

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА

(ПРИМЕР ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА)

---



## СОДЕРЖАНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

1. Основная часть. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА
  - 1.1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА
  - 1.2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ
  - 1.3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА
    - 1.3.1 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА
  - 1.4 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК ЗАВОДА
    - 1.4.1 КАРТОГРАММА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЗАВОДА
  - 1.5 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ЧИСЛА ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
  - 1.6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ В ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ
  - 1.7 РАСЧЕТ НАГРУЗКИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
  - 1.8 ВЫБОР ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ БАТАРЕИ КОНДЕНСАТОРОВ
  - 1.9 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВАРИАНТОВ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
  - 1.10 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ  $U > 1 \text{ кВ}$ 
    - 1.10.1 РАСЧЕТ СУММАРНОГО ТОКА КЗ
    - 1.10.2 ВЫБОР ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
    - 1.10.3 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА
    - 1.10.4 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ
    - 1.10.5 ВЫБОР ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НАГРУЗКИ
    - 1.10.6 ВЫБОР СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ ОТХОДЯЩИХ ЛИНИЙ
  - 1.11 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ЦЕХА
    - 1.11.1 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА  $U < 1 \text{ кВ}$
  - 1.12 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА
  - 1.13 ЗАЗЕМЛЕНИЕ И МОЛНИЕЗАЩИТА ГПП
    - 1.13.1 РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ГПП
    - 1.13.2 РАСЧЕТ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ГПП
2. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ
  - 2.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
  - 2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ
  - 2.3 РАЗМЕЩЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ И АВТОМАТИЗАЦИИ ИХ РАБОТЫ
3. РАСЧЕТ ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНОЙ БАТАРЕИ КОНДЕНСАТОРОВ
4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
  - 4.1 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА В МЕХАНИЧЕСКОМ ЦЕХЕ
  - 4.2 АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА
    - 4.2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ  $L_{\text{доп}}$  ДЛЯ РАСЧЕТНЫХ ТОЧЕК
    - 4.2.2 РАСЧЕТ ЗАНУЛЕНИЯ
  - 4.3 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
    - 4.3.1 РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОГНЕТУШИТЕЛЕЙ
    - 4.3.2 РАЗРАБОТКА ВОПРОСОВ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЦЕХАХ
    - 4.3.3 ПОЖАРНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ
- Вывод
- Заключение
- СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основой рационального решения комплекса технико-экономических вопросов при проектировании электроснабжения современного промышленного предприятия является правильное определение ожидаемых электрических нагрузок. Определение электрических нагрузок является первым этапом проектирования любой системы электроснабжения. Значения электрических нагрузок определяют выбор всех элементов и технико-экономические показатели проектируемой системы электроснабжения. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты в системе электроснабжения, расход цветного металла, потери электроэнергии и эксплуатационные расходы. Ошибка при определении электрических нагрузок приводит к увеличению экономических и ухудшению технических показателей промышленного предприятия.

Также необходимо рассчитывать экономически и технически целесообразный объем реактивной мощности, потребляемый из энергосистемы и сделать правильный выбор средств компенсации, их мощности и места размещения. От этого также будет зависеть эффективность использования энергетических ресурсов и оборудования.

Для определения оптимального варианта схемы внешнего электроснабжения, параметров электросети и ее элементов, необходимо проведение технико-экономических расчетов. При этом необходимо произвести всесторонний анализ технических и экономических показателей. Только сопоставление и анализ всех технико-экономических показателей, характеризующих возможные варианты, позволяет провести выбор наилучшего решения. Следующим этапом расчетов является окончательное определение схемы электроснабжения и ее параметров, выбор необходимого электрооборудования, проводов и кабелей.

Большое внимание следует также уделять вопросам охраны труда и оценки экономической эффективности принимаемых решений.

# **1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА**

## **1.1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА**

Предприятие специализируется на изготовлении керамической плитки, санитарно-технической керамики, кислотоупоров и другой огнеупорной продукции. Технологический процесс производства включает следующие стадии: карьерные работы, подготовка глиняной массы, формирование изделий, сушку отформованных изделий, обжиг изделий и упаковку.

Добыча глины осуществляется в карьерах. Метод добычи должен быть увязан с мощностью пласта и характером залегания глин.

Транспортирование глины из карьера на завод осуществляется по-разному. Экономически выгодным и обеспечивающим бесперебойную подачу глины на завод считается рельсовый транспорт. Безрельсовый транспорт используется с учетом местных условий.

В зависимости от свойств исходного сырья и вида изготавливаемой продукции подготовку глиняной массы осуществляют полусухим, пластическим и шликерным (мокрым) способами.

По первому способу сырьевые материалы после дробления на вальцах выдерживают в сушильном барабане (до остаточной влажности 6-8%), затем измельчают в дезинтеграторе, просеивают, увлажняют (до влажности 8-12%) и перемешивают. Полусухой способ подготовки глиняной массы используется при производстве плиток для облицовки стен, полов и др.

При пластическом способе подготовки глиняной массы исходное сырье дробят, тонко измельчают и увлажняют до получения однородной пластичной массы влажностью 8-22%. Этот способ применяется при производстве глиняного кирпича, керамических камней, черепицы, труб.

По шликерному способу подготовки глиняной массы высушенные сырьевые материалы измельчают в порошок и смешивают с водой до получения однородной массы - шликера, который используют для получения изделий

способом литья (санитарно-технические изделия, декоративная керамика и др.) или после его сушки в распылительных башенных сушилках. Технология получения пресс-порошка в распылительных сушилках заключается в совмещении процессов обезвоживания, дробления и сепарации керамической массы. Обезвоживание ее в распылительных сушилках позволяет в 3,5 раза повысить производительность труда и в 1,5 раза сократить капитальные затраты на производство готовой продукции.

Формирование изделий осуществляется на прессах: при первом способе подготовки глиняной массы - гидравлических и механических, при втором - ленточных вакуумных или безвакуумных. Вакуумирование глины способствует повышению плотности изделий на 6-8% (прочность увеличивается на 30-40%) и снижению их водопоглощения.

Основными способами производства керамических стеновых материалов являются пластические для подготовки глиномассы и формирования изделий (рисунок 1).

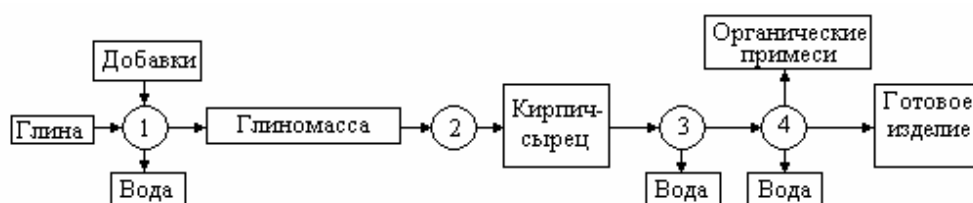


Рисунок 1 - Схема технологического процесса производства керамических кирпича и камней по пластическому способу: 1 - приготовление глиняной массы; 2 - формование изделий; 3 - сушка отформованных изделий; 4 - обжиг высушенных изделий

При пластическом способе производства керамических изделий технологический процесс усложняется, однако создается возможность получать высокопустотные, укрупненные керамические стеновые материалы, при этом повышается качество изделий, их морозостойкость.

Сушка изделий - обязательная промежуточная стадия технологического

процесса производства керамических изделий. Ускорение процесса сушки изделий достигается в сушилах периодического (камерных) и непрерывного (туннельных) действия.

Туннельный способ сушки является более прогрессивным по сравнению с камерным. Сушило представляет собой туннель длиной от 20 до 45 м, внутри которого уложены рельсы.

Продолжительность процесса сушки составляет от 24 часов до 3 суток. Изделия необходимо высушить, чтобы содержание влаги в них не превышало 5%, во избежание неравномерной усадки и растрескивания при обжиге.

Обжиг изделий производят в кольцевых и туннельных печах непрерывного действия. Туннельные печи экономичнее кольцевых в силу более высокого уровня механизации производства, а также лучшего использования тепловой энергии.

Туннельная печь - это туннель длиной от 60 до 230 м в зависимости от размеров обжигаемых изделий, шириной 3-5 м, высотой около 2 м. Условно печь делят на три зоны - подогрева, обжига и охлаждения, которые последовательно в течении 18-36 ч проходят вагонетки с кирпичом-сырцом.

При достижении максимальной температуры обжига изделия подвергаются изотермической выдержке для выравнивания температуры по всей их толще. Охлаждение их ведут очень медленно, постепенно снижая температуру до 500-600 °С. Производительность туннельных печей - до 500 млн шт. кирпича в год.

Обжиг является завершающей и ответственной стадией производства керамических изделий. Режим обжига определяет качество продукции, технико-экономические показатели производства (расход топлива, электроэнергии и др.). Например, суммарные затраты на обжиг достигают 35-40%, а потери от брака - почти 10% от себестоимости товарной продукции.

## 1.2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1. Схема генерального плана завода (лист 1)
2. Сведения об электрических нагрузках по цехам завода (таблица 1.1)
3. Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два параллельно работающих трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ. Мощность системы 650 МВА, мощность короткого замыкания на шинах 115 кВ равна 880 МВА.
4. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 5,5 км.
5. Завод работает в две смены.

Таблица 1.1 - Электрические нагрузки по цехам завода

№ П/П	Наименование	Количество ЭП, $n$ , шт	Установленная мощность, кВт	
			одного ЭП, $P_n$	$\Sigma P_n$
1	Шамотный цех №1	50	1-30	970
2	Шамотный цех №2	60	1-40	1520
3	Динасовый цех	70	1-50	1800
4	Смесительно-формовочный цех	70	1-50	2100
5	Цех вращающихся печей	10	10-100	650
6	Компрессорная:			
	а) 0,4кВ	10	10-20	120
	б) 10кВ	10	630	1260
7	Цех пылеулавливания, газоочистки	25	1-20	360
8	Цех подготовки глины	40	1-28	680
9	Цех помола шамота	50	20-50	1500
10	Склад сырья	15	5-20	120
11	Механический цех	40	1-25	570
12	Заготовительно-штамповочный цех	35	5-70	400
13	Лаборатория	20	1-20	250
14	Стекольный цех	40	1-40	850
15	Склад готовой продукции	10	1-10	60
16	Заводоуправление, столовая	50	1,1-40	560
17	Цех туннельных печей	40	10-50	1480

### 1.3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

Таблица 1.2 - Электрические нагрузки механического цеха

№№ по плану	Наименование оборудования	Групп.	Установлен. Мощность, кВт	Коэффиц.	
				$K_{II}$	$\cos\varphi$
1	2	3	4	5	6
3,26	Краны с ПВ-25%	А	36,5	0,1	0,5
1,2,4,6	Пресс	А	5,5	0,25	0,65
5	Ковочный пресс	А	55	0,25	0,65
7,16,17,24,30	Камерная электропечь	Б	50	0,8	0,9
8	Конвейерная закалочная электропечь	Б	90	0,8	0,9
10,11, 19, 20	Электродная соляная ванна	Б	22	0,65	0,8
9	Пресс	Б	15	0,65	0,8
12,13,14	Электродная селитровая ванна	Б	12	0,65	0,8
15,22,38	Вентилятор	Б	37	0,65	0,8
18,21	Колпаковая электропечь	Б	45	0,8	0,9
25,27,35	Пресс горячештамповочный	А	11	0,25	0,65
28,31,33	Пресс кривошипный	А	11	0,25	0,65
29,32	Гильотинные ножницы	А	22	0,25	0,65
34,36	Ковочный пресс	А	22	0,25	0,65
37	Высокочастотная установка	А	100	0,35	0,7
39	Плазматрон	А	28	0,35	0,7
40	Насос	А	11	0,25	0,65

#### 1.3.1 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

Расчет электрических нагрузок производится в таблице 1.3 "Расчет нагрузок по механическому цеху". Эта таблица является сводной как для подсчета силовых нагрузок по отдельным узлам питания, так и для шин ТП.

В рассматриваемом механическом цехе имеется два мостовых крана с ПВ=25%.

Необходимо привести установленную мощность кранов к ПВ=100%:



$$P_n = P_{уст} \cdot \sqrt{ПВ}, (1.1)$$

для крана с ПВ-25%:

$$P_n = P_n \cdot \sqrt{ПВ} = 36,5 \cdot \sqrt{0,25} = 18,3 \text{ кВт.}$$

Все электроприемники, присоединенные к определенному узлу питания, разбиваются на характерные группы, имеющие одинаковый режим работы (это ЭП с одинаковыми  $Ku$  и  $\cos \varphi$ ).

Для каждой характерной группы указывается количество и мощность входящих в нее электроприемников, а для многодвигательного агрегата указывается количество и мощность входящих в него двигателей.

Наметим узлы питания: ШРА 1, ШРА 2, ШР.

Необходимо для каждой отдельной линии сделать выборку ЭП по группам А и Б.

К группе А относятся ЭП с переменным графиком работы.

К группе Б относятся ЭП длительного режима работы с постоянным графиком нагрузок.

Производим расчет электрических нагрузок и занесем результаты в таблицу 1.3

Основные используемые формулы:

Число  $m$ , которое используется для определения способа нахождения эффективного числа ЭП  $n_{\Sigma}$ , определяется по формуле

$$m = \frac{P_{нмакс}}{P_{нмин}}, (1.2)$$

где  $P_{нмакс}$ ;  $P_{нмин}$  - номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего ЭП в группе А.

Точное значение не требуется, достаточно определить  $m > 3$  или  $m \leq 3$ .

Средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой характерной подгруппы ЭП определяется по формуле

$$P_{cm} = K_u \cdot P_n, \text{ кВт (1.3)}$$

где  $K_u$  - коэффициент использования;

$P_n$  - номинальная мощность электроприемников.

Средняя реактивная нагрузка на наиболее загруженную смену для каждой характерной группы ЭП определяется по формуле

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВар (1.4)}$$

где  $P_{cm}$  - средняя реактивная нагрузка на наиболее загруженную смену.

По полученным данным определяется средневзвешенное значение коэффициента использования по данному расчетному узлу

$$K_u = \frac{\sum P_{cm}}{\sum P_n} \quad (1.5)$$

где  $\sum P_{cm}$  - суммарное значение средней реактивной нагрузки за наиболее загруженную смену по данному расчетному узлу.

Далее необходимо подсчитать эффективное число ЭП  $n_{\text{э}}$ , для данного расчетного узла питания.

При  $m \leq 3$  эффективное число электроприемников принимается равным их фактическому числу  $n$ , т.е.  $n = n_{\text{э}}$ .

При  $m > 3$  и групповом коэффициенте  $K_u > 0,2$  эффективное число электроприемников определяется по формуле

$$n_{\Sigma} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_n}{P_{\text{нмакс}}} \quad (1.6)$$

Если средневзвешенный групповой коэффициент использования  $K_u < 0,2$  эффективное число ЭП определяется по справочникам, тогда расчет  $n_{\Sigma}$  производится в следующей последовательности.

Значение  $P_{\Sigma}$ , рассчитано по формуле

$$P_{\Sigma} = \frac{P_{\text{нл}}}{\sum P_n}, \text{ кВт} \quad (1.7)$$

Значение  $n_{\Sigma}$ , определяется по формуле

$$n_{\Sigma} = \frac{n_l}{n} \quad (1.8)$$

Значение  $n_{\Sigma}^* = \frac{n_{\Sigma}}{n}$ , определяется по таблицам в зависимости от  $P_{\Sigma}$  и  $n_{\Sigma}$ .

Искомое значение эффективного числа электроприемников определяется

$$n_{\Sigma} = n_{\Sigma}^* \cdot n. \quad (1.9)$$

Коэффициент максимума  $K_M$  определяется по таблицам в зависимости от  $n_{\Sigma}$  и  $K_u$ . Максимальная активная получасовая нагрузка от силовых электроприемников узла равна:

$$P_M = K_M \cdot P_{\text{см}}, \text{ кВт} \quad (1.10)$$

Максимальная реактивная получасовая нагрузка от силовых ЭП узла принимается равной при

$$n_3 \leq 10 \quad Q_M = 1,1 \cdot Q_{CM};$$

$$n_3 > 10 \quad Q_M = Q_{CM}.$$

Для ЭП группы Б с практическим постоянным графиком нагрузки  $K_M$  принимается равным единице и максимальная электрическая нагрузка равна средней в наиболее загруженную смену:  $P_{CM} = P_M$  и  $Q_M = Q_{CM}$ .

Максимальная полная нагрузка расчетного узла питания определяется по формуле

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \text{ кВА} (1.11)$$

Таблица 1.3 - Расчет нагрузок по механическому цеху

№№ по плану	Наименование узлов питания и групп ЭП	n	Установленная мощность, кВт		m	K <sub>и</sub>	Cosφ/ tgφ	Средние мощности		Определение					n э	K <sub>м</sub>	Максимальная расчетная нагрузка			I <sub>p</sub> , А
			одного ЭП	Суммарная				P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар	n <sub>1</sub>	P <sub>n1</sub>	P *	n *	n <sub>э</sub> *			P <sub>м</sub> , кВт	Q <sub>м</sub> , квар	S <sub>м</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1,2,4,5,6	ШРА-1 группа А Прессы (4×5,5+55)	5	5,5÷55	77		0,25	0,65/1,16	19,3	22,3											
39	Плазматрон (28)	1	28	28		0,35	0,7/1,02	9,8	9,9											
3	Кран с ПВ-25% (18,3)	1	18,3	18,3		0,1	0,5/1,73	1,8	3,1											
	ИТОГО ПО ШРА-1	7	5,5÷55	123,3	>3	0,25		30,9	35,3						5	2,3	71,1	38,8	81	123,2
25,27-29,31-36,40	ШРА-2 группа А Прессы (6×11+2×22), ножницы (2×22), насос (11)	11	11÷22	165		0,25	0,65/1,16	41,3	47,9											
26	Кран с ПВ-25% (18,3)	1	18,3	18,3		0,1	0,5/1,73	1,8	3,1											
	Итого по группе А	12	11÷22	183,3	<3	0,23		43,1	51						12	1,6	68,9	51		
22,38	ШРА-2 группа Б Вентилятор (2×37)	2	37	74		0,65	0,8/0,75	48,1	36,1											
24,30	Электропечи (2×50)	2	50	100		0,8	0,9/0,48	80	38,4											
	Итого по группе Б	4	37÷50	174				128,1	74,5						1		128,1	74,5		

	ИТОГО ПО ШРА-2	1 6		357,3				171, 2	125, 5							197	125, 5	233,5	355, 3
10,11, 12,13, 14, 19, 20,15, 9	<i>ШР-1 группа Б</i> Электродная ванна, вентилятор (4×22+3×12+15+37)	9	12÷37	176		0,6 5	0,8/0,75	114, 4	85,8										
7,16,1 7,18,2 1	Электропечи (3×50+2×45)	5	45÷50	240		0,8	0,9/0,48	192	92,1										
	ИТОГО ПО ШР-1	1 4	12 ÷50	416				306, 4	177, 9						1	306,4	177, 9	354,3	538, 9
	ИТОГО по цеху: группа А группа Б	1 9 1 8	5,5÷55 12÷50	306,6 590		0,2 4		74 434, 5	86,3 166, 6					1 1	1,6 5 1	122,1 434,5	86,3 166, 6		
ЭП, присоединенные к ТП																			
8	Конвейерная электропечь (90)	1	90	90		0,8	0,9/0,48	72	34,5							72	34,5		
37	Высокочастотная установка (100)	1	100	100		0,3 5	0,7/1,02	35	35,7							35	35,7		
	ВСЕГО ПО ЦЕХУ	3 9		1185,8				615, 5	323, 1							663,6	323, 1	738	1122 ,7

## 1.4 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК ЗАВОДА

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

По этому методу расчетная осветительная нагрузка принимается равной средней мощности освещения за наиболее загруженную смену и определяется по формуле:

$$P_{po}=K_{co}\cdot P_{yo}, \text{ кВт} (1.12)$$

$$Q_{po}=tg\varphi_o\cdot P_{po}, \text{ квар}, (1.13)$$

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

$tg\varphi_o$  - коэффициент реактивной мощности, определяется по  $\cos\varphi$ ;

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

$$P_{yo}=\rho_o\cdot F, \text{ кВт} (1.14)$$

где  $F$  - площадь производственного помещения, которая определяется по генеральному плану завода,  $\text{м}^2$ ;

$\rho_o$  - удельная расчетная мощность кВт/ $\text{м}^2$ .

Все расчетные данные заносятся в таблицу 1.4 "Расчет осветительной нагрузки".

Расчет электрических нагрузок напряжением до 1 кВ по цехам завода производим методом упорядоченных диаграмм. Отдельной строкой по каждому цеху определяем силовые и осветительные нагрузки, затем

суммированием находим полную мощность цеха. Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок по цехам сведены в таблицу 1.6 "Расчет силовой нагрузки завода по производству огнеупоров напряжением 0,4 кВ".



Таблица 1.4 - Расчет осветительной нагрузки

№ по плану	Наименование цеха	Размеры помещения, длина (м) × ширина (м)	Площадь помещения, м²	Удельная осветительная нагрузка $\rho_o$ , кВт/м²	Коэф. спроса, $K_c$	Установленная мощность освещения, $P_{yo}$ , кВт	Расчетная мощность осветительной нагрузки		$\cos\varphi / \text{tg}\varphi$
							$P_{po}$ , кВт	$Q_{po}$ , квар	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Шамотный цех №1	63x54	3402	0,015	0,8	51,03	40,824	20,412	0,9/0,5
2	Шамотный цех №2	135x27	3645	0,015	0,8	54,675	43,74	21,87	0,9/0,5
3	Динасовый цех	126x45	5670	0,013	0,8	73,71	58,968	29,484	0,9/0,5
4	Смесительно-формовочный цех	90x45+36x32	5202	0,02	0,8	104,04	83,232	41,616	0,9/0,5
5	Цех вращающихся печей	48,6x16,2	787,3	0,015	0,8	11,8095	9,4476	4,7238	0,9/0,5
6	Компрессорная:	45x9	405	0,01	0,8	4,05	3,24	1,62	0,9/0,5
7	Цех пылеулавливания, газоочистки	27x14,4	388,8	0,013	0,8	5,0544	4,04352	2,02176	0,9/0,5
8	Цех подготовки глины	36x16,2	583,2	0,013	0,8	7,5816	6,06528	3,03264	0,9/0,5
9	Цех помола шамота	81x30,6	2478,6	0,015	0,8	37,179	29,7432	14,8716	0,9/0,5
10	Склад сырья	45x16,2	729	0,01	0,65	7,29	4,7385	2,36925	0,9/0,5
11	Механический цех	77,4x23,4	1811,2	0,015	0,8	27,168	21,7344	10,8672	0,9/0,5
12	Заготовительно-штамповочный цех	36x18	648	0,016	0,8	10,368	8,2944	4,1472	0,9/0,5
13	Лаборатория	54x14,4	777,6	0,02	0,9	15,552	13,9968	6,9984	0,9/0,5
14	Стекольный цех	27x54	1458	0,02	0,85	29,16	24,786	12,393	0,9/0,5
15	Склад готовой продукции	34,2x21,6	738,7	0,01	0,7	7,387	5,1709	2,58545	0,9/0,5
16	Заводоуправление, столовая	126x32,4	4082,4	0,02	0,9	81,648	73,4832	36,7416	0,9/0,5
17	Цех туннельных печей	144x32,4	4665,6	0,015	0,8	69,984	55,9872	27,9936	0,9/0,5
18	Территория		57928	0,002	1	115,856	115,856	57,928	0,9/0,5
Итого							603,351	301,6755	

### 1.4.1 КАРТОГРАММА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЗАВОДА

Картограмма электрических нагрузок представляет собой графическое измерение электрических нагрузок по цехам. Она отображается на генплане в виде кругов в масштабе отображенных электрических нагрузок. В центре этих окружностей совпадают с центрами электрических нагрузок цехов.

В зависимости от структуры энергопотребления, картограмма может быть нанесена на генплан отдельно для активной и реактивной мощности, и отдельно для низковольтной и высоковольтной нагрузки.

Низковольтная нагрузка должна наглядно показывать долю осветительной нагрузки цеха, в котором изображается в виде сектора круга соответствующего цеха.

Площадь окружности в выбранном масштабе

$$P_{\text{см}} = \pi r^2 \cdot m; \quad (1.15)$$

$$r = \sqrt{P_{\text{см}} / \pi \cdot m}; \quad (1.16)$$

$$m = P_{\text{см}} / \pi \cdot r^2 \quad (1.17)$$

где  $m$  - это масштаб для определения площади круга, который выбирается проектировщиками в зависимости от масштаба генплана и величины нагрузок предприятия.

Для изображения электрических нагрузок каждого цеха на картограмме в виде сектора круга необходимо определить угол сектора

$$\alpha = P_{\text{Р осв}} / P_{\text{см}} \cdot 360 \quad (1.18)$$

Таблица 1.5 - Картограмма электрических нагрузок завода

№ п/п	Наименование здания, сооружения	Рр сумм.	Рр осв.	Угол	Масш.	Радиус
1	Шамотный цех №1	438,4	40,8	33,50365	8,64	4,019885
2	Шамотный цех №2	680	43,7	23,13529	8,64	5,006483
3	Динасовый цех	990	58,97	21,44364	8,64	6,04082
4	Смесительно-формовочный цех	924	83,2	32,41558	8,64	5,835987
5	Цех вращающихся печей	390	9,45	8,723077	8,64	3,791496
6	Компрессорная	120	3,2	9,6	8,64	2,103144
7	Цех пылеулавливания, газоочис.	165	4,04	8,814545	8,64	2,466154
8	Цех подготовки глины	312,8	6,1	7,02046	8,64	3,395562
9	Цех помола шамота	924	29,7	11,57143	8,64	5,835987
10	Склад сырья	48	4,74	35,55	8,64	1,330145
11	Механический цех	135,42	21,73	57,76695	8,64	2,234188
12	Заготовительно-штам. цех	146,6	8,3	20,38199	8,64	2,324584
13	Лаборатория	132,75	13,995	37,95254	8,64	2,212053
14	Стекольный цех	484,5	24,8	18,42724	8,64	4,225958
15	Склад готовой продукции	21,6	5,173	86,21667	8,64	0,892288
16	Заводоуправление	297,36	73,485	88,96489	8,64	3,310698
17	Цех туннельных печей	888	55,984	22,69622	8,64	5,721169

Таблица 1.6 - Расчет силовых нагрузок завода напряжением  $U = 0,4\text{кВ}$

№ цехов	Наименование цехов	Кол-во ЭП, $n$	Установленная мощность, кВт		$m$	$K_n$	$\cos\varphi / \tg\varphi$	Средние нагрузки		$n_\Sigma$	$K_M$	Расчетные нагрузки	
			$P_{\min} \div P_n$ max	$\square P_n$				$P_{\text{см}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{см}}, \text{квар}$			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Шамотный цех №1												
	а) силовая	50	1-30	970	>3	0,4	0,7/1	388	388	50	1,13	438,4	388
	б) осветительная							40,8	20,4		1	40,8	20,4
	Итого											583,2	500,4
2	Шамотный цех №2												
	а) силовая	60	1-40	1520	>3	0,4	0,7/1	608	608	60	1,12	680	608
	б) осветительная							43,7	21,85		1	43,7	21,85
	Итого											723,7	629,85
3	Динасовый цех												
	а) силовая	70	1-50	1800	>3	0,5	0,75/0,88	900	792	70	1,1	990	792
	б) осветительная							58,97	29,49		1	58,97	29,49
	Итого											1048,97	821,49
4	Смесительно-формовочный цех												
	а) силовая	70	1-50	2100	>3	0,4	0,7/1	840	840	70	1,06	924	840
	б) осветительная							83,2	41,6		1	83,2	41,6
	Итого											1007,2	881,6
5	Цех вращающихся печей												
	а) силовая	10	10-100	650	>3	0,6	0,88/0,54	390	210,6	10	1,2	390	210,6
	б) осветительная							9,45	4,73		1	9,45	4,73

	Итого											399,45	215,33
6	Компрессорная:												
	а) силовая	10	10-20	120	<3	0,6	0,85/0,6	72	43,2	10	1,2	120	90
	б) осветительная							3,2	1,6		1	3,2	1,6
	Итого											123,2	91,6
7	Цех пылеулавливания газоочистки												
	а) силовая	25	1-20	360	>3	0,46	0,7/1	165	165	25	1	165	165
	б) осветительная							4,04	2,02		1	4,04	2,02
	Итого											169,04	167,02
8	Цех подготовки глины												
	а) силовая	40	1-28	680	>3	0,4	0,75/0,88	272	239,36	40	1,15	312,8	239,6
	б) осветительная							6,1	3,03		1	6,1	3,03
	Итого											318,9	242,63
9	Цех помола шамота												
	а) силовая	50	20-50	1500	<3	0,55	0,8/0,75	825	618,75	50	1,12	924	618
	б) осветительная							29,7	14,85		1	29,7	14,85
	Итого											953,7	633,6
10	Склад сырья												
	а) силовая	15	5-20	120	>3	0,25	0,6/1,3	30	39	12	1,6	48	39
	б) осветительная							4,74	2,37		1	4,74	2,37
	Итого											52,74	41,37
11	Механический цех												
	а) силовая	40	1-25	570	>3	0,2	0,65/1,2	111	133,2	32	1,22	135,42	133,2
	б) осветительная							21,736	10,868		1	21,736	10,868

	Итого											157,156	144,068
12	Заготовительно-штамповочный цех												
	а) силовая	35	5-70	400	>3	0,2	0,6/1,3	80	104	11	1,82	146,6	104
	б) осветительная							8,296	4,148		1	8,296	4,148
	Итого											153,896	108,148
13	Лаборатория												
	а) силовая	20	1-20	250	>3	0,45	0,75/0,88	112,5	99	20	1,18	132,75	99
	б) осветительная							13,995	6,998		1	13,995	6,998
	Итого											146,745	105,998
14	Стекольный цех												
	а) силовая	40	1-40	850	>3	0,5	0,75/0,88	425	374	40	1,14	484,5	374
	б) осветительная							24,8	12,4		1	24,8	12,4
	Итого											509,3	396,4
15	Склад готовой продукции												
	а) силовая	10	1-10	60	>3	0,2	0,5/1,73	12	20,76	10	1,8	21,6	20,76
	б) осветительная							5,173	2,587		1	5,173	2,587
	Итого											26,773	23,347
16	Заводоуправление, столовая												
	а) силовая	50	1,1-40	560	>3	0,45	0,75/0,88	252	221,76	28	1,18	297,36	221,76
	б) осветительная							73,485	36,74		1	73,485	36,74
	Итого											370,845	258,5
17	Цех туннельных печей												
	а) силовая	40	10-50	1480	>3	0,6	0,9/0,48	888	426,24	45	1	888	426,24
	б) осветительная							55,984	27,93		1	55,984	27,93

	Итого											943,984	454,2
18	Освещение территории							115,86	57,93		1	115,86	57,93
	Итого на шинах U=0.4kV											7805,659	5801,411

## 1.5 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ЧИСЛА ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

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

Данные для расчета:

$$P_{p0,4} = 7805 \text{ кВт};$$

$$Q_{p0,4} = 5801 \text{ кВар};$$

$$S_{p0,4} = 9725 \text{ кВА}.$$

Завод по производству огнеупоров относится ко II категории потребителей, завод работает в две смены, следовательно, коэффициент загрузки трансформаторов  $K_{зтр} = 0,8$ . Принимаем трансформатор мощностью  $S_{нт} = 1000$  кВА.

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

$$N_{min} = \frac{P_{p0,4}}{K_3 \cdot S_{нт}} + \Delta N = \frac{7805}{0,8 \cdot 1000} = 9,76 + 0,24 = 10 \quad (1.19)$$

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

$K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;



$S_{nm}$  - принятая номинальная мощность трансформатора;

$\Delta N$  - добавка до ближайшего целого числа.

Экономически целесообразное число трансформаторов определяется по формуле

$$N_{m.э} = N_{min} + m, (1.20)$$

где  $m$  - дополнительное число трансформаторов;

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

$$Z_{n/cm}^* = 0,5; K_3 = 0,8; N_{min} = 11; \Delta N = 0,24. (1.21)$$

Тогда из справочника по кривым определяем  $m$ , для нашего случая  $m = 1$ , значит  $N_{m.э} = 10 + 1 = 11$  трансформаторов.

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

$$Q_1 = \sqrt{(N_{mэ} \cdot S_{nm} \cdot K_3)^2 - P_{p0,4}^2} = \sqrt{(11 \cdot 1000 \cdot 0,8)^2 - 7805^2} = 4064,7 \text{ кВар} \quad (1.22)$$

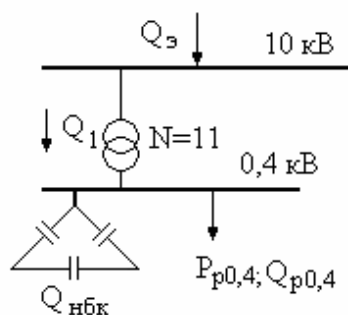


Рисунок 1.1

Из условия баланса реактивной мощности на шинах 0,4 кВ определим

величину  $Q_{нбк 1}$

$$Q_{нбк 1} + Q_I = Q_{p 0,4}, \quad (1.23)$$

то

$$Q_{нбк 1} = Q_{p 0,4} - Q_I = 5801 - 4064,7 = 1736 \text{ кВар} \quad (1.24)$$

Дополнительная мощность  $Q_{нбк2}$  НБК для данной группы трансформаторов определяется по формуле

$$Q_{нбк 2} = Q_{p 0,4} - Q_{нбк 1} - \cdot \square N_{т \text{ э}} \cdot \square S_{нт}$$

Принимаем  $Q_{нбк2} = 0$ .

Определим мощность одной батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор

$$Q_{нбк \text{ тп}} = \frac{Q_{нбк}}{N_{т \text{ з}}} = \frac{1736}{11} \approx 200 \text{ кВар} \quad (1.25)$$

Выбираем конденсатор УКЛН-0,38-200-50УЗ.

На основании расчетов, составляется таблица 1.7 - Распределение нагрузок цехов по ТП, в которой показано распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП.

Таблица 1.7 - Распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП

№ ТП, $S_{н \text{ тп}}$ , $Q_{нбк \text{ тп}}$	№ цеха	$P_{p0,4}$ , кВт	$Q_{p0,4}$ , кВар	$S_{p0,4}$ , кВА	$K_z'$
1	2	3	4	5	6
ТП 1 (2x1000)	1	583,2	500,4		
ТП 2 (2x1000)	2	724,7	629,85		
$\Sigma S_{н} = 4 \times 1000 = 4000 \text{ кВА}$	3	1048,97	821,45		
$Q_{нбк} = 4 \times 200 = 800 \text{ кВар}$	5	399,45	215,5		
ИТОГО		2756,3	2167,2		

			800		
		2756,3	1367,2	3077	0,77
ТП 3 (2x1000)	4	1007	881,6		
ТП 4 (2x1000)	6	123,2	91,6		
$\Sigma S_H = 4 \times 1000 = 4000$ кВА	7	169,04	167,02		
$Q_{нбк} = 4 \times 200 = 800$ кВар	8	318,3	242,6		
итого	9	953,3	633,6		
	10	52,74	41,37		
	11	157,156	144,068		
		2780,9	2197,1		
			800		
		2780,9	1397,1	3112	0,78
ТП 5 (1x1000)	12	153,89	108,15		
ТП 6 (2x1000)	13	146,74	105,99		
$\Sigma S_H = 3 \times 1000 = 3000$ кВА	14	509,8	396,4		
$Q_{нбк} = 3 \times 200 = 600$ кВар	15	26,773	23,347		
итого	16	370,8445	258,5		
	17	943,984	454,2		
	осв. тер	115,86	57,93		
		2377,5	1474,4		
			600		
		2377,5	874,4	2533	0,8

## 1.6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ В ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Выбираем трансформаторы ТМЗ-1000-10/0,4

$$U_6 = 10 \text{ кВ}, U_H = 0,4 \text{ кВ}, \Delta P_{xx} = 2,1 \text{ кВт}, \Delta P_{кз} = 11,6 \text{ кВт}, I_{xx} = 1,4\%, U_{кз} = 5,5\% (1.26)$$

1) для ТП1, ТП2: ( $K_3 = 0,77$ ;  $N = 4$ )

$$\Delta P_m = \Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}, \text{ кВт} (1.27)$$

$$\Delta P_m = (2,1 + 11,6 \cdot 0,77^2) \cdot 4 = 35,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = 0,01 \cdot (\Delta I_{xx} \cdot S_H + K_3^2 \cdot U_{кз} \cdot S_H), \text{ кВар}$$

$$\Delta Q_m = 0,01 \cdot (1,4 \cdot 1000 + 5,5 \cdot 1000 \cdot 0,77^2) \cdot 4 = 186,4 \text{ кВар}$$

2) для ТП3, ТП4: ( $K_3 = 0,78$ ;  $N = 4$ )

$$\Delta P_m = (2,1 + 11,6 \cdot 0,78^2) \cdot 4 = 36,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = 0,01 \cdot (1,4 \cdot 1000 + 5,5 \cdot 1000 \cdot 0,78^2) \cdot 4 = 189,8 \text{ кВар}$$

3) для ТП5, ТП6:  $K_3=0,8$ ;  $N=3$

$$\Delta P_m = (2,1 + 11,6 \cdot 0,8^2) \cdot 3 = 28,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = 0,01 \cdot (1,4 \cdot 1000 + 5,5 \cdot 1000 \cdot 0,8^2) \cdot 3 = 147,6 \text{ кВар}$$

Суммарные потери в трансформаторах:

$$\Sigma P_{1-11} = 35,9 + 36,6 + 28,6 = 101,1 \text{ кВт}$$

$$\Sigma Q_{1-11} = 186,4 + 189,8 + 147,6 = 523,9 \text{ кВар}$$

Результаты сведем в таблицу 1.8

Таблица 1.8

№ ТП	$\Delta P$ , кВт	$\Delta Q$ , кВар
ТП1, ТП2	35,9	186,4
ТП3, ТП4	36,6	189,8
ТП5, ТП6	28,6	147,6
Итого $\Sigma$	101,1	523,9

## 1.7 РАСЧЕТ НАГРУЗКИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Исходные данные:

$$P_{н\text{ СД}} = 630 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,9 \quad \operatorname{tg} \varphi = 0,48;$$

$$N_{\text{СД}} = 10; \kappa_3 = 0,85 \cdot (1,28)$$

Определим расчетные активные и реактивные мощности для СД:

$$P_{p\text{ СД}} = P_{н\text{ СД}} \cdot N_{\text{СД}} \cdot \kappa_3, \text{ кВт}; (1.29)$$

$$P_{p\text{ СД}} = 630 \cdot 10 \cdot 0,85 = 5355 \text{ кВт};$$

$$Q_{p\text{ СД}} = P_{p\text{ СД}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВар};$$

$$Q_{p\text{ СД}} = 5355 \cdot 0,48 = 2570,4 \text{ кВар}$$

## 1.8 ВЫБОР ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ БАТАРЕИ КОНДЕНСАТОРОВ

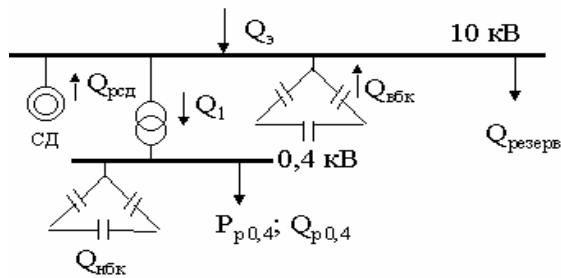


Рисунок 1.2

Составим схему замещения, показанную на рисунке 1.2

Определим неизвестные компоненты.

Резервная мощность  $Q_{рез}$  необходима для послеаварийного режима (10-15% берется из энергосистемы).

Она не используется постоянно, только в критических случаях.

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot \Sigma Q_{расч}, \text{ кВар}; \quad (1.30)$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot (Q_{p0,4} + \Delta Q_m) = 0,1 \cdot 6324,9 = 632,4 \text{ кВар}. \quad (1.31)$$

Мощность, поступающая от энергосистемы:

$$Q_3 = 0,23 \cdot \Sigma P_p = 0,23 \cdot (P_{p0,4} + \Delta P_m + P_{сд})$$

$$Q_3 = 0,23 \cdot (7805 + 101,1 + 5355) = 3050 \text{ кВар}. \quad (1.32)$$

Теперь, зная величины всех реактивных мощностей можем составить баланс реактивной мощности:

$$Q_{ВБК}=Q_{p0,4}+\Delta Q_m+Q_{pez}-Q_{\Delta} - Q_{cd}=5801+523,9-632,4-3050-2570,4=72,1 \text{ кВар}$$

Так как  $Q_{ВБК} < 200$ , то ВБК не выбираем.

Уточненный расчет электрических нагрузок по заводу приведен в таблице 1.9

Таблица 1.9 - Уточненный расчет нагрузок по заводу

№РП, $S_{нт}$ , $Q_{НБК}$	№ цеха	$n$	$P_{n\ min} - P_n$ <i>max</i>	$\Sigma P_n$	$K_{и}$	Ср. мощность		$n_{э}$	$K_{м}$	Расчетные мощности			$K_{э}$
						$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар			$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП 1 (2х1000)	1	50	1-30	970		388	388						
ТП 2 (2х1000)	2	60	1-40	1520		608	608						
Силовая	3	70	1-50	1800		900	792						
Освещение	5	10	10-100	650		390	210,6						
Qнбк		190	1-100	4940	0,48	2286	1998,6	99	1,1	2514	2198,4		
Итого										152,92	229,39 800		
										2666,92	1627,79	3124	0,78
ТП 3 (2х1000)	4	70	1-50	2100		840	840						
ТП 4 (2х1000)	6	10	10-20	120		72	43,2						
Силовая	7	25	1-20	360		165	165						
Освещение	8	40	1-28	680		272	239,6						
Qнбк	9	50	20-50	1500		825	618,75						
Итого	10	15	5-20	120		30	39						
	11	40	1-25	370		111	133,2						
		250	1-50	5250	0,58	2315	2078,7	210	1,1	2546,5	2286,6		
										152,7	76,33 800		
										2699,2	1562,93	3119	0,77
ТП 5 (1х1000)	12	35	5-70	400		80	104						
ТП 6 (2х1000)	13	20	1-20	250		112,5	99						

Силовая	14	40	1-40	850		425	374						
Освещение	15	10	1-10	60		12	20,76						
Осв. тер	16	50	1,1-40	560		252	221,76						
Qнбк	17	40	10-50	1480		888	426,24						
Итого		195	1-70	3600	0,37	1769,5	1245,8	103	1,1	1946,45	1370,4		
										181,733	90,803		
										115,86	57,93		
										600			
										2244	919,1	2424,9	0,8
Итого на шинах 0,4кВ										7610,1	4109,8	8648,9	
Потери в трансф. - х										101,1	523,9		
Итого нагр.0,4кВ привед. к шинам 10кВ										7711,22	4633,7		
Синхронные двигатели: СД1	6	10	630	1260						5355	-2570		
Всего по заводу										13066,2	7203,7	14920,4	



## 1.9 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВАРИАНТОВ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

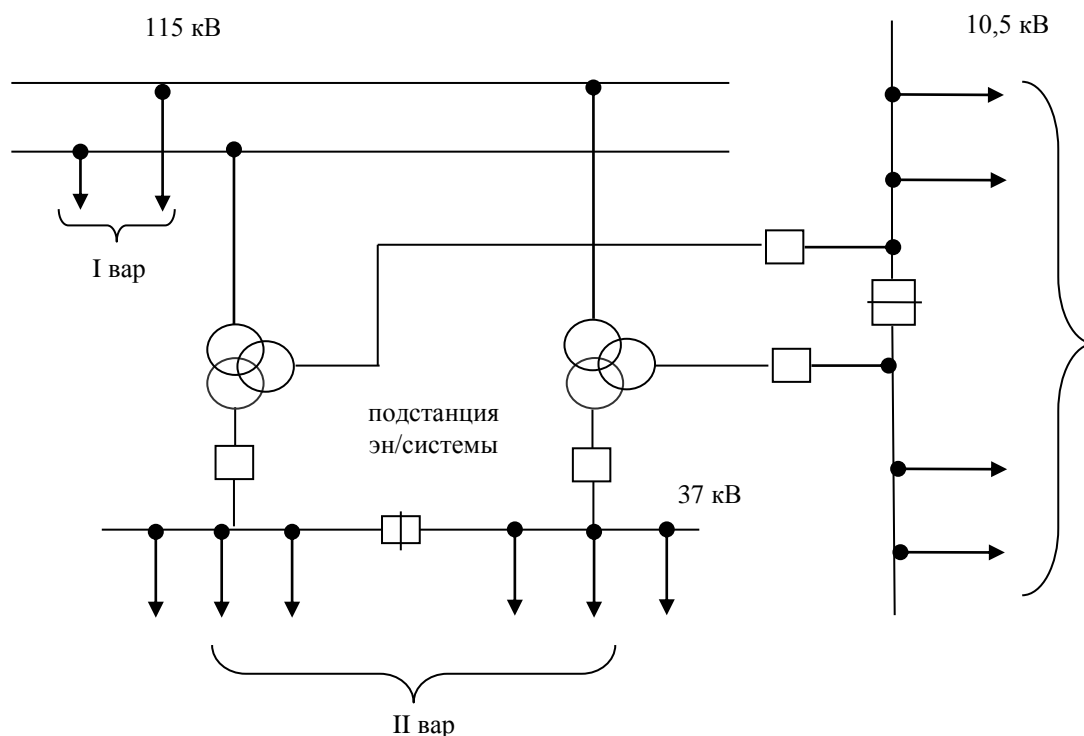


Рисунок 1.3 - Схема подстанции энергосистемы

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два параллельно работающих трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ. Мощность системы 650 МВА, мощность короткого замыкания на шинах 115 кВ равна 880 МВА. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 5,5 км. Завод работает в две смены. Стоимость электроэнергии  $C = 6,4$  тг/кВтч.

Для технико-экономического сравнения вариантов электроснабжения завода рассмотрим три варианта представленных на рисунке 1.3:

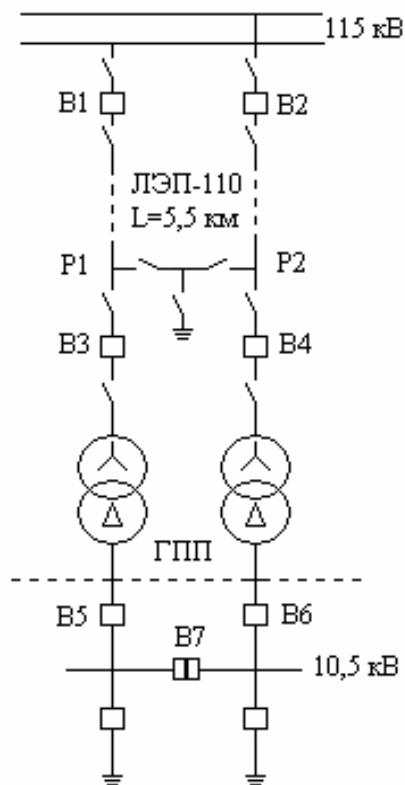


Рисунок 1.4 - Первый вариант схемы внешнего электроснабжения

Выбираем электрооборудование по первому варианту.

1. Выбираем трансформаторы ТПП:

От энергосистемы идет полностью активная мощность  $P$  и часть реактивной мощности  $Q_э$ :

$$S = \sqrt{P^2 + Q_э^2} = \sqrt{13066^2 + 3050^2} = 13417 \text{ кВА} \quad (1.33)$$

Примем два трансформатора мощностью 10000 кВА.

Коэффициент загрузки:

$$K_з = \frac{S_p}{2 \cdot S_n} = \frac{13417}{2 \cdot 10000} = 0,67 \quad (1.34)$$

Коэффициент загрузки 2-х трансформаторной подстанции II категории должен быть не более  $K_з = 0,85$ , следовательно примем трансформаторы типа

ТДН-10000/110.

Паспортные данные трансформатора: тип трансформатора ТДН-10000/110,  $S_n=10000$  кВА,  $U_{вн}=115$ кВ,  $U_{нн}=11$  кВ,  $\Delta P_{xx}=14$ кВт,  $\Delta P_{кз}=58$ кВт,  $u_{кз}=10,5\%$ ,  $I_{xx}=0,9\%$

Потери мощности в трансформаторах:  
активной:

$$\Delta P_{тгпн} = 2 \cdot (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) = 2 \cdot (14 + 58 \cdot 0,67^2) = 80,1 \text{ кВт} (1.35)$$

реактивной:

$$\Delta Q_{тгпн} = 0,02 \cdot (I_{xx} \cdot S_n + U_{кз} \cdot S_n \cdot K_3^2) (1.36)$$

$$\Delta Q_{тгпн} = 0,02 \cdot (0,9 \cdot 10000 + 10,5 \cdot 10000 \cdot 0,67^2) = 1123 \text{ кВт.}$$

Потери энергии в трансформаторах. При двухсменном режиме работы:

$$T_{вкл}=4000 \text{ ч. } T_{макс}=4000 \text{ ч.}, (1.37)$$

тогда время максимальных потерь:

$$\tau = (0,124 + T_m \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 4000 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 2405 \text{ ч.} (1.38)$$

Потери электроэнергии в трансформаторах ГПП:

$$\Delta W = 2 \cdot (\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \Delta P_{кз} \cdot \tau \cdot K_3^2)$$

$$\Delta W = 2 \cdot (14 \cdot 4000 + 58 \cdot 2405 \cdot 0,67^2) = 237541 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

## 2. ЛЭП-110 кВ

Полная мощность, проходящая по ЛЭП:

$$S_{лэн} = \sqrt{\left(P_p + \Delta P_{мэнн}\right)^2 + Q_9^2} = \sqrt{(13066 + 80,1)^2 + 3050^2} = 13495 \text{кВА} \quad (1.39)$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии

$$I_p = \frac{S_{лэн}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{13495}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 33,9 \text{А} \quad (1.40)$$

Ток аварийного режима:

$$I_a = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 33,9 = 67,8 \text{ А} \quad (1.41)$$

Выбор сечения ЛЭП:

1) по экономической плотности тока

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{33,9}{1,1} = 30,8 \text{мм}^2 \quad (1.42)$$

где  $I_p = 33,9 \text{ А}$  расчетный ток линии;

$j = 1,1 \text{ А/мм}^2$  экономическая плотность тока для Казахстана;

2) по условию потерь на "корону" для напряжения 110кВ минимальное сечение провода  $F = 70 \text{ мм}^2$  и допустимый ток для провода АС -70,  $I_{дон} = 265 \text{А}$ ;

3) проверим выбранные провода по допустимому нагреву, при расчетном токе  $I_{дон} = 265 \text{А} > I_p = 33,9 \text{ А}$ ;

4) проверяем выбранные провода режиме перегрузки: коэффициент перегрузки  $K_n = 1,3$ ; следовательно допустимый аварийный ток равен:

$$I_{дон ав} = 1,3 \cdot I_{дон} = 1,3 \cdot 265 = 344,5 \text{ А} > I_{ав} = 67,8 \text{ А} \quad (1.43)$$

$$\Delta W_{лэн} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau = 2 \cdot 3 \cdot 33,9^2 \cdot 2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 2405 = 41955 \text{кВтч} \quad (1.44)$$

Определим потери электроэнергии в ЛЭП:

$$\Delta W_{лэп} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau = 2 \cdot 3 \cdot 33,9^2 \cdot 2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 2405 = 41955 \text{ кВтч}, (1.45)$$

где  $R = r_0 \cdot L = 5,5 \cdot 0,46 = 2,53 \text{ Ом}$ ,

$r_0 = 0,46 \text{ Ом/км}$  - удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением  $70 \text{ мм}^2$ ,  $L = 5,5 \text{ км}$  - длина линии.

Выбор коммутационной аппаратуры на напряжение  $U = 110 \text{ кВ}$ .

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рисунок 1.5) и рассчитаем ток короткого замыкания в относительных единицах.

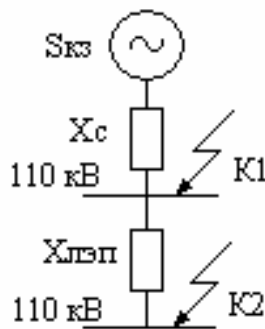


Рисунок 1.5

Расчет  $I_{кз}$  (в о. е.).

$$S_6 = 1000 \text{ МВА}; S_{кз} = 880 \text{ МВА}; U_6 = 115 \text{ кВ}. (1.46)$$

$$x_c = S_6 / S_{кз} = 1000 / 880 = 1,14 \text{ о. е.}, (1.47)$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,03 \text{ кА}; (1.48)$$

$$X_l = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,34 \cdot 5,5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,14 \text{ о.е.} (1.50)$$

$$I_{k1} = \frac{I\sigma}{X_c} = \frac{5,03}{1,14} = 4,4 \text{ кА};$$

$$i_{yкк} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{k1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,4 = 11,2 \text{ кА}$$

$$I_{k2} = \frac{I\sigma}{X_c + X_l} = \frac{5,03}{1,14 + 0,14} = 3,93 \text{ кА};$$

$$i_{yкк} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{k2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,93 = 9,97 \text{ кА}$$

(1.49)

1) Выключатели В1, В2, В3, В4.

Выбираем выключатель МКП-110Б-630-20У1

Каталожные данные выключателя	Расчетные данные	
	В1, В2	В3, В4
$I_{ном}=630 \text{ А}$	$>I_{ав}=67,8 \text{ А}$	$>I_{ав}=67,8 \text{ А}$
$I_{откл}=20 \text{ кА}$	$>I_{k1}=4,4 \text{ кА}$	$>I_{k2}=3,93 \text{ кА}$
$I_{пред}= 64 \text{ кА}$	$>i_y=11,2 \text{ кА};$	$>i_y=9,97 \text{ кА};$
$I_{терм}= 25 \text{ кА}$	$>I_{k1}=4,4 \text{ кА}$	$>I_{k2}=3,93 \text{ кА}$
$S_{кз} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{откл} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 20 = 3979 \text{ МВА};$	$>S_{кз1}=875,4 \text{ кА}$	$>S_{кз2}=781,9 \text{ кА}$
Цена= 20,130 тыс. у. е		

2) Разъединитель

Принимаем разъединитель РНДЗ-110/1000У1

$$I_{ном}=1000 \text{ А} > I_{ав}=67,8 \text{ А}; I_{пред}= 80 \text{ кА} > i_y= 9,97 \text{ кА};$$

$$I_{терм}= 31,5 \text{ кА} > I_k=3,93 \text{ кА};$$

$$\text{Цена} = 7,435 \text{ тыс. у. е}$$

3) Ограничители перенапряжения ОПН

Выбираем ОПНн-110-420-77-10 УХЛ1.

Расчет затрат по первому варианту схемы электроснабжения. Затраты на выключатели В1, В2, В3, В4:

$$K_{B1, B2, B3, B4} = N \cdot K_B, (1.51)$$

где  $N$  - количество выключателей;  $K_B$  - стоимость выключателя.

$$K_{B1, B2, B3, B4} = 4 \cdot 20,130 = 80,520 \text{ тыс. у.е.}$$

Затраты на ЛЭП на двухцепной железобетонной опоре:

$$K_{\text{ЛЭП}} = L \cdot K_{\text{уд}}, (1.52)$$

где  $L$  - длина линии;

$$K_{\text{уд}} = 25,500 \text{ у. е. /км, стоимость 1 км ЛЭП.}$$

$$K_{\text{ЛЭП}} = 5,5 \cdot 25,500 = 140,250 \text{ тыс. у. е.}$$

Затраты на тр ГПП:

$$K_{\text{тр ГПП}} = N \cdot K_{\text{тр}}, (1.53)$$

где  $N$  - число трансформаторов;

$K_{\text{тр}}$  - стоимость трансформатора.

$$K_{\text{тр ГПП}} = 2 \cdot 48 = 96 \text{ тыс. у. е.}$$

Затраты на разъединители:

$$K_{\text{раз}} = N \cdot K_{\text{раз}}, (1.54)$$

где  $N$  - количество разъединителей;  $K_{\text{раз}}$  - стоимость разъединителя.

$$K_{раз}=11\cdot7,435=81,875 \text{ тыс. у. е. (1.55)}$$

Затраты на ОПН:

$$K_{опн}=N\cdot K_{опн},$$

где  $N$  - количество ОПН;  $K_{опн}$  - стоимость ОПН.

$$K_{опн}=2\cdot1,8=3,6 \text{ тыс. у. е. (1.56)}$$

Суммарные затраты на оборудование первого варианта:

$$K_{\Sigma I}=K_{ВЫК}+K_{ЛЭП}+K_{разъед}+K_{опн}+K_{т\text{ гпп}}$$

$$K_{\Sigma I}=80,52+140,25+81,78+3,6+96=402,15 \text{ тыс. у. е. .}$$

Определим издержки. Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{экс\text{ ЛЭП}}=0,028\cdot K_{ЛЭП}=0,028\cdot140,25=3,93 \text{ тыс. у. е. (1.57)}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{экс\text{ об}}=0,03\cdot K_{об}=0,03\cdot261,9=7,86 \text{ тыс. у.е. (1.58)}$$

где  $K_{об}$  -суммарные затраты без стоимости ЛЭП.

Амортизационные издержки на ЛЭП:

$$I_{а\text{ ЛЭП}}=0,028\cdot K_{ЛЭП}=0,028\cdot140,25=3,93 \text{ тыс. у. е. (1.59)}$$

Амортизационные издержки на оборудование:



$$I_{a\text{об}}=0,063 \cdot K_{об}=0,063 \cdot 261,9=16,5 \text{ тыс. у. е. (1.60)}$$

Стоимость потерь электроэнергии

$$I_{пот}=C_o \cdot (W_{трзпп} + W_{лэн}) = 0,05 \cdot (237541 + 41955) = 13,974 \text{ тыс. у. е., (1.61)}$$

$$\text{где } C_o = \frac{6,4}{130} = 0,05 \text{ у. е. /кВт}\cdot\text{ч (1.62)}$$

Суммарные издержки:

$$I_{\Sigma 1} = I_a + I_{пот} + I_{э},$$

$$I_{\Sigma 1} = 3,93 + 16,5 + 13,97 + 3,93 + 7,86 = 46,2 \text{ тыс. у. е. (1.63)}$$

Приведенные суммарные затраты:

$$Z_I = 0,12 \cdot K_{\Sigma 1} + I_{\Sigma 1} = 0,12 \cdot 402,15 + 46,2 = 94,5 \text{ тыс. у. е.}$$

Второй вариант

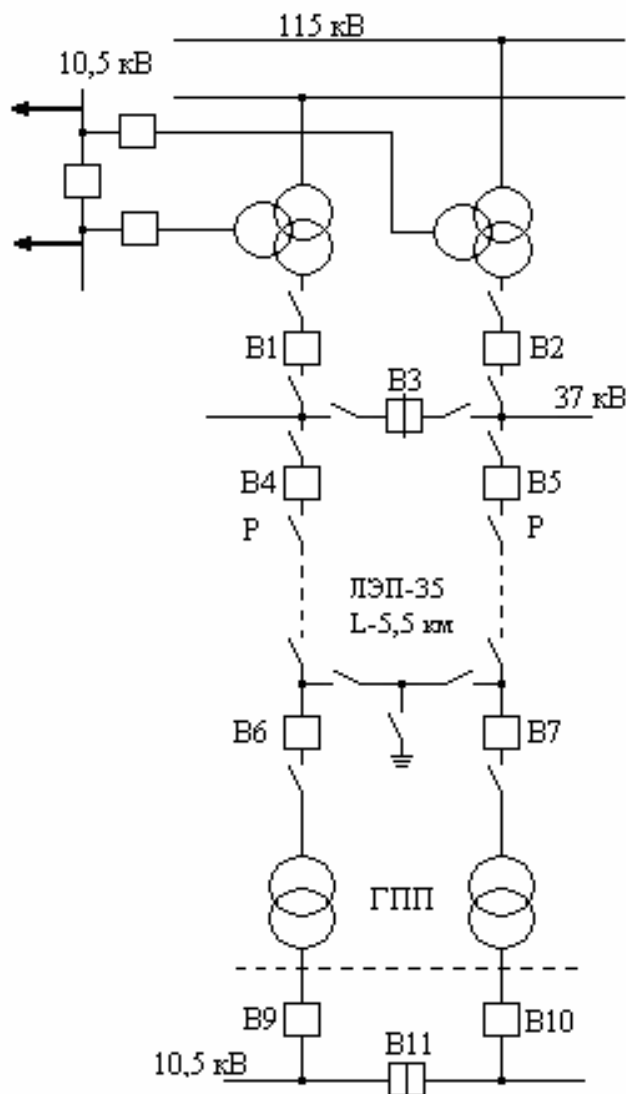


Рисунок 1.6 - Второй вариант схемы внешнего электроснабжения.

Выбираем электрооборудование по II варианту

1. Выберем трансформаторы ГПП.

Выбираем два трансформатора мощностью 10000 кВА.

Коэффициент загрузки  $K_z = 0,67$ .

Паспортные данные трансформатора: тип трансформатора ТДНС-10000/35, номинальная мощность  $S_n = 10000$  кВА,  $U_{вн} = 35$  кВ,  $U_{нн} = 10,5$  кВ,

$$\Delta P_{xx} = 12 \text{ кВт}, \Delta P_{кз} = 60 \text{ кВт}, u_{кз} = 8\%, I_{xx} = 0,75\%$$

Потери мощности в трансформаторах:

Активной

$$\Delta P_m = 2 \cdot (P_{xx} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) = 2 \cdot (12 + 60 \cdot 0,67^2) = 78 \text{ кВт}$$

Реактивной

$$\Delta Q_m = 2 \cdot \left( \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{HT} + \frac{U_{K3}}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right) = \frac{0,7 \cdot 10000}{100} + \frac{8 \cdot 10000 \cdot 0,67^2}{100} = 860 \text{ кВар}$$

Потери энергии в трансформаторах. При двухсменном режиме работы  $T_{вкл}=4000$  ч.  $T_{макс}=4000$  ч., тогда время максимальных потерь:  $\tau=2405$  ч.

Потери электроэнергии в трансформаторах:

$$\Delta W = 2 \cdot (\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \tau \cdot \Delta P_{K3} \cdot (K_3)^2) = 2 \cdot (12 \cdot 4000 + 60 \cdot 2405 \cdot 0,67^2) = 225870 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

2. ЛЭП-35кВ. Полная мощность, проходящая по ЛЭП

$$S_{ЛЭП} = \sqrt{(P_p + \Delta P_m)^2 + Q_9^2} = \sqrt{(13066 + 78)^2 + 3050^2} = 13493 \text{ кВА}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии

$$I_p = \frac{S_{ЛЭП}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{13493}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 36,75} = 106,1 \text{ А}$$

Ток аварийного режима

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 106,1 = 212,2 \text{ А}$$

## Выбор сечения ЛЭП

1) по экономической плотности тока

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{106,1}{1,1} = 96,45 \text{ мм}^2,$$

где  $I_p=106,1$  А расчетный ток линии,

$j$  - экономическая плотность тока;

$j=1,1$  А/мм<sup>2</sup> при  $T_m=3000-5000$  ч и алюминиевых проводах.

Принимаем по экономической плотности тока провод АС -70,  $I_{don}=265$ А.

2) проверим выбранные провода по допустимому нагреву:

при расчетном токе

$$I_{don}=265\text{А} > I_p=106,1 \text{ А}$$

3) коэффициент перегрузки  $K_n=1,3$  при аварийном токе

$$I_{don\text{ }ав}=1,3 \cdot I_{don}=1,3 \cdot 265=345 \text{ А} > I_{ав}=212,2 \text{ А}$$

Определим потери электроэнергии в ЛЭП-35:

$$\Delta W_{ЛЭП} = 2 \cdot 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot \tau_{\Sigma} = 2 \cdot 3 \cdot 106,1^2 \cdot 2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 2405 = 410977 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $R=r_0 \cdot l$ , где  $r_0=0,46$  Ом/км удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением 70 мм<sup>2</sup>;  $l=5,5$  - км длина линии.

Трансформатор энергосистемы. На подстанции энергосистемы расположены два трехобмоточных трансформатора ТДТН - 40000/110/37/10,5.

Паспортные данные: тип трансформатора ТДТН-40000/110, номинальная мощность

$$S_H=40000 \text{ кВА}, U_{BH}=115 \text{ кВ}, U_{CH}=38,5 \text{ кВ}, U_{HH}=11 \text{ кВ},$$

$$\Delta P_{xx}=39 \text{ кВт}, \Delta P_{K3}=200 \text{ кВт}, u_{K3}=10,5\%, I_{xx}=0,6\% (1.64)$$

Коэффициент долевого участия завода мощности трансформатора системы

$$\gamma = \frac{S_p}{2 \cdot S_{ном.тр.}} = \frac{13493}{2 \cdot 40000} = 0,17$$

Долевым участием в потерях  $\Delta P$  и  $\Delta Q$  пренебрегаем. Потери электроэнергии в трансформаторах энергосистемы

$$\Delta W = 2 \cdot (\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \tau \cdot \Delta P_{K3} \cdot (K_3)^2) = 2 \cdot (39 \cdot 4000 + 200 \cdot 2405 \cdot 0,17^2) = 339802 \text{ кВтЧ}$$

Выбор коммутационной аппаратуры на напряжение  $U = 35 \text{ кВ}$ .

Расчет токов КЗ проведем в относительных единицах. Схема замещения представлена на рисунке 1.7. В качестве базисных величин принимаем мощность  $S_{\delta} = 1000 \text{ МВА}$  и напряжение  $U_{\delta} = 37 \text{ кВ}$ ,  $S_{K3} = 880 \text{ МВА}$ , тогда базисный ток будет:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15,6 \text{ кА}$$

Сопротивление системы

$$x_c = \frac{S_{\delta}}{S_{K3}} = \frac{1000}{880} = 1,14 \text{ о.е.}$$

Сопротивление трансформатора

$$x_{тр} = \frac{u_{кв} \cdot S_{\delta}}{S_H} = \frac{0,05 \cdot 1000}{40} = 1,3 \text{ о. е.}$$

## Сопротивление ЛЭП

$$x_{лэп} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_0}{U_{сн}^2} = 0,34 \cdot 5,5 \cdot \frac{1000}{37^2} = 1,28 \text{ о. е.}$$

$$I_{K1} = \frac{I_0}{X_C + X_{TC}} = \frac{15,6}{1,14 + 1,3} = 6,4 \text{ кА}$$

$$S_{K-1} = \sqrt{3} U_0 I_{K-1} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 6,4 = 409,7 \text{ кВА};$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,4 = 16,3 \text{ кА}$$

$$I_{K2} = \frac{I_0}{X_c + X_{mp} + X_{вл}} = \frac{15,6}{1,14 + 1,3 + 1,28} = 4,2 \text{ кА}$$

$$S_{K-2} = \sqrt{3} U_0 I_{K-1} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 4,2 = 268,8 \text{ кВА};$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,2 = 10,7 \text{ кА}$$

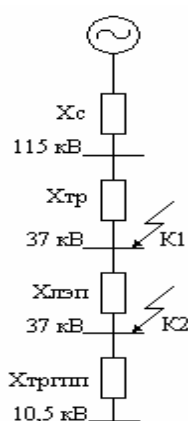


Рисунок 1.7

### 1) Выключатели В1, В2

Выключатели выбираем по аварийному току трансформаторов системы.

Принимаем, что мощность передаваемая через трансформатор по двум вторичным обмоткам трансформаторов распределена поровну (по 50%), поэтому:

$$S_{ав тр сист}=2 \cdot 20=40 \text{ МВА}$$

$$I_{ав}=S_{ав}/1,73 \cdot U_H=40 \cdot 1000/1,73 \cdot 37=624,9 \text{ А},$$

$$I_p=I_{ав}/2=312,45 \text{ А}$$

Выбираем выключатели типа МКП-35-630-20У1.

Проверка выбранных выключателей:

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H=35 \text{ кВ}$	$U_p=35 \text{ кВ}$
$I_H=630 \text{ А}$	$I_{AB}=624,9 \text{ А}$
$I_{отк}=10 \text{ кА}$	$I_{кз}=6,4 \text{ кА}$
$S_{кз}=640,9 \text{ МВА}$	$S_{K-1}=410 \text{ МВА}$
Цена=12150 у. е	

Коэффициент долевого участия завода в стоимости выключателей В1 и В2:

$$2 = \frac{I_{завода}}{I_H} = \frac{212,2}{630} = 0,33$$

2) Секционный выключатель В3:

$$I_{В3}=I_{AB}/2=312,45 \text{ кА}$$

Принимаем выключатель МКП-35-630-20У1.

Проверка выбранного выключателя:

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_n=35$ кВ	$U_p=35$ кВ
$I_n=630$ А	$I_{AB}=312,45$ А
$I_{отк}=10$ кА	$I_{кз}= 6,4$ кА
$S_{кз}= 640,9$ МВА	$S_{K-1}= 410$ МВА
Цена=12150 у. е	

Коэффициент долевого участия завода в стоимости выключателя В3:

$$3 = \frac{I_{завода}}{I_n} = \frac{106,1}{630} = 0,16$$

3) Выключатели В4, В5, В6, В7:  $I_{ав ЛЭП}=212,2$  А

Принимаем выключатель МКП-35-630-20У1.

Проверка выбранного выключателя:

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_n=35$ кВ	$U_p=35$ кВ
$I_n=630$ А	$I_{AB}= 212,2$ А
$I_{отк}=10$ кА	$I_{кз}= 4,2$ кА
$S_{кз}= 640,9$ МВА	$S_{K-1}= 268$ МВА
Цена=12150 у. е	

4) Разъединитель

Принимаем разъединитель типа РНД3.1-35/1000 У1.

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_n=35$ кВ	$U_p= 35$ кВ
$I_n=1000$ А	$I_{AB}=212,2$ А
$I_{пред\ сквозн\ дин}=63$ кА	$I_y= 10,7$ кА
$I_{пред.\ терм.\ стойк.}=25$ кА	$I_{к.}= 4,2$ кА
Цена=3500 у. е	

5) Ограничители перенапряжения. Выбираем ОПНп-35/400/40,5-10 УХЛ1

Расчет затрат по второму варианту схемы электроснабжения. Суммарные



затраты на оборудование второго варианта:

$$K_{\Sigma 2} = \gamma K_{B1, B2} + \gamma K_{B3} + K_{B4, B5, B6, B7} + K_{ЛЭП} + K_{опн} + K_{раз} + \gamma K_{тр-ра} + K_{т. гпп}, \text{ тыс. у. е.}$$

Затраты на выключатели В1 и В2:

$$K_{B1, B2} = 2 \cdot \gamma \cdot K_{\text{в}} = 2 \cdot 0,33 \cdot 12,15 = 8,02 \text{ тыс у. е.}$$

Затраты на выключатель В3:

$$K_{B3} = \gamma \cdot K_{\text{в}} = 0,16 \cdot 12,15 = 1,94 \text{ тыс у. е.}$$

Затраты на выключатели В4, В5:

$$K_{B4, B5, B6, B7} = 4 \cdot K_{\text{в}} = 4 \cdot 12,15 = 48,6 \text{ тыс у. е.}$$

Затраты на ЛЭП:

$$K_{\text{лп}} = 27,3 \text{ тыс. у. е. /км, } K_{ЛЭП} = l \cdot K_{\text{лп}} = 5,5 \cdot 27,3 = 150,2 \text{ тыс у. е.}$$

Затраты на трансформаторы подстанции энергосистемы:

$$K_{ам} = 2 \cdot \gamma \cdot K_{тр} = 2 \cdot 0,16 \cdot 94,4 = 30,2 \text{ тыс у. е.}$$

Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{м. гпп} = 2 \cdot 43 = 86 \text{ тыс у. е.}$$

Затраты на ОПН:

$$K_{опн} = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ тыс у. е.}$$

Затраты на разъединители:

$$K_{раз1-4} = 4 \cdot \gamma \cdot K_{раз} = 4 \cdot 0,21 \cdot 3,5 = 2,94 \text{ тыс у. е.}$$

$$K_{раз5-6} = 2 \cdot \gamma \cdot K_{раз} = 2 \cdot 0,11 \cdot 3,5 = 0,77 \text{ тыс у. е.}$$

$$K_{раз} = 11 \cdot 3,5 = 38,5 \text{ тыс у. е.}$$

$$\Sigma K_{раз} = 2,94 + 0,77 + 38,5 = 42,2 \text{ тыс у. е.}$$

Суммарные затраты:

$$K_{\Sigma 2} = 8,02 + 1,94 + 48,6 + 150,2 + 1 + 42,2 + 30,2 + 86 = 368,2 \text{ тыс. у. е.}$$

Суммарные издержки на оборудований второго варианта

$$\Sigma I_2 = I_a + I_{потери} + I_{\gamma}, \text{ тыс. у. е.}$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{\text{экс ЛЭП}} = 0,028 \cdot K_{\text{ЛЭП}} = 0,028 \cdot 150,2 = 4,2 \text{ тыс у. е.}$$

Амортизация ЛЭП:

$$I_{a \text{ ЛЭП}} = 0,028 \cdot K_{\text{ЛЭП}} = 0,028 \cdot 150,2 = 4,2 \text{ тыс у. е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:



Полная мощность, проходящая по ЛЭП:

$$S_{лэп} = \sqrt{P_p^2 + Q_э^2} = \sqrt{13066^2 + 3050^2} = 13413,3 \text{ кВА}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_p = \frac{S_{лэп}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{13413,26}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 369,2 \text{ А}$$

Ток аварийного режима:

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 369,2 = 738,4 \text{ А}$$

Выбор сечения ЛЭП:

1) по экономической плотности тока

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{369,2}{1,1} = 335 \text{ мм}^2,$$

где  $I_p = 369,2 \text{ А}$  расчетный ток линии

$j$  - экономическая плотность тока;

$$j = 1,1 \text{ А/мм}^2.$$

Для ЛЭП 6-10 кВ максимальное сечение воздушных линий по ПУЭ

$F = 120 \text{ мм}^2$ . Примем два провода АС-120 с  $I_{дон} = 380 \text{ А}$  в каждой.

2) проверим выбранные провода по допустимому нагреву:

при расчетном токе

$$I_{дон} = N \cdot I_{дон} = 2 \cdot 380 = 760 \text{ А};$$

$$I_{дон} I_p 760 \text{ А} 335 \text{ А}.$$

3) проверим выбранные провода по аварийному режиму:

коэффициент перегрузки  $K_n=1,3$ , следовательно допустимый аварийный ток равен:

$$I_{доп ав}=1,3 \cdot I_{доп}=1,3 \cdot 760=988 \text{ А}, I_{доп ав} I_{ав} 988 \text{ А} 738,4 \text{ А}.$$

Определим потери электроэнергии в ЛЭП:

$$W_{ЛЭП}=2 \cdot 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot \tau = 2 \cdot 3 \cdot 369,2^2 \cdot 0,74 \cdot 10^{-3} \cdot 2405 = 1455531 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$\text{где } R = \frac{r_0}{2} \cdot l,$$

где  $r_0=0,27 \text{ Ом/км}$  удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением  $120 \text{ мм}^2$ ;

$l=5,5 \text{ - км}$  длина линии.

Трансформатор энергосистемы.

На подстанции энергосистемы расположены два трехобмоточных трансформатора ТДТН - 40000/110/37/10,5, со следующими паспортными данными: номинальная мощность  $S_n=40000 \text{ кВА}$ ,  $U_{вн}=115 \text{ кВ}$ ,  $U_{сн}=38,5 \text{ кВ}$ ,  $U_{нн}=11 \text{ кВ}$ ,  $\Delta P_{xx}=39 \text{ кВт}$ ,  $\Delta P_{кз}=200 \text{ кВт}$ ,  $\mu_{кз}=10,5\%$ ,  $I_{xx}=0,6\%$

Коэффициент долевого участия завода мощности трансформатора системы:

$$\gamma = \frac{S_p}{2 \cdot S_{ном.тр.}} = \frac{13413,1}{2 \cdot 40000} = 0,17$$

Потери энергии в трансформаторах:

$$\Delta W = 2 \cdot (\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \tau \cdot \Delta P_{кз} \cdot (\gamma)^2) = 2 \cdot (39 \cdot 4000 + 200 \cdot 2405 \cdot 0,17^2) = 339802 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость потерь:

$$I_{ном} = Co \cdot (W_{тр} + W_{лэн}) = 0,05 \cdot (1455531 + 339802) = 897667 \text{ тыс. у.е.}$$

Так как стоимость потерь электроэнергии сопоставима с суммарными затратами, то дальнейший расчет не целесообразен.

Составим сводную таблицу по всем вариантам.

Таблица 1.10 - Результаты ТЭР по трем вариантам электроснабжения

Вариант	$U_n$ кВ	$\sum K$ тыс. у. е.	$\sum I$ тыс. у. е.	$3$ тыс. у. е.
I	110	402,2	46,2	94,5
II	35	368,2	79,1	123,3
III	10	-	89,8	-

Вывод: для дальнейшего расчета принимаем первый вариант схемы внешнего электроснабжения.

## 1.10 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ $U > 1$ кВ

### 1.10.1 РАСЧЕТ СУММАРНОГО ТОКА КЗ

Для выбора оборудования произведем расчет токов КЗ на шинах ГПП завода и составим схему замещения (рисунок 1.9).

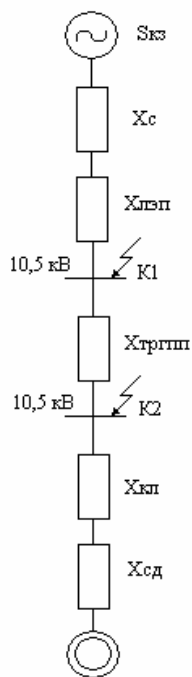


Рисунок 1.9

Расчет токов КЗ проведем в относительных единицах. В качестве базисных величин принимаем мощность  $S_{\phi} = 1000 \text{ МВА}$ ;  $S_{KЗ} = 880 \text{ МВА}$  и напряжение  $U_{\phi} = 10,5 \text{ кВ}$ , тогда базисный ток будет:

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 55 \text{ кА.}$$

$$X_C = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{K3}} = \frac{1000}{880} = 1,14 \text{ о.е.}$$

$$X_{ЛЭП115} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{CP}^2} = 0,34 \cdot 5,5 \cdot \frac{1000 \cdot 10^6}{(115 \cdot 10^3)^2} = 0,14 \text{ о.е.}$$

$$X_{ТРГПП} = \frac{U_R}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_H} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{10} = 10,5 \text{ о.е.}$$

$$I_{K-2} = \frac{I_B}{X_C + X_{ЛЭП} + X_{ТРГПП}} = \frac{55}{1,14 + 0,14 + 10,5} = 4,67 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial K-2} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{K-2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,67 = 11,89 \text{ кА}$$

$$S_{K3} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{K-2} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4,67 = 84,9 \text{ МВА}$$

В компрессорной установлено десять синхронных двигателя со следующими характеристиками:

$$P_H = 630 \text{ кВт}; U_H = 10 \text{ кВ}; \eta = 94\%; X''_d = 0,2 \quad (1.65)$$

$$S_{нсд} = \frac{P_{нсд}}{\cos \varphi} = \frac{630}{0,9} = 700 \text{ кВА} \quad (1.66)$$

$$X_{сд} = X''_d \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sum S_{нсд}} = 0,2 \cdot \frac{1000}{1,4} = 142,8 \text{ о.е.}$$

Выберем кабель к СД: Расчетный ток СД

$$I_{НСД} = \frac{S_{НСД} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{700 \cdot 0,85}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 33 \text{ А} \quad (1.67)$$

1) по экономической плотности тока:

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{33}{1,2} = 27,5 \text{ мм}^2$$

где  $I_p=33$  А расчетный ток СД;

$j=1,2$  А/мм<sup>2</sup> экономическая плотность тока.

Выбираем кабель марки ААШв-10- (3х70) с  $I_{\text{доп}}=165$  А.

2) Проверяем выбранное сечение по термическому действию тока КЗ

$$F_{\text{min}} = \alpha \cdot I_k \cdot \sqrt{tn} = 12 \cdot 4,67 \cdot \sqrt{0,8} = 50,1 \text{ мм}^2 \quad (1.68)$$

Окончательно выбираем кабель ААШв-10- (3х70) с  $I_{\text{доп}}=165$  А

Для выбранного кабеля  $X_{\text{уд}}=0,086$  Ом/км,  $r_0=0,443$  Ом/км;

$$X_k = L \cdot X_{\text{уд}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{N \cdot U_{\text{ср}}^2} = 0,405 \cdot 0,086 \cdot \frac{1000}{5 \cdot 10,5^2} = 0,060 \text{ о.е.}$$

Ток КЗ от СД:

$$E_{\text{сд}} = E'' \cdot \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{б}}} = 1,1 \cdot \frac{10}{10,5} = 1,048 \quad (1.69)$$

$$I_{\text{КСД}} = \frac{E_{\text{СД}} \cdot I_{\text{Б}}}{X_{\text{КЛ}} + X_{\text{СД1,2}}} = \frac{1,048 \cdot 55}{0,06 + 142,8} = 0,4 \text{ кА}, \quad (1.70)$$

Суммарный ток КЗ в точке К-2:

$$I_{\text{К-2}\Sigma} = I_{\text{К-2}} + I_{\text{НСД}} = 4,67 + 0,4 = 5,07 \text{ кА} \quad (1.71)$$

Суммарный ударный ток в точке К-2:

$$i_{\text{удК}\Sigma} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{К-2}\Sigma} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,07 = 12,9 \text{ кА} \quad (1.72)$$

Мощность КЗ в точке К-2:



$$S_{K3\Sigma} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{K-2\Sigma} = 1,73 \cdot 10,5 \cdot 5,07 = 92,1 \text{ МВА}$$

### 1.10.2 ВЫБОР ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Выбираем вводные выключатели:

Полная мощность:

$$S_p = \sqrt{(P_P + P_{CD})^2 + (Q_P + Q_{CD})^2} = 13413 \text{ кВА};$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{1,4 S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 770 \text{ А}$$

Принимаем выключатель ВМПЭ-10-1000-20УЗ.

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные данные	Расчётные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 1000 \text{ А}$	$I_P = 770 \text{ А}$
$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$I_{K3} = 5,07 \text{ кА}$
$I_{пред\ скв} = 52 \text{ кА}$	$I_y = 12,9 \text{ кА}$
$I_t^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = (5,07)^2 \cdot 0,12 = 3,08 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Привод встроенный электромагнитный	

Выбор секционного выключателя. Через секционный выключатель проходит половина мощности, проходящей через вводные выключатели. Следовательно, расчетный ток, проходящий через выключатель:

$$I_p = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 549,5 \text{ А}$$

Принимаем выключатель ВМПЭ-10-630-20УЗ.

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 630 \text{ А}$ $I_{откл} = 20 \text{ кА}$ $I_{пред\ скв} = 52 \text{ кА}$ $I_t^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_p = 549,5 \text{ А}$ $I_{кз} = 5,07 \text{ кА}$ $I_y = 12,4 \text{ кА}$ $B_K = (5,07)^2 \cdot 0,12 = 3,08 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Привод встроенный электромагнитный	

Выбор выключателей отходящих линий:

Магистраль ГПП-ТП1-ТП2:

Расчетная мощность ТП1, ТП2

$$S_P = \sqrt{(P_{РТП,2} + \Delta P_{ТР})^2 + (Q_{РТП,2} + \Delta Q_{ТР})^2};$$

$$S_P = \sqrt{(2666,9 + 35,9)^2 + (1627,8 + 186,4)^2} = 3255,2 \text{ кВА}$$

Расчетный ток ТП1, ТП2:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3255,2}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 179,2 \text{ А}$$

Принимаем выключатель ВММ-10-400-10У2

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные данные	Расчётные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 400 \text{ А}$ $I_{ОТК} = 10 \text{ кА}$ $I_{СКВ} = 25,5 \text{ кА}$ $I_t^2 \cdot t_T = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$ $I_P = 179,2 \text{ А}$ $I_{кз} = 5,07 \text{ кА}$ $I_y = 12,9 \text{ кА}$ $B_K = (5,07)^2 \cdot 0,12 = 3,08 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Магистраль ГПП-ТПЗ-ТП4:

Расчетная мощность ТПЗ, ТП4:

$$S_P = \sqrt{(P_{ТПЗ,4} + \Delta P_{ТП})^2 + (Q_{ТПЗ,4} + \Delta Q_{ТП})^2}$$
$$S_P = \sqrt{(2699,2 + 36,6)^2 + (1562,9 + 189,8)^2} = 3249 \text{ кВА}$$

Расчетный ток ТПЗ, ТП4:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3249}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 178,9 \text{ А}$$

Принимаем выключатель ВММ-10А-400-10У2

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные данные	Расчётные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 400 \text{ А}$	$I_P = 178,9 \text{ А}$
$I_{отк} = 10 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,07 \text{ кА}$
$I_{СКВ} = 25,5 \text{ кА}$	$I_V = 12,9 \text{ кА}$
$I_t^2 \cdot t_T = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = (5,07)^2 \cdot 0,12 = 3,08 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Магистраль ГПП-ТП5-ТП6: расчетная мощность ТП5, ТП6:

$$S_P = \sqrt{(P_{ТП5,6} + \Delta P_{ТП})^2 + (Q_{ТП5,6} + \Delta Q_{ТП})^2} = \sqrt{(2244 + 28,6)^2 + (919,1 + 145)^2} = 2509 \text{ кВА}$$

Расчетный ток ТП5, ТП6:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2509}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 138 \text{ А}$$

Принимаем выключатель ВММ-10А-400-10У2

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные данные	Расчётные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 400 \text{ А}$ $I_{OTK} = 10 \text{ кА}$ $I_{СКВ} = 25,5 \text{ кА}$ $I_t^2 \cdot t_T = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$ $I_P = 138 \text{ А}$ $I_{K3} = 5,07 \text{ кА}$ $I_Y = 12,9 \text{ кА}$ $B_K = (5,08)^2 \cdot 0,12 = 3,08 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Магистраль ГПП-СД:

Расчетный ток СД:

$$I_{НСД} = \frac{S_{НСД} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 33 \text{ А.}$$

Принимаем выключатель ВММ-10А-400-10У2

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные данные	Расчётные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 400 \text{ А}$ $I_{OTK} = 10 \text{ кА}$ $I_{СКВ} = 25,5 \text{ кА}$ $I_t^2 \cdot t_T = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$ $I_P = 33 \text{ А}$ $I_{K3} = 5,07 \text{ кА}$ $I_Y = 12,9 \text{ кА}$ $B_K = (5,08)^2 \cdot 0,12 = 3,08 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

### 1.10.3 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Трансформаторы тока выбирают по номинальному току  $I_{\text{ном. тт}}$ , номинальному напряжению  $U_{\text{ном. тт}}$ , нагрузке вторичной цепи  $S_{2\text{ном}}$ , обеспечивающей погрешность в пределах паспортного класса точности.

Трансформаторы тока проверяют на внутреннюю и внешнюю электродинамическую  $K_{\text{дин}}$  и термическую стойкость  $K_{\text{тс}}$  к токам КЗ.

Выбор и проверка трансформаторов показаны в таблице 1.11.

Таблица 1.11

Параметр	Формула
$I_{ном. т. т.}, \text{кВ};$	$I_{ном. т. т.} I_{ном. у.}$
$U_{ном. т. т.}, \text{А};$	$U_{ном. т. т.} U_{ном. у.}$
$S_{2ном}, \text{кВА};$	$S_{2ном} S_{2р}$
$K_{дин}, \text{кА}^2 \cdot \text{с};$	$K_{дин} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном. т. т.} i_{уд}$
$K_{т. с.}, \text{кА}^2 \cdot \text{с};$	$(K_{т. с.} I_{ном. т. т.})^2 \cdot t_{ном. т. с.} I_{кз}^2 \cdot t_n$

### Трансформаторы тока ввода

На вводах к шинам первой и второй секции и на секционном выключателе примем трансформатор тока ТШЛП-10-У3:  $I_{ном. тт} = 600 \text{ А}; S_{ном. тт} = 20 \text{ ВА}$ .

Таблица 1.12 - Нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Фаза А, ВА	Фаза В, ВА	Фаза С, ВА
A	Э-350	0,5	0,5	0,5
W	Д-365	0,5	-	0,5
Var	И-395	0,5	-	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Varh	СРУ-И689	2,5	2,5	2,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

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

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} \quad (1.73)$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad (1.74)$$

$$r_{2н} = \frac{S_{2нтт}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}.$$

где  $S_{приб}$  - мощность, потребляемая приборами;

$I_2$  - вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{доппр} = r_{2н} - r_{приб} - r_{кон} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,414 \text{ Ом.} \quad (1.75)$$

$$F_{пров} = \frac{\rho \cdot L}{r_{доп}} = \frac{0,028 \cdot 5}{0,414} = 0,32 \text{ мм}^2; \quad (1.76)$$

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

$$R_{пров} = \frac{\rho \cdot L}{F} = \frac{0,028 \cdot 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом;} \quad (1.77)$$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пров} + R_{к-тов} = 0,26 + 0,056 + 0,1 = 0,416 \text{ Ом} \quad (1.78)$$

$$S_2 = R_2 \cdot I^2 = 0,416 \cdot 5^2 = 10,4 \text{ ВА;} \quad (1.79)$$

$$B_k = I_k z^2 \cdot (t_{отк} + T_a) = 4,87^2 \cdot (0,095 + 0,04) = 3,2 \text{ кА}^2 \text{с} \quad (1.80)$$

Условия проверки ТТ ТШЛП-10У3	
Расчетные величины	По каталогу
$U_n=10 \text{ кВ}$	$U_n=10 \text{ кВ}$
$I_p=369,2 \text{ А}$	$I_n=600 \text{ А}$
$B_k=3,2 \text{ кА}^2 \text{с}$	$I_m^2 t_m=33075 \text{ кА}^2 \text{с}$
$i_{y0}=12,4 \text{ кА}$	$I_{дин}=81 \text{ кА}$
$S_{2p}=10,4 \text{ ВА}$	$S_{2н}=20 \text{ ВА}$
$Z_{2p}=0,416 \text{ Ом}$	$Z_{2н}=0,8 \text{ Ом}$

Трансформатор тока на линии ГПП -ТП1-ТП2

Примем трансформатор тока ТПЛК-10-У3:  $I_{ном. тт} = 400 \text{ А}$ ;  $S_{ном. тт} = 12 \text{ ВА}$ .

Таблица 1.13 - Нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	A, ВА	B, ВА	C, ВА
A	Э-350	0,5	0,5	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Varh	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
Var	Д-345	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Сопротивление приборов:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2н} = \frac{S_{2н тт}}{I_2^2} = \frac{12}{5^2} = 0,48 \text{ Ом};$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{доппр} = r_{2н} - r_{приб} - r_{кон} = 0,48 - 0,26 - 0,1 = 0,12 \text{ Ом}.$$

$$F_{пров} = \frac{\rho \cdot L}{r_{доп}} = \frac{0,028 \cdot 5}{0,12} = 1,17 \text{ мм}^2;$$

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

$$R_{пров} = \frac{\rho \cdot L}{F} = \frac{0,028 \cdot 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пров} + R_{к-тов} = 0,26 + 0,056 + 0,1 = 0,416 \text{ Ом}$$

$$S_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 0,416 \cdot 5^2 = 10,4 \text{ ВА};$$

$$Bк = I_{кз}^2 \cdot (tomк + Ta) = 4,87^2 \cdot (0,095 + 0,04) = 3,2 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Условия проверки ТТ ТПЛК-10У3
-------------------------------

Расчетные величины	По каталогу
$U_H=10$ кВ	$U_H=10$ кВ
$I_p=179,2$ А	$I_H=400$ А
$B_K=3,2$ кА <sup>2</sup> с	$I_m^2 t_m=33075$ кА <sup>2</sup> с
$i_{y0}=12,4$ кА	$I_{оин}=74,5$ кА
$S_{2p}=10,4$ ВА	$S_{2H}=12$ ВА
$Z_{2P}=0.416$ Ом	$Z_{2H}=0,8$ Ом

Выбираем трансформатор тока на линии ГПП -СД1-2

Примем трансформатор тока ТПЛК-10-У3:  $I_{ном. mm} = 50$  А;  $S_{ном. mm} = 12$  ВА

Таблица 1.14 - Нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Varh	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
Var	Д-345	0,5	-	0,5
Итого		7,5	6,5	7,5

Сопротивление приборов:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{7,5}{5^2} = 0,3 \text{ Ом}; \quad r_{2н-ка} = \frac{S_{2н mm}}{I_2^2} = \frac{12}{5^2} = 0,48 \text{ Ом};$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{доппр} = r_{2н} - r_{приб} - r_{кон} = 0,48 - 0,3 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом};$$

$$F_{пров} = \frac{\rho \cdot L}{r_{дон}} = \frac{0,028 \cdot 5}{0,08} = 1,75 \text{ мм}^2;$$

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



$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{F} = \frac{0,028 \cdot 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 0,456 \cdot 5^2 = 11,4 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,3 + 0,056 + 0,1 = 0,456 \text{ Ом}.$$

Условия проверки ТТ ТПЛК-10У3:	
Расчетные величины	По каталогу
$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 33 \text{ А}$	$I_n = 100 \text{ А}$
$i_{yo} = 12,4 \text{ кА}$	$I_{din} = 51 \text{ кА}$
$S_{2p} = 11,4 \text{ ВА}$	$S_{2n} = 12 \text{ ВА}$

Трансформаторы на остальные элементы СЭС.

Ввод к ГПП: ТШЛ-10-У3

На линии к ТП1-2: ТПЛК-10-У3

На линии к ТП3-4: ТПЛК-10-У3

На линии к ТП5-6: ТПЛК-10-У3

#### 1.10.4 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Трансформаторы напряжения выбираются по номинальному напряжению первичной цепи, классу точности и схеме соединения обмоток.

Соответствие классу точности следует проверить сопоставлением номинальной нагрузки вторичной цепи с фактической нагрузкой от подключенных приборов.

Нагрузка на каждую фазу определяется суммированием нагрузки всех параллельных катушек приборов (реле).

$$S_{2p} = \sqrt{\sum P_{\text{приб}}^2 + \sum Q_{\text{приб}}^2}, \text{ ВА}$$

Расчет для выбора трансформатора напряжения приведен в таблице 1.15.

Таблица 1.15

Прибор	Тип	S <sub>об-ки</sub> , ВА	Число об-к	cosφ	sinφ	Число приборов	ΣP <sub>приб</sub> , Вт	ΣQ <sub>приб</sub> , вар
V	Э-335	2	2	1	0	2	4	-
W	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Var	И-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Wh	СА3-И681	3 Вт	2	0,38	0,925	9	36	87,63
Varh	СР4-И689	3 вар	2	0,38	0,925	9	36	87,63
Итого							82	175,26

Расчетная вторичная нагрузка:

$$S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{82^2 + 175,26^2} = 193,5 \text{ ВА.}$$

Принимаем трансформатор напряжения типа НТМИ-10-66У3 и занесем условия выбора в таблицу 1.16.

Таблица 1.16

Паспортные данные	Расчетные значения
$U_{н м}=10 \text{ кВ}$	$U_{н м}=10 \text{ кВ}$
$S_{н 2}=300 \text{ кВА}$	$S_{п 2}=193,5 \text{ ВА}$
Схема соединения обмоток Y-0/Y-0/Δ-0	

### 1.10.5 ВЫБОР ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НАГРУЗКИ

Расчёт токов, проходящих по кабелям, приведён ниже.

Токи, проходящие по линиям к цеховым подстанциям:

$$\text{ТП1: } I_p = 89,6 \text{ А}$$

$$\text{ТП2: } I_p = 44,8 \text{ А}$$

$$\text{ТП3: } I_p = 89,4 \text{ А}$$

$$\text{ТП4: } I_p = 44,7 \text{ А}$$

$$\text{ТП5: } I_p = 137,8 \text{ А}$$

$$\text{ТП6: } I_p = 34,5 \text{ А}$$

Для всех трансформаторов принимаем выключатель нагрузки типа ВНПу-10/40010У3

Паспортные данные	Расчётные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 400 \text{ А}$	$I_P = 27,8 \text{ А} - 109 \text{ А}$
$I_{скв} = 25 \text{ кА}$	$i_{y0} = 12,98 \text{ кА}$
$I_t^2 \cdot t_T = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = (4,87)^2 \cdot 0,12 = 3,11 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

На ТП1-ТП4, ТП6 устанавливаем предохранители типа ПКЗ-10-100/100-31,5У3

На ТП5 устанавливаем предохранители типа ПК4-10-200/160-31,5У3

### 1.10.6 ВЫБОР СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ ОТХОДЯЩИХ ЛИНИЙ

Выбор кабелей производится по следующим условиям:

по экономической плотности тока:  $F_{\text{э}} = I_p / j_{\text{э}}$ ;

по минимальному сечению  $F_{\text{min}} = \alpha \times I_{\text{кз}} \times \sqrt{t_n}$ ;

по условию нагрева рабочим током  $I_{\text{доп каб}} \geq I_p$ ;

по аварийному режиму  $I_{\text{доп ав}} \geq I_{\text{ав}}$ ;

по потере напряжения  $\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{рас}}$

Все расчетные данные выбора кабелей занесены в таблицу 1.17 "Кабельный журнал"

Таблица 1.17 - Кабельный журнал

Наименов. участка	S <sub>р</sub> , кВА	Кол-во каб. в траншее	Нагрузка		По экономич. плот. тока		По току короткого замыкания		По условию нагрева рабочим током		По аварийному режиму		По доп. нагр.	Выбранный кабель	I <sub>доп</sub> , А
			I <sub>р</sub> , А	I <sub>ав</sub> , А	j <sub>э</sub>	F <sub>э</sub> , мм <sup>2</sup>	I <sub>к</sub> , кА	S, мм <sup>2</sup>	I <sub>дл. доп</sub> , А	I <sub>р</sub> , А	1,3I <sub>доп</sub>	I <sub>ав</sub> , А	K <sub>п</sub>		
ГПП-ТП1	3255	6	89,6	179	1,4	64	4,67	39,23	234	89,6	312	179	0,75	ААШв-10- (3х120)	240
ТП1-ТП2	1627	4	44,8	89,6	1,4	32	4,67	39,23	145,6	44,8	182	89,6	0,8	ААШв-10- (3х50)	140
ГПП-ТП3	3249	6	89,4	178,8	1,4	63,8	4,67	39,23	234	89,4	312	178,8	0,75	ААШв-10- (3х120)	240
ТП3-ТП4	1624	2	44,7	89,4	1,4	31,9	4,67	39,23	163,8	44,7	182	89,4	0,9	ААШв-10- (3х50)	140
ГПП-ТП5	2509	6	69,1	138,2	1,4	49,4	4,67	39,23	199,9	69,1	266,5	138,2	0,75	ААШв-10- (3х95)	205
ТП5-ТП6	1254	5	34,5	69	1,4	24,6	4,67	39,23	141,9	34,5	182	69	0,78	ААШв-10- (3х50)	140
ГПП-СД	700	4	38,5	77	1,4	27,5	5,07	39,23	145,6	38,5	182	77	0,8	ААШв-10- (3х50)	140

## 1.11 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ЦЕХА

Составим однолинейную схему электроснабжения отдела механического цеха (рисунок 1.2), а технические данные электроприемников питающихся от ШРА1, ШРА2, ШР1 представлены в таблице 1.18

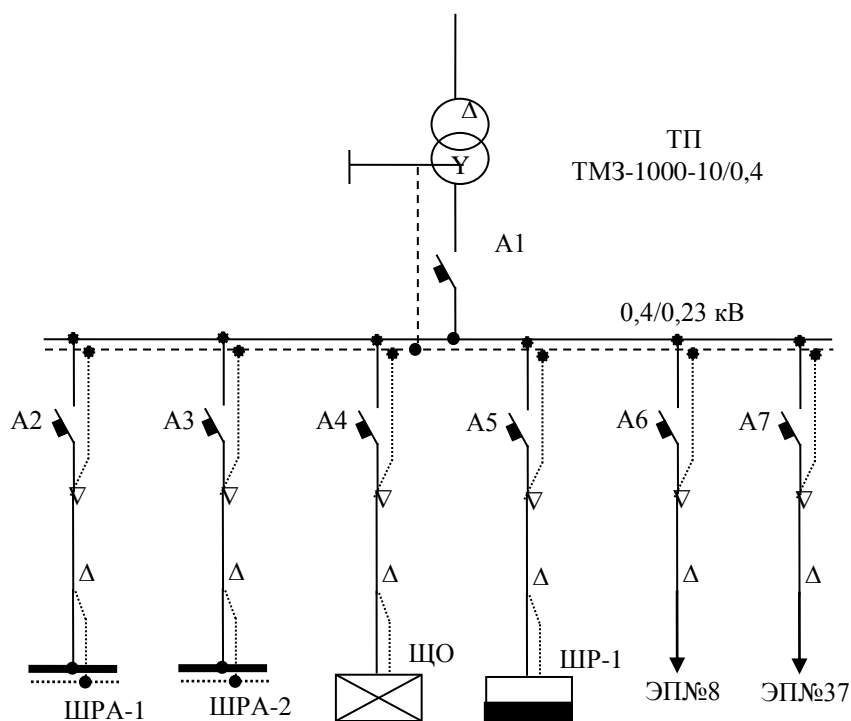


Рисунок 1.10 - Схема электроснабжения механического цеха

Таблица 1.18 - Технические данные ЭП ШРА1, ШРА2, ШР1

№№ п/п	Наименование узлов питания и ЭП	$P_n$ , кВт	$\cos \varphi$	$I_n$ , А	$K_{пуск}$	$I_{пуск}$ , А	Режим работы	$\alpha$	$In/\alpha$	Вид аппа- рата
ШРА-1										
1,2,4,6	Пресс	5,5	0,65	12,9	3,5	45,0	Тяжелый	1,6	28,2	предохр
5	Ковочный пресс	55	0,65	128,7	3,5	450,5	Тяжелый	1,6	281, 6	автомат
39	Плазматрон	28	0,7	60,8	2	121,7	Тяжелый	1,6	76,1	предохр
3	Кран	18,3	0,5	55,7	4,5	250,5	Тяжелый	1,6	156, 6	автомат
ШРА-2										
24,30	Камерная электропечь	50	0,9	84,5	1	84,5	Тяжелый	1,6	52,8	предохр

25,27, 28,31, 33,35	Пресс горячештампово чный	11	0,65	25,7	3,5	90,1	Тяжелый	1,6	56,3	предохр
29,32, 34,36	Гильотинные ножницы, пресс	22	0,65	51,5	3,5	180,2	Тяжелый	1,6	112, 6	автомат
40	Насос	11	0,65	25,7	5	128,7	Тяжелый	1,6	80,4	предохр
22,38	Вентилятор	37	0,8	70,4	4,5	316,6	Тяжелый	1,6	197, 9	автомат
26	Кран	18,5	0,5	56,3	4,5	253,3	Тяжелый	1,6	158, 3	автомат
ШР-1										
7,16,1 7	Камерная электропечь	50	0,9	84,5	1	84,5	Тяжелый	1,6	52,8	предохр
9	Пресс	15	0,8	28,5	3,5	99,8	Тяжелый	1,6	62,4	предохр
10,11, 19, 20	Электродная соляная ванна	22	0,8	41,8	1	41,8	Средний	2	20,9	предохр
12,13, 14	Электродная селитровая ванна	12	0,8	22,8	1	22,8	Средний	2	11,4	предохр
15	Вентилятор	37	0,8	70,4	4,5	316,6	Тяжелый	1,6	197, 9	автомат
18,21	Колпаковая электропечь	45	0,9	76,1	1	76,1	Тяжелый	1,6	47,5	предохр

Выбор защитной и коммутационной аппаратуры, марки и сечения проводов и кабелей, тип ШРА.

Выбор вводного автомата

Всего по цеху  $I_p = 1157,5$  А

Найдём кратковременный ток

$$I_{кр} = 1,3 \cdot I_p = 1,3 \cdot 1157,5 = 1504,8 \text{ А (1.81)}$$

Выбираем автомат марки АВМ-15Н:

$$1) I_{ном ав} = 1500 \text{ А } (> 1157,5 \text{ А});$$

$$2) I_{ном расц} = 1200 \text{ А } (> 1157,5 \text{ А});$$

$$I_{отс} = 2000 \text{ А};$$

$$I_{пред\ ком} = 150 \text{ кА};$$

$$3) I_{сраб\ эл\ расц} > 1,25 \cdot I_{крат} = 1,25 \cdot 1504,8 = 1528,5 \text{ А}; 2000 \text{ А} > 1881,1 \text{ А}$$

условия выполняются.

Выбор автомата А<sub>2</sub>, кабельной линии и типа шинпровода ШРА-1

$$S_{р\ ШРА-1} = 81 \text{ кВА}; I_{р\ ШРА-1} = 123,2 \text{ А}; (1.82)$$

$$I_{крат} = I_{пуск} = I_{пуск\ на\ иб} + \Sigma I_{ном} = 450,5 + (123,2 - 128,7) = 445 \text{ А}$$

Выбираем шинпровод распределительный типа ШРА □ 4  $I_n = 250 \text{ А} > 123,2 \text{ А};$

$$I_{эл\ дин\ ст}^{\square} = 15 \text{ кА} \square$$

Выбираем автомат марки А3710Б

$$1) I_{ном\ ав} = 160 \text{ А} (> 123,2 \text{ А});$$

$$2) I_{ном\ расц} = 125 \text{ А} (> 123,2 \text{ А});$$

$$I_{отс} = 630 \text{ А};$$

$$I_{пред\ ком} = 75 \text{ кА};$$

$$3) I_{сраб\ эл\ расц} > 1,25 \cdot I_{крат} = 1,25 \cdot 445 = 556,3 \text{ А}; 630 \text{ А} > 556,3 \text{ А}$$

условия выполняются.

Выбираем кабель к ШРА-1:

$$\text{ААШв-1- } (3 \times 95 \square + (1 \times 70)); I_{дон} = 205 \text{ А} (> 123,2 \text{ А}). (1.83)$$

Проверим выбранное сечение по коэффициенту защиты ( $K_3$ ) автомата, в одной траншее от ТП до цеха уложены 6 кабеля, поэтому поправочный коэффициент  $K_n = 0,75$ ,  $\kappa_3 = 1$  - коэффициент защиты для автомата с нерегулируемой характеристикой. □

$$1) I_{доп} = \frac{\kappa_3 \cdot I_3}{\kappa_n} = \frac{1 \cdot 125}{0,75} = 166,6 \text{ А} < 205 \text{ А},$$

условие выполняется.

Выбор автомата А<sub>3</sub>, кабельной линии и типа шинпровода ШРА-2

$$S_{р \text{ ШРА-2}} = 233,5 \text{ кВА}; I_{р \text{ ШРА-2}} = 355,3 \text{ А};$$

$$I_{крат} = I_{пуск} = I_{пускнаиб} + \Sigma I_{ном} = 316,6 + (355,2 - 70,4) = 601,4 \text{ А}$$

Выбираем шинпровод распределительный типа ШРА □ 4 с □  $I_n = 400 \text{ А} > 355,3 \text{ А}$ ;  $I_{эл \text{ дин ст}} = 25 \text{ кА}$  □

Выбираем автомат марки А3730Б

$$1) I_{ном ав} = 400 \text{ А} (> 355,3 \text{ А});$$

$$2) I_{ном расц} = 400 \text{ А} (> 355,3 \text{ А});$$

$$I_{отс} = 2500 \text{ А};$$

$$I_{пред ком} = 100 \text{ кА};$$

$$3) I_{сраб эл расц} > 1,25 \cdot I_{крат} = 1,25 \cdot 601,4 = 751,7 \text{ А}; 2500 \text{ А} > 751,7 \text{ А}$$

УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЯЮТСЯ.

Выбираем кабель к ШРА-2: 2ААШВ-1- (3×150 □ + (1×95));  $I_{доп} = 600 \text{ А}$  (> 355,3 А);

проверим выбранное сечение:

$$I_{доп} = \frac{\kappa_3 \cdot I_3}{\kappa_n} = \frac{1 \cdot 400}{0,75} = 533 \text{ А} < 600 \text{ А},$$

условие выполняется.

Выбор автомата А<sub>5</sub>, кабельной линии и типа шинпровода ШР-1.

$$S_{р \text{ ШР-1}} = 354,3 \text{ кВА}; I_{р \text{ ШР-1}} = 538,9 \text{ А};$$



$$I_{\text{крат}} = I_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск на иб}} + \Sigma I_{\text{ном}} = 316,6 + (538,9 - 70,4) = 785,1 \text{ А}$$

Выбираем автомат марки АЗ740Б

$$1) I_{\text{ном ав}} = 630 \text{ А} (> 538,9 \text{ А});$$

$$2) I_{\text{ном расц}} = 630 \text{ А} (> 538,9 \text{ А});$$

$$I_{\text{отс}} = 4000 \text{ А};$$

$$I_{\text{пред ком}} = 150 \text{ кА};$$

$$3) I_{\text{сраб эл расц}} > 1,25 \cdot I_{\text{крат}} = 1,25 \cdot 785,1 = 981,3 \text{ А}; 4000 \text{ А} > 981,3 \text{ А}$$

УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЯЮТСЯ.

Выбираем кабель к ШРА-3: 3ААШВ-1- (3×150 + (1×95);  $I_{\text{дон}} = 900 \text{ А} (> 538,9 \text{ А});$

проверим выбранное сечение:

$$I_{\text{дон}} = \frac{\kappa_3 \cdot I_3}{\kappa_n} = \frac{1 \cdot 630}{0,75} = 840 \text{ А} < 900 \text{ А},$$

условие выполняется.

Выбор автомата А<sub>4</sub>., кабельной линии и тип ЩО

Выбор А<sub>4</sub> к ЩО:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_n} = \frac{22,94}{\sqrt{3} \times 0,38} = 34,85 \text{ А};$$

(1.84)

$$\text{АЗ710Б: } I_{\text{н А}} = 40 \text{ А} > 34,85 \text{ А}; I_{\text{у расц}} = 40 \text{ А} > 34,85 \text{ А};$$

Примем ОП6УХЛ4 - на шесть отходящих линий,  $I_{\text{н. расц.}} = 40 \text{ А}.$

Выбираем кабель к ЩО: ААШВ-1- (3×10) + (1×6);  $I_{\text{дон}} = 65 \text{ А} (> 34,85 \text{ А}),$

$$I_{\text{дон}} = \frac{\kappa_3 \cdot I_3}{\kappa_n} = \frac{1 \cdot 40}{0,78} = 51,2 \text{ А} < 65 \text{ А},$$

проверим выбранное сечение: условие

выполняется.

Выбираем автомат А<sub>6</sub>, кабельную линию к ЭП №8

$$P_H = 90 \text{ кВт}; \quad I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{90}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 152,1 \text{ А}; \quad (1.85)$$

$$I_{пуск} = K_{пус} \cdot I_{ном} = 1 \cdot 152,1 = 152,1 \text{ А}.$$

Выбираем автомат марки А3710Б:

$$1) I_{ном ав} = 160 \text{ А} (> 152,1 \text{ А});$$

$$2) I_{ном расц} = 160 \text{ А} (> 152,1 \text{ А});$$

$$I_{отс} = 400 \text{ А};$$

$$I_{пред ком} = 75 \text{ кА};$$

$$3) I_{сраб эл расц} > 1,25 \cdot I_{крат} = 1,25 \cdot 152,1 = 190,1 \text{ А}; \quad 400 \text{ А} > 190,1 \text{ А}$$

условия выполняются.

Выбираем кабель к ЭП № 29: ААШВ-1- (3×120) + (1×70);  $I_{дон} = 265 \text{ А}$  ( $> 152,1 \text{ А}$ ), проверим выбранное сечение:

$$I_{дон} = \frac{K_3 \cdot I_3}{K_n} = \frac{1 \cdot 160}{0,75} = 213,3 \text{ А} < 265 \text{ А},$$

условия выполняются.

Выбираем автомат А<sub>7</sub>, кабельную линию к ЭП №37

$$P_H = 100 \text{ кВт}; \quad I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7} = 217,3 \text{ А}; \quad (1.86)$$

$$I_{пуск} = K_{пус} \cdot I_{ном} = 4,5 \cdot 217,3 = 977,3 \text{ А}.$$

Выбираем автомат марки А3720Б:

$$1) I_{ном ав} = 250 \text{ А} (> 217,3 \text{ А});$$

$$2) I_{ном расц} = 250 \text{ А} (> 217,3 \text{ А});$$

$$I_{отс} = 1600 \text{ А};$$

$$I_{пред ком} = 100 \text{ кА};$$

$$3) I_{сраб эл расц} > 1,25 \cdot I_{крат} = 1,25 \cdot 977,3 = 1222,3 \text{ А}; 1600 \text{ А} > 1222,3 \text{ А}$$

условия выполняются.

Выбираем кабель к ЭП № 29: ААШв-1- (3×185) + (1×70);  $I_{дон} = 345 \text{ А}$  ( $> 217,3 \text{ А}$ ), проверим выбранное сечение:

$$I_{дон} = \frac{\kappa_3 \cdot I_3}{\kappa_n} = \frac{1 \cdot 250}{0,75} = 333,3 \text{ А} < 345 \text{ А},$$

условия выполняются.

Выбор автомата к ЭП

Условия выбора автоматов к ЭП:

$$1) I_{н.ав} \geq I_P;$$

$$2) I_{н.расц} \geq I_P;$$

$$3) I_{ср.расц} \geq I_{кр}$$

Выбор предохранителей к ЭП

Условия выбора предохранителей к ЭП:

$$1) I_{н.пр} \geq I_P; 2) I_{н.пл.вс} \geq I_P$$

Расчеты сводим в таблицу 1.19.

Таблица 1.19 - Расчет защитных аппаратов и проводов к ЭП

№№ ЭП	Расчетный ток		Автоматический выключатель					Предохранитель			Тип аппарата защиты	Кз	Токовая нагрузка провода		Марка и сечение провода
	$I_{\text{длит}}$ $(I_{\text{ном}})$	$I_{\text{кр}}$ $(I_{\text{пуск}})$	$I_{\text{ном. ав.}}$	Ток рас- цепителя, А		Уставка мгновенного срабатывания		Ток плавкой вставки, А		$I_{\text{ном. пред.}}$			$K_z * I_z$	$I_{\text{доп. пров}}$	
				$I_{\text{расч}}$ $\text{расч}$	$I_{\text{расч}}$ $\text{ном}$	$I_{\text{ср расч}}$	$I_{\text{ном ср}}$	$I_{\text{расч пл}}$ $\text{вст}$	$I_{\text{ном пл}}$ $\text{вст}$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ШРА-1															
1,2,4,6	12,9	45,0	-	-	-	-	-	28,2	30	100	ПН2 100/30	0,33	9,9	19	АПВ-4 (1×4)
5	128,7	450,5	160	128,7	160	563,1	630	-	-	-	А3710Б	1	160	200	АПВ-3 (1×95) + (1×70)
39	60,8	121,7	-	-	-	-	-	76,1	80	100	ПН2 100/80	0,33	26,4	80	АПВ-3 (1×25) + (1×16)
3	55,7	250,5	80	55,7	63	313,1	400	-	-	-	А3710Б	1	63	80	АПВ-3 (1×25) + (1×16)
ШРА-2															
24,30	84,5	84,5	-	-	-	-	-	52,8	60	100	ПН2 100/60	0,33	19,8	110	АПВ-3 (1×35) + (1×25)
25,27,28,31, 33,35	25,7	90,1	-	-	-	-	-	56,3	60	100	ПН2 100/60	0,33	19,8	39	АПВ-4 (1×10)
29,32,34,36	51,5	180,2	80	51,5	63	225,2	400	-	-	-	А3710Б	1	63	80	АПВ-3 (1×25) + (1×16)
40	25,7	128,7	-	-	-	-	-	80,4	100	100	ПН2 100/100	0,33	33	39	АПВ-4 (1×10)

22,38	70,4	316,6	80	41,8	50	235,2	400	-	-	-	A3710Б	1	50	60	АПВ-3 (1×16) + (1×10)
26	56,3	253,3	80	56,3	63	316,6	400	-	-	-	A3710Б	1	63	80	АПВ-3 (1×25) + (1×16)
III P-1															
7,8,16,17	84,5	84,5	-	-	-	-	-	52,8	60	100	ПН2 100/60	0,33	19,8	110	АПВ-3 (1×35) + (1×25)
9	28,5	99,8	-	-	-	-	-	62,4	80	100	ПН2 100/80	0,33	26,4	39	АПВ-4 (1×10)
10,11, 19, 20	41,8	41,8	-	-	-	-	-	20,9	30	100	ПН2 100/30	0,33	9,9	60	АПВ-3 (1×16) + (1×10)
12,13,14	22,8	22,8	-	-	-	-	-	11,4	20	100	ПН2 100/20	0,33	6,6	39	АПВ-4 (1×10)
15	70,4	316,6	80	70,4	80	395,7	400	-	-	-	A3710Б	1	50	80	АПВ-3 (1×25) + (1×16)
18,21	76,1	76,1	-	-	-	-	-	47,5	50	100	ПН2 100/50	0,33	16,5	80	АПВ-3 (1×25) + (1×16)

### 1.11.1 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА $U < 1$ кВ

Для расчета токов короткого замыкания составим схему питания наиболее удаленного электроприемника механического цеха (рисунок 1.11, а) для проверки его аппарата защиты на отключающую способность и схему замещения (рисунок 1.11, б)

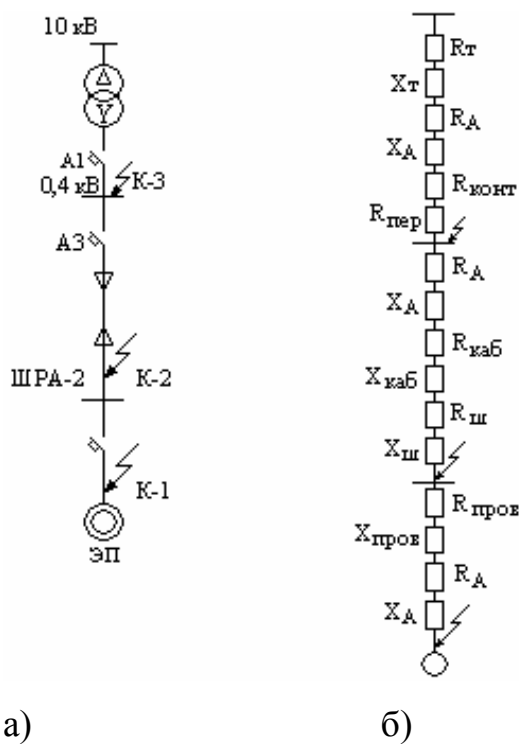


Рисунок 1.11

Определим сопротивления:

$$R_m = 2 \text{ мОм}; X_m = 8,5 \text{ мОм}; R_{A1} + R_{\text{конт}1} + R_{\text{пер}1} = 0,25 \text{ мОм}; X_{A1} = 0,08 \text{ мОм};$$

$$R_{A3} + R_{\text{конт}3} + R_{\text{пер}2} = 0,43 \text{ мОм}; X_{A3} = 0,13 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{каб}} = \rho_0 \cdot l = 0,28 \cdot 30 = 8,4 \text{ мОм}; X_{\text{каб}} = \rho_0 \cdot l = 0,06 \cdot 30 = 1,8 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{ш}} = \rho_0 \cdot l = 0,13 \cdot 48 = 6,24 \text{ мОм}; X_{\text{ш}} = \rho_0 \cdot l = 0,1 \cdot 48 = 4,8 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{пров}} = \rho_0 \cdot l = 0,28 \cdot 5 = 1,4 \text{ мОм}; X_{\text{пров}} = \rho_0 \cdot l = 0,06 \cdot 5 = 0,3 \text{ мОм};$$

$$R_A = 0,36 \text{ мОм}; X_A = 0,28 \text{ мОм};$$

где  $R_T, X_T$  – активное и реактивное сопротивление трансформатора;

$R_A, X_A, R_{\text{конт}}$  – активное и реактивное сопротивление катушек и контактов автоматических выключателей;

$R_{\text{пер}}$  – переходное сопротивление контактных соединений (шинопровод-кабель, кабель-кабель и т.д.);

$R_{\text{ш}}, X_{\text{ш}}$  – активное и реактивное сопротивление шинопровода;

$R_{\text{каб}}, X_{\text{каб}}$  – активное и реактивное сопротивление кабеля;

$R_{\text{пров}}, X_{\text{пров}}$  – активное и реактивное сопротивление проводов.

Определим значения тока трех и двухфазного КЗ в точке К-3

$$R_3 = R_m + R_{AI} = 2 + 0,25 = 2,25 \text{ мОм}, X_3 = X_m + X_{AI} = 8,5 + 0,08 = 8,58 \text{ мОм}$$

Трехфазный ток КЗ в точке К-3

$$I_{\text{КЗ}}^3 = \frac{U_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_3^2 + X_3^2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,25^2 + 8,58^2}} = 26,1 \text{ кА} \quad (1.87)$$

$$T_a = \frac{X_3}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_3} = \frac{8,58}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2,25} = 0,013 \text{ с} \quad (1.88)$$

$T_a$  – постоянная времени; Ударный ток в точке К-3:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{\text{КЗ}}^3 \cdot \sqrt{(1 + 50 \cdot T_a)} = \sqrt{2} \cdot 26,1 \cdot \sqrt{1 + 50 \cdot 0,013} = 47,1 \text{ кА} \quad (1.89)$$

Двухфазный ток КЗ в точке К-3

$$I_{\text{КЗ}}^2 = I_{\text{КЗ}}^3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 26,1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 22,5 \text{ кА} \quad (1.90)$$

Определим значения тока трех и двухфазного КЗ в точке К-2

$$R_2 = R_3 + R_{A3} + R_{\text{конт3}} + R_{\text{каб}} = 2,25 + 0,43 + 8,4 = 11,08 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_3 + X_{A3} + X_{\text{каб}} = 8,58 + 0,13 + 1,8 = 10,51 \text{ мОм}$$

Трехфазный ток КЗ в точке К-2

$$I_{\text{КЗ}}^3 = \frac{U_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{11,08^2 + 10,51^2}} = 15,1 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_2} = \frac{10,51}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 11,08} = 0,002 \text{ с}$$

Ударный ток в точке К-2

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{\text{КЗ}}^3 \cdot \sqrt{1 + 50 \cdot T_a} = \sqrt{2} \cdot 15,1 \cdot \sqrt{1 + 50 \cdot 0,002} = 22,1 \text{ кА}$$

Двухфазный ток КЗ в точке К-2

$$I_{\text{КЗ}}^2 = I_{\text{КЗ}}^3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 15,1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 13 \text{ кА}$$

Определим значения тока трех и двухфазного КЗ в точке К-1

$$R_1 = R_2 + R_{\text{ш}} + R_{\text{пров}} + R_A = 11,08 + 6,24 + 1,4 + 0,36 = 19,08 \text{ мОм}$$

$$X_1 = X_2 + X_{\text{ш}} + X_{\text{пров}} + X_A = 10,51 + 4,8 + 0,3 + 0,28 = 15,89 \text{ мОм}$$

Трехфазный ток КЗ в точке К-1

$$I_{\text{КЗ}}^3 = \frac{U_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{19,08^2 + 15,89^2}} = 9,3 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_1} = \frac{15,89}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 19,08} = 0,002 \text{ с}$$



Ударный ток в точке К-1

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{кз}^3 \cdot \sqrt{1 + 50 \cdot T_a} = \sqrt{2} \cdot 9,3 \cdot \sqrt{1 + 50 \cdot 0,002} = 13,6_{кА}$$

Двухфазный ток КЗ в точке К-1

$$I_{кз}^2 = I_{кз}^3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 9,3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 8кА$$

Расчёт однофазного короткого замыкания.

Вместо  $R_T, X_T, R_{ш}, X_{ш}, R_{каб}, X_{каб}, R_{пров}, X_{пров}$  принимаем полное сопротивление цепи фаза-нуль;  $Z_{н. ф. - 0. к.}$  - полное сопротивление цепи фаза-нуль кабельной линии;  $Z_{н. ф. - 0. н.}$  - полное сопротивление цепи фаза-нуль провода;  $Z_{н. ф. - 0. ш.}$  - полное сопротивление цепи фаза-нуль шинпровода,  $\frac{1}{3} Z_{н. mp}^I$  - полное сопротивление фазы трансформатора

$$Z_{н. ф. - 0. к.} = 0,7 \cdot 30 = 21 мОм; \quad Z_{н. ф. - 0. н.} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 мОм;$$

$$Z_{н. ф. - 0. ш.} = 0,9 \cdot 48 = 43,2 мОм$$

$$\frac{1}{3} Z_{н. Tp}^I = 9 мОм \quad (\text{при соединении обмоток трансформатора } \Delta/y^{\circ} - 11)$$

$$\frac{1}{3} Z_{н. Tp}^I = 27 мОм \quad (\text{при соединении обмоток трансформатора } y/y^{\circ} - 12)$$

При однофазном к. з. в точке КЗ и соединении обмоток трансформатора  $\Delta/y^{\circ}$ -11

$$Z_3 = \frac{1}{3} Z_{н. Tp}^I + \sqrt{R_{AI}^2 + X_{AI}^2} = 9 + \sqrt{0,25^2 + 0,08^2} = 9,1 мОм \quad (1.91)$$

$$I_{\kappa 3}^I = \frac{U_H \cdot 10^3}{Z_3} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{9,1} = 25,2 \text{ кА} \quad (1.92)$$

При однофазном к. з. в точке К2 и соединении обмоток трансформатора  $\Delta/y^{\circ}$ -11

$$Z_2 = Z_3 + Z_{n.\phi-0.\kappa} + \sqrt{(R_{A3} + R_{\text{конт}3})^2 + X_{A3}^2} = 9,1 + 21 + \sqrt{0,43^2 + 0,13^2} = 30,5 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 3}^I = \frac{U_H \cdot 10^3}{Z_2} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{30,5} = 7,5 \text{ кА} \quad (1.93)$$

При однофазном к. з. в точке К1 и соединении обмоток трансформатора  $\Delta/y^{\circ}$ -11

$$I_{\kappa 3}^I = \frac{U_H \cdot 10^3}{(Z_2 + Z_{n.\phi-0.u} + Z_A + Z_{n.\phi-0.n})} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{30,5 + 43,2 + 0,45 + 3,5} = 2,9 \text{ кА}$$

При однофазном к. з. в точке К3 и соединении обмоток трансформатора  $y/y^{\circ}$ -12

$$Z_3 = \frac{1}{3} Z_{н.Тр}^1 + \sqrt{R_{A1}^2 + X_{A1}^2} = 27 + \sqrt{0,25^2 + 0,08^2} = 27,3 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 3}^I = \frac{U_H \cdot 10^3}{Z_3} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{27,3} = 8,4 \text{ кА}$$

При однофазном к. з. в точке К2 и соединении обмоток трансформатора  $y/y^{\circ}$ -12

$$Z_2 = Z_3 \cdot Z_{n.\phi-0.\kappa} + \sqrt{(R_{A3} + R_{\text{конт}3})^2 + X_{A3}^2} = 27,3 + 21 + \sqrt{0,43^2 + 0,13^2} = 48,7 \text{ мОм}$$

$$I_{кз}^1 = \frac{U_H \cdot 10^3}{Z_2} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{48,7} = 4,7 \text{ кА}$$

При однофазном к. з. в точке К1 и соединении обмоток трансформатора у/у-12

$$I_{кз}^1 = \frac{U_H \cdot 10^3}{(Z_2 + Z_{н.ф-0.ш} + Z_A + Z_{н.ф-0.н})} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{48,7 + 43,2 + 0,45 + 3,5} = 2,3 \text{ кА}$$

Составим сводную таблицу 1.20 результатов расчетов.

Таблица 1.20

КЗ	К-1	К-2	К-3
Трёхфазное КЗ	$I_{кз} = 9,3 \text{ кА};$ $i_{y0} = 13,6 \text{ кА}$	$I_{кз} = 15,1 \text{ кА};$ $i_{y0} = 22,1 \text{ кА}$	$I_{кз} = 26,1 \text{ кА};$ $i_{y0} = 47,1 \text{ кА}$
Двухфазное КЗ	$I_{кз} = 8 \text{ кА}$	$I_{кз} = 13 \text{ кА}$	$I_{кз} = 22,5 \text{ кА}$
Однофазное КЗ $\Delta/Y_0$	$I_{кз} = 2,9 \text{ кА}$	$I_{кз} = 7,5 \text{ кА}$	$I_{кз} = 25,2 \text{ кА}$
Однофазное КЗ $Y/Y_0$	$I_{кз} = 2,3 \text{ кА}$	$I_{кз} = 4,7 \text{ кА}$	$I_{кз} = 8,4 \text{ кА}$

Проверим выбранное оборудование по отключающей способности:

Предельный отключающий ток автомата АВМ-15Н,  $250 \text{ кА} > 22,5 \text{ кА}$ .

Предельно отключающий ток автоматического выключателя АЗ730Б с расцепителем на  $I_{ном} = 320 \text{ А}$  ( $100 \text{ кА} > 15,1 \text{ кА}$ ).

Предельный сквозной ток шинпровода ШРА-73 на  $I_{ном} = 400 \text{ А}$  ( $25 \text{ кА} > 9,3 \text{ кА}$ ).

Выбранные автоматы и предохранители по отключающей способности и чувствительности соответствует требованиям.

## 1.12 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Релейная защита трансформатора ГПП.

В процессе эксплуатации системы электроснабжения возникают повреждения отдельных ее элементов. Наиболее опасными и частыми

видами повреждений являются КЗ между фазами электрооборудования и однофазные КЗ на землю в сетях с большими токами замыкания на землю. В электрических машинах и трансформаторах наряду с междуфазными КЗ и замыканиями на землю имеют место витковые замыкания. Вследствие возникновения КЗ нарушается нормальная работа системы электроснабжения, что создает ущерб для промышленного предприятия.

При протекании тока КЗ элементы системы электроснабжения подвергаются термическому и динамическому воздействию. Для уменьшения размеров повреждения и предотвращения развития аварии устанавливают совокупность автоматических устройств, называемых релейной защитой и обеспечивающих с заданной степенью быстродействия отключение поврежденного элемента или сети.

Основные требования, предъявляемые к релейной защите, следующие: надежное отключение всех видов повреждений, чувствительность защиты, избирательность (селективность) действия - отключение только поврежденных участков, простота схем, быстродействие, наличие сигнализации о повреждениях.

Устройства релейной защиты для силовых трансформаторов предусматривают от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы: многофазных замыканий в обмотках и на выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью; витковых замыканий в обмотках; токов в обмотках, обусловленных перегрузкой; понижения уровня масла.

#### 1) Дифференциальная защита

Данная защита выполняется на реле РНТ-565 и защищает трансформатор от однофазных КЗ в обмотке и ошиновке трансформатора в зоне ограничения трансформаторами тока. При повреждении в трансформаторе дифференциальная защита дает импульс на отключение выключателей 10 кВ, 110 кВ ввода трансформатора.

#### 2) Максимальная токовая защита (МТЗ)

Эта защита применяется в качестве защиты от внешних коротких замыканий и является резервной по отношению к дифференциальной защите. МТЗ выполняется на переменном оперативном токе в двухфазном исполнении на базе реле РТ-40. Защита выполнена в виде трех комплектов МТЗ с комбинированным пуском по напряжению.

### 3) Газовая защита

Газовая защита является чувствительной реагирующей на повреждение внутри трансформатора, особенно при витковых замыканиях в обмотках, на которые газовая защита реагирует при замыкании большого числа витков.

Газовая защита также реагирует на повреждения изоляции стянутых болтов и возникновение местных очагов нагрева стали сердечника. Газовая защита срабатывает при достижении скорости движения масла от бака к расширителю от 0,6-0,8 л/с. Защита реагирует на появление газа в кожухе трансформатора и снижение уровня масла. Защита выполняется на базе реле РТЗ-261, которое поставляется с трансформатором. При всех видах повреждений газы, образовавшиеся в результате разложения масла и изоляции проводов, направляются через реле, установленное на трубопроводе, соединяющем бак трансформатора с расширителем и вытесняют масло из камеры реле в расширитель. В результате этого уровень масла в газовом реле понижается, установленные в реле поплавки опускаются, а прикрепленные к ним колбочки с ртутными контактами поворачиваются. При этом действует предупреждающий сигнал.

При бурном газообразовании, сопровождающемся течением струи масла под давлением, поворачиваются поплавки и колбочка с контактами. Последние, замыкаясь, действует на отключение выключателя 10 кВ трансформатора, а отключение выключателя 110 кВ короткозамыкателя.

### 4) Защита от перегрузок

На трансформаторах номинальной мощностью 400 кВА и более, подверженных перегрузкам, предусматривается максимальная токовая защита от токов перегрузки с действием на сигнал с выдержкой времени.

Защита выполняется на базе реле РТ-40 (КА5, КА6) с действием на сигнал, реле включается в цепь трансформатора тока со стороны низшего напряжения.

Исходные данные:

Трансформатор ТДН-10 МВА; 115□16%/10,5 кВ; ток трехфазного короткого замыкания  $I_{кз}=4,67$  кА.

Расчет дифференциальной токовой защиты для трансформаторов ГПП.

а) Определение первичных номинальных токов на сторонах силового трансформатора ( $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$ ):

$$I_{ном} = \frac{S_{номтт}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ A, (1.94)}$$

$$I_{ном1} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 50,3 \text{ A,}$$

$$I_{ном2} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 550,5 \text{ A}$$

и коэффициенты трансформации трансформаторов тока:

$$n_{T1\Delta} = \frac{I_{ном1} \cdot \sqrt{3}}{5}, \text{ A, (1.95)}$$

$$n_{T1\Delta} = \frac{50,3 \cdot \sqrt{3}}{5} = 17,4 \text{ A,}$$

$$n_{T2Y} = \frac{I_{ном2} \cdot 1}{5}, \text{ A(1.96)}$$

$$n_{T2Y} = \frac{550,5 \cdot 1}{5} = 110,1 \text{ A}$$

Принимаем стандартные коэффициенты трансформации:

$n_{T1}=100/5=20$ , ТВТ-110 (опорные в фарфоровой крышке);

$n_{T2}=600/5=120$ , ТЛМ-10 (с литой изоляцией).

б) Определим вторичные номинальные токи в плечах дифференциальной защиты:

$$i_n = \frac{I_{ном} \cdot K_{сх}}{n_T}, \text{ А, (1.97),}$$

$$i_{n1} = \frac{I_{ном1} \cdot K_{сх}}{n_{T1}} = \frac{50,3 \cdot \sqrt{3}}{20} = 4,35 \text{ А,}$$

$$i_{n2} = \frac{I_{ном2} \cdot K_{сх}}{n_{T2}} = \frac{550,5 \cdot 1}{120} = 4,6 \text{ А}$$

Так как основная сторона дифференциальной защиты принимается по большему значению ( $i_{n1}$  и  $i_{n2}$ ), то в данном случае  $i_{n2} > i_{n1}$ .

Сторону напряжением 10 кВ принимаем за основную и все расчеты приводим к основной стороне.

в) Выбирается ток срабатывания защиты из условия отстройки:

1) от броска намагничивания

$$I_{сз} = K_{отс} \cdot I_{нм2}, \text{ А, (1.98)}$$

где  $K_{отс}=1,3-1,4$  - коэффициент отсечки для РТН-565

$$I_{сз} = 1,3 \cdot 550,5 = 716 \text{ А;}$$

2) от максимального тока небаланса

$$I_{сз} = K_{отс} \cdot I_{нб} = K_{отс} \cdot (I_{нб}^I + I_{нб}^{II} + I_{нб}^{III}), \text{ А, (1.99)}$$

где  $K_{отс}=1,3$  - коэффициент отсечки для РНТ-565.

Составляющая тока небаланса, обусловленная погрешностью (ток намагничивания) трансформаторов тока, питающих дифференциальную защиту определяется по формуле:

$$I'_{нб} = K_a \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{кмакс}, \text{ А, (1.100)}$$

$$I'_{нб} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 4,67 = 467 \text{ А}$$

где  $K_{одн}$  - коэффициент, учитывающий однотипность трансформаторов тока ( $K_{одн}=1$ );

$\varepsilon$  - коэффициент, учитывающий 10% погрешность трансформаторов тока ( $\varepsilon=0,1$ );

$K_a$  - коэффициент, учитывающий переходной режим (апериодическая составляющая), ( $K_a=1$  для реле с БНТ);

$I_{кмакс}$  - максимальное значение тока КЗ за трансформатором, приведенная к основной стороне трансформатора.

Составляющая тока небаланса, обусловленная регулированием напряжения защищаемого трансформатора:

$$I = \frac{\pm \Delta N}{100} \cdot I_{кмаксвн}^3, \text{ А, (1.101)}$$

где  $\pm \Delta N = \pm 16$  - полный диапазон регулирования напряжения.

$$I = \frac{16}{100} \cdot 4670 = 747,2 \text{ А}$$

Составляющая тока небаланса, обусловленная неточностью установки на



коммутаторе реле РНТ расчетного целого числа витков обмоток:

$$I_{нб}^{///} = \frac{W_{1расч} - W_1}{W_{1расч}} \cdot I_{кмакс}^3, (1.102)$$

где  $W_{1расч.}$ ,  $W_1$  - соответственное расчетное и установленное число витков обмоток реле РНТ для не основной стороны.

На первом этапе установки дифференциальной защиты  $I_{нб}^{///}$  не учитывается, т.е.

$$I_{сз} = K_{отс} \cdot I_{нб} = K_{отс} \cdot (I_{нб}^{'} + I_{нб}^{''}), \text{ А, } I_{сз} = 1,3 \cdot (467 + 747,2) = 1578,5 \text{ А.}$$

За расчетную величину тока срабатывания защиты принимаем большее значение между:  $I_{сз}$  (от намагничивания) = 747,2 А,  $I_{сз}$  (от небаланса) = 1578,5 А.

г) Производится предварительная проверка чувствительности защиты при повреждениях в зоне ее действия.

$$K_{\eta} = \frac{I_{мин}}{I_{сз}} > 2, (1.103)$$

где  $I_{кмин}$  - минимальное значение тока КЗ (обычно двухфазное в зоне защиты)

$$K_{\eta} = \frac{I_{мин}}{I_{сз}} = \frac{4063}{1578,5} = 2,57 > 2 (1.104)$$

$$I_{к. мин} = 0,87 \cdot I_{кз}, \text{ А,}$$

$$I_{к. мин} = 0,87 \cdot 4670 = 4063 \text{ А.}$$

Так как коэффициент чувствительности больше двух, то расчет можно

продолжать.

д) Определяется ток срабатывания реле, отнесенный к стороне с большим током в плече (основной стороне)

$$I_{cp} = \frac{I_{cp}}{n_T} \cdot K_{cx}, \text{ A, (1.105)}$$

где  $n_T, K_{cx}$  - берется для основной стороны.

$$I_{cp} = \frac{1578,5}{120} \cdot 1 = 13,15 \text{ A (1.106)}$$

е) Определяется расчетное число витков обмотки реле основной стороны

$$W_{осн. расч.} = \frac{F_{cp}}{I_{cp}}, \text{ витков, } W_{осн. расч.} = \frac{100}{13,15} = 7,6 \text{ витка.}$$

Полученное число витков обмотки округляем до ближайшего меньшего числа витков, которое можно установить на реле РНТ-565, т.е.  $W_{осн. расч} = 7$  витков.

ж) Определяется число витков обмотки неосновной стороны

$$W_{неосн. расч} = \frac{i_{н1}}{i_{н2}} \cdot W_{осн. расч}, \text{ витков, (1.107)}$$

где  $i_{н1}$  - вторичный номинальный ток основной стороны;

$i_{н2}$  - вторичный номинальный ток другого плеча защиты.

$$W_{неосн. расч} = \frac{4,35}{4,6} \cdot 7 = 6,6 \text{ витков.}$$

3) Определяется ток небаланса с учетом  $I_{нб}^{///}$ .

$$I_{нб}^{///} = \frac{W_{1ppacч} - W_1}{W_{1ppacч}} \cdot I_{к.макс}^3, \text{ A,}$$

$$I_{нб}^{///} = \frac{6,6 - 6}{6,6} \cdot 4670 = 424,5 \text{ A}$$

е) Повторно определяется первичный ток срабатывания защиты и вторичный ток срабатывания реле:

$$I_{сз} = 1,3 \cdot (467 + 747,2 + 424,5) = 2130,3 \text{ A}$$

$$I_{ср} = \frac{I_{сз}}{n_{T2}} \cdot K_{сх}, \text{ A,}$$

$$I_{ср} = \frac{2130,3}{120} \cdot 1 = 17,7 \text{ A.}$$

Полученные значения удовлетворяют требованиям, предъявляемые к дифференциальной защите.

Дифференциальная защита трансформаторов выполняется на реле РНТ-565, имеющий быстронасыщающийся трансформатор и уравнивательные обмотки с регулирующими резисторами, с помощью которых можно отстраивать действия защиты. Таким образом, обеспечивается повышенная чувствительность защиты.

Расчет максимальной токовой защиты.

Расчет максимальной токовой защиты для трансформатора ГПП МТЗ устанавливается с высшей стороны трансформатора и действует с выдержкой времени при КЗ.

Ток срабатывания МТЗ выбирается исходя из условия отстройки (несрабатывания) от перегрузки. Ток перегрузки обычно определяется из

рассмотрения 2-х режимов:

1. отключение параллельно работающего трансформатора

$$I_{\text{нагр. макс}} = 0,8 \cdot I_{\text{ном. тр}}, \quad (1.108)$$

$$I_{\text{нагр. макс}} = 0,8 \cdot 50,3 = 40,2 \text{ А.} \quad (1.109)$$

2. автоматическое подключение нагрузки при действии АВР

$$I_{\text{нагр. макс}} = I_1 + I_2 = 0,8 \cdot (I_{\text{ном. тр1}} + I_{\text{ном. тр2}}),$$

$$I_{\text{нагр. макс}} = 0,8 \cdot (100,6 + 100,6) = 161 \text{ А.}$$

Ток срабатывания защиты выбирается по формуле:

$$I_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{зан}}}{K_{\text{воз}}} \cdot I_{\text{раб. макс}}, \text{ А,} \quad (1.110)$$

где  $K_{\text{отс}} = 1,1-1,2$  для реле РТ-40;

$K_{\text{воз}} = 0,85$  - коэффициент возврата реле;

$K_{\text{зан}} = 2,5$  - коэффициент самозапуска обобщенной нагрузки;

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,1 \cdot 2,5}{0,85} \cdot 161 = 520,9 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности при двухфазном КЗ:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к мин}}^2}{I_{\text{сз}}^2} > 1,5,$$

где  $I_{\text{к. мин}}$  - минимальный ток двухфазного КЗ до трансформатора ГПП.

$$K^{\text{ч}} = \frac{3419}{520,9} = 6,6 > 1,5(1.111)$$

Выдержка времени выбирается из условия селективности на ступень выше наибольшей выдержки времени  $t_{\text{п}}$  защит присоединений, питающихся от трансформатора

$$t_{\text{т}} = t_{\text{п}} + \Delta t, \text{ с},$$

где  $t_{\text{п}} = 0,8 \text{ с}$  - выдержка времени защиты, установленной на присоединениях питающихся от данного трансформатора,

$\Delta t = 0,5 \text{ с}$  - ступень выдержки времени.

$$t_{\text{т}} = 0,8 + 0,5 = 1,3 \text{ с}.$$

Расчет защиты от перегрузки.

Защиту от перегрузки осуществляют одним реле РТ-80 с ограниченно зависимой характеристикой. Защита действует на сигнал с выдержкой времени. Ток срабатывания выбирают из условия возврата реле при номинальном токе трансформатора:

$$I_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{воз}}} \cdot I_{\text{ном. тр}}, \text{ А}, (1.112)$$

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 50,3 = 66 \text{ А}. (1.113)$$

Время действия защиты от перегрузки выбирается на ступень больше МТЗ:

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{МТЗ}} + \Delta t, \text{ с}$$

$$t_{\text{пер}} = 1,3 + 0,5 = 1,8 \text{ с}.$$

Автоматика и сигнализация.

На подстанциях предусматривается следующая автоматика:

- 1) Автоматическое включение резерва (АВР). АВР питания или оборудования предусматривают во всех случаях, когда электроснабжение вызывает убытки, значительно превышающие стоимость установки устройства АВР. В случае повреждения одного из трансформаторов, происходит его отключение и автоматическое включение секционного выключателя, чем обеспечивается бесперебойное электроснабжение потребителей.
- 2) Автоматическое повторное включение (АПВ) трансформаторов предусматривается для автоматического восстановления их нормальной работы после аварийных отключений, не связанных с внутренними повреждениями трансформатора. АПВ трансформаторов является обязательным на однотрансформаторных подстанциях с односторонним питанием. На двухтрансформаторных подстанциях с односторонним питанием АПВ целесообразно устанавливать в том случае, если отключение одного трансформатора вызывает перегрузку другого и в связи с этим часть потребителей должна отключиться. АПВ позволяет без вмешательства обслуживающего персонала восстановить питание линии после кратковременных КЗ.

## **1.13 ЗАЕМЛЕНИЕ И МОЛНИЕЗАЩИТА ГПП**

### **1.13.1 РАСЧЕТ ЗАЕМЛЕНИЯ ГПП**

Исходные данные для расчета:

- а) понижающая подстанция, на которой установлены два трансформатора 110/10 кВ с заземленной нейтралью; б) заземлитель предполагается выполнить из горизонтальных полосовых электродов  $(40 \times 4) \text{ мм}^2$  и горизонтальных стержней длиной  $L_3=5 \text{ м}$ , диаметром  $d=16 \text{ мм}$ , глубина заглубления электродов в землю  $t_3=0,7 \text{ м}$ . в) расчетное удельное

сопротивление верхнего и нижнего слоя земли:  $\rho_1=130 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $\rho_2=40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . г) в качестве естественного заземлителя используем систему трос-опора двух подходящих и п/ст ВЛ-110 кВ. Длина пролета 30 м, сечение троса  $q=50 \text{ мм}^2$ , расчетное сопротивление заземлителя одной опоры  $r_{on}=14 \text{ Ом}$ , число опор с тросом на каждой линии 9.

Сопротивление естественного заземлителя для двух ЛЭП:

$$R_e = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0,15 \cdot 150}{50 \cdot 1}} = 1,25 \text{ Ом} (1.114)$$

Требуемое сопротивление расщепления заземлителя:  $R_z = 0,5 \text{ Ом}$

Требуемое сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_H = \frac{R_e \cdot R_z}{R_e - R_z}, \text{ Ом} (1.115)$$

$$R_H = \frac{1,25 \cdot 0,5}{1,25 - 0,5} = 0,83 \text{ Ом}.$$

Выбираем контурный заземлитель размещенный по периметру подстанции.

Составляем расчетную модель заземления с площадью  $S=1015 \text{ м}^2$  (рисунок 1.12).


Рисунок 1.12

$L_r = 44 \text{ Ом}$  - длина горизонтальных электродов;  $n = 18 \text{ шт.}$ ;

Количество ячеек по одной стороне модели:

$$m = \frac{L_z}{2\sqrt{S}} - 1 \quad (1.116)$$

$$m = \frac{440}{2 \cdot 43,9} - 1 = 4,01 \approx 4.$$

Уточняем суммарную длину горизонтальных электродов:

$$L_z = 2 \cdot (m+1) \cdot \sqrt{S} \quad (1.117)$$

$$L_z = 2 \cdot (4+1) \cdot 43,9 = 439 \text{ м.}$$

Расстояние между вертикальными электродами:

$$a = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{n} \quad (1.118)$$

$$a = \frac{4 \cdot 43,9}{18} = 9,76 \quad (1.119)$$

Суммарная длина вертикальных электродов:

$$L_v = n l_v$$

$$L_v = 18 \cdot 5 = 90 \text{ м.}$$

Относительная глубина погружения в землю электродов:

$$t_{отн} = \frac{l_v + t_v}{\sqrt{S}}; \quad (1.120)$$

$$t_{отн} = \frac{5 + 0,7}{43,9} = 0,13 \text{ м.}$$

Относительная длина:



$$l_{отн} = \frac{n_1 - t_в}{l_в}; (1.121)$$

$$l_{отн} = \frac{2 - 0,7}{5} = 0,26 \text{ м.}$$

Расчетное эквивалентное удельное сопротивление грунта:

$$\rho_э = \rho_2 \cdot \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{\kappa}, (1.122)$$

$$\text{где } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{130}{40} = 3,25 \quad 1 \leq \frac{\rho_1}{\rho_2} \leq 10 (1.123)$$

$$\kappa = 0,43 \cdot \left( 1_{отн} + 0,272 \cdot \ln \frac{a\sqrt{2}}{l_в} \right)$$

$$\kappa = 0,43 \cdot \left( 0,26 + 0,272 \cdot \ln \frac{9,76\sqrt{2}}{5} \right) = 0,23$$

$$\rho_э = 40 \cdot (3,25)^{0,23} = 52,4 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Определение расчетного сопротивления искусственного заземлителя.

Предварительно найдем значение коэффициента А.

Из условия  $0,1 \leq t_{отн} \leq 0,5$

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot t_{отн}$$

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot 0,13 = 0,35$$

отсюда:

$$R = A \cdot \frac{\frac{\rho_{\text{э}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{э}}}{L_m + L_{\text{с}}}}{L_m + L_{\text{с}}}, \text{ Ом} (1.124)$$

$$R = 0,35 \cdot \frac{52,4}{43,9} + \frac{52,4}{439 + 90} = 0,52 \text{ Ом}$$

Полученное значение практически совпадает с требуемым (0,72 Ом).

Общее сопротивление заземлителя подстанции с учетом  $R_{\text{е}}$ :

$$R_{\text{з}} = \frac{R \cdot R_{\text{е}}}{R + R_{\text{е}}} = \frac{0,52 \cdot 1,25}{0,52 + 1,25} = 0,37 \text{ Ом} (1.125)$$

Потенциал заземляющего устройства в аварийный период:

$$\varphi_{\text{зу}} = I_{\text{з}} \cdot R_{\text{з}}, (1.126)$$

$$\varphi_{\text{зу}} = 25 \cdot 0,37 = 9,25 \text{ кВ} < 10 \text{ кВ}.$$

Таким образом искусственные заземлители подстанции должны быть выполнены из горизонтальных пересекающихся полосовых электродов сечением (40x4) мм<sup>2</sup>, общей длиной не менее 440 м и вертикальных стержневых в количестве 18 штук, диаметром 16 мм, длиной по 5 м, размещенных по периметру заземлителя. Погруженных в землю на 0,7 м. При этих условиях сопротивление искусственного заземлителя  $R_{\text{н}}$  в самое неблагоприятное время года не будет превышать 0,52 Ом, а  $R_{\text{н}}$  не более 0,5 Ом.

### 1.13.2 РАСЧЕТ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ГПП

Для установки молниеотводов используем высокие сооружения на подстанции.

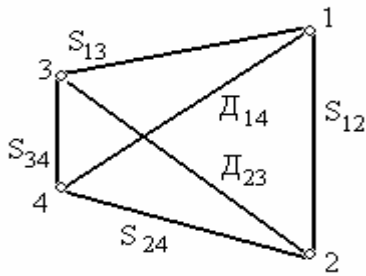


Рисунок 1.13

Высота молниеотвода из условия:

$$D \leq 8 (h - h_x),$$

где  $h$  - высота молниеотвода;  $h_x$  - габарит подстанции.

Наивысшая точка - высота подвеса проводов ЛЭП-110 кВ.

$$h_x = 7,6 \text{ м}; D = 24 \text{ м. (1.127), } h \frac{D + 8h_x}{8} = \frac{24 + 8 \cdot 7,6}{8} = 10,6 \text{ м (1.128)}$$

Принимаем  $h = 13$  м. Выберем зону защиты типа  $A$ , степень надежности 99,5%.

$$h_o = 0,85 \cdot h;$$

$$h_o = 0,85 \cdot 13 = 11,05 \text{ м. (1.129)}$$

Радиус зоны защиты на земле:

$$r_o = (1,1 - 0,002h) \cdot h; r_o = (1,1 - 0,002 \cdot 13) \cdot 13 = 13,96 \approx 14 \text{ м.}$$

Радиус зоны защиты на высоте защищаемого сооружения  $h_x = 7,6$  м:

$$r_o = (1,1 - 0,002h) \cdot \left( h - \frac{h_x}{0,85} \right); (1.130)$$

$$r_o = (1,1 - 0,002 \cdot 13) \cdot \left(13 - \frac{7,6}{0,85}\right) = 4,4 \text{ м. (1.131)}$$

Высота зоны защиты в середине пролета между двумя молниеотводами:

$$h_o = 4h - \sqrt{9h^2 + 0,25S^2};$$

$$h_{o12} = 4 \cdot 13 - \sqrt{9 \cdot 13^2 + 0,25 \cdot 19^2} = 11,8 \text{ м};$$

$$h_{o24} = 4 \cdot 13 - \sqrt{9 \cdot 13^2 + 0,25 \cdot 21^2} = 11,5 \text{ м};$$

$$h_{o34} = 4 \cdot 13 - \sqrt{9 \cdot 13^2 + 0,25 \cdot 14^2} = 12 \text{ м};$$

$$h_{o13} = 4 \cdot 13 - \sqrt{9 \cdot 13^2 + 0,25 \cdot 21^2} = 11,5 \text{ м.}$$

Ширины зоны защиты в середине пролета между молниеотводами на высоте  $h_x$ : для условия

$$\frac{2}{3} h_o \leq h_x \leq h_o$$

$$2 \cdot r_{ox} = 1,5 \cdot (h_o - h_x);$$

$$r_{ox12} = 0,75 \cdot (11,8 - 7,6) = 3,2 \text{ м};$$

$$r_{ox13} = r_{ox24} = 0,75 \cdot (11,5 - 7,6) = 2,9 \text{ м};$$

$$r_{ox34} = 0,75 \cdot (12 - 7,6) = 3,3 \text{ м}$$

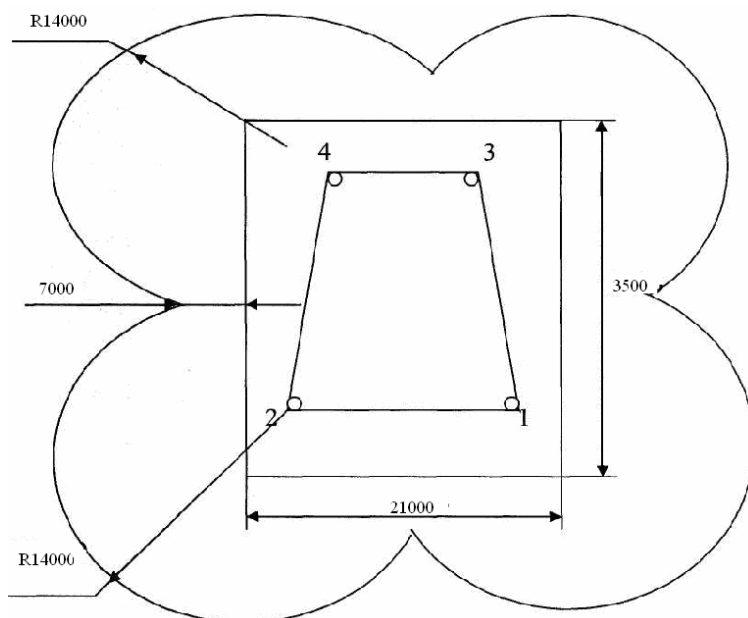


Рисунок 1.14 - Зона защиты молниеотводов

Рассчитанные и установленные молниеотводы на главной понизительной подстанции обеспечивают полную защиту от прямых ударов молнии. Выбранная зона защиты обладает степенью защиты 99,5%.

## 2. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

### 2.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Под номинальной реактивной мощностью электроприемника понимается реактивная мощность, потребляемая им из сети или отдаваемая в сеть при номинальной активной мощности и номинальном напряжении.

Групповая номинальная реактивная мощность - это алгебраическая сумма номинальных реактивных мощностей отдельно работающих электроприемников:

$$Q_{ном2} = \sum_{i=1}^n Q_{номi}$$

Потребителями реактивной мощности являются все электроприемники, у которых кривая синусоидального тока отстает от кривой синусоидального напряжения на фазовый угол  $\varphi$ . Для большинства потребителей реактивной мощности значение фазового угла  $\varphi$  зависит от реактивного сопротивления электроприемников и определяется полным сопротивлением фазы. К таким электроприемникам относятся асинхронные двигатели, трансформаторы, линии электропередачи, осветительные сети с газоразрядными лампами и др. Для других потребителей реактивной мощности значение фазового угла не зависит от реактивного сопротивления и определяется степенью регулирования преобразовательного сопротивления и коэффициентом искажения, определяющим гармонический состав кривой тока, это относится к тиристорным преобразовательным установкам.

Основными потребителями реактивной мощности на промышленных предприятиях являются:

- а) Асинхронные двигатели (60-65% от общего потребления).
- б) Трансформаторы (20-25%).
- в) Вентильные преобразователи, реакторы, воздушные и кабельные линии и прочие потребители (10%).

Основным источником реактивной мощности является синхронный генератор электростанций (Q3), но он не в полном объеме снабжает реактивной мощностью потребителей, так как это невыгодно, потому что при передаче в элементах системы электроснабжения возникают потери мощности и электроэнергии. Очевидно, что все параметры режима сети зависят от активной и реактивной мощности. Однако если для изменения активной мощности требуется изменять технологический режим работы потребителей электроэнергии, то изменение реактивной мощности достигается более просто - с помощью компенсирующих устройств, самые

распространенные из которых, используемые на промышленных предприятиях:

а) Синхронных компенсатор - это специальные машины, служащие для компенсации реактивной мощности в большом количестве  $P_{удСК}=11\div30$  кВт/Мвар

б) Синхронные двигатели ( $P_{удСД} = 9$ кВт/Мвар);

в) Батареи конденсаторов - специальное устройство для компенсации реактивной мощности, батареи конденсаторов могут быть высоковольтные и низковольтные. ( $P_{удБК} = 4,5$ кВт/Мвар),

В данном проекте для компенсации реактивной мощности используются низковольтные конденсаторные батареи. Это наиболее распространенный способ компенсации активной мощности в промышленных электросетях, для таких конденсаторов принят термин "конденсаторы для повышения коэффициента мощности" или просто "конденсатор". Широкое применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности объясняется значительными преимуществами по сравнению с другими существующими в промышленности способами компенсации реактивной мощности, а именно: более высоким к. п. д., иначе говоря малыми удельными потерями активной мощности, не превышающими 0,5% на 1 квар компенсирующего устройства (в синхронных компенсаторах эта величина составляет 10% номинальной мощности компенсатора, а в синхронных двигателях 7%), отсутствием вращающихся частей, простотой монтажа и эксплуатации, сравнительно невысокими капиталовложениями, широкой возможностью установки в любых точках электросети, отсутствием шума во время их работы, отсутствием необходимости в уходе и наблюдения за их работой и др.

## **2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ**

В настоящем проекте производится расчет автоматического регулирования мощности конденсаторных установок на стороне низкого напряжения ТП6.

Расчет выбора мощности батарей конденсаторов ведутся согласно "Указаний по проектированию компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий.

Из условия баланса реактивной мощности на шинах 0,4 кВ определим величину  $Q_{нбк1}$ :

$$Q_{нбк1} + Q_1 = Q_{p0,4}, \text{ кВар, откуда}$$

$$Q_{нбк1} = Q_{p0,4} - Q_1, \text{ кВар,}$$

$$Q_{нбк1} = 5801 - 4064,7 = 1736 \text{ кВар,}$$

где  $Q_1$  - мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ;  $Q_{p0,4}$  - суммарная расчетная реактивная нагрузка. Дополнительная мощность  $Q_{нбк2}$  для данной группы трансформаторов определяется по формуле:

$$Q_{нбк2} = Q_{p0,4} - Q_{нбк1} - \cdot N_{TЭ} - S_{HT} = 5801 - 1736 - 0,9 \cdot 11 \cdot 1000 = - 5835 \text{ кВар;}$$

где  $\cdot = 0,90$  - расчетный коэффициент;

$\cdot = f(K_1, K_2, \text{сх. питания ТП})$ .

$K_1 = 14$ ;  $K_2 = 2$  - для трансформаторов мощностью  $S_{HT} = 1000$  кВА.

Так как  $Q_{нбк2} < 0$ , то принимаю  $Q_{нбк2} = 0$ , откуда следует, что

$$Q_{нбк} = Q_{нбк1} + Q_{нбк2} = 1736 + 0 = 1736 \text{ кВар.}$$

Определим мощность одной батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор:

$$Q_{нбк\text{ти}} = \frac{Q_{нбк}}{N_{тз}} = \frac{1736}{11} = 157,8 \approx 200 \text{ кВар}$$



Выбираем конденсатор УКБН-0,38-200-50 УЗ.

Распределим  $Q_{\text{нбк}}$  по ТП пропорционально их мощностям.

Для ТП1,2

$$Q_{p\text{ТП1,2}}=2167,2 \text{ кВар } Q_{\text{рнбк}}=x,$$

$$\text{тогда } Q_{\text{рнбкТП1,2}} = \frac{Q_{\text{нбк}} \cdot Q_{p\text{ТП1,2}}}{Q_{p0,4}} = \frac{1736 \cdot 2167,2}{5801} = 648,6 \text{ кВар},$$

то фактическая реактивная мощность

$$Q_{\text{фТП1,2}} = (4 \cdot 150) + (4 \cdot 20) = 680 \text{ кВар},$$

а не скомпенсированная мощность равна

$$Q_{\text{неск}} = Q_{p\text{ТП1,2}} - Q_{\text{фТП1,2}} = 2167,2 - 680 = 1487,2 \text{ кВар}.$$

Для ТП3,4

$$Q_{p\text{ТП3,4}}=2197,2 \text{ кВар } Q_{\text{рнбк}}=x,$$

$$\text{тогда } Q_{\text{рнбкТП3,4}} = \frac{Q_{\text{нбк}} \cdot Q_{p\text{ТП3,4}}}{Q_{p0,4}} = \frac{1736 \cdot 2197,2}{5801} = 657,2 \text{ кВар},$$

то фактическая реактивная мощность равна

$$Q_{\text{фТП3,4}} = (4 \cdot 150) + (4 \cdot 20) = 680 \text{ кВар},$$

а не скомпенсированная мощность равна

$$Q_{\text{неск}} = Q_{p\text{ТП3,4}} - Q_{\text{фТП3,4}} = 2197,2 - 680 = 1517,2 \text{ кВар}.$$

Для ТП5,6

$$Q_{pТП5,6}=1474,4 \text{ кВар } Q_{рнбк}=X,$$

$$Q_{рнбкТП5,6} = \frac{Q_{нбк} \cdot Q_{pТП5,6}}{Q_{p0,4}} = \frac{1736 \cdot 1474,4}{5801} = 441,2 \text{ кВар}$$

тогда ,

то фактическая реактивная мощность равна

$$Q_{фТП5,6} = (4 \cdot 150) = 450 \text{ кВар},$$

а не скомпенсированная мощность равна

$$Q_{неск} = Q_{pТП5,6} - Q_{фТП5,6} = 1474,4 - 450 = 474,4 \text{ кВар}.$$

Уточненное распределение  $Q_{нбк}$  по ТП сведем в таблицу 2.1

Таблица 2.1

№ТП	$Q_{pТП}$ , кВар	$Q_{рнбк}$ , кВар	$Q_{фТП}$ , кВар	$Q_{неск}$ , кВар
ТП1, ТП2	2167,2	648,6	680	1487,2
ТП3, ТП4	2197,2	657,5	680	1517,2
ТП5, ТП6	1474,4	441,2	450	1024,4
Итого	5838,7	1747,3	1810	4028,7

## 2.3 РАЗМЕЩЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ И АВТОМАТИЗАЦИИ ИХ РАБОТЫ

После выбора мощности компенсирующих устройств необходимо рассмотреть вопрос о размещении их в пределах цехов. Расчет ведем для ТП № 6, питающая цеха № 12,14, и для ГПП.

Потери активной мощности в конденсаторах определяются по формуле

$$\Delta P = tg\delta Q, \text{ кВт} (2.2)$$

где  $Q$  - мощность конденсаторной установки, кВар;

$tg\delta$  - удельные потери, для конденсаторов.

Рассчитаем потери активной мощности в низковольтной батарее конденсаторов

$$\Delta P_{нбк} = 0,004 \cdot 5400 = 1,8 \text{ кВт.}$$

Зная, что график нагрузок неравномерный при двухсменной работе завода необходимо установить на стороне 0,4 кВ конденсаторные установки со ступенчатым автоматическим регулированием их мощности.

Количество ступеней регулирования следует выбирать не более трех-пяти с одинаковой или различной мощностью, а мощность ступеней должна соответствовать изменению по графику. Также необходимо определить последовательность коммутационных операций, которая может быть выполнена по одному из следующих исполнений:

- 1) Применение одинаковых по мощности конденсаторных установок, например: 100: 100: 100 кВар и т.д.;
- 2) По мощности, отличающейся в арифметической прогрессии, например 100: 200: 300: 400 кВар и т.д.;
- 3) По мощности, отличающейся в геометрической прогрессии, Например 100: 200: 400: 800 кВар и т.д.;
- 4) Смешанные комбинации из различных мощностей.

В первом исполнении - это простая схема автоматики, так как включение и отключение конденсаторной установки происходит последовательно. Но при определенной мощности регулирования количество выключателей равно количеству одинаковых конденсаторных установок и соответственно числу ступеней. Во втором и третьем исполнениях количество выключателей и конденсаторных установок меньше, а число ступеней  $n$  много больше.

Наиболее экономична и целесообразна схема регулирования при применении мощности конденсаторных установок, отличающихся по геометрической

прогрессии. В этом случае при меньшем количестве выключателей I число ступеней регулирования увеличивается.

### 3. РАСЧЕТ ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНОЙ БАТАРЕИ КОНДЕНСАТОРОВ

Так как мощность низковольтной батареи конденсаторов равна 200 кВар, количество ступеней две. Последовательность коммутационных операций - применение одинаковых по мощности конденсаторных установок 100: 100 кВар. Составим схему последовательности коммутационных операций при автоматическом регулировании рисунок 3.1, соответственно графику нагрузки отделения механического цеха рисунок 3.2, нанесем на нем линию  $Q_{нбк}$  и результирующую реактивную мощность на шинах 0,4 кВ которую найдем по формуле (3.4)

$$Q_{рез} = Q_x - Q_{нбк}. \quad (3.3)$$

Отклонение напряжения от номинальных значений происходят из-за суточных, сезонных и технологических изменений электрической нагрузки потребителей, изменения мощности источников реактивной энергии, регулирования напряжения на генераторах электростанций и в узлах сети, изменения схемы и параметров электрических сетей.

Поэтому при включении конденсаторов в сеть нужно учесть регулирующий эффект. Включение одной ступени конденсаторной установки дает "добавку" напряжения равной, в %:

$$\Delta U_{нбк} = QX_c / 0,4U^2. \quad (3.4)$$

где  $Q$  - реактивная мощность секции конденсаторной установки, кВар;

$U$  - линейное напряжение сети, кВ;

$X_c$  - реактивное сопротивление элементов сети, ближайших к установке, Ом.

Потери напряжения, в процентах, на отдельных участках цепи:

$$\Delta U_{\text{л}} = (PR + QX) / 0,4U^2, \quad (3.5)$$

где  $P$  и  $Q$  - активная и реактивная мощность, кВт и кВар;

$R$  и  $X$  - активное и реактивное сопротивление участка, Ом;

$U$  - номинальное напряжение участка цепи.

Значения  $X$ ,  $R$ ,  $P$ ,  $Q$  рассчитаны выше в разделе 1.

Отклонение напряжения в точке  $X$  сети в момент времени  $t$  после подключения НБК определяем по формуле

$$\Delta U_x = \Delta U_{\text{нбк}} - \Delta U_{\text{л}}. \quad (3.6)$$

Решение занесем в таблицу 3.2

Составим график  $\Delta U$  рисунок 3.3

Автоматическое регулирование производится по времени суток с коррекцией по напряжению. Принципиальная схема показана на рисунке 2.4

В данной схеме используются электровторичные сигнальные часы типа ЭВЧС и реле минимального напряжения. Эта схема предусматривает сочетание схем автоматического регулирования по времени суток и напряжению и работает следующим образом. Если после включения ЭВЧС конденсаторной установки в заданное время суток окажется, что напряжение будет повышенное, то реле напряжения 1Н отключит конденсаторную установку.

Если по заданному времени суток ЭВЧС отключит конденсаторную установку, а напряжение в сети очень низкое, то реле 1Н снова включит ее. Если до отключения по заданному времени суток напряжение в сети почему-либо повысится, то реле 1Н отключит конденсаторную установку. Таким образом, ЭВЧС включает или отключает конденсаторную установку по программе, заданной по времени суток, а реле напряжения 1Н вводит коррективы в зависимости от величины напряжения в данный промежуток времени.

Из выражений (3.3-3.6) очевидно, что отклонение напряжения зависит от реактивной мощности, отсюда следует и от наличия компенсирующего устройства, это также можно отследить на графике  $\Delta V$ .

Очевидно, что практически все средства повышения качества электроэнергии в том числе и батареи конденсаторов содержат реактивные элементы емкостного характера, а следовательно, влияют не только на баланс реактивной мощности в сети, в чем мы убедились в выше изложенных расчетах, но и на значения показателей качества электроэнергии.

Таблица 3.2 - Расчет автоматизации работы НБК по ступеням

t, с	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	Q <sub>нбк</sub> , квар	Q <sub>рез</sub> , квар	d U <sub>л</sub> , %	d U <sub>нбк</sub> , %	d U <sub>х</sub> , %
0--6	421,875	182	100	82	1,663902	0,54625	1,11765156
6--7	431,25	195	100	95	1,749797	0,54625	1,20354688
7--8	510,2	364	100	264	2,798291	0,54625	2,2520425
8--9	630	559	200	359	4,053663	1,0925	2,9611625
9--10	668,45	638,46	200	438,46	4,548752	1,0925	3,45625213
10--11	590	635,5556	200	435,5556	4,408347	1,0925	3,31584722
11--12	530	494	200	294	3,53985	1,0925	2,44735
12--13	544	520	200	320	3,7041	1,0925	2,6116
13--14	580	598	200	398	4,187325	1,0925	3,094825
14--15	555	577,7778	200	377,7778	4,037174	1,0925	2,94467561
15--17	543	507	200	307	3,6315	1,0925	2,539
17--18	550	498,3333	200	298,3333	3,595271	1,0925	2,50277083
18--19	510	468	200	268	3,366075	1,0925	2,273575
19--20	502	390	200	190	2,9273	1,0925	1,8348
20--22	510	455	200	255	3,295063	1,0925	2,2025625
22--23	480	364	200	164	2,75035	1,0925	1,65785
23--24	425	267,2222	200	67,22222	2,134389	1,0925	1,04188889

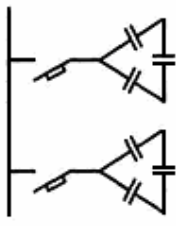
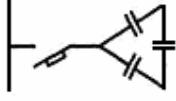
Конденсаторная установка с автоматическим управлением	Ступени регулирования	
	1	2
		
		
Общая включенная мощность	100 кВар	200 кВар

Рисунок 3.1 - Ступени регулирования для НБК

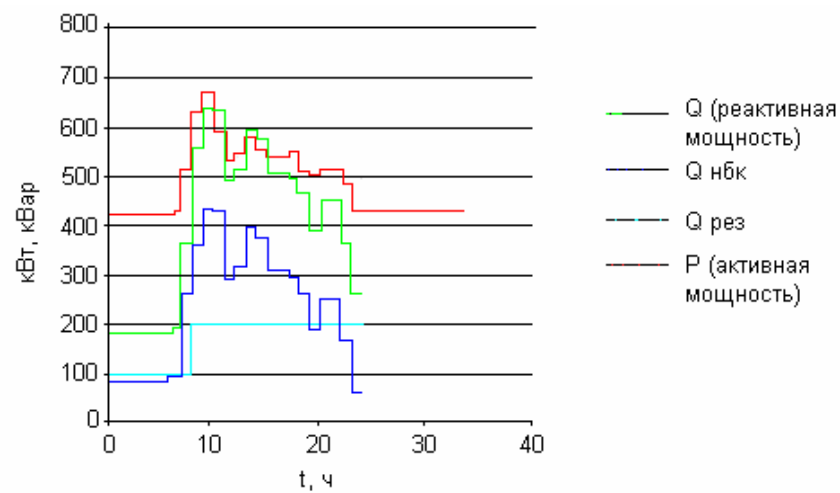


Рисунок 3.2 График нагрузок для НБК

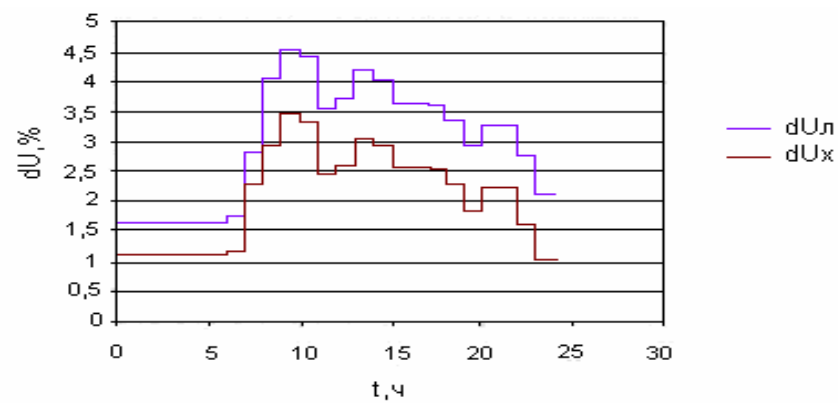


График отклонения напряжения для НБК



## **4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

### **4.1 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА В МЕХАНИЧЕСКОМ ЦЕХЕ**

Типичные схемы производства огнеупоров включают предварительную подготовку исходных материалов (огнеупорных глин, каолинов, магнезита, кварцита и др.), их обжиг (кроме кварцитов) для получения спекшегося полуфабриката, его измельчение, добавление связующего компонента (глины в шамотных огнеупорах, известкового молока в динасовых и т.д.), смешивание, формование (на прессах или иными способами) изделий массой обычно 3-25 кг, обжиг при 1300-1750 °С в туннельных и других печах. Изготавливают безобжиговые огнеупорные изделия, в том числе крупноблочные, а также плавленные огнеупоры. В производстве неформованных огнеупоров процесс заканчивается измельчением и смешением компонентов.

Огнеупоры применяют при сооружении тепловых агрегатов, печей для получения и плавки металлов, нагрева полуфабрикатов в металлургических и машиностроительных производствах, получения кокса, обжига цемента, установок высокотемпературных химических процессов, энергетических и других установок. Основное назначение огнеупоров - защита неогнеупорных элементов конструкции, а также внешней среды от воздействия высоких температур, расплавов, горячих газов и т.п. Большую часть огнеупоров (около 60%) потребляет чёрная и цветная металлургия.

При производстве огнеупоров существуют технологические установки, являющиеся шумовыми загрязнителями окружающей среды. К таким установкам можно отнести:

- а) цех вращающихся печей;
- б) цех подготовки глины;
- в) цех помола шамота;
- г) механический цех, компрессорная.

В механическом цехе при работе технологического оборудования наблюдаются выделения металлической стружки, пыли, то есть возникает опасность поражения электрическим током.

Рассмотрим некоторые вредные факторы, возникающие при работе в цехе.

На промышленных предприятиях при выполнении разнообразных технологических процессов происходит поступление в воздух рабочих помещений, вредные вещества, а также все возможные шумы. В одних случаях источником их является само технологическое оборудование, в других - вредные выделения образуются при выполнении технологических процессов.

Шум в окружающей человека среде создается многочисленными и разнообразными источниками, к главным из которых можно отнести техническое оборудование промышленных предприятий, вентиляционные, компрессорные установки. Шум, создаваемый промышленными предприятиями, технологическими установками не должен превышать предельно допустимых спектров.

При разработке проектов новых промышленных предприятий производится расчет ожидаемых шумовых полей в местах длительного пребывания людей (акустический расчет).

Таблица 4.1 - Данные по электрическим нагрузкам механического цеха

№	Наименование оборудования	Установленная мощность, кВт
1	Краны с ПВ-25%	36,5
2	Пресс	5,5
3	Ковочный пресс	55
4	Камерная электропечь	50
5	Конвейерная закалочная электропечь	90
6	Электродная соляная ванна	22
7	Пресс	15
8	Электродная селитровая ванна	12

9	Вентилятор	37
10	Колпаковая электропечь	45
11	Пресс горячештамповочный	11
12	Пресс кривошипный	11
13	Гильотинные ножницы	22
14	Ковочный пресс	22
15	Высокочастотная установка	100
16	Плазмотрон	28
17	Насос	11

Причинами шума служат механические станки: токарные станки и автоматы, шлифовальные и сверлильные станки, пресса, прокатные станы.

В механическом цехе при работе технологического оборудования наблюдаются выделения металлической стружки, то есть возникают опасность поражения электрическим током.

Основной мерой защиты от поражения электрическим током в сетях напряжением до 1000 В является зануление.

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью с целью обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой защитный проводник возникал ток короткого замыкания превышающий не менее чем в три раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя, а для автоматического выключателя с номинальным током более 100А - не менее 1,25.

Также необходимо рассмотреть задачу по обеспечению пожаробезопасности рабочего процесса.

Пожарная профилактика на предприятии имеет большое значение, т.к. возникновение пожара повлечет за собой потерю больших материальных ценностей. Рассматривая административный корпус отметим, что его особенностью является небольшая площадь помещений. Как известно, пожар

может возникнуть при взаимодействии горючих веществ, окислении и источников зажигания. Горючими компонентами на предприятиях являются: строительные материалы акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция силовых, сигнальных кабелей, обмотки радиотехнических деталей и т.д. Особенностью корпусов завода является очень высокая плотность расположения элементов электротехники. При прохождении электрического тока по проводам и деталям выделяется тепло, что в условиях их высокой плотности может привести к перегреву, а, следовательно, и к возгоранию.

При проектировании новых или реконструкции старых зданий необходимо соблюдать мероприятия пожарной профилактики, руководствуясь при этом СН 512-78 "Инструкции по проектированию административных зданий и помещений" и СНиП 11-2-80 "Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений", в которых изложены основные требования к огнеопасности зданий и сооружений, противопожарным преградам, эвакуации людей из зданий и помещений.

Согласно СНиП 11-90-81 "Производственные здания промышленных предприятий" все производства подразделяются на 6 категорий. Для большинства технологических процессов в помещениях установлена категория пожарной опасности 13 (в производстве обращаются твердые сгораемые вещества и материалы), и относятся к "Д" категории. В зданиях 1 и 2 степеней огнеопасности при категории пожарной безопасности производства в СНиП 11-90-81 установлены обязательные размеры эвакуационных путей и выходов из помещений, размеры коридоров и выходов из коридора наружу или на лестничную площадку.

К первичным средствам тушения пожаров, предназначенным для локализации небольших загораний, относятся пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители, сухой песок, асбестовые одеяла и т.п. Для того чтобы быстро локализовать и ликвидировать пожар на предприятии, сохранить при этом по возможности больше дорогостоящего

оборудования целесообразнее воспользоваться порошковой системой пожаротушения.

## 4.2 АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

Цех имеет большое количество электроприемников, но для расчета принимаем два вида источников шума, остальными источниками можно пренебречь, так как их уровень звукового давления ниже на 10 дБ более шумных.

На рисунке 4.1 показан план цеха с нанесением на него электроприемников, имеющих высокий уровень звукового давления.

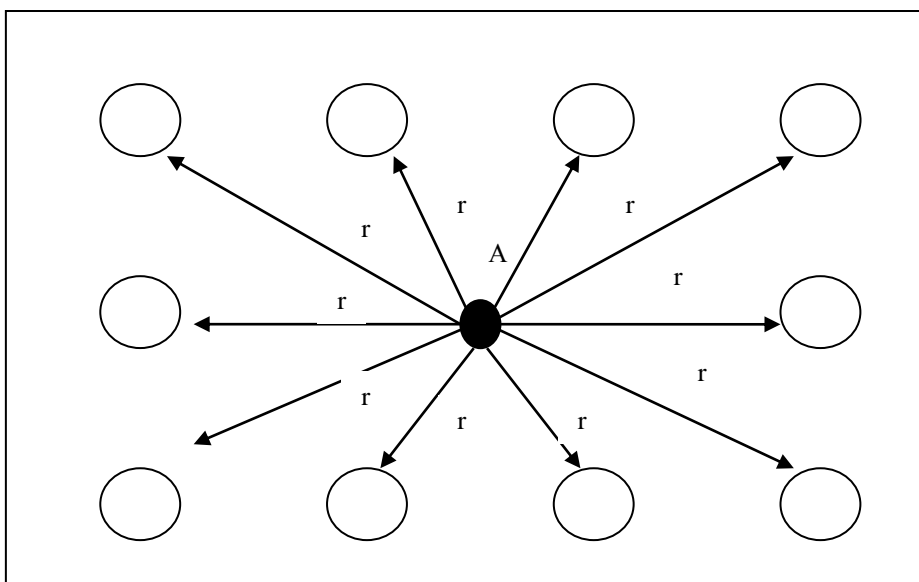


Рисунок 4.1 - План механического цеха

Где точка А является расчетной точкой, которая находится в середине помещения между станками на высоте 1,5 м от пола;  $r_1 - r_{10}$  - расстояние от акустических центров до расчетной точки.

## 4.2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ $L_{\text{доп}}$ ДЛЯ РАСЧЕТНЫХ ТОЧЕК

В производственном помещении объемом 14400 м<sup>3</sup> размещено 10 источников шума двух типов: 6 - источников одного типа (пресса), обозначаемых ИШ<sub>I</sub> ( $L_{p1}$ ) и 4 - другого (вертикально-сверлильные станки), обозначаемых ИШ<sub>II</sub> ( $L_{p2}$ ). Уровни звуковой мощности, излучаемой каждым источником приведены в таблице 4.2 Расстояние от акустических центров до расчетной точки:  $r_1=10$  м;  $r_2=17,5$  м;  $r_3=23$  м;  $r_4=9,5$  м;  $r_5=11,2$  м;  $r_6=13$  м;  $r_7=16$  м;  $r_8=17,8$  м;  $r_9=18$  м;  $r_{10}=20$  м.

Таблица 4.2 - Уровни звуковой мощности источников шума.

Величина, дБ	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц.							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{p1}$	83	83	89	89	90	91	90	89
$L_{p2}$	81	82	83	86	85	84	90	84

Октавные уровни звукового давления  $L$ , дБ в расчетных точках помещений, в которых несколько источников шума, следует определять в зоне прямого и отраженного звука по формуле:

$$L = 10 \lg \cdot \left( \sum_{i=1}^m \frac{\Delta i \times \kappa_i \times \Phi_i}{S_i} + \frac{4\psi}{B} \sum_{i=1}^n \Delta i \right), \quad (4.1)$$

где  $\Delta i = 10^{0,1 L_{pi}}$

$L_{pi}$  - октавный уровень звуковой мощности, создаваемый  $i$ -тым источником шума;

$m$  - количество источников шума, ближайших к расчетной точке (т.е. источников, для которых  $r_i < 5 r_{\min}$  - расстояние от расчетной точки до акустического центра источника);

$n$  - общее количество источников шума в помещении.

Минимальное расстояние от расчетной точки до акустического центра и

ближайшего к ней источника  $r_{min}=9,5$  м,  $5r_{min}=47,5$  м. Общее количество источников шума остается таким же, т.е. 10 электроприемников. Наибольший габаритный размер рассматриваемых источников  $l_{max}=2,3$  м. Следовательно, для всех источников выполняется условие  $2 l_{max} < r_{min}$ , поэтому можно принять  $S_i=2\pi r^2$ . Величина  $r_i/l_{max}=2$ , поэтому  $k_i=1$ . По формуле определяем суммарные уровни звукового давления  $L_{общ}$  в расчетной точке от всех источников шума.

Постоянная помещения определяется по формуле:

$$B = B_{1000} \times \mu, (4.2)$$

где  $B_{1000}$  - постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, определяемая по таблице в зависимости от объема и типа помещения.

Для данного цеха объемом  $V=14400$  м<sup>3</sup> и небольшим количеством людей.

$$B_{1000} = V/20 = 14400/20 = 720 \text{ м}^3. (4.3)$$

$\mu$  - частотный множителей, зависящий от объема помещения. Для данного цеха значения  $\mu$  приведены в таблице 4.3

Таблица 4.3 - Значение частотного множителя  $\mu$

Объем помещения, м <sup>3</sup>	Частотный множитель							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$V>1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0

Затем по формуле определяется требуемое снижение шума:

$$\Delta L_{тр} = L_{общ} - L_{доп}, (4.4)$$

где  $L_{общ}$  - октавный уровень звукового давления в расчетной точке от всех источников;

$L_{доп}$  - допустимый уровень звукового давления для рабочего места, для

данного цеха этот уровень приведен в таблице 4.4

Таблица 4.4 - Допустимые уровни звукового давления

$F$ , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{доп}$	99	92	86	83	80	78	76	74

Результаты расчетов по отделению механического цеха сведем в таблицу 4.5

Таблица 4.5 - Расчет шума по отделению механического цеха

№	Величина	Ед. изм.	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц.							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	$L_{p1}$	дБ	83	83	89	89	90	91	90	89
2	$L_{p2}$	дБ	81	82	83	86	85	84	90	84
3	$\Delta_1$	-	$1,9 \times 10^8$	$1,9 \times 10^8$	$8 \times 10^8$	$8 \times 10^8$	$10^9$	$12,5 \times 10^8$	$10^9$	$8 \times 10^8$
4	$\Delta_2$	-	$1,6 \times 10^8$	$1,6 \times 10^8$	$1,9 \times 10^8$	$4 \times 10^8$	$3,2 \times 10^8$	$2,5 \times 10^8$	$10^9$	$2,5 \times 10^8$
5	$S_1 = 2\pi r^2_1$	м <sup>2</sup>	628							
6	$S_2 = 2\pi r^2_2$	м <sup>2</sup>	1923							
7	$S_3 = 2\pi r^2_3$	м <sup>2</sup>	3322							
8	$S_4 = 2\pi r^2_4$	м <sup>2</sup>	566							
9	$S_5 = 2\pi r^2_5$	м <sup>2</sup>	787							
10	$S_6 = 2\pi r^2_6$	м <sup>2</sup>	1061							
11	$S_7 = 2\pi r^2_7$	м <sup>2</sup>	1607							
12	$S_8 = 2\pi r^2_8$	м <sup>2</sup>	1989							
13	$S_9 = 2\pi r^2_9$	м <sup>2</sup>	2034							
14	$S_{10} = 2\pi r^2_{10}$	м <sup>2</sup>	2512							
15	$10^{0,1L_{p1}}/S_1$		$3 \times 10^5$	$3 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$
16	$10^{0,1L_{p1}}/S_2$		$9,8 \times 10^4$	$9,8 \times 10^4$	$4,2 \times 10^5$	$4,2 \times 10^5$	$5,2 \times 10^5$	$6,5 \times 10^5$	$5,2 \times 10^5$	$4,2 \times 10^5$
17	$10^{0,1L_{p1}}/S_3$		$5,7 \times 10^4$	$5,7 \times 10^4$	$2,4 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	$3,7 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$
18	$10^{0,1L_{p1}}/S_4$		$3,3 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$1,4 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$	$2,2 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$
19	$10^{0,1L_{p1}}/S_5$		$2,4 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$10^6$	$10^6$	$1,2 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	$10^6$
20	$10^{0,1L_{p1}}/S_6$		$1,7 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$7,5 \times 10^5$	$7,5 \times 10^5$	$9,4 \times 10^5$	$1,2 \times 10^6$	$9,4 \times 10^5$	$7,5 \times 10^5$
21	$10^{0,1L_{p1}}/S_7$		$8 \times 10^3$	$9,9 \times 10^4$	$1,2 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$1,9 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$6,2 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$
22	$10^{0,1L_{p1}}/S_8$		$6,5 \times 10^3$	$8 \times 10^4$	$9,5 \times 10^4$	$2 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$	$1,2 \times 10^5$	$5 \times 10^5$	$1,2 \times 10^5$
23	$10^{0,1L_{p1}}/S_9$		$6,3 \times 10^3$	$7,8 \times 10^4$	$9,3 \times 10^4$	$1,9 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$1,2 \times 10^5$	$4,9 \times 10^5$	$1,2 \times 10^5$



24	$10^{0,1Lp1}/S_{10}$		$5,1 \times 10^3$	$6,3 \times 10^4$	$7,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$	$1,2 \times 10^5$	$9,9 \times 10^4$	$3,9 \times 10^8$	$9,9 \times 10^4$
25	$\Sigma_{пп.}$ (15÷24)		$1,2 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$	$5,4 \times 10^6$	$5,8 \times 10^6$	$2,1 \times 10^7$	$8,2 \times 10^6$	$2,2 \times 10^8$	$5,5 \times 10^6$
26	$B_{ш 1000}$	720								
27	$\mu$		0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0
28	$B_{ш}=B_{ш1000} \times$ $\mu$		360	360	396	504	720	1152	2160	4320
29	$4/B_{ш}$		$1,1 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$10^{-2}$	$7,9 \times 10^{-3}$	$5,5 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$0,9 \times 10^{-3}$
30	$\Sigma 10^{0,1Lp1}=6 \times$ $10^{0,1Lp1}$		$11,4 \times 10^8$	$11,4 \times 10^8$	$4,8 \times 10^9$	$4,8 \times 10^9$	$6 \times 10^9$	$7,5 \times 10^9$	$6 \times 10^9$	$4,8 \times 10^9$
31	$\Sigma 10^{0,1Lp1}=4 \times$ $10^{0,1Lp2}$		$5,2 \times 10^7$	$6,4 \times 10^8$	$7,6 \times 10^8$	$1,6 \times 10^9$	$1,2 \times 10^9$	$10^9$	$4 \times 10^9$	$10^9$
32	$\Sigma_{пп.}$ (30+31)		$11,9 \times 10^8$	$17,8 \times 10^8$	$5,6 \times 10^9$	$6,7 \times 10^9$	$7,2 \times 10^9$	$8,5 \times 10^9$	$10^{10}$	$5,8 \times 10^9$
33	$\Sigma_{пп.}$ (29+32)		$1,3 \times 10^7$	$1,9 \times 10^7$	$5,6 \times 10^7$	$5,2 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$	$2,8 \times 10^7$	$1,8 \times 10^7$	$5,2 \times 10^6$
34	$\Sigma_{пп.}$ (25+33)		$1,4 \times 10^7$	$2,1 \times 10^7$	$6,1 \times 10^7$	$5,7 \times 10^7$	$6 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$	$4 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$
35	$L_{общ}=10lg$ (п.34)		71,4	73,2	77,8	77,5	77,7	75,5	76	70,4
36	$L_{доп}$		99	92	86	83	80	78	76	74

Так как величина требуемого снижения шума  $\Delta L_{тр}$  для механического цеха получилась отрицательной, то не требуются мероприятия по снижению шума.

#### 4.2.2 РАСЧЕТ ЗАНУЛЕНИЯ

Принципиальная схема зануления приведена на рисунке 4.3. На схеме видно, что ток короткого замыкания  $I_{кз}$  в фазном проводе зависит от фазного напряжения сети  $U_{\phi}$  и полное сопротивление цепи, складывающегося из полных сопротивлений обмотки трансформатора  $Z_m/3$ , фазного проводника  $Z_{\phi}$ , нулевого защитного проводника  $Z_n$ , внешнего индуктивного сопротивления петли фаза - ноль  $X_n$ , и заземления нейтрали трансформатора  $R_0$ .

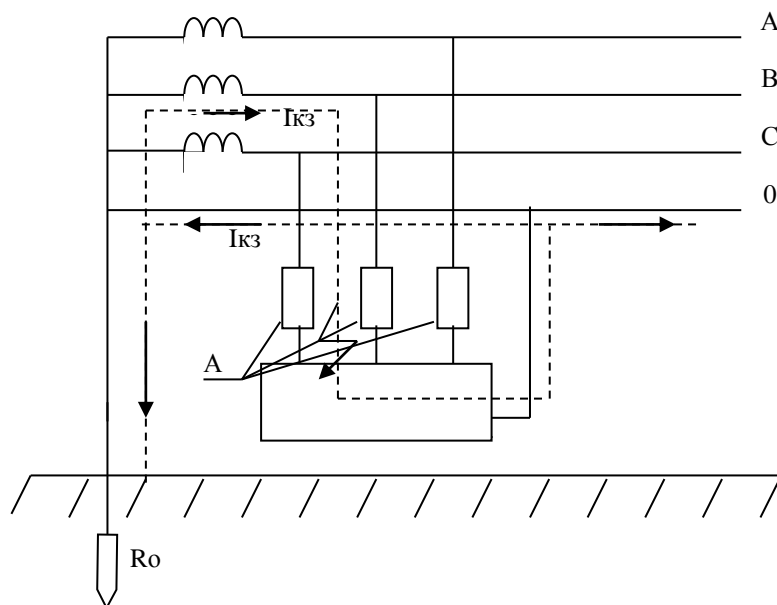


Рисунок 4.2 - Принципиальная схема сети переменного тока с занулением. А - аппарат защиты (предохранитель или автоматический выключатель);  $R_0$  - заземление нейтрали.

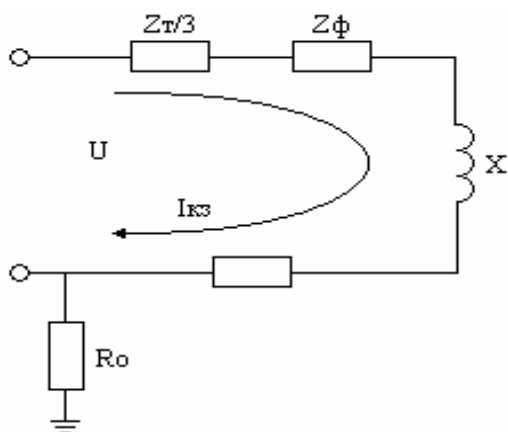


Рисунок 4.3 - Полная расчетная схема соединения зануления

Поскольку  $R_0$  и  $R_n$ , как правило, велики по сравнению с другими элементами цепи, параллельная ветвь образованная ими создает незначительное увеличение тока короткого замыкания, что позволяет пренебречь им. В то же время такое допущение ужесточает требования к занулению и значительно упрощает расчетную схему, представленную на рисунке 4.4

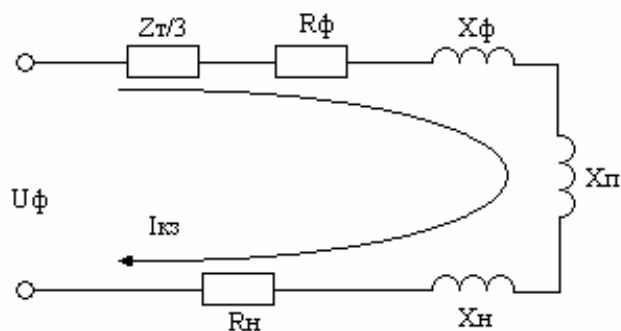


Рисунок 4.4 - Упрощенная схема зануления

В этом случае выражение короткого замыкания  $I_{кз}$  (А) в комплексной форме будет:

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_M / 3 + Z_{\phi} + Z_n + jX_n), \quad (4.5)$$

где  $U_{\phi}$  - фазное напряжение сети, В

$Z_T$  - комплекс полного сопротивления обмоток трехфазного источника тока (трансформатора), Ом

$Z_{\phi} = R_{\phi} + jX_n$  - комплекс полного сопротивления фазного провода, Ом

$Z_n = R_n + jX_n$  - комплекс полного сопротивления нулевого защитного проводника, Ом

$R_{\phi}$  и  $R_n$  - активное сопротивление фазного и нулевого защитного проводников, Ом

$X_{\phi}$  и  $X_n$  - внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников, Ом

$X_n$  - внешнее индуктивное сопротивление контура (петли) фазный проводник - нулевой защитный проводник (петля - фаза - нуль), Ом

$Z_n = Z_{\phi} + Z_n + jX_n$  - комплекс полного сопротивления петли фаза - нуль, Ом.

С учетом последнего:

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_M / 3 + Z_n) \quad (4.6)$$

При расчете зануления принято применять допущения, при котором для вычисления действительного значения (модуля) тока короткого замыкания  $I_{кз}$  модули сопротивления обмоток трансформатора и петли фаза - нуль  $Z_T / 3$  и  $Z_{\pi}$  складываются арифметически. Это допущение также ужесточает требования безопасности и поэтому считается допустимым, хотя и вносит некоторую неточность (5%).

Полное сопротивление петли фаза - нуль в действительной форме определяется из выражения:

$$Z_{\pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_{\pi})^2}, \text{ Ом(4.7)}$$

Формула для проверочного расчета определяется из и с учетом коэффициента кратности  $K$  тока короткого замыкания определяемого требованиями к занулению:

$$K \cdot I_n \leq U_{\phi} / (Z_T/3 + \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_{\pi})^2})$$

Значение коэффициента  $K$  принимается равным  $K_3$  в случае если электроустановка защищается предохранителями и автоматическими выключателями имеющими обратнозависимую характеристику от тока. В случае если электроустановка защищается автоматическим выключателем имеющим только электромагнитный расцепитель (отсечку), то для автоматов с  $I_n$  до 100 А,  $K=1,4$ , а для автоматов с  $I_n > 100$  А,  $K=1,25$ .

Значение полного сопротивления масляного трансформатора во многом определяется его мощностью, напряжением первичной обмотки, конструкцией трансформатора.

Расчет зануления производится для электрооборудования механического цеха.

Исходные данные:

напряжение сети - 0,38 кВ;

мощность трансформатора - 1000 кВА;

мощность наиболее удаленного электроприемника (станок)  $P=11,6$  кВт;

длина кабеля от ТП до ШРА-1,  $L_1=55$  м;

длина провода от ШРА-1 до станка,  $L_2=8$  м.

Схема замещения приведена на рисунке 4.5



Рисунок 4.5

Определим токи нагрузки и выбор аппаратов защиты:

$$I_{\partial\epsilon} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{11,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 29,4 \text{ А} \quad (4.8)$$

$$I_{pн\epsilon} = \frac{K_n \cdot I_{\partial\epsilon}}{K_m} = \frac{29,4 \cdot 5}{2} = 147 \text{ А} \quad (4.9)$$

$I_{нпв}=80$  А;  $I_{на}=100$  А.

Определим полные сопротивления элементов цепи:

а) сопротивление трансформатора для группы соединения  $\Delta/Y_0$  - 11  $Z_T=0,027$  Ом.

б) сопротивление кабеля, при сечении фазной жилы  $70 \text{ мм}^2$  и нулевой  $50 \text{ мм}^2$   $Z_{пф0}=1,8$  Ом/км.

$$Z_{п} = Z_{пф0} \cdot L_1 = 1,8 \cdot 0,055 = 0,099 \text{ Ом}; \quad (4.10)$$

в) сопротивление провода при сечении фазной жилы  $35 \text{ мм}^2$  и нулевой  $25 \text{ мм}^2$   $Z_{пф0}=2,54$  Ом/км

$$Z_{\pi} = Z_{\pi\phi 0} \cdot L_2 = 2,54 \cdot 0,008 = 0,02 \text{ Ом}$$

Определим токи КЗ:

$$I_{\kappa 1} = \frac{220}{\frac{0,027}{3} + 0,099} = 2,03 \text{ кА}$$

$$I_{\kappa 2} = \frac{220}{\frac{0,027}{3} + 0,099 + 0,02} = 1,71 \text{ кА} \quad (4.11)$$

Определим кратность тока

$$\frac{I_{\kappa 3}}{I_{нпр}} = \frac{2030}{100} = 20,3 \quad \text{кА} \quad (4.12), \quad \frac{I_{\kappa 3}}{I_{нв}} = \frac{1710}{80} = 21,3 \quad \text{кА}$$

условие  $I_{\kappa 3} \cdot K$ , где  $K_a = 1,25$ ;  $K_{нв} = 3$ , то  $2030 \text{ А} > 100 \cdot 3 = 300 \text{ А}$  и  $850 \text{ А} > 3 \cdot 80 = 240 \text{ А}$

Определение времени срабатывания аппарата защиты: плавкой вставки определяется по защитной характеристике плавкой вставки, а для автомата принимается из справочника.

Время отключения автоматического выключателя - 0,2 секунды.

Потенциал корпуса поврежденного оборудования:

$$U_{\kappa 1} = I_{\kappa 3} \cdot Z_{\pi 1} = 2,03 \cdot 0,044 = 89,3 \text{ В},$$

где  $Z_{\pi 1}$  - сопротивление нулевой жилы кабеля,  $Z_{\pi 1} = R_{\pi 1}$ , так как величина внутреннего индуктивного сопротивления  $X_{\pi 1}$  алюминиевого проводника сравнительно мала (около 0,0156 Ом/км).

$$R_{\pi 1} = \frac{\rho \cdot L}{S} = \frac{0,028 \cdot 55}{50} = 0,044 \text{ Ом},$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление алюминиевой жилы принимается равной 0,028 Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $S$  - сечение жилы, мм<sup>2</sup>;  $L$  - длина проводника, м.

$$U_{к2} = I_{к3} \cdot Z_{н2} = 1,71 \cdot 0,008 = 13,6 \text{ В}$$

где, где  $Z_{н2}$  - сопротивление нулевого провода,  $Z_{н2} = R_{н2}$

$$R_{н3} = \frac{\rho \cdot L}{S} = \frac{0,028 \cdot 8}{6} = 0,008 \text{ Ом},$$

Ток, проходящий через тело человека, равен:

$$I_{h1} = \frac{U_{к1}}{R_h} = \frac{89,3}{1000} = 89,3 \text{ мА}, \quad (4.13)$$

$$I_{h2} = \frac{U_{к2}}{R_h} = \frac{13,6}{1000} = 13,6 \text{ мА}.$$

Согласно ПУЭ такие величины тока являются допустимыми при времени воздействия 0,2 секунды, т.е. время срабатывания автоматического выключателя не превышает допустимых величин.

## **4.3 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА**

### **4.3.1 РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОГNETУШИТЕЛЕЙ**

Для обеспечения тушения пожара в дисплейном зале применена автоматическая стационарная установка порошкового пожаротушения УСП-500. Установка порошкового тушения состоит из сосуда для хранения, баллонов со сжатым газом, редуктора, запорной арматуры, трубопровод и порошковых оросителей. Проведем расчет требуемых количества порошка, диаметров труб, количества баллонов со сжатым газом.

В установке применен порошок ПСБ - бикарбонат натрия с 1-2%

кремнеземистого высокодисперсного наполнителя АМ-1-300 и 10% талька. Для выбора порошка применяют дефекторные распылители с диаметрами выходных отверстий 10,12,15, и 25 мм. Определяют массовые расходы порошка

$$Q_{\Pi} = I_{\Pi} \cdot F; (4.14) \quad Q_{\Pi} = 0,1 \cdot 400 = 40 \text{ кг/с},$$

где  $I_{\Pi} = 0,1$  кг/м<sup>2</sup>·с - требуемый удельный массовый расход порошка;

$F$  - площадь защищаемого помещения = 400 м<sup>2</sup>. Запас порошка определяют по наибольшему расходу.

$$G_{\Pi} = Q_{\Pi} \cdot t; (4.15)$$

$$G_{\Pi} = 40 \cdot 30 = 1200 \text{ кг}.$$

где  $t$  – время тушения, с.

В применяемой установке УСП-500 объем сосуда для порошка  $W_c = 500$  л.

По номограмме определяем диаметры трубопроводов:  $d = 300$  мм.

На основании данных проектирования установок порошкового пожаротушения принимаем суммарную площадь сечения выпускных насадок:

$$F_{\text{мас}} = (0,6 \div 0,8) \cdot d, (4.16)$$

$$F_{\text{мас}} = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ мм},$$

Таким образом, применяем две насадки диаметром по 10 мм.

Определяем число баллонов и узлов транспортирующего газа:

$$N = G_{\Pi} \cdot P_{\text{атм}} / P_6 \cdot p_0 \cdot V_v, (4.17)$$



$$N=1200 \cdot 10^5 / 125 \cdot 10^6 \cdot 123 \cdot 0,3 = 13,0356.$$

Таким образом для тушения пожара в данном помещении хватит 13 баллонов со сжатым газом.

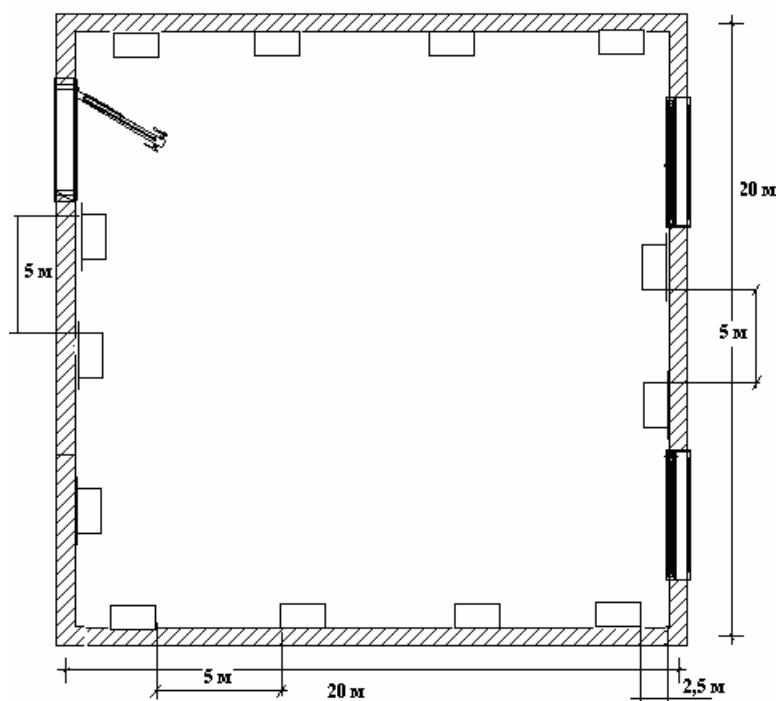


Рисунок 3.5 - Схема расположения огнетушителей

В соответствии с "Типовыми правилами пожарной безопасности для промышленных предприятий", залы (или подобные им помещения) необходимо оборудовать дымовыми пожарными извещателями.

В случае возникновения очага пожара следует немедленно сообщить об этом в городскую пожарную часть, руководству предприятия.

#### **4.3.2 РАЗРАБОТКА ВОПРОСОВ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЦЕХАХ**

Для тушения пожара в цехах принимаем углекислотное тушение. Расчёт установок состоит в определении необходимого для тушения пожара количества огнетушащего средства и диаметров магистральных и распределительных трубопроводов.

Определение массы огнетушащего средства:

$$q_{o.c.} = 1,1 \cdot q_{расч} \left(1 + \frac{K_2}{K_k}\right) \quad (4.18)$$

где  $q_{расч} = K \cdot q_n \cdot W_{ном}$  - расчетная масса огнетушащего средства (кг);

$K$ - коэффициент не учитываемых потерь принимаемый по СН 75-76  $1,07 \div 1,25$  в зависимости от категорий пожарной опасности производства в защищаемом помещении и степени его герметичности;

$q_n$  - массовая огнетушащая концентрация огнетушащего средства (0,637-0,768 кг/м<sup>3</sup> для СО<sub>2</sub>);

$W_{ном}$  - объём защищаемого помещения м<sup>3</sup>;

$K_2$  - коэффициент, учитывающий остаток огнетушащего средства в системе, по СН 75-76 принимается  $0,1 \div 0,4$  в зависимости от вида огнетушащего средства диаметра и длины трубопроводов.

$$q_{расч} = K \cdot q_n \cdot W_{ном} = 1,25 \cdot 0,768 \cdot 100 = 96$$

$$q_{o.c.} = 1,1 \cdot q_{расч} \left(1 + \frac{K_2}{K_k}\right) = 1,1 \cdot 96 \left(1 + \frac{0,4}{1,25}\right) = 139,392 \quad (4.19)$$

Определение числа баллонов:

$$n_{бал} = \frac{2q_{o.c.}}{q_{бал.}} = \frac{2 \cdot 139,392}{25} = 11,151 \quad (4.20)$$

где 2- коэффициент, учитывающий 100% - запас огнетушащего средства (по СН 75-76);

$q_{бал}$  - масса огнетушащего средства в баллоне

Определение диаметров трубопроводов (мм)

магистрального:

$$d_m = d_c \cdot \sqrt{n_{одн}} = 12 \sqrt{10} = 37,947, (4.21)$$

распределительного:

$$d_p = d_c \cdot \sqrt{q_p/q_m} = 37,947 \sqrt{2} = 53125,$$

где  $d_c$  - диаметр сифонной трубки в рабочем баллоне

$n_{одн}$  - число баллонов разряжаемых в данном направлении

$q_p, q_m$  - количества огнетушащего средства, подаваемого соответственно по распределительному и магистральному трубопроводам.

Определение требуемого числа выпускных насадок.

$$n_n = \frac{0,85 \cdot d_m^2}{d_y^2} = \frac{0,85 \cdot 37,947^2}{10^2} = 12,129, (4.22)$$

где  $d_n$  - диаметр насадка (мм).

Определение расчётного времени выпуска огнетушащего средства в защищаемое помещение (с)

$$\tau_p = \frac{q_{расч}}{q_{тр}} \leq \tau_n, (4.23)$$

где  $q_{тр}$  - массовый расход огнетушащего средства через трубопровод данного направления (кг/с), принимаемый по СН 75-76 в зависимости от расчётной длины трубопровода  $\tau_n$  - нормативное время тушения - 120с.

Углекислый газ, поступая в зону горения, производит охлаждающее и изолирующее действие. При испарении в воздухе 1 кг жидкой углекислоты

образуется 500 л углекислого газа.

К аппаратам газового пожаротушения относится подвижной углекислотный огнетушитель типа УП-2М, который предназначен для тушения горящих твердых материалов, нефтепродуктов и электрических установок, где нежелательно применение воды. Огнетушитель оборудован двумя стальными баллонами, установленными на ручной тележке. Их емкость по 40 л, они заполняются углекислотой (под давлением 6 мПа, масса углекислоты в каждом баллоне 25 кг). Эффект тушения пожара достигается за счет охлаждения горючего вещества и за счет разбавления воздуха углекислым газом. Время действия одного баллона 120 с, дальность струи 3-3,5 м.

Возможно применение стационарной установки газового пожаротушения типа К431.

Кроме того, тушение небольших загораний производится ручными углекислотными огнетушителями типа ОУ-2,5,8, дающими струю снегообразной углекислоты 30-40 секунд на расстояние до 2 м, или углекислотно-бромэтиловыми огнетушителями типа ОУБ-7, дающими туманообразное облако, дальность его действия 4-5 м, время действия 40 с.

Согласно классификаций производств, механический цех с металлорежущим оборудованием, в данном случае сверлильно - фрезерно-расточный станок 690МФ4, относится к категории Д (наличие только негорючих веществ и материалов в холодном виде)

#### **4.3.3 ПОЖАРНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ**

В механических цехах применимы приемные станции типа ТЛО-30/2М на 30 лучей, укомплектованные датчиками типа 1ЖИЛ-7 и ДПС-038 и совмещены с охранной сигнализацией,

Ручные извещатели типа ПКИЛ - 7 кнопочного действия. Расположены на заметных местах - в проходах, на колоннах и т.д. Для вызова пожарной команды следует разбить стекло на корпусе извещателя и нажать кнопку, чем и будет подан сигнал о пожаре.

Тепловые извещатели дифференциального действия типа ДПС-038 работают на принципе разного нарастания термоэлектродвижущей силы в зачерненных и посеребренных спаях термопар. Они срабатывают при быстром повышении температуры. Эти извещатели имеют расчетную площадь обслуживания 30 м.

Количество автоматических извещателей рассчитывается по формуле

$$n \geq \frac{S_{об}}{30} = \frac{5100}{30} = 170 \quad (4.24)$$

где  $S_{об}$  - площадь обслуживаемых помещений; а 30 - площадь, обслуживаемая одним датчиком.

Для механического цеха общей площадью 8940 м<sup>2</sup> площадь обслуживаемых помещений составит 5100 м<sup>2</sup>. Число автоматических извещателей, установленных в цехе, принимаются 270. Число ручных извещателей определяется удобством доступа, планировкой помещений и размерами цеха.

## Вывод

Произведенный анализ условий труда позволил выявить ряд опасных и вредных факторов, выделяемых в результате технологической деятельности завода. Расчеты показали, что уровень шума механического цех не нуждается в применении мероприятий по снижению шума. Для создания схемы зануления применяется аппарат защиты, при данных условиях труда он срабатывает за 0,2с. Расчеты по пожаробезопасности показали, что для тушения пожара в данном помещении хватит 13 баллонов со сжатым газом и 170 автоматических извещателей.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Тема дипломного проекта "Электроснабжение завода по производству огнеупоров". При проектировании была определена полная потребляемая мощность в размере 13417 кВА, а для снабжения такой мощностью необходимо установить два трансформатора ГПП типа ТДН-10000/110.

Было принято 15 цеховых трансформаторов, которые были установлены у 6 ТП (5 двухтрансформаторных подстанций и 1 однотрансформаторная подстанция).

Далее в дипломном проекте был произведен расчет токов к. з., выбор оборудования и кабельной продукции на напряжение выше 1000 В. Были выбраны: выключатели 10 кВ, трансформаторы напряжения, питающие кабели от ГПП до цеховых ТП.

В качестве примера расчета релейной защиты был произведен расчет релейной защиты трансформаторов ГПП. Были рассмотрены дифференциальная защита, максимальная токовая защита, газовая защита и защита от перегрузки. В качестве примера расчета низковольтной сети был произведен расчет низковольтной сети механического цеха.

Далее в разделе БЖД были рассмотрены: анализ условий труда в механическом цехе, акустический расчет, расчет зануления, обеспечение пожаробезопасности рабочего процесса.

В разделе "Экономическая часть" произведен расчет технико-экономических показателей подстанции, анализ влияния внешних факторов на показатели финансово-экономической эффективности инвестиций в объект.

В специальной части дипломного проекта было предложено рассмотреть: автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок, были выбраны параметры регулируемых конденсаторных установок, рассмотрены законы регулирования и определения целесообразных областей их использования и определено, что для компенсации реактивной мощности завода необходимо установить две регулируемые секции по 450 кВар каждая,

регулирование мощности производить по времени суток, а для компенсации реактивной мощности цеха необходимо установить также две регулируемые секции по 100 кВар каждая, регулирование мощности производить по времени с коррекцией по напряжению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по проектированию электроснабжения. Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатамиздат, 1990. - 576 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатамиздат, 1991. - 464 с.
3. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Лунина Л.Г., Шафирович Я.В. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок, 2-е изд., - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 144 с.
5. Федоров А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. В 2-х томах. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. Санатова Т.С. Методические указания и задания к расчетно-графическим работам по курсу "Экология" для студентов, обучающихся по специальностям электроэнергетического направления. - Алматы: АИЭС, 2002. - 25 с.
7. Санатова Т.С., Кошулько Л.Д. Защита персонала от поражения электрическим током (часть 1). Методические указания к дипломному проекту. - Алматы: АЭИ, 1996. - 28 с.
8. СНиП РК 2.04-05.2002 г. Естественное и искусственное освещение. Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства.
9. Замыслов П.А., Белоус А.Ф. и др. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 144 с.
10. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках, 2-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 448 с.
11. Долин П.А. Справочник по технике безопасности, 6-е изд., - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 834 с.
12. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. - Ленинград, 1981.
13. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. - М.: Энергоатомиздат, 1983.
14. Тищенко Г.А. Осветительные установки. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
15. Князевский Б.А. Охрана труда, 2-е изд., - М.: Высш. школа, 1982. - 311 с.