчиков рулонов льна рассчитывается по формуле 2.1:

$$\sum P_H = n \cdot P_H \quad (2.1)$$

$$\sum P_H = 6 \cdot 3 = 18 \text{ кВт}$$

В итоге записывается общая активная мощность, данный параметр записывается в 4 столбик таблицы 2.3.

Далее рассчитывается среднесменные активная и реактивная мощности по формуле 2.2 и 2.3:

$$P_{\text{ср.см.}} = K_{\text{И}} \cdot \sum P_{\text{Н}} \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{ср.см.}} = K_{\text{И}} \cdot \sum P_{\text{Н}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (2.3)$$

$$P_{\text{ср.см.}} = 0,65 \cdot 18 = 11,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ср.см.}} = 0,65 \cdot 18 \cdot 0,75 = 8,78 \text{ кВт}$$

В итоге записываются суммарные значения этих параметров для разных электропотребителей.

В 9 столбик записывается количество электроприемников умноженное на мощность в квадрате. В итоге записывается суммарное значение.

После расчета данных величин для каждого вида электроустановок рассчитывается общая нагрузка цеха.

Итоговый $K_{\text{И.ср.}}$ рассчитывается по формуле 2.4:

$$K_{\text{И.ср.}} = \frac{\sum P_{\text{ср.см.}}}{\sum P_{\text{Н.Ит.}}} \quad (2.4)$$

$$K_{\text{И.ср.}} = \frac{556}{940} = 0,591$$

Итоговый тангенс $\text{tg } \varphi_{\text{ср}}$ рассчитывается по формуле 2.5:

$$\text{tg } \varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_{\text{ср.см.}}}{\sum P_{\text{ср.см.}}} \quad (2.5)$$

$$\text{tg } \varphi_{\text{ср}} = \frac{478}{556} = 0,86$$

В 10 столбик записывается эффективное количество электроприемников, которое рассчитывается по формуле 2.6:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_{\text{Н}})^2}{\sum (n \cdot P_{\text{Н}}^2)} \quad (2.6)$$

$$n_{\text{Э}} = \frac{940^2}{24685} = 36$$

В 11 столбик записывает расчетный коэффициент нагрузки согласно отношению $K_{\text{Р}} = F(n_{\text{Э}}; K_{\text{И}})$ для шины на низкой стороне трансформатора.

Далее находится расчетная активная мощность по формуле 2.7:

$$P_{\text{Р}} = K_{\text{Р}} \cdot \sum P_{\text{ср.см.}} \quad (2.7)$$

$$P_p = 1 \cdot 556 = 556 \text{ кВт}$$

Так как $n_3 > 10$, то реактивная мощность рассчитывается по формуле 2.8:

$$Q_p = \sum P_{\text{ср.см.}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ср}} \quad (2.8)$$

$$Q_p = 556 \cdot 0,86 = 478 \text{ кВт}$$

Полная мощность рассчитывается по формуле 2.9:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.9)$$

$$S_p = \sqrt{556^2 + 478^2} = 733 \text{ кВА}$$

Расчетный ток рассчитывается по формуле 2.10:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.10)$$

$$I_p = \frac{733}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1115 \text{ А}$$

Теперь необходимо рассчитать осветительную нагрузку цеха.

Для освещения выберем светильники, представленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики выбранных светильников

Светильник	Мощность P, Вт	Световой поток Φ, Лм	cosφ
LB/S M ECO LED 75 5000K (для помещений высотой 8 м)	75	8500	0,95
INOX LED 30 Ex 5000K (для помещений высотой 4 м)	26	2604	0,95

В качестве примера ручного расчета освещенности выбрана комната отдыха, остальные помещения будут рассчитаны в программе DIALuxе 4. Для данного примера выбран светильник INOX LED 30 Ex 5000K. Основная методика расчета освещения приведена в следующих источниках [4-8].

Площадь помещения – $S = 90 \text{ м}^2$ ($A = 9 \text{ м}$, $B = 10 \text{ м}$), высота помещения – $H = 4 \text{ м}$, высота подвеса светильников – $h_1 = 0 \text{ м}$, высота расчетной

поверхности – $h_2 = 0,8$ м, коэффициент запаса – $k_3 = 1,25$, требуемая горизонтальная освещенность – $E = 100$ лк.

Для определения коэффициента использования – η необходимо предварительно определить индекс помещения – i по формуле 2.11:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (A + B)} \quad (2.11)$$

$$i = \frac{90}{(4 - 0 - 0,8) \cdot (9 + 10)} = 1,48$$

Определить коэффициент использования η можно по справочным данным [4]. Для $k_3 = 1,25$ и $i = 0,75$ получаем $\eta = 0,64$.

Далее переходим к расчету количества светильников – N по формуле 2.12:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot \Phi} \quad (2.12)$$

$$N = \frac{100 \cdot 90 \cdot 1,25}{0,64 \cdot 2604} = 6,75$$

Данное значение округляется и берем количество светильников $N = 7$.

Расчеты количества светильников для остальных помещений будут производиться в программе DIALux и будут представлены в приложении, а результаты в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Расчет мощности искусственного освещения по цеху

Помещение	Высота помещения, м	Количество светильников	Мощность, Вт
Производственное помещение	8	132	9900
Трансформаторное помещение	8	8	600
Вентиляторная	8	6	450
Складское помещение	8	4	300
Коридор	4	6	156
Кантора	4	12	320
Комната отдыха	4	7	182
Душ	4	2	52
Раздевалка	4	3	78

Туалет	4	2	52
Итого	4/8	182	12090

Далее необходимо рассчитать среднесменную активную мощность осветительной нагрузки по формуле 2.13:

$$P_{\text{осв.ср.см.}} = P \cdot K_{\text{и}} \quad (2.13)$$

$$P_{\text{осв.ср.см.}} = 12090 \cdot 0,9 = 10,9 \text{ квар}$$

Зная активную среднесменную мощность осветительной нагрузки, можно найти среднесменную реактивную по формуле 2.14:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв.ср.см.}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (2.14)$$

$$Q_{\text{осв}} = 10,9 \cdot 0,33 = 3,60 \text{ квар}$$

Полученные значения заносим в таблицу 2.3.

Расчетный ток на ШНН с освещением рассчитывается по формуле 2.15:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (2.15)$$

$$I_{\text{р}} = \frac{744}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1115 \text{ А}$$

Таблицы 2.3 - Сводная ведомость нагрузок

Исходные величины						Расчетные величины			Эффективное число ЭП n_{Σ}	Коэффициент расчетной нагрузки K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток I_p , А
По заданию				По справочным данным		$K_{и} \cdot \sum P_H$	$K_{и} \cdot \sum P_H \cdot \text{tg} \phi$	$n \cdot P_H \cdot P_H$			Активная мощность P_p , кВт	Реактивная мощность Q_p , квар	Полная мощность S_p , кВА	
Наименование ЭП	Количество ЭП n	Номинальная мощность		Коэффициент использования $K_{и}$	Коэффициенты мощности $\cos \phi$ / $\text{tg} \phi$									
		Одного ЭП P_H , кВт	Общая ЭП $\sum P_H$, кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Размотчик рулонов льна	6	3	9	0,65	0,8/0,75	11,7	8,78	54						
Сушилка льнотресты	6	15	45	0,6	0,8/0,75	54	40,5	1350						
Питающий транспортер	6	35	115	0,6	0,75/0,88	126	111	7350						
Слоеформирующая машина	6	4,5	12,5	0,65	0,7/1,02	17,6	17,9	122						
Мяльная машина	6	9,5	28,5	0,65	0,75/0,88	37,1	32,7	542						
Трепальная машина	6	36	108	0,6	0,7/1,02	130	132	7776						
Пресс для волокна	12	22	66	0,55	0,8/0,75	145	109	5808						

Продолжение таблицы 2.3

Вентилятор вытяжной	1	28	28	0,6	0,8/0,75	16,8	12,6	784						
Вентилятор приточный	1	30	30	0,6	0,8/0,75	18	13,5	900						
Итого на ШНН без освещения	50	3/35	940	0,59	-/0,86	556	478	24685	36	1	556	478	733	1115
Освещение	182	0,026/ 0,075	12,1	0,9	0,95/0,33	10,9	3,6	0,862						
Итого на ШНН с освещением	232	0,026/35	952	0,60	-/0,85	567	482	24685	36	1	567	482	744	1130

2.2 Определение расчетных нагрузок методом коэффициента спроса.

Для определения расчетных нагрузок методом коэффициента спроса был выбран сновальный цех. Расчетная активная мощность по методу коэффициента спроса определяется по формуле 2.16:

$$P_p = P_H \cdot k_c, \quad (2.16)$$

где k_c – коэффициент спроса, зависящий от вида производства и определяющийся по справочным материалам [4].

$$P_p = 448 \cdot 0,8 = 358 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная мощность по методу коэффициента спроса определяется по формуле 2.17:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.17)$$

$$Q_p = 358 \cdot 0,88 = 315 \text{ квар}$$

Далее необходимо рассчитать осветительную нагрузку цехов методом удельных мощностей.

Расчетная активная осветительная нагрузка определяется по формуле 2.18:

$$P_{\text{осв}} = p_{\text{уд}} \cdot F \cdot k_c, \quad (2.18)$$

где $p_{\text{уд}}$ – удельная мощность освещения, определяется в зависимости от площади цеха и типа ламп, кВт/м², определяется по справочным материалам [4];

F – площадь цеха, м²;

$k_c = 0,95$ – коэффициент спроса для производственных зданий [4].

$$P_{\text{осв}} = 12 \cdot 2000 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная осветительная нагрузка определяется по формуле 2.19:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.19)$$

$$Q_{\text{осв}} = 22,8 \cdot 0,33 = 7,52 \text{ квар}$$

Расчетная нагрузка цехов определяется по формуле 2.20:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{осв}})^2 + (Q_p + Q_{\text{осв}})^2} \quad (2.20)$$

$$S_p = \sqrt{(358 + 22,8)^2 + (315 + 7,52)^2} = 500 \text{ кВА}$$

Результаты расчетов сведены в таблице 2.4. Значения расчетной нагрузки для сортировочно-трепального цеха взяты из таблицы 2.3.

Таблица 2.4 – Расчетные нагрузки цехов, определенные с помощью коэффициента спроса

Название цеха	P_n , кВт	$\cos\varphi$ / $\operatorname{tg}\varphi$	k_c	P_p , кВт	Q_p , квар	F , м ²	$p_{уд}$, Вт/м ²	$\cos\varphi_0$ / $\operatorname{tg}\varphi_0$	$P_{осв}$, кВт	$Q_{осв}$, квар	ΣP_p , кВт	ΣQ_p , квар	ΣS_p , кВА
Сортировочно – трепальный цех	940	-	-	556	478	3230	-	-	10,9	3,6	567	482	744
Чесальный цех	558	0,8/0,75	0,8	446	772	1320	12	-/0,33	15,0	4,97	461	777	904
Прядильный цех	622	0,7/1	0,8	498	498	3400	12	-/0,33	38,8	12,8	536	510	740
Мотальный цех	544	0,8/0,75	0,75	408	543	2660	14	-/0,33	35,4	11,7	443	554	710
Ткацкий цех	484	0,75/0,88	0,85	411	547	4560	20	-/0,33	86,6	28,6	498	576	761
Крутильный цех	712	0,85/0,62	0,8	570	427	5400	10	-/0,33	51,3	16,9	621	444	763
Сновальный цех	448	0,75/0,88	0,8	358	315	2000	12	-/0,33	22,8	7,52	381	323	500
Проходная	15	0,8/0,75	0,7	10,5	7,88	300	14	-/0,33	3,99	1,32	14,5	9,19	17,2
Корпус административный	90	0,8/0,75	0,7	63	47,3	500	20	-/0,33	9,5	3,14	72,5	50,4	88,3
Гараж	96	0,65/1,17	0,5	48	56,2	3000	9	-/0,33	25,7	8,46	73,7	64,6	98
Столовая	80	0,85/0,62	0,7	56	34,7	1000	12	-/0,33	11,4	3,76	67,4	38,5	77,6
Склад	90	0,5/1,73	0,2	18	31,1	2800	7	-/0,33	18,6	6,14	36,6	37,3	52,3
Внешнее электроосвещение						67720	0,14	-/0,33	9,48	3,13	9,48	3,13	9,98
Итого				3443	3757						3781	3869	5410

3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок

В данном пункте необходимо выбрать трансформаторы для цеховых подстанций, а также компенсирующие устройства для компенсации реактивной мощности.

Число питающих линий и трансформаторов определяется категорией надежности электроснабжения цехов[9, 10,11].

Согласно ПУЭ, «электроприемники первой категории - электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Электроприемники второй категории - электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники третьей категории - все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.[1]»

Если в цеху преобладают потребители I и II категорий, то используют двухтрансформаторные подстанции. В противном случае, устанавливается один трансформатор.

Перед началом расчета необходимо проанализировать генеральный план текстильного завода, изучить расположение цехов относительно друг друга и мощность из них.

Для данного объекта было принято решение о соединении цехов 1, 2, 3 и 4 и цехов 5, 6 и 12 из-за близкого расположения относительно друг друга. Для объектов 8, 9, 10, 11, 12 устанавливаем одну трансформаторную подстанцию из-за небольшой нагрузки. Также от данной ТП будет питаться внешнее освещение.

Расчетная мощность КУ рассчитывается по формуле 3.1:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_{к.р}), \quad (3.1)$$

где $Q_{к.р}$ - расчетная мощность КУ, квар;

α - коэффициент, учитывающий повышение $cos\varphi$ естественным способом, принимается $\alpha = 0,9$;

P_p - расчетная активная мощность цеха, кВт;

$tg\varphi$, $tg\varphi_{к.р}$ - коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Обычно компенсацию реактивной мощности осуществляют до получения значения $tg\varphi_k = 0,33 \dots 0,48$.

Полная мощность нагрузки для определения параметров трансформаторной подстанции рассчитывается по формуле 3.2:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{к.р})^2} \quad (3.2)$$

После этого рассчитывается плотность электрической нагрузки цеха по формуле 3.3:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.3)$$

где σ - плотность электрической нагрузки цеха(-ов), кВА / м²;

S_p - полная расчетная мощность по цеху(-ам) с учетом компенсации, кВА;

$F_{ц}$ - площадь цеха(-ов), м²;

На основании данного параметра принимается решение о количестве трансформаторных подстанций и мощности трансформаторов для цехов с большой мощностью для цехов с большой мощностью[12].

После этого рассчитывается мощность цеховых трансформаторов по формуле 3.4:

$$S_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T}, \quad (3.4)$$

где S_T – полная мощность одного трансформатора, кВА;

S_p – полная расчетная мощность по цеху(-ам) с учетом компенсации, кВА;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

N_T – количество трансформаторов в цеховой ПС.

Количество трансформаторов и коэффициент загрузки для каждой категории надежности определяется по справочным материалам[12].

Расчетная мощность трансформатора округляется до ближайшей стандартной мощности по шкале, представленной в [13].

Далее будет произведен расчет первой цеховой подстанции. Категория надежности данных цехов – 2.

Суммарные активная и реактивная мощности определяются по формулам 3.5 и 3.6:

$$\sum P_P = P_{P1} + P_{P2} + P_{P3} + P_{P4} \quad (3.5)$$

$$\sum Q_P = Q_{P1} + Q_{P2} + Q_{P3} + Q_{P4} \quad (3.6)$$

$$\sum P_P = 567 + 461 + 536 + 443 = 2007 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_P = 482 + 777 + 510 + 554 = 2323 \text{ квар}$$

$Tg\varphi$ для цехов определяется по формуле 3.7:

$$tg \varphi = \frac{\sum Q_P}{\sum P_P} \quad (3.7)$$

$$tg \varphi = \frac{2323}{2007} = 1,16$$

Мощность КУ на напряжение 0,4 кВ рассчитывается по формуле 3.1:

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 2323 \cdot (1,16 - 0,33) = 1500 \text{ квар}$$

Далее рассчитывается полная мощность цеха с учетом компенсации по формуле 3.2:

$$S_p = \sqrt{2007^2 + (2323 - 1500)^2} = 2169 \text{ кВА}$$

После чего определяется плотность электрической нагрузки цеха по формуле 3.3:

$$\sigma = \frac{2169}{10610} = 0,204 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$$

Максимальная мощность трансформаторов определяется по справочным данным [12]. Оптимальная мощность трансформаторов составляет 1600 кВА. Количество трансформаторов рассчитывается по формуле 3.5:

$$N_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot S_T} \quad (3.5)$$

$$N_T \geq \frac{2169}{0,8 \cdot 1600} = 1,68$$

Таким образом, выбирается 2 трансформатора мощностью 1600 кВА и 2 компенсирующих устройств АУКРМ-750 0,4.

Расчет остальных цехов проводится аналогично.

Все данные по расчетам заносятся в таблицу 3.1

Таблица 3.1 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и КУ

№	Наименование цехов предприятия	Категория надежности	$F_{ц}, м^2$	$\sigma, кВА/м^2$	$P_p, кВт$	$Q_{к.р}, квар$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	Принято к установке		
									КУ	$S_{н.т}, кВА$	$n_T / n_{КУ}$
1	Сортировочно – трепальный цех	2	10610	0,204	2007	1500	823	2169	АУКРМ-750-0,4	1600	2/2
2	Чесальный цех	2									
3	Прядильный цех	2									
4	Мотальный цех	2									
5	Ткацкий цех	2	12760	0,0974	1156	600	457	1243	АУКРМ-300-0,4	1000	2/2
6	Крутильный цех	2									
12	Склад	3									
7	Сновальный цех	2	6800	0,1	619	250	239	663	АУКРМ-125-0,4	630	2/2
8	Проходная	3									
9	Корпус административный	3									
10	Гараж	3									
11	Столовая	3									
13	Внешнее освещение	3									
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p, кВА$:								4075			

4 Определение местоположения ГПП

В данном пункте нужно провести расчеты, необходимые для определения наиболее целесообразного расположения ГПП и компенсирующих устройств.

В таблице 4.1 приведены трансформаторные подстанции с подключенными к ним цехами и активными и реактивными мощностями.

Таблица 4.1 – Данные по мощностям цеховых ТП

Название цехового ТП	ТП1	ТП2	ТП3
Номера цехов подключенных к данным цеховым ТП	1, 2, 3, 4	5, 6, 12	7, 8, 9, 10, 11
P_p , кВт	2007	1156	619
Q_p , квар	823	457	239

Для начала генплан предприятия будет нанесен на картограмму с осями X и Y. Масштаб будет равен $m_r = 25$ м/см. После чего необходимо расположить цеховые ТП, чтобы они были расположены как можно ближе к ГПП. Размер цеховых ТП равен 10x10 метров.

После этого необходимо определить координаты X и Y каждой цеховой ТП.

Следующим шагом будет определение радиусов активных и реактивных нагрузок. Принимаем для наименьшей нагрузки (Ц26) радиус $R_{A3} = 25$ м., тогда масштаб находится по формуле 4.1:

$$m_a = \frac{P_3}{\pi R_{A3}^2} \quad (4.1)$$

$$m_a = \frac{619}{3,14 \cdot 25^2} = 0,315 \text{ кВт/м}^2$$

Принимается $m_a = 0,32$ кВт/м².

Определяется радиус для наибольшей нагрузки цеховых ТП по формуле 4.2:

$$R_A = \sqrt{\frac{P}{\pi m_a}} \quad (4.2)$$

$$R_{A1} = \sqrt{\frac{2007}{3,14 * 0,32}} = 45 \text{ м}$$

Аналогично рассчитываются радиусы для остальных цехов.

Так же принимается масштаб $m_p = 0,32$ квар/м², и радиусы реактивных мощностей рассчитываются по формуле 4.3:

$$R_p = \sqrt{\frac{Q}{\pi m_p}} \quad (4.3)$$

$$R_{p1} = \sqrt{\frac{823}{3,14 \cdot 0,32}} = 29 \text{ м}$$

Занесем все значения в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Данные по радиусам мощностей цеховых ТП

Название цехового ТП	Цеховая подстанция №1	Цеховая подстанция №2	Цеховая подстанция №3
X, м	207	345	100
Y, м	110	135	175
P_p , кВт	2007	1156	619
R_A , м	45	34	25
Q_p , квар	823	457	239
R_p , м	23	21	15

Центры цеховых ТП, и радиусы активных и реактивных нагрузок указаны на рисунке 4.1.

Условные ЦЭН активной и реактивной определяются по формулам 4.4, 4.5, 4.6 и 4.7:

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (4.4)$$

$$Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (4.5)$$

$$X_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (4.6)$$

$$Y_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (4.7)$$

$$Y_{a0} = \frac{(2007 \cdot 110 + 1156 \cdot 135 + 619 \cdot 175)}{2007 + 1156 + 619} = 128 \text{ м}$$

$$X_{p0} = \frac{(823 \cdot 207 + 457 \cdot 345 + 239 \cdot 100)}{823 + 457 + 239} = 232 \text{ м}$$

$$X_{a0} = \frac{(2007 \cdot 207 + 1156 \cdot 345 + 619 \cdot 100)}{2007 + 1156 + 619} = 231 \text{ м}$$

$$Y_{p0} = \frac{(823 \cdot 110 + 457 \cdot 135 + 239 \cdot 175)}{823 + 457 + 239} = 128 \text{ м}$$

Из этого следует, что рядом с точкой *А* должна располагаться ГПП, а рядом с точкой *В* - ККУ или СК.

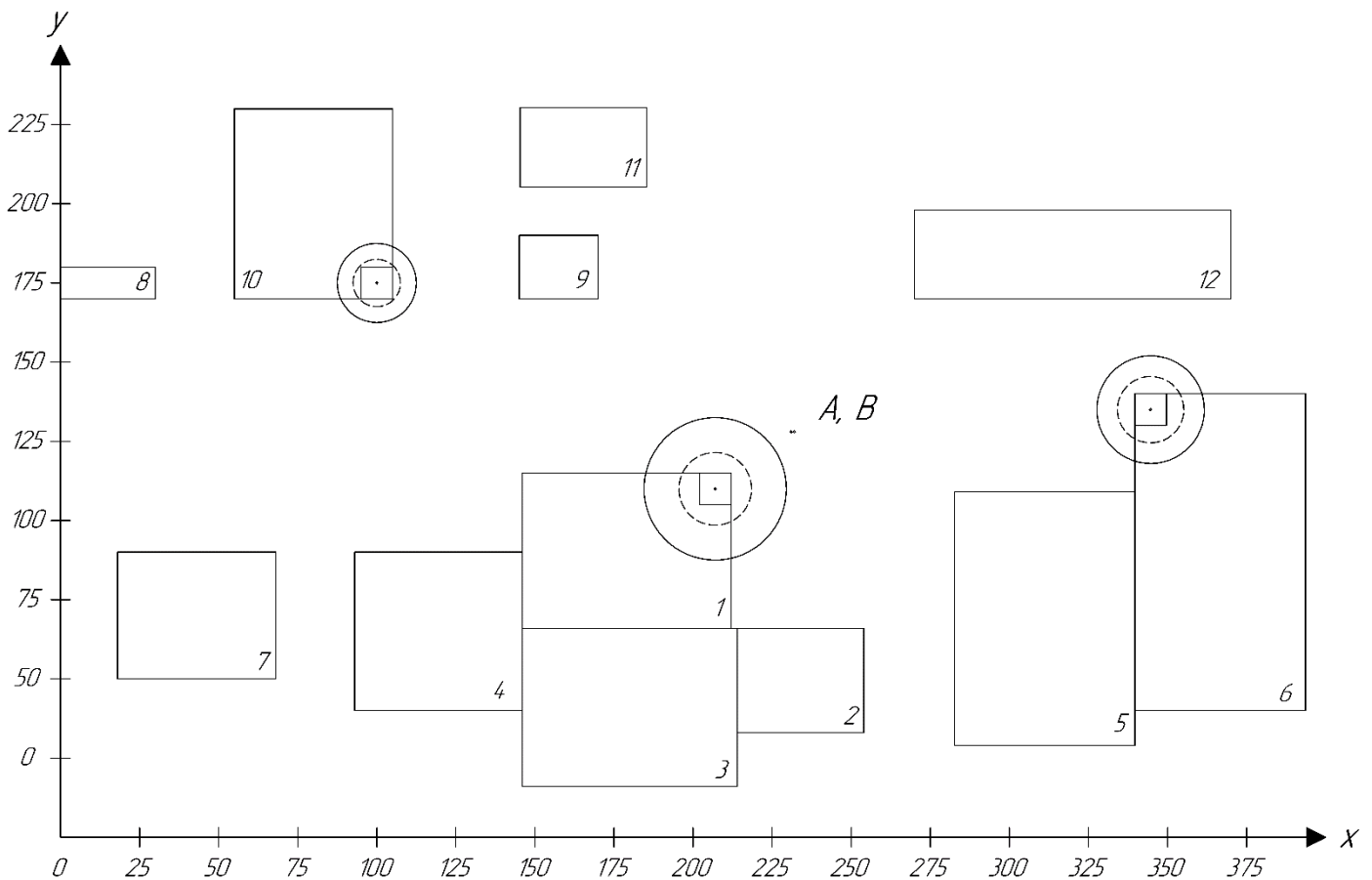


Рисунок 4.1 – Картограмма нагрузок

На рисунке 4.2 приведен генеральный план предприятия с нанесенными ТП и кабельными линиями.

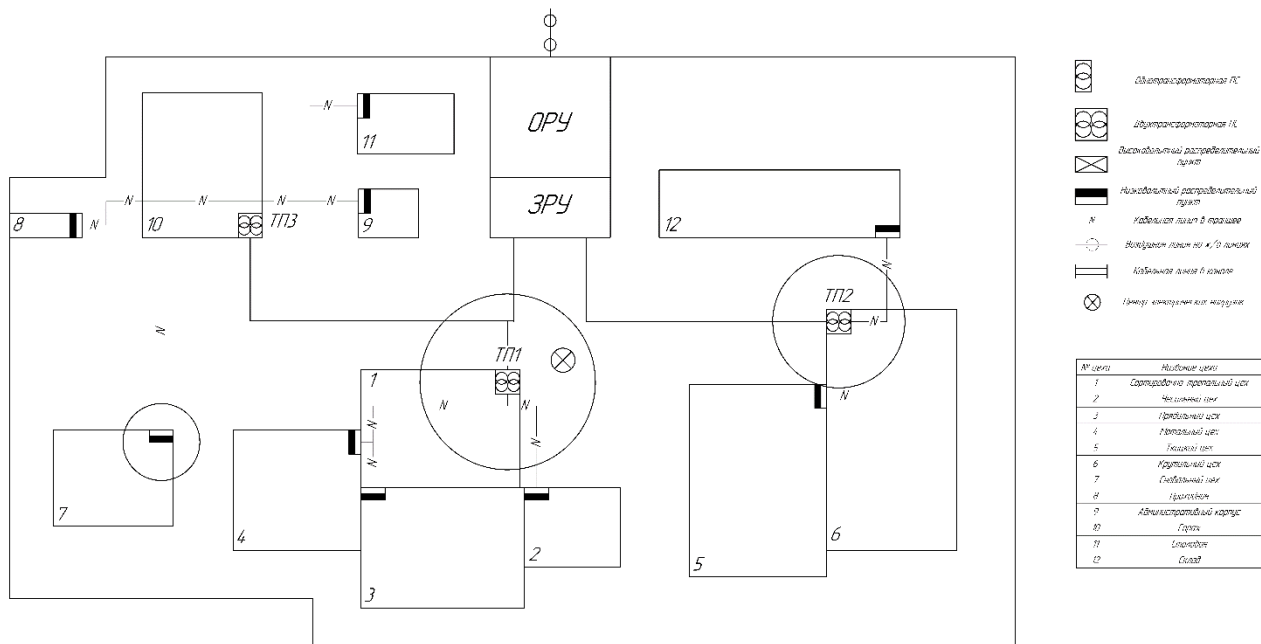


Рисунок 4.2 - План предприятия с нанесенными ТП и кабельными линиями

5 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП

В данном пункте будет осуществлен выбор напряжения питания, а также выбор типа, числа и мощности трансформаторов на главной понизительной подстанции предприятия.

Выбор напряжения питания ГПП промышленного предприятия зависит от напряжения возможного источника питания, расстояния от подстанции предприятия до этого источника питания, возможности размещения высоковольтных воздушных и кабельных линий электропередачи, условий окружающей среды и ряда других факторов.

Для начала рассчитываются активные потери на цеховых трансформаторах по формуле 5.1:

$$\Delta P_T = \sum S_p \cdot 0,02 \quad (5.1)$$

$$\Delta P_T = 4072 \cdot 0,02 = 81,4 \text{ кВт}$$

Далее необходимо найти суммарную активную мощность по всему предприятию по формуле 5.2:

$$P_{РП} = P_p + \Delta P_T \quad (5.2)$$

$$P_{РП} = 3781 + 81,4 = 3862 \text{ кВт}$$

После этого определяется величина рационального напряжения, которую можно определить по формуле Стилла 5.3:

$$U_{РАЦ} = 4,34 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,016 \cdot P_{РП}} \quad (5.3)$$

$$U_{РАЦ} = 4,34 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,016 \cdot 3862} = 108 \text{ кВ}$$

Согласно расчетам, питающее напряжение будет равно 110 кВ.

Далее определяется экономически целесообразная реактивная мощность, потребляемая предприятием из энергосистемы, на стороне ВН ГПП по формуле 5.4:

$$Q_{ЭС} = P_{РН} \cdot \text{tg } \varphi_{ЭС} \quad (5.4)$$

$$Q_{ЭС} = 3862 \cdot 0,54 = 2085 \text{ квар}$$

Коэффициент экономически целесообразной реактивной мощности $\text{tg } \varphi_{ЭС}$ находится согласно питающему напряжению от сетей [11].

После чего рассчитывается значение полной расчетной мощности промышленного предприятия по формуле 5.5:

$$S_{\text{рп}} = \sqrt{P_{\text{рп}}^2 + Q_{\text{эс}}^2} \quad (5.5)$$

$$S_{\text{рп}} = \sqrt{3862^2 + 2085^2} = 4389 \text{ кВА}$$

Номинальную мощность трансформаторов на ГПП определяется по формуле 5.6:

$$S_{\text{т}} \geq \frac{S_{\text{р}} \cdot K_{1-2}}{K_{\text{пер}}} \quad (5.6)$$

$$S_{\text{т}} \geq \frac{4389 \cdot 0,8}{1,4} = 2508 \text{ кВА}$$

Коэффициенты для нахождения мощности берутся из справочных данных [12].

Для установки на ГПП предприятия выбирается 2 трансформатора ТМН-2500/110/10.

6 Выбор схемы внутреннего электроснабжения предприятия

В данном пункте будет произведен выбор схемы внутреннего электроснабжения предприятия, а также расчет питающих линий к ТП и цеховым распределительным пунктам.

Согласно «Нормам технического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий»[15] так как отсутствуют электроприемники на 6 кВ, для распределительной сети предприятия предпочтительнее выбрать напряжение 10 кВ. Распределительная сеть по территории предприятия выполняется кабельными линиями (КЛ). До цеховых подстанций кабельная линия будет прокладываться в каналах, а в зданиях в лотках. Во всех остальных случаях в траншеях.

Завод имеет сосредоточенную нагрузку, расположенную в разных направлениях от центра питания и имеет потребителей на напряжение 0,4 кВ, поэтому целесообразно выбрать радиальную схему электроснабжения.

Для выбора сечения проводников необходимо определить расчетные токи в нормальном и аварийном режимах. Для примера расчета была взята первая ТП.

Расчетный ток в нормальном режиме рассчитывается по формуле 6.1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot 2} \quad (6.1)$$
$$I_p = \frac{2169}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 62,7 \text{ А}$$

Расчетный ток в аварийном режиме рассчитывается по формуле 6.2:

$$I_{м.р.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (6.2)$$
$$I_{м.р.} = \frac{2169}{\sqrt{3} \cdot 10} = 125 \text{ А}$$

Экономически целесообразное сечение определяется по формуле 6.3:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3} \quad (6.3)$$

$$F_3 = \frac{62,7}{1,7} = 36,9 \text{ мм}$$

где $j_3 = 1,7 \text{ А/мм}^2$ экономическая плотность тока для кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами для $T_M = 4800 \text{ ч}$, согласно ПУЭ[1].

Был выбран кабель АПвВнг 3х50/16 с допустимым током $I_{\text{доп}} = 156 \text{ А}$.

Допустимый ток кабеля с учетом условий его прокладки рассчитывается по формуле 6.4:

$$I'_{\text{доп}} = K_t \cdot K_{\text{п}} \cdot I_{\text{доп}}, \quad (6.5)$$

где $K_t = 0,85$ - поправочный коэффициент на число параллельно прокладываемых кабелей согласно[1];

$K_{\text{п}}$ - поправочный коэффициент на температуру среды, в которой прокладывается кабель согласно; при прокладке кабелей в траншее, нормированной температуре алюминиевых жил с среды 15°C поправочный коэффициент равен $K_t = 1$ [1, 16, 17].

$$I'_{\text{доп}} = 0,85 \cdot 1 \cdot 156 = 133 \text{ А},$$

Далее кабель проверяется по допустимому току в нормальном режиме работы по условию:

$$I'_{\text{доп}} = 133 \text{ А} > I_p = 62,7 \text{ А}$$

Допустимая перегрузка кабеля в послеаварийном режиме определяется по формуле 6.6:

$$I'_{\text{АВ}} = K_{\text{АВ}} \cdot I'_{\text{доп}}, \quad (6.6)$$

где $K_{\text{АВ}} = 1,2$ - коэффициент перегрузки.

$$I'_{\text{АВ}} = 1,2 \cdot 133 = 160 \text{ А}$$

Далее кабель проверяется по допустимому току в аварийном режиме работы по условию:

$$I'_{\text{АВ}} = 160 \text{ А} > I_{\text{м.р.}} = 125 \text{ А}$$

Потери напряжения в КЛ в послеаварийном режиме определяются по формуле 6.7:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot r_0 \cdot l + Q_p \cdot x_0 \cdot l}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100\%, \quad (6.7)$$

где P_p, Q_p - расчетные активная и реактивная нагрузки кабеля в послеаварийном режиме; r_0, x_0 - удельные активное и индуктивное сопротивления кабеля [5,16, 18], Ом/км; l - длина кабельной линии, км.

$$\Delta U = \frac{58 \cdot (2007 \cdot 0,37 + 823 \cdot 0,09) \cdot 100\%}{10} = 0,047$$

Далее кабель проверяется по допустимому току в аварийном режиме работы по условию:

$$\Delta U = 0,047 \leq 10 \%$$

Выбор кабельных линий представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1. - Исходные и расчетные значения для выбора питающих линий ТП

Кабель	$S_p, \text{кВ}$ А	$I_p,$ А	$I_{м.р},$ А	$s, \text{мм}^2$	Название кабеля	$I_{\text{доп}},$ А	$I'_{\text{доп}},$ А	$I'_{\text{ав}},$ А	ΔU
ТПП - ТП1	2169	62,7	125	50	АПВВнг3х50/16	156	133	159	0,047
ТПП - ТП2	1243	36	71,8	35	ААШВ-3х35	106	90,1	108	0,087
ТПП - ТП3	407	11,7	25,5	16	ААШВ-3х16	67	56,9	68,3	0,103
ТП1 – Цех2	904	653	1306	500	ВВГ-3(1х500)	690	587	704	0,749
ТП1 – Цех3	740	535	1069	500	ВВГ-3(1х500)	690	587	704	1,62
ТП1 – Цех4	710	513	1026	500	ВВГ-3(1х500)	690	587	704	1,14
ТП2 – Цех5	761	550	1100	500	ВВГ-3(1х500)	690	587	704	0,81
ТП2 – Цех12	52,3	37,8	75,6	35	ААШВ-3х35	106	90,1	108	0,595
ТП3 – Цех7	500	361	723	500	ВВГ-3(1х500)	690	587	704	1,66
ТП3 – Цех8	17,2	10,5	21	10	ААШВ-3х10	60	51	61,2	1,33
ТП3 – Цех9	88,3	52,4	105	50	ААШВ-3х50	156	133	159	0,838
ТП3 – Цех11	77,6	48,7	93,4	50	ААШВ-3х50	156	133	159	1,4

7 Расчет токов коротких замыканий

В данном пункте необходимо найти токи 3-фазного короткого замыкания. Были выбраны точки до и после трансформатора на ГПП, а также до и после цеховых трансформаторов.

Расчетная схема и схема замещения представлены на рисунке 7.1 и рисунке 7.2.

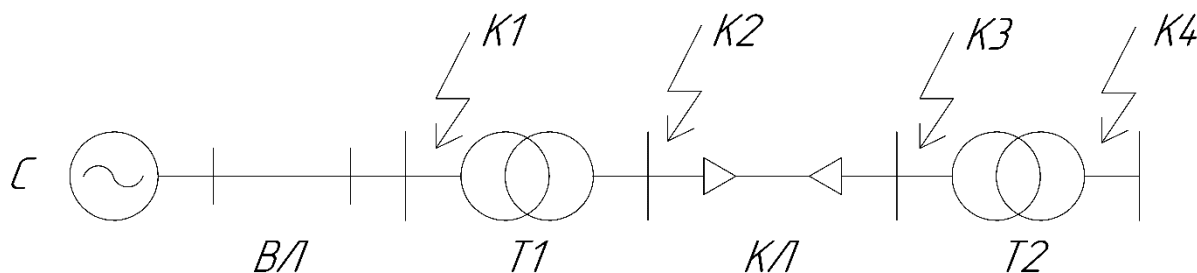


Рисунок 7.1 – Расчетная схема

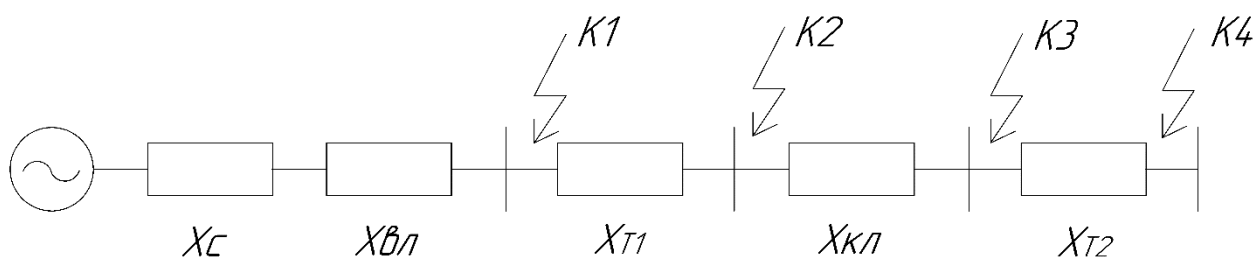


Рисунок 7.2 – Схема замещения

Паспортные данные трансформатора занесены в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Паспортные данные трансформатора

Тип	S_H , МВА	Каталожные данные				
		$U_{НОМ}$, кВ		U_K , %	P_K , кВт	P_X , кВт
		ВН	НН			
ТМН – 2500/110	2,5	115	11	10,5	18	2
ТМГ - 1600/10	1,6	11	0,4	6	16	1,95
ТМГ - 1000/10	1,0	11	0,4	5,5	10,8	1,55
ТМГ - 630/10	0,63	11	0,4	5,5	7,6	1,05

Также необходимо записать дополнительные данные:

$$S_6 = 1000 \text{ МВА}; U_6 = 11 \text{ кВ}; S_K = 1500 \text{ МВА}$$

$$k_{yd} = 1,85; l = 10 \text{ км}; x_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

Сопротивление системы рассчитывается по формуле 7.1:

$$x_{*C(6)} = \frac{S_6}{S_K} \quad (7.1)$$

$$x_{*C(6)} = \frac{1000}{1500} = 0,666 \text{ о. е.}$$

Сопротивление воздушной линии рассчитывается по формуле 7.2:

$$x_{*Л(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} \quad (7.2)$$

$$x_{*Л(6)} = 0,4 \cdot 10 \cdot \frac{1000}{11^2} = 0,302 \text{ о. е.}$$

Сопротивления кабельной линии рассчитываются по формуле 7.3:

$$x_{*КЛ-ТП(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} \quad (7.3)$$

$$x_{*КЛ-ТП1(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,381 \cdot 0,058 \cdot \frac{1000}{11^2} = 0,177 \text{ о. е.}$$

$$x_{*КЛ-ТП2(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,528 \cdot 0,135 \cdot \frac{1000}{11^2} = 0,589 \text{ о. е.}$$

$$x_{*КЛ-ТП3(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 1,84 \cdot 0,18 \cdot \frac{1000}{11^2} = 2,74 \text{ о. е.}$$

Сопротивления трансформатора ГПП и цеховых трансформаторов рассчитывается по формуле 7.4:

$$x_{*Т1(6)} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H} \quad (7.4)$$

$$x_{*Т1(6)} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{2,5} = 42 \text{ о. е.}$$

$$x_{*Т2-ТП1(6)} = \frac{6}{100} \cdot \frac{1000}{1,6} = 37,5 \text{ о. е.}$$

$$x_{*Т2-ТП2(6)} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{1000}{1} = 55 \text{ о. е.}$$

$$x_{*T2-TP3(6)} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{1000}{0,63} = 87,3 \text{ о. е.}$$

Эквивалентные сопротивления коротких замыканий рассчитываются по формулам 7.5 – 7.8:

$$x_{K1} = x_{*C(6)} + x_{*L(6)} = 0,666 + 0,302 = 0,968 \text{ о. е.} \quad (7.5)$$

$$x_{K2} = x_{K1} + x_{*T1(6)} = 0,968 + 42 = 43,0 \text{ о. е.} \quad (7.6)$$

$$x_{K3} = x_{K2} + x_{*KL-TP(6)} \quad (7.7)$$

$$x_{K4} = x_{K3} + x_{*T2-TP(6)} \quad (7.8)$$

$$x_{K1} = 0,666 + 0,302 = 0,968 \text{ о. е.}$$

$$x_{K2} = 0,968 + 42 = 43,0 \text{ о. е.}$$

$$x_{K3-TP1} = 43 + 0,177 = 43,1 \text{ о. е.}$$

$$x_{K3-TP2} = 43 + 0,589 = 43,6 \text{ о. е.}$$

$$x_{K3-TP3} = 43 + 2,74 = 45,7 \text{ о. е.}$$

$$x_{K4-TP1} = 43,1 + 37,5 = 80,6 \text{ о. е.}$$

$$x_{K4-TP2} = 43,6 + 55 = 98,6 \text{ о. е.}$$

$$x_{K4-TP3} = 45,7 + 87,3 = 133 \text{ о. е.}$$

Также необходимо рассчитать базисный ток по формулам 7.9:

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} \quad (7.9)$$

$$I_{61} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,03 \text{ кА}$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 52,5 \text{ кА}$$

$$I_{63} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1445 \text{ кА}$$

Периодический ток короткого замыкания рассчитывается по формуле 7.10:

$$I_{П,0} = \frac{E''_{*C}}{x_K} \cdot I_6 \quad (7.10)$$

$$I_{П1,0} = \frac{1}{0,968} \cdot 5,03 = 5,2 \text{ кА}$$

$$I_{П2,0} = \frac{1}{43,0} \cdot 52,5 = 1,22 \text{ кА}$$

$$I_{П3-ТП1,0} = \frac{1}{43,1} \cdot 52,5 = 1,22 \text{ кА}$$

$$I_{П3-ТП2,0} = \frac{1}{43,6} \cdot 52,5 = 1,2 \text{ кА}$$

$$I_{П3-ТП3,0} = \frac{1}{45,7} \cdot 52,5 = 1,15 \text{ кА}$$

$$I_{П4-ТП1,0} = \frac{1}{80,6} \cdot 1445 = 17,9 \text{ кА}$$

$$I_{П4-ТП2,0} = \frac{1}{98,6} \cdot 1445 = 14,7 \text{ кА}$$

$$I_{П4-ТП3,0} = \frac{1}{133} \cdot 1445 = 10,9 \text{ кА}$$

Ударный ток рассчитывается по формуле 7.11:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot I_{П1,0} \cdot k_{уд} \tag{7.11}$$

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot I_{П1,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 5,2 \cdot 1,85 = 13,5 \text{ кА}$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot I_{П2,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,22 \cdot 1,85 = 3,18 \text{ кА}$$

$$i_{уд3-ТП1} = \sqrt{2} \cdot I_{П3-ТП1,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,22 \cdot 1,85 = 3,18 \text{ кА}$$

$$i_{уд3-ТП2} = \sqrt{2} \cdot I_{П3-ТП2,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 1,85 = 3,13 \text{ кА}$$

$$i_{уд3-ТП3} = \sqrt{2} \cdot I_{П3-ТП3,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,15 \cdot 1,85 = 3 \text{ кА}$$

$$i_{уд4-ТП1} = \sqrt{2} \cdot I_{П4-ТП1,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 17,9 \cdot 1,85 = 46,3 \text{ кА}$$

$$i_{уд4-ТП2} = \sqrt{2} \cdot I_{П4-ТП2,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 14,7 \cdot 1,85 = 38,1 \text{ кА}$$

$$i_{уд4-ТП3} = \sqrt{2} \cdot I_{П4-ТП3,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 10,9 \cdot 1,85 = 28,2 \text{ кА}$$

Полученные значения занесены в таблицы 7.2

Таблица 7.2 – Паспортные данные трансформатора

Точка	Ударный ток	Периодическая составляющая тока КЗ
К1	13,5 кА	5,2кА
К2	3,18 кА	1,22кА
К3 (ТП1)	3,18 кА	1,22кА
К3 (ТП2)	3,13 кА	1,2кА
К3 (ТП3)	3 кА	1,15кА
К4 (ТП1)	46,3 кА	17,9кА
К4 (ТП2)	38,1 кА	14,7 кА
К4 (ТП3)	28,2 кА	10,9 кА

8 Выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ ГПП

В данном пункте необходимо выбрать высоковольтное оборудования ГПП на стороне 10 кВ. Для напряжений 10 кВ можно использовать КРУ. Будет выбрано одно из таких, это КРУ-СЭЩ-63.

Перечень измерительных приборов, устанавливаемых на ПС, приведен в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Перечень измерительных приборов

Цепь	Место установки	Перечень приборов
Двухобмоточный трансформатор	ВН	Амперметр
	НН	Амперметр, ваттметр, варметр, счетчики активной и реактивной энергии
Сборные шины 10 кВ	Каждая секция сборных шин	Вольтметр
Секционный выключатель	-	Амперметр
Линии 10 кВ к ТП	Каждая линия	Амперметр, счетчики активной и реактивной энергии
Трансформатор собственных нужд	ВН	-
	НН	Амперметр, счетчики активной энергии

Данные по КРУ записываются в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – Данные по оборудованию КРУ

Тип ячейки	
Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Тип выключателя	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
Тип трансформатора напряжения	НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,5-225
Тип трансформатора тока	ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-150/5

Высоковольтное оборудование проверяется в соответствии с нормами [1, 10,19, 20, 21].

Проверка вакуумного выключателя ВВУ-СЭЩ-Э-10-20/1000.

1. По номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$$

2. По номинальному току:

Рабочий ток рассчитывается по формуле 8.1:

$$I_{\text{раб}} = \frac{1,4 \cdot S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot 2} \quad (8.1)$$
$$I_{\text{раб}} = \frac{1,4 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 162 \text{ А}$$
$$I_{\text{раб}} = 162 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$$

3. По отключающей способности:

3.1. Симметричный ток:

$$I_{\text{п},\tau} = I_{\text{п},0} = 1,22 \text{ кА}$$
$$I_{\text{п},\tau} = 1,22 \text{ кА} \leq I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$$

3.2. Аперриодическая составляющая тока рассчитывается по формуле 8.2:

$$\tau = t_{\text{рз}} + t_{\text{с.в.}} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с}$$
$$I_{\text{а},\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п},\tau} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} \quad (8.2)$$
$$I_{\text{а},\tau} = \sqrt{2} \cdot 1,22 \cdot e^{-\frac{0,04}{0,03}} = 0,453 \text{ кА}$$
$$I_{\text{а,ном}} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}}}{100} \right) \cdot I_{\text{откл.ном}} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 40}{100} \right) \cdot 20 = 5,42 \text{ кА}$$
$$I_{\text{а},\tau} = 0,453 \text{ кА} \leq I_{\text{а,ном}} = 5,42 \text{ кА}$$

4. Включающая способность:

$$I_{\text{п},0} = 1,22 \text{ кА} \leq I_{\text{вкл.ном}} = 31,5 \text{ кА}$$
$$i_{\text{уд}} = 62,6 \text{ кА} \leq i_{\text{вкл.ном}} = 52 \text{ кА}$$

5. Электродинамическая стойкость:

$$I_{\text{п},0} = 1,28 \text{ кА} \leq I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$$
$$i_{\text{уд}} = 3,34 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 52 \text{ кА}$$

6. Термическая стойкость:

Термическая стойкость рассчитывается по формуле 8.3:

$$B_K = I_{п,0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) = (1,22 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,09 = 0,143 \cdot 10^6 A^2 \cdot c \quad (8.3)$$

$$t_{откл} = t_{рз} + t_{пв.откл} = 0,01 + 0,05 = 0,06 c$$

$$\text{Если } t_{откл} \geq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$$

$$\text{Если } t_{откл} \leq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$$

$$t_{откл} = 0,06 c \leq t_T = 3 c$$

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = (52 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 162 \cdot 10^6 A^2 \cdot c$$

$$B_K = 0,143 \cdot 10^6 A^2 \cdot c \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = 162 \cdot 10^6 A^2 \cdot c$$

Все условия выполняются, а значит, данный выключатель прошел проверку.

Проверка трансформатора тока ТОЛ-СЭЩ-10-101-150/5.

1. Номинальное напряжение:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$$

2. Номинальный ток:

Рабочий ток рассчитывается по формуле 8.4:

$$I_{раб} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot 2} \quad (8.4)$$

$$I_{раб} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 116 \text{ А}$$

$$I_{раб} = 116 \text{ А} \leq I_{ном} = 1000 \text{ А}$$

3. Термическая стойкость:

$$t_{откл} = 0,06 c; B_K = 0,143 \cdot 10^6 A^2 \cdot c$$

$$\text{Если } t_{откл} \geq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$$

$$\text{Если } t_{откл} \leq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$$

$$t_{откл} = 0,06 c \leq t_T = 3 c$$

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = (16 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 15,4 \cdot 10^6 A^2 \cdot c$$

$$B_K = 0,143 \cdot 10^6 A^2 \cdot c \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = 15,4 \cdot 10^6 A^2 \cdot c$$

4. Вторичная нагрузка:

$$Z_{2\text{НОМ}} = \frac{S_2}{I_2^2} = \frac{50}{5^2} = 2 \text{ Ом}$$

Заполним таблицу (таблица 7.3) с измерительными приборами, подключаемые к вторичной обмотке трансформатора тока.

Нагрузка вторичных обмоток ТТ выбираем исходя из одной ячейки.

Таблица 8.3 – Измерительные приборы, подключенные к ТТ

Тип прибора	Название прибора	п, кол.	$S_{\text{приб}}$, ВА	S_{Σ} , ВА
Амперметр	ЦМ120	1	15	15
Ваттметр				
Счетчик активной энергии и реактивной энергии	ЦМК120СП	1	10	10
Суммарное значение полной мощности всех приборов				25

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\Sigma}}{I_2^2} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом}$$

Так как во вторичной цепи будет больше одного устройства, то сопротивление контактов примем равной $R_K = 0,1 \text{ Ом}$

$$R_{\text{пр}} \leq Z_{2\text{НОМ}} - R_{\text{приб}} - R_K = 2 - 1 - 0,1 = 0,9 \text{ Ом}$$

Расчетная длина проводов вторичной обмотки зависит от схемы соединения. Как правило, используется полная звезда, а значит $l_p = l$.

Для 10 кВ, длина вторичных цепей находится в диапазоне 4...6 м.

Удельное сопротивление равно $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, так как жила будет из меди[10].

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 6}{0,9} = 0,12 \text{ мм}^2$$

Минимальное сечение для медных проводов равно $2,5 \text{ мм}^2$. Поэтому выбираем именно такое.

Проверка трансформатора напряжения НАЛИ-СЭЦ-10-1-0,5-225.

1. Номинальное напряжение:

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.НОМ}} = 10 \text{ кВ}$$

2. Вторичная нагрузка:

Необходимо заполнить таблицу (таблица 7.4) с измерительными приборами, подключаемые к вторичной обмотке трансформатора напряжения.

Нагрузка вторичных обмоток ТН выбираем исходя из всей шины.

Таблица 7.4 – Измерительные приборы, подключенные к ТН

Тип прибора	Название прибора	cos φ	sin φ	n _{приб.} кол.	n _{кат.} кол.	S _{кат.} , ВА	S _Σ , ВА
Вольтметр	ЦМ120	1	0	2	-	-	30
Ваттметр							
Счетчики активной энергии и реактивной энергии	ЦМК120СП	0,38	0,925	7	-	-	70

$$S_{\text{ном}} = 225 \text{ ВА}$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(30 + 70 \cdot 0,38)^2 + \left(\sum 70 \cdot 0,925\right)^2} = 86 \text{ ВА}$$

$$S_{\text{ном}} = 225 \text{ ВА} \geq S_{2\Sigma} = 86 \text{ ВА}$$

Параметры выбранного трансформатора напряжения сводятся в таблицу 4.5.

Таблицу 4.5 - Параметры выбранного трансформатора напряжения

Параметр	Значение
Номинальное напряжение обмотки, В: ВН НН	10000 / $\sqrt{3}$ 100 / $\sqrt{3}$
Вторичная нагрузка, ВА: расчетная S _{2Σ} S _{ном}	86 225
Класс точности	0,5

9 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения

Опираясь на расположение оборудования сортировочно-трепального цеха, выбираем радиальную схему электроснабжения.

РП1, ШРА-1, ШРА-2, ШРА-3, ШРА-4, ШРА-5 получают питание от ТП.

9.1 Выбор электрооборудования для внутреннего электроснабжения предприятия цеха

В данном пункте необходимо найти расцепители и кабели для внутреннего электроснабжения сортировочно-трепального цеха.

Для начала необходимо найти токи каждого типа электроприемника по формуле 9.1:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (9.1)$$

$$I_p(1 \dots 6) = \frac{3}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,7} = 13 \text{ A}$$

$$I_p(7 \dots 12) = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 50,6 \text{ A}$$

$$I_p(13 \dots 18) = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,7} = 117 \text{ A}$$

$$I_p(19 \dots 24) = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 13,1 \text{ A}$$

$$I_p(25 \dots 30) = \frac{9,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,7} = 31,7 \text{ A}$$

$$I_p(31 \dots 36) = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,7} = 120 \text{ A}$$

$$I_p(37 \dots 48) = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,7} = 73,5 \text{ A}$$

$$I_p(49) = \frac{28}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 81,8 \text{ A}$$

$$I_p(50) = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 87,7 \text{ A}$$

Теперь нужно выбрать ВА для каждой КЛ, для этого нужно определить ток расцепителя.

Для КЛ с одним ЭД, ток рассчитывается по формуле 9.2:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_p \quad (9.2)$$

Для КЛ с группой ЭД, ток рассчитывается по формуле 9.3:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p \quad (9.3)$$

Для КЛ без ЭД, ток рассчитывается по формуле 9.4:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq I_p \quad (9.4)$$

Расчетные токи для ШРА и РП приведены в таблицы 9.1.

Выбор марки кабелей цеховых сетей осуществляется по условиям 9.5 и 9.6:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{у(п)} \quad (9.5)$$

$$I_{у(п)} = 1,25 \cdot I_{н.а} \quad (9.6)$$

Выбор трансформаторов тока для каждой линии внутривозовского электроснабжения производится по условию 9.7.

$$I_{н.т.} \geq I_p \quad (9.7)$$

Таблица 9.1 – Определение расчетных токов для ШРА-1 – ШРА-5 и РП1

Исходные величины						Расчетные величины			Эффективное число ЭП n_{Σ}	Коэффициент расчетной нагрузки K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток I_p , А
По заданию				По справочным данным		$K_{и} \cdot \sum P_{н}$	$K_{и} \cdot \sum P_{н} \cdot \text{tg} \varphi$	$n \cdot P_{н} \cdot P_{н}$			Активная мощность P_p , кВт	Реактивная мощность Q_p , квар	Полная мощность S_p , кВА	
Наименование ЭП	Количество ЭП n	Номинальная мощность		Коэффициент использования $K_{и}$	Коэффициенты мощности $\cos \varphi$ / $\text{tg} \varphi$									
		Одного ЭП $P_{н}$, кВт	Общая ЭП $\sum P_{н}$, кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Размотчик рулонов льна	1	3	3	0,65	0,8/0,75	1,95	1,46	9						
Сушилка льнотресты	1	15	15	0,6	0,8/0,75	9	6,75	225						
Питающий транспортер	1	35	35	0,6	0,75/0,88	21	18,5	1225						
Слоеформирующая машина	1	4,5	4,5	0,65	0,7/1,02	2,93	2,98	20,3						
Мяльная машина	1	9,5	9,5	0,65	0,75/0,88	6,18	5,45	90,3						
Трепальная машина	1	36	36	0,6	0,7/1,02	21,6	22	1296						
Пресс для волокна	2	22	44	0,55	0,8/0,75	24,2	18,2	968						

Продолжение таблицы 2.3

ШРА-1 – ШРА-5	8	3/36	147	0,591	-/0,868	86,9	75,3	3834	6	1,06	92,1	75,3	119	181
Вентилятор вытяжной	1	28	28	0,6	0,8/0,75	16,8	12,6	784						
Вентилятор приточный	1	30	30	0,6	0,8/0,75	18	13,5	900						
РП-1	2	28/30	58	0,6	-/0,75	34,8	26,1	1684	2	1,33	46,2	26,1	53,1	80,8

После нахождения токов необходимо округлить их до номинальных значений. Результаты занесены в таблицы 9.2, 9.3.

Таблица 9.2 – Выбор автоматических выключателей

№	Название	I_p , А	$1,1I_p$, А	$1,25I_p$, А	$I_{откл}$, кА	$I_{н.а.}$, А	Марка
1	Размотчик рулонов льна (1...6)	13	-	16,3	5	63	ВА 51-29
2	Сушилка льнотресты (7...12)	50,6	-	63,3	7	100	ВА 51-31
3	Питающий транспортер (13...18)	117	-	146,3	12,5	160	ВА 51-33
4	Слоеформирующая машина (19...24)	13,1	-	16,4	5	63	ВА 51-29
5	Мяльная машина (25...30)	31,7	-	39,6	5	63	ВА 51-29
6	Трепальная машина (31...36)	120	-	150	12,5	160	ВА 51-33
7	Пресс для волокна (37...48)	73,5	-	91,9	7	100	ВА 51-31
8	Вентилятор вытяжной (49)	81,8	-	102,3	12,5	160	ВА 51-33
9	Вентилятор приточный (50)	87,7	-	110	12,5	160	ВА 51-33
10	ШРА-1-ШРА-5	181	199	-	15	200	ВА 51-35
11	РП-1	80,6	88,7	-	7	100	ВА 51-31
12	ШНН	1130	1243	-	85	1600	ВА 53-43

Таблица 9.3 – Выбор кабелей сети электроснабжения цеха

№	Название	I_p , А	$K_{зщ}$	$I_{y(п)}$, А	$I_{доп}$	Марка
1	Размотчик рулонов льна (1...6)	13	1	16,3	36	ВВГ 4x4
2	Сушилка льнотресты (7...12)	50,6	1	63,3	84	ВВГ 4x16
3	Питающий транспортер (13...18)	117	1	146,3	167	ВВГ 4x50
4	Слоеформирующая машина (19...24)	13,1	1	16,4	36	ВВГ 4x4
5	Мяльная машина (25...30)	31,7	1	39,6	63	ВВГ 4x10
6	Трепальная машина (31...36)	120	1	150	167	ВВГ 4x50
7	Пресс для волокна (37...48)	73,5	1	91,9	127	ВВГ 4x35
8	Вентилятор вытяжной (49)	81,8	1	102,3	127	ВВГ 4x35

Продолжение таблицы 9.3

9	Вентилятор приточный (50)	87,7	1	110	127	ВВГ 4x35
10	ШРА-1-ШРА-5	181	1	226	261	ВВГ 4x95
11	РП-1	80,6	1	101	127	ВВГ 4x35

Таблица 9.4 – Выбор ШРА

Шинопровод	I_p , А	I_n , А	Марка
ШРА-1-ШРА-5	181	250	ШРА-73

Таблица 9.5 – Выбор трансформаторов токов

№	Название	I_p , А	I_n , А	Марка
1	Размотчик рулонов льна (1...6)	13	20	ТТИ-А 20/5 А 5ВА 0,5
2	Сушилка льнотресты (7...12)	50,6	75	ТТИ-А 75/5 А 5ВА 0,5
3	Питающий транспортер (13...18)	117	150	ТТИ-А 150/5 А 5ВА 0,5
4	Слоеформирующая машина (19...24)	13,1	20	ТТИ-А 20/5 А 5ВА 0,5
5	Мяльная машина (25...30)	31,7	40	ТТИ-А 40/5 А 5ВА 0,5
6	Трепальная машина (31...36)	120	150	ТТИ-А 150/5 А 5ВА 0,5
7	Пресс для волокна (37...48)	73,5	75	ТТИ-А 75/5 А 5ВА 0,5
8	Вентилятор вытяжной (49)	81,8	100	ТТИ-А 100/5 А 5ВА 0,5
9	Вентилятор приточный (50)	87,7	100	ТТИ-А 100/5 А 5ВА 0,5
10	ШРА-1-ШРА-5	181	200	ТТИ-А 200/5 А 5ВА 0,5
11	РП-1	80,6	100	ТТИ-А 100/5 А 5ВА 0,5
12	ШНН	1130	1200	ТТИ-А 1200/5 А 5ВА 0,5

10 Расчет токов короткого замыкания 0,4 кВ

В данном пункте необходимо рассчитать 3-фазный ток КЗ для проверки автоматических выключателей. Проверка будет осуществляться по самому мощному электроприемнику №31.

Расчетная схема от трансформатора до электроприемника представлена на рисунке 10.1.

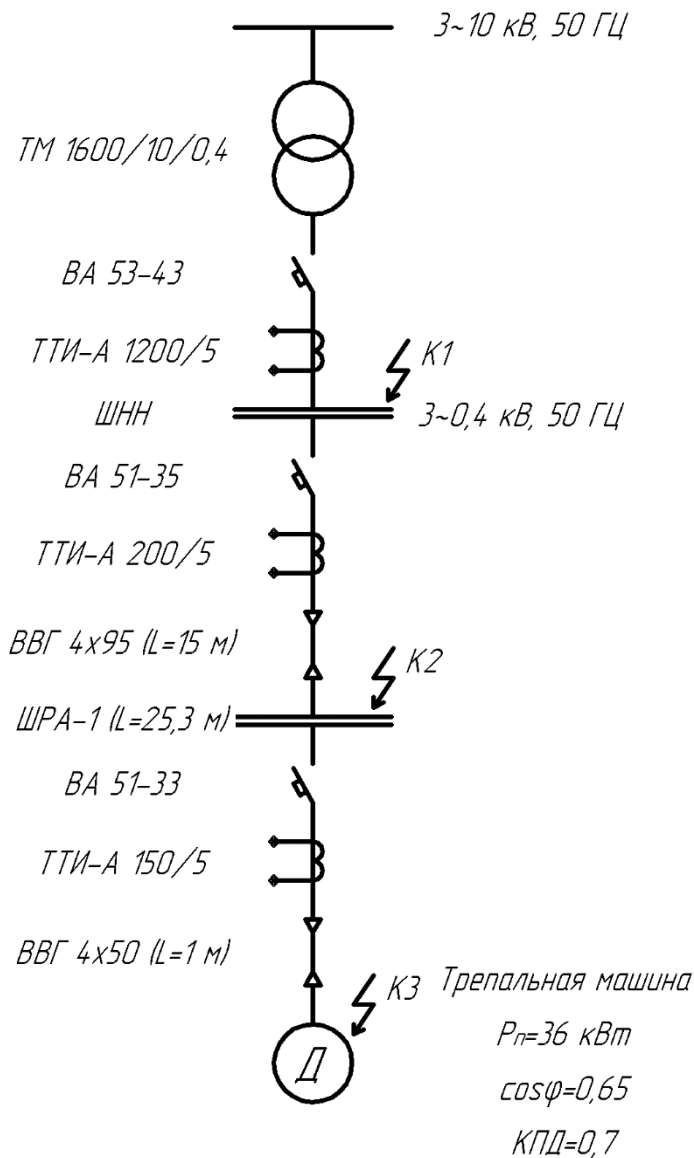


Рисунок 10.1 – Расчетная схема

Затем нужно из расчетной схемы сделать схему замещения. Для этого нужно найти параметры замещения каждого элемента. Схема замещения от трансформатора до электроприемника представлена на рисунке 10.2.

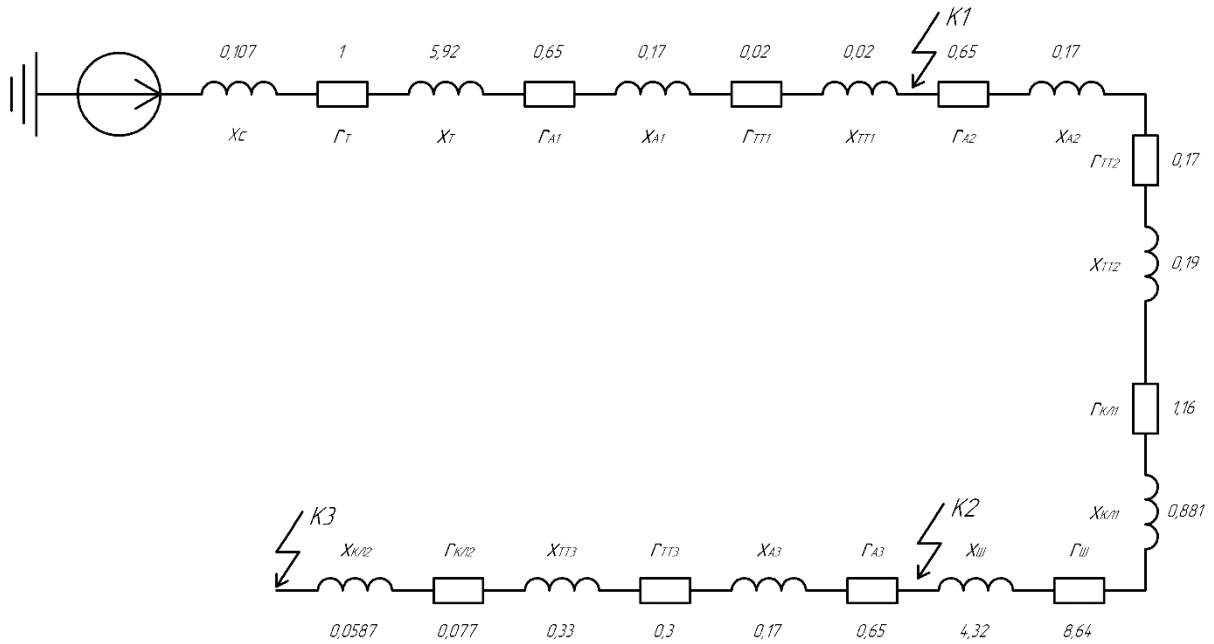


Рисунок 10.2 - Схема замещения от трансформатора до электроприемника
 Сопротивление системы рассчитывается по формуле 10.1:

$$S_K = 1500 \text{ МВА}$$

$$x_C = \frac{U_6^2}{S_K} \quad (10.1)$$

$$x_C = \frac{400^2}{1,5 \cdot 10^9} = 0,107 \text{ мОм}$$

Параметры трансформатора ТМГ 1600/10/0,4:

$$S_H = 1600 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_{K3} = 16,0 \text{ кВт}$$

$$U_{K3} = 6 \%$$

Сопротивление трансформатора рассчитывается по формулам 10.2, 10.3 и

10.4:

$$z_T = \frac{U_{K3}}{100} \cdot \frac{U_6^2}{S_H} \quad (10.2)$$

$$r_T = \Delta P_{K3} \cdot \frac{U_6^2}{S_H^2} \quad (10.3)$$

$$x_T = \sqrt{z^2 - r^2} \quad (10.4)$$

$$z_T = \frac{6}{100} \cdot \frac{400^2}{1,6 \cdot 10^6} = 6 \text{ МОм}$$

$$r_T = 16 \cdot 10^3 \cdot \frac{400^2}{(1,6 \cdot 10^6)^2} = 1 \text{ МОм}$$

$$x_T = \sqrt{6^2 - 1^2} = 5,92 \text{ МОм}$$

Трансформаторы тока по справочным данным[22]:

$$r_{ТТ1} = 0,02 \text{ МОм}$$

$$x_{ТТ1} = 0,02 \text{ МОм}$$

$$r_{ТТ2} = 0,17 \text{ МОм}$$

$$x_{ТТ2} = 0,19 \text{ МОм}$$

$$r_{ТТ3} = 0,3 \text{ МОм}$$

$$x_{ТТ3} = 0,33 \text{ МОм}$$

Автоматические выключатели по справочным данным [22]:

$$r_{A1} = 0,65 \text{ МОм}$$

$$x_{A1} = 0,17 \text{ МОм}$$

$$r_{A2} = 0,65 \text{ МОм}$$

$$x_{A2} = 0,17 \text{ МОм}$$

$$r_{A3} = 0,65 \text{ МОм}$$

$$x_{A3} = 0,17 \text{ МОм}$$

Кабельная линия №1:

$$n = 1$$

$$r_0 = 0,077 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$x_0 = 0,0587 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$l = 15 \text{ м}$$

Сопротивление кабельной линии №1 рассчитывается по формулам 10.5 и 10.6:

$$r_{K1} = \frac{1}{n} \cdot r_0 \cdot l \quad (10.5)$$

$$x_{K1} = \frac{1}{n} \cdot x_0 \cdot l \quad (10.6)$$

$$r_{K1} = \frac{1}{1} \cdot 0,077 \cdot 0,015 = 1,16 \text{ мОм}$$

$$x_{K1} = \frac{1}{1} \cdot 0,0587 \cdot 0,015 = 0,881 \text{ мОм}$$

ШРА-1:

$$r_0 = 0,20 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$x_0 = 0,10 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$l = 43,2 \text{ м}$$

Сопротивление шинпровода определяется по формулам 10.7 и 10.8:

$$r_{ш} = r_0 \cdot l \quad (10.7)$$

$$x_{ш} = x_0 \cdot l \quad (10.8)$$

$$r_{ш} = 0,20 \cdot 43,2 = 8,64 \text{ мОм}$$

$$x_{ш} = 0,10 \cdot 43,2 = 4,32 \text{ мОм}$$

Кабельная линия №2:

$$n = 1$$

$$r_0 = 0,077 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$x_0 = 0,0587 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$l = 2 \text{ м}$$

Сопротивление кабельной линии №1 рассчитывается по формуле 10.9:

$$r_K = \frac{1}{n} \cdot r_0 \cdot l \quad (10.9)$$

$$r_{K1} = \frac{1}{1} \cdot 0,077 \cdot 1 = 0,077 \text{ мОм}$$

$$x_{K2} = \frac{1}{n} \cdot x_0 \cdot l = \frac{1}{1} \cdot 0,0587 \cdot 1 = 0,0587 \text{ мОм}$$

Суммарное сопротивление для каждой точки:

$$r_1 = r_T + r_{TT1} + r_{A1} = 1 + 0,02 + 0,65 = 1,67 \text{ мОм}$$

$$x_1 = x_C + x_T + x_{TT1} + x_{A1} = 0,107 + 5,92 + 0,17 + 0,02 = 6,22 \text{ мОм}$$

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2} = \sqrt{10,17^2 + 29,01^2} = 6,44 \text{ мОм}$$

$$r_2 = r_1 + r_{A2} + r_{TT2} + r_{K1} + r_{III} = 1,67 + 0,65 + 0,17 + 1,16 + 8,64 = 12,3 \text{ мОм}$$

$$x_2 = x_1 + x_{A2} + x_{TT2} + x_{K1} + x_{III} = 6,22 + 0,19 + 0,17 + 0,88 + 4,32 = 11,8 \text{ мОм}$$

$$z_2 = \sqrt{r_2^2 + x_2^2} = \sqrt{12,3^2 + 11,8^2} = 17 \text{ мОм}$$

$$r_3 = r_2 + r_{TT3} + r_{A3} + r_{K2} = 12,3 + 0,3 + 0,65 + 0,077 = 13,3 \text{ мОм}$$

$$x_3 = x_2 + x_{A3} + x_{K2} + x_{TT3} = 11,8 + 0,17 + 0,33 + 0,0587 = 12,4 \text{ мОм}$$

$$z_3 = \sqrt{r_3^2 + x_3^2} = \sqrt{13,3^2 + 12,4^2} = 18,1 \text{ мОм}$$

Ток 3-фазного КЗ определяется по формулам 10.10:

$$I_{K1} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_1} \quad (10.10)$$

$$I_{K1} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_1} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 6,44 \cdot 10^{-3}} = 34,1 \text{ кА}$$

$$I_{K2} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_2} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 17 \cdot 10^{-3}} = 12,9 \text{ кА}$$

$$I_{K3} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_3} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 18,1 \cdot 10^{-3}} = 12,1 \text{ кА}$$

Так как токи КЗ меньше, чем максимальный ток отключения, то наши автоматические выключатели выдержат этот ток и разомкнут цепь.

11 Релейная защита и автоматика ГП

Для защиты участка от ГПП до сборных шин на стороне 10 кВ была принята к установке токовая отсечка. Выдержка времени срабатывания защиты $\Delta t = 0,6$ с. Для начала необходимо определить ток двухфазного короткого замыкания по формуле 11.1:

$$I_{\text{КЗ ГП-СШ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{П1,0}}}{2} \quad (11.1)$$

$$I_{\text{КЗ ГП-СШ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 5,2}{2} = 4,5 \text{ кА}$$

После этого необходимо рассчитать расчетный ток срабатывания по формуле 11.2:

$$I_{\text{сз ГП-СШ}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{П2,0}} \quad (11.2)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,4$.

$$I_{\text{сз ГП-СШ}} = 1,4 \cdot 1,22 = 1,71 \text{ кА}$$

Ток уставки реле определяется по формуле 11.3:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{ТА}}}, \quad (11.3)$$

где $K_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы,

$K_{\text{ТА}}$ – коэффициент трансформации (зависит от трансформатора тока ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-150/5).

$$I_{\text{ср}} = \frac{1,71 \cdot 1}{30} = 57 \text{ А}$$

Коэффициент чувствительности защиты определяется по формуле 11.4:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ ГП-СШ}}^{(2)}}{I_{\text{сз ГП-СШ}}} \quad (11.4)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{4,5}{1,71} = 2,63$$

Как видно, $K_{\text{ч}}$ соответствует требованиям ПУЭ (раздел 3.2.21 пункт 8) должен быть > 2 .

Применяем реле РТ – 140/200 с пределами уставки до 100А.

Для защиты силового трансформатора 10/0,4 от КЗ на стороне 10 кВ, принимаем к установке максимальную токовую защиту. В качестве примера был взят трансформатор ТМГ-1600/10. Выдержка времени срабатывания защиты $\Delta t=0,5\text{с}$.

Первичный номинальный ток определяется по формуле 11.5:

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (11.5)$$

$$I_H = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 92,5 \text{ А}$$

Расчетный ток срабатывания защиты определяется по формуле 11.6:

$$I_{сз} = \frac{k_H \cdot k_{пер} \cdot I_H}{k_B} \quad (11.6)$$

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 1 \cdot 92,5}{0,8} = 139 \text{ А}$$

Ток уставки реле определяется по формуле 11.3:

$$I_{ср} = \frac{139 \cdot 1}{30} = 4,63 \text{ А}$$

Коэффициент чувствительности защиты определяется по формуле 11.4:

$$K_q = \frac{1,22 \cdot 0,87}{139} = 7,02$$

Применяем реле РТ – 40/20 с пределами уставки до 5 А.

Таблица 11.1 – Выбор релейной защиты для трансформаторов 10/0,4 на стороне 10 кВ

Трансформаторы	$I_H, \text{ А}$	$I_{сз}, \text{ А}$	$I_{ср}, \text{ А}$	K_q	Реле
ТМГ - 1600/10	92,5	139	4,63	7,02	РТ-40/10
ТМГ - 1000/10	57,8	86,7	4,33	12	РТ-40/10
ТМГ - 630/10	36,4	54,6	2,73	18,3	РТ-40/10

Заключение

В данной работе было проведено проектирование электрохозяйства и электрических систем текстильного завода. На основании генерального плана предприятия и краткой характеристики цехов был осуществлен расчет нагрузок, в том числе осветительных, предприятия. После этого были выбраны цеховые трансформаторные подстанции и их местоположение, компенсирующие устройства, а также трансформаторы на ГПП предприятия.

На основании данных расчетов был произведен выбор схемы внутреннего электроснабжения предприятия, а также расчет питающих линий к ТП и цеховым распределительным пунктам. После чего был осуществлен расчет токов короткого замыкания на стороне 10 кВ для выбора высоковольтного оборудования. На стороне 10 кВ ГПП было выбрано КРУ-СЭЩ-63 с соответствующим оборудованием.

Для трепально-сортировочного цеха был осуществлен выбор внутрицехового электроснабжения и электрооборудования. После чего были рассчитаны токи короткого замыкания для выбранных аппаратов.

Так же была рассчитана релейная защита на стороне 10 кВ и 0,4 кВ.

Список используемой литературы

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. А.М. Меламед М.: НЦ ЭНАС, 2012.
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
3. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по определению электрических нагрузок – М.:ВНИИПИТяжпромэлектропроект, 1992. –14 с.
4. Кнорринг, Г.М.Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг. –М. : Оникс, 2012. – 344 с.
5. Рожин, А.Н.Внутрицеховое электроснабжение : учеб. Пособие для выполнения курсового и дипломного проектов / А.Н. Рожин, Н.С. Бакшаева. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. –259 с.
6. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. –М. : Знак, 2006. – 950 с.
7. Stallcup J. Stallcup's Designing Electrical Systems 2017 Volume 1. Grayboy, Inc./Builder's Book, 2017. 377 p.
8. Dagostino F.R., Wujek J.B. Mechanical and Electrical Systems in Architecture, Engineering and Construction. Pearson, 2009. 960 p.
9. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий :учеб. для вузов / Б.И. Кудрин. –М. :Интернет Инджириг, 2007. – 670 с.
10. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 3. Производство и распределение электрической энергии / под общ. ред. В.Г. Герасимова[идр.]. – М. :МЭИ, 2009. – 964 с.
11. Giridharan M.K. Electrical Systems Design: 2nd edition. I K International Publishing House, 2015. 405 p.
12. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
13. ГОСТ 11920 – 85, ГОСТ 12965 – 85

14. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций/Л. Д. Рожкова, Л. К. Корнеева, Т. В. Чиркова. – 2-е изд., стер. – М. Издательский центр «Академия», 2005. – 448 с. 3

15. НТП ЭПП-94. Нормы технического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. –М. :Тяжпромэлектропроект, 1994. – 67 с.

16. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования/ под ред. Ю.Г. Бабырина[идр.]–М. :Энергоатомиздат. 1991. – 464 с.

17. Maity K. K. Electrical system design calculation: Electrical engineering. Independently published, 2018. 122 p.

18. Santoso S., Beaty H.W. Standard Handbook for Electrical Engineers, 17th Edition. McGraw-Hill Education, 2018. 1648 p.

19. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. –Введ. 2014-08-04. –М. :Норматика, 2014. – 96 с.

20. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М. :Омега-Л, 2014. –272 с.

21. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ :учеб.-произв. изд. : в 6 т. / Е.Ф. Макаров. –М. : Папирус Про, 2005. – Т.4 – 637 с.

22.Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ - Москва: Энергоатомиздат, 1988. - 171 с.