

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электроснабжение НПП "Эталон"</b>

УДК 621.31.031:658.016.4:001.89

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Махмудалиев Алишер Ахмадалиевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Розаев И. А.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ледовская А.М.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Ю.Н. Дементьев  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
----------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Махмудалиеву Алишеру Ахмадалиевичу

Тема работы:

<b>Электроснабжение НПП "Эталон"</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Получены по материалам преддипломной практики</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Общие сведения о предприятии</li> <li>2. Определение расчетной нагрузки цеха</li> <li>3. Определение расчетной нагрузки предприятия</li> <li>4. Картограмма и определение центра электрических нагрузок</li> <li>5. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов</li> <li>6. Компенсация реактивной мощности</li> <li>7. Схема внешнего электроснабжения</li> <li>8. Схема внутривзаводской сети выше 1000 В</li> <li>9. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В</li> <li>10. Выбор и проверка оборудования в сети выше 1000 В</li> </ol>

	11. Электроснабжение цеха 12. Выбор защитных аппаратов и сечений линий, питающих распределительные пункты и электроприемники 13. Построение эпюры отклонения напряжения 14. Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В 15. Построение карты селективности действия аппаратов защиты 16. Релейная защита 17. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 18. Социальная ответственность
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Генплан предприятия. Распределение электроэнергии 2. Картограмма нагрузок 3. Схема электрическая принципиальная 4. Схема силовой сети ремонтного цеха 5. Электроснабжение ремонтного цеха Однолинейная схема 6. Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности.

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Ледовская Анна Михайловна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2018г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Розаев И. А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Махмудалиев Алишер Ахмадалиевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 133 с., 18 рис., 33 табл., 30 источников, 16 прил.

Ключевые слова: металлоизделие, производство, электрооборудование, цех, схема электроснабжения, линия, сеть, электроприемник, нагрузка, оборудование, защита, ток, напряжение.

Объектом исследования является электрическая часть НПП «Эталон».

Цель работы – проектирование схемы электроснабжения предприятия, выбор оборудования.

В процессе исследования проводился сбор исходных данных в ходе производственной практики на объекте исследования.

В результате была спроектирована схема электроснабжения от подстанции энергосистемы, до конечного электроприемника. Были выбраны кабели и провода, коммутационное оборудование, были сделаны необходимые проверки. Также результатом работы стал экономический расчет капитальных затрат на сооружение данной схемы, определены условия безопасного труда рабочих предприятия.

Основные характеристики: схема электроснабжения состоит из кабельных и воздушных линий электропередачи. В высоковольтной сети применяются вакуумные выключатели, в низковольтной сети автоматические выключатели. Воздушные линии располагаются на опорах, кабельные – на лотках. Схема проста в эксплуатации и надежна по степени бесперебойности питания. Схема пригодна к эксплуатации.

Значимость проектирования схемы электроснабжения очень высокая, так как от правильной ее работы зависит работа всего предприятия и населенных пунктов.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	8
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ РЕМОНТНОГО ЦЕХА	11
2.1 Распределение приёмников по пунктам питания	11
2.2 Определение расчетной нагрузки цеха	11
3 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ ПРЕДПРИЯТИЯ	14
3.1 Определение расчетной нагрузки предприятия	14
3.2 Картограмма и определение центра электрических нагрузок	16
3.3 Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов	17
3.4 Компенсация реактивной мощности	18
3.5 Составление схемы внешнего электроснабжения	20
3.6 Выбор мощности силовых трансформаторов на ГПП	22
3.7 Выбор сечения линии, питающей ГПП	25
3.8 Техничко-экономическое сравнение вариантов	26
3.9 Схема внутриводской сети выше 1000 В	26
3.10 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	30
4 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ В СЕТИ ВЫШЕ 1000 В	34
4.1 Выбор выключателей и разъединителей	34
4.2 Выбор измерительных трансформаторов тока	35
4.3 Выбор измерительных трансформаторов напряжения	38
4.4 Учет электрической энергии	39
5 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ РЕМОНТНОГО ЦЕХА	41
5.1 Выбор защитных аппаратов и сечений линий, питающих распределительные пункты и электроприемники	41
5.2 Построение эпюры отклонения напряжения	44
5.3 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В	46
5.4 Построение карты селективности действия аппаратов защиты	48
5.5 Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ	48
6 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА	51
6.1 Назначение РЗиА	51
6.2 Защиты трансформатора	51
6.3 Токовые защиты трансформатора от коротких замыканий	52
6.4 Газовая защита	52
6.5 Дифференциальные токовые защиты трансформаторов	53
6.6 Расчет дифференциальной защиты трансформатора ГПП	53
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	58
7 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ	59
7.1 Формирование вариантов решения проблем	60
7.2 Планирование расчета и проектирования электроснабжения промышленного предприятия	61
7.3 Определение трудоемкости выполнения работ	62
7.4 Разработка графика проведения расчета и проектирования	63

7.5 Основная заработная плата исполнителей темы	67
7.6 Накладные расходы	71
7.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	71
7.8 Расчет капитальных вложений в основные средства	72
7.9 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	73
<b>ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»</b>	<b>76</b>
<b>8 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ</b>	<b>78</b>
8.1 Производственная безопасность	78
8.2 Производственная санитария	81
8.3 Экологическая безопасность	86
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	87
8.5 Пожарная безопасность	88
8.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	89
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>91</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	<b>93</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b>	<b>95</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2</b>	<b>98</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3</b>	<b>99</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4</b>	<b>100</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 5</b>	<b>101</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 6</b>	<b>105</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 7</b>	<b>106</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 8</b>	<b>107</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 9</b>	<b>108</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 10</b>	<b>109</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 11</b>	<b>110</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 12</b>	<b>111</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 13</b>	<b>112</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 14</b>	<b>113</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 15</b>	<b>114</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Целью дипломного проекта является проектирование системы электроснабжения ремонтного цеха НПП «Эталон», используя при проектировании реальные данные предприятия (генплан, план цеха, сведения об электрических нагрузках), детально проработать систему электроснабжения приемников в здании рассматриваемого цеха, сделать выводы.

Основным видом деятельности является «Научные исследования и разработки в области естественных и технических наук». Организация также осуществляет деятельность по следующим неосновным направлениям: «Производство строительных металлических изделий», «Производство радиаторов», «Обработка металлических изделий с использованием основных технологических процессов машиностроения», «Производство металлических бочек и аналогичных емкостей», «Производство бронированных или армированных сейфов, несгораемых шкафов и дверей», «Производство разных машин специального назначения и их составных частей», «Производство мебели для офисов и предприятий торговли», «Производство прочей мебели», «Производство спортивных товаров», «Производство каруселей, качелей, тиров и прочих ярмарочных аттракционов», «Производство электромонтажных работ», «Сдача внаем собственного нежилого недвижимого имущества», «Аренда офисных машин и оборудования», «Аренда прочих машин и оборудования научного и промышленного назначения», «Исследование конъюнктуры рынка». Основная отрасль компании - «Конструкторские и проектные организации самостоятельные».

Ремонтный цех НПП «Эталон» имеет размеры 72×18 м. Общее количество электроприемников 67.

По производственному назначению: электроприемники цеха относятся к двигателям силовых общепромышленных установок и производственных механизмов. К этой группе относятся вентиляторы, насосы, подъемно-транспортные устройства, станки общепромышленного назначения.

В продолжительном режиме (ПВ=100%) работают не все установки и механизмы. Все электроприемники имеют напряжение питания 380 В. По роду тока все электроприемники относятся к потребителям, работающим от сети переменного тока промышленной частоты 50 Гц.

Условия окружающей среды в цехе нормальные, наличие вредных веществ находящихся в воздухе соответствует нормам ПДК. По пожароопасности помещение цеха относится к классу П-III – не пожароопасное. По взрывоопасности относится к не взрывоопасному. По степени доступности – общедоступное.

Остановка отдельных электроприемников на общий технологический процесс существенно не влияет, но может привести к повреждению оборудования и к экономическому ущербу.

Предприятие относится к потребителям II категории электропотребления. Обуславливается непрерывностью технологического процесса, остановка, которого понесёт значительный материальный ущерб, связанный с массовым недоотпуском продукции и простоем рабочих мест.

## 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1.1 – Сведения об электрических нагрузках, степени надежности и среде производственных помещений

<i>№ n/n</i>	<i>Наименование объекта</i>	<i>Число смен</i>	<i>Категория ЭП</i>	<i>Среда</i>	<i>Установленная мощность, кВт</i>
1	Прессово-кузнечный цех	2	II	Жаркая	2500
2	Инструментальный цех	2	III	Нормальная	1650
3	Экспериментальный цех	2	II	Нормальная	350
4	Штамповочный цех	2	II	Нормальная	900
5	Ремонтный цех	2	III	Нормальная	—
6	Ремонтно-механический цех	2	III	Нормальная	600
7	Столовая	2	III	Нормальная	300
8	Заводоуправление	2	III	Нормальная	257
9	Лаборатория	2	III	Нормальная	547
10	Транспортный цех	2	III	Нормальная	200
11	Склад	2	III	Нормальная	78
12	Административный корпус	2	III	Нормальная	423
13	Насосная	2	II	Влажная	—
	0,38 кВ				621
	10,0 кВ СД 2 × 315 кВт				630

Генплан предприятия представлен в приложении 10.

Таблица 1.2 – Сведения об электрических нагрузках ремонтного цеха

<i>№ n/</i>	<i>Наименование</i>	$\frac{P_{уст}}{кВт}$	$K_{исп}$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$\eta$	$K_{пуск}$	$\frac{I_{ном}}{А}$	$\frac{I_{пуск}}{А}$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1	Шпоночно-фрезерный станок	6,8	0,25	0,60	1,33	0,89	5	19,3	96,7
2	Зубострогальный станок	8,5	0,25	0,60	1,33	0,89	5	24,2	120,9
3	Зубострогальный станок	8,5	0,25	0,60	1,33	0,89	5	24,2	120,9
4	Зубодолбежный станок	10,6	0,25	0,60	1,33	0,89	5	30,2	150,8
5	Зубодолбежный станок	10,6	0,25	0,60	1,33	0,89	5	30,2	150,8
6	Зубозакругляющий станок	13,6	0,25	0,60	1,33	0,89	5	38,7	193,5
7	Ленточно-отрезной станок	4,7	0,25	0,60	1,33	0,89	5	13,4	66,9
8	Шестишпиндельный станок	20,2	0,25	0,60	1,33	0,89	5	57,5	287,4
9	Шестишпиндельный станок	20,2	0,25	0,60	1,33	0,89	5	57,5	287,4
10	Обдирочно-шлифовальный станок	12,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	34,1	170,7
11	Станок для заточки протяжек	3,5	0,25	0,60	1,33	0,89	5	10,0	49,8
12	Механическая ножовка	3,9	0,25	0,60	1,33	0,89	5	11,1	55,5



продолжение таблицы 1.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
13	Сварочный полуавтомат ПВ = 60%	29,3	0,30	0,60	1,33	0,95	3	78,1	234,3
14	Токарно-винторезный станок	15,2	0,25	0,60	1,33	0,89	5	43,2	216,2
15	Резьбонарезный станок	16,9	0,25	0,60	1,33	0,89	5	48,1	240,4
16	Резьбонарезный станок	16,9	0,25	0,60	1,33	0,89	5	48,1	240,4
17	Токарно-винторезный станок	15,2	0,25	0,60	1,33	0,89	5	43,2	216,2
18	Токарно-карусельный станок	39,9	0,25	0,60	1,33	0,89	5	113,5	567,6
19	Токарно-патронный станок	15,6	0,25	0,60	1,33	0,89	5	44,4	221,9
20	Шлицифрезерный станок	12,6	0,25	0,60	1,33	0,89	5	35,8	179,2
21	Универсальный фрезерный станок	30,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	85,4	426,8
22	Вентилятор	11,0	0,75	0,80	0,75	0,90	7	23,2	162,5
23	Пресс-ножницы	5,8	0,35	0,65	1,17	0,89	5	15,2	76,2
24	Ножницы листовые	18,0	0,35	0,65	1,17	0,89	5	47,3	236,4
25	Вертикальный фрезерный станок	11,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	31,3	156,5
26	Вертикальный фрезерный станок	11,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	31,3	156,5
27	Внутришлифовальный станок	9,7	0,25	0,60	1,33	0,89	5	27,6	138,0
28	Правильное устройсто	20,0	0,50	0,50	1,73	0,89	5	68,3	341,4
29	Горизонтально расточной станок	45,9	0,25	0,60	1,33	0,89	5	130,6	653,0
30	Внутришлифовальный станок	18,7	0,25	0,60	1,33	0,89	5	53,2	266,0
31	Координатно расточной станок	21,2	0,25	0,60	1,33	0,89	5	60,3	301,6
32	Полировально- шлифовальный станок	18,5	0,25	0,60	1,33	0,89	5	52,6	263,2
33	Радиально-сверлильный станок	17,9	0,25	0,60	1,33	0,89	5	50,9	254,6
34	Плоскопрофилешлифовальный	56,8	0,25	0,60	1,33	0,89	5	161,6	808,0
35	Профилешлифовальный станок	11,5	0,25	0,60	1,33	0,89	5	32,7	163,6
36	Токарно карусельный станок	56,8	0,25	0,60	1,33	0,89	5	161,6	808,0
37	Плоскошлифовальный станок	16,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	45,5	227,6
38	Бесцентрошлифовальный станок	13,6	0,25	0,60	1,33	0,89	5	38,7	193,5
39	Кран-балка ПВ = 40%	31,0	0,10	0,50	1,73	0,89	5	105,8	529,2
40	Вентилятор	10,0	0,75	0,80	0,75	0,90	7	21,1	147,7
41	Зубообкатной станок	13,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	37,0	184,9
42	Зубошлифовальный станок	7,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	19,9	99,6
43	Зубострогальный станок	13,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	37,0	184,9
44	Зубострогальный станок	13,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	37,0	184,9
45	Зубофрезерный станок	16,7	0,25	0,60	1,33	0,89	5	47,5	237,6
46	Зубофрезерный станок	18,2	0,25	0,60	1,33	0,89	5	51,8	258,9
47	Точильно-шлифовальный станок	5,3	0,25	0,60	1,33	0,89	5	15,1	75,4
48	Правильное устройство	20,0	0,50	0,50	1,73	0,89	5	68,3	341,4
49	Вертикально-сверлильный станок	4,1	0,25	0,60	1,33	0,89	5	11,7	58,3
50	Насовочный автомат	2,2	0,50	0,50	1,73	0,89	5	7,5	37,6

окончание таблицы 1.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
51	Станок для заточки пил	2,8	0,25	0,60	1,33	0,89	5	8,0	39,8
52	Печь	25,0	0,80	0,80	0,75	1	–	47,5	–
53	Пресс	18,0	0,35	0,65	1,17	0,89	5	47,3	236,4
54	Пресс формировки муфт	15,0	0,35	0,65	1,17	0,89	5	39,4	197,0
55	Сварочный полуавтомат ПВ = 60%	12,6	0,30	0,60	1,33	0,95	3	33,6	100,8
56	Универсально заточной станок	2,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	5,7	28,5
57	Труборез	5,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	14,2	71,1
58	Наждак	4,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	11,4	56,9
59	Молот ковочный	16,4	0,25	0,65	1,17	0,90	5	42,6	213,0
60	Универсально-заточной станок	2,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	5,7	28,5
61	Наждак	4,0	0,25	0,60	1,33	0,89	5	11,4	56,9
62	Многоцелевой модуль	15,0	0,50	0,50	1,73	0,89	5	51,2	256,1
63	Печь	16,3	0,80	0,80	0,75	1	–	31,0	–
64	Ножовочный полуавтомат	2,1	0,25	0,60	1,33	0,89	5	6,0	29,9
65	Вентилятор	28,0	0,75	0,80	0,75	0,90	7	59,1	413,6
66	Вентилятор	38,0	0,75	0,80	0,75	0,90	7	80,2	561,3
67	Вентилятор	28,0	0,75	0,80	0,75	0,90	7	59,1	413,6

План цеха с расположением электрического оборудования представлен в приложении 13.

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ

### РЕМОНТНОГО ЦЕХА

#### 2.1 Распределение приёмников по пунктам питания

Распределение электроприемников по пунктам питания осуществляется путём подключения группы электроприёмников к соответствующему распределительному пункту ПР.

Распределительные пункты устанавливаются по возможности в центре электрических нагрузок, подключенных к нему, чтобы расстояния до электроприемников было минимально. Это позволит избежать большой протяженности кабельных линий, и сократить потери в них.

Питание отдельных электроприемников и распределительных пунктов осуществляем по радиальным линиям, проложенным открыто на лотках по стенам. Принятая схема обеспечивает требуемую степень надежности питания приемников и требуемую по технологическим условиям гибкость и универсальность сети в отношении присоединения новых приемников и перемещения приемников по площади цеха.

В качестве РП принимаем распределительные пункты марки ПР11-7123. Данный РП рассчитан на количество отходящих линий до двенадцати штук.

В приложении 13 изображен план цеха с расположением ПР и питаемых от них электроприемников.

#### 2.2 Определение расчетной нагрузки цеха

Для правильного выбора сечений линий, коммутационных и защитных аппаратов произведем расчет электрических нагрузок рассматриваемого цеха. Для этого воспользуемся методом коэффициента максимума.

Паспортные мощности электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы (ПКР) приводятся к ПВ = 100%, то есть к номинальной установленной мощности.

Сварочный полуавтомат ПВ = 60%

$$P_{\text{НОМ}} = P \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 29,3 \cdot \sqrt{0,6} = 22,696 \text{ кВт.}$$

Сварочный полуавтомат ПВ = 60%

$$P_{\text{НОМ}} = P \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 12,6 \cdot \sqrt{0,6} = 9,760 \text{ кВт.}$$

Кран-балка ПВ = 25%

$$P_{\text{НОМ}} = P \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 31,0 \cdot \sqrt{0,25} = 15,500 \text{ кВт.}$$

Для каждой группы определяется суммарная номинальная мощность (на примере группы «А» ПР3)

$$P_{\text{НОМ.}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i} = 120,2 + 23,8 + 20,0 = 164,0 \text{ кВт.}$$

Коэффициент использования  $K_u$ ,  $\cos\phi$ ,  $\text{tg}\phi$  для каждого электроприемника или группы электроприемников определяется по справочным данным [1, стр. 19, табл. 1.7].

Средняя активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену для электроприемников (на примере станков)

$$P_{\text{см}} = K_u \cdot P_{\text{ном.}\Sigma} = 0,25 \cdot 120,2 = 30,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 30,1 \cdot 1,33 = 40,1 \text{ кВАр},$$

где  $P_{\text{ном}}$  – суммарная номинальная активная мощность электроприемников;

$K_u$  – коэффициент использования активной мощности;

$\text{tg}\varphi$  – принимается по соответствующему значению коэффициента мощности.

Для каждой группы приемников подводится итог по среднесменной активной и реактивной нагрузке для всей группы (на примере группы «А»)

$$P_{\text{см}}^{\text{А}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{см.}i} = 30,1 + 8,3 + 10,0 = 48,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}}^{\text{А}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{см.}i} = 40,1 + 9,7 + 17,3 = 67,1 \text{ кВАр},$$

Диапазон величины модуля силовой сборки

$$m = \frac{P_{\text{ном.max}}}{P_{\text{ном.min}}} = \frac{45,9}{5,8} = 7,9 > 3.$$

Определение средневзвешенного коэффициента использования по группе

$$K_{u.\text{ср}} = \frac{P_{\text{см}}^{\text{А}}}{P_{\text{ном.}\Sigma}} = \frac{48,4}{164,0} = 0,30.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{см}}^{\text{А}}}{P_{\text{см}}^{\text{А}}} = \frac{67,1}{48,4} = 1,39.$$

Для приемников группы «А» определим эффективное число электроприемников

$$n_{\text{э}} = \frac{[P_{\text{ном.}\Sigma}]^2}{\sum P_{\text{ном}}^2} = \frac{164,0^2}{4259,3} = 6,3 \text{ шт} \quad \text{принимаем } n_{\text{э}} = 6 \text{ шт}$$

Коэффициент максимума активной мощности [2, стр. 28, табл. 2.1]

$$K_{\text{м}} = 1,95.$$

Коэффициент максимума реактивной мощности

$$K'_{\text{м}} = 1,1.$$

Расчетная активная и реактивная максимальные мощности пункта

$$P_{\text{м}}^{\text{А}} = K_{\text{м}} \cdot P_{\text{см}}^{\text{А}} = 1,95 \cdot 48,4 = 94,2 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{м}}^{\text{А}} = K'_{\text{м}} \cdot Q_{\text{см}}^{\text{А}} = 1,1 \cdot 67,1 = 73,8 \text{ кВАр}.$$

Для электроприемников группы «Б» с практически постоянным графиком нагрузки расчетная активная и реактивная мощность принимается равной средней за наиболее загруженную смену

$$P_{\text{м}}^{\text{Б}} = P_{\text{см}}^{\text{Б}} = 8,3 \text{ кВт}, \quad Q_{\text{м}}^{\text{Б}} = Q_{\text{см}}^{\text{Б}} = 6,2 \text{ кВАр}.$$

Определяем активную, реактивную и полную максимальные мощности электроприемников пункта

$$P_{\text{м}} = P_{\text{м}}^{\text{А}} + P_{\text{м}}^{\text{Б}} = 94,2 + 8,3 = 102,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{м}}^{\text{А}} + Q_{\text{м}}^{\text{Б}} = 73,8 + 6,2 = 80 \text{ кВАр},$$

$$S_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2} = \sqrt{102,4^2 + 80,0^2} = 130,0 \text{ кВА}.$$

Определение расчётного тока пункта

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{130,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 197,5 \text{ А,}$$

где  $U_{НОМ}$  – номинальное напряжение электроприемников, В.

Номинальная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по удельной плотности осветительной нагрузки и площади цеха

$$P_{НОМ.О} = P_{уд.О} \cdot F_{ц} = 0,016 \cdot 1296 = 20,7 \text{ кВт,}$$

где  $F_{ц}$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>;

$P_{уд.О}$  – удельная плотность осветительной нагрузки [1, стр. 22, табл. 1.11], кВт/м<sup>2</sup>.

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{расч.О} = K_{СО} \cdot P_{НОМ.О} = 0,95 \cdot 20,7 = 19,7 \text{ кВт,}$$

где  $K_{СО}$  – коэффициент спроса для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов [1, стр. 22, табл. 1.10].

Определение расчётной нагрузки цеха с учетом освещения

$$S_M = \sqrt{(P_M + P_{расч.О})^2 + Q_M^2} = \sqrt{(592,9 + 19,7)^2 + 451,0^2} = 760,7 \text{ кВА.}$$

Определение расчётного тока цеха

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{760,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1155,7 \text{ А,}$$

где  $U_{НОМ}$  – номинальное напряжение электроприемников, В.

Определение пикового тока цеха

Номинальный ток самого мощного электроприемника (плоскопрофилешлифовальный станок)

$$I_{НОМ}^{max} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{56,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,60 \cdot 0,89} = 161,6 \text{ А,}$$

где  $P_{НОМ}$  – номинальная активная мощность электроприемника, кВт;

$\eta$  – КПД электроприемника.

Пусковой ток самого мощного электроприемника

$$I_{ПУСК}^{max} = K_{ПУСК} \cdot I_{НОМ}^{max} = 5 \cdot 161,6 = 808,1 \text{ А,}$$

где  $K_{ПУСК}$  – кратность пускового тока.

Пиковый ток цеха

$$I_{ПИК.Ц} = I_{ПУСК}^{max} + (I_M - K_{и.маx} \cdot I_{НОМ}^{max}) = 808,0 + (1155,7 - 0,25 \cdot 161,6) = 1923,4 \text{ А,}$$

где  $K_{и.маx}$  – коэффициент использования самого мощного электроприемника.

Табличный расчет нагрузки цеха приведен в приложении 1.

### 3 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

#### 3.1 Определение расчетной нагрузки предприятия

Расчет электрических нагрузок предприятия производится по установленной мощности и коэффициенту спроса [3].

Расчетная нагрузка (активная и реактивная) силовых приемников цехов (кроме рассмотренного) определяются из соотношений

$$P_p = K_c \cdot P_{уст}, \quad Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

где  $P_p$ ,  $Q_p$  – суммарные активная и реактивная мощности всех приемников цеха;

$K_c$  – коэффициент спроса [1, стр. 13, табл. 1.6];

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

Расчет осветительной нагрузки цехов идентичен расчету осветительной нагрузки рассчитанного цеха.

Расчетная активная мощность групп приемников выше 1000 В определяется по выше приведенным формулам и учитываются отдельно.

Результаты расчетов располагаются в приложении 2.

Пример расчета (Прессово-кузнечный цех).

$$P_{уст} = 2500,0 \text{ кВт}; \quad K_c = 0,65; \quad \cos\varphi = 0,70; \quad \operatorname{tg}\varphi = 1,02.$$

Расчетные активная и реактивная мощности корпуса

$$P_p = K_c \cdot P_{уст} = 0,65 \cdot 2500,0 = 1625,0 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 1625,0 \cdot 1,02 = 1657,8 \text{ кВАр}.$$

Номинальная нагрузка осветительных приемников корпуса определяется по удельной плотности осветительной нагрузки и площади цеха

$$P_{ном.о} = P_{уд.о} \cdot F_{ц} = 0,016 \cdot 6485 = 103,8 \text{ кВт},$$

где  $F_{ц}$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>;

$P_{уд.о}$  – удельная плотность осветительной нагрузки [1, стр. 22, табл. 1.11], кВт/м<sup>2</sup>.

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по номинальной мощности и коэффициенту спроса

$$P_{расч.о} = K_{со} \cdot P_{ном.о} = 0,95 \cdot 103,8 = 98,6 \text{ кВт},$$

где  $K_{со}$  – коэффициент спроса [1, стр. 22, табл. 1.10].

Полная максимальная мощность корпуса

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{расч.о})^2 + Q_p^2} = \sqrt{(1625,0 + 98,6)^2 + 1657,8^2} = 2391,5 \text{ кВА}.$$

Для удобства вынесем отдельно результаты расчетов

ЭП до 1000 В

ЭП выше 1000 В

$$\sum P_p^H = 5298,6 \text{ кВт},$$

$$\sum P_p^B = 409,5 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_p^H = 4725,2 \text{ кВАр},$$

$$\sum Q_p^B = 0,0 \text{ кВАр}$$

$$\sum P_{расч.о} = 1064,2 \text{ кВт},$$

Полная мощность нагрузки предприятия на шинах напряжением до 1000 В за максимально загруженную смену

$$S_p^H = \sqrt{(\sum P_p^H + \sum P_{\text{расч.о}})^2 + (\sum Q_p^H)^2} = \sqrt{(5298,6 + 1064,2)^2 + 4725,2^2} = 7925,4 \text{кВа.}$$

Так как трансформаторы цеховых подстанций и высоковольтная сеть еще не выбраны, то приближенно потери мощности в них можно определить из выражений [3, стр. 32]

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{тр}} &= 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 7925,4 = 158,5 \text{кВт}, \\ \Delta Q_{\text{тр}} &= 0,10 \cdot S_p^H = 0,10 \cdot 7925,4 = 792,5 \text{кВАр}, \\ \Delta P_{\text{л}} &= 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 7925,4 = 237,8 \text{кВт},\end{aligned}$$

где  $\Delta P_{\text{тр}}$  – потери активной мощности в цеховых трансформаторах, кВт;

$\Delta Q_{\text{тр}}$  – потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах, кВАр;

$\Delta P_{\text{л}}$  – потери активной мощности в линиях, кВт.

Суммарные расчетные активная, реактивная и полная мощности с учетом потерь в линиях и цеховых трансформаторах

$$P_{p\Sigma} = (\sum P_p^H + \sum P_p^B) \cdot K_{p.m} + P_{\text{расч.о}} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{л}} = (5298,6 + 409,5) \cdot 0,95 + 1064,2 + 158,5 + 237,8 = 6883,1 \text{кВт},$$

$$Q_{p\Sigma} = (\sum Q_p^H + \sum Q_p^B) \cdot K_{p.m} + \Delta Q_{\text{тр}} = (4725,2 + 0,0) \cdot 0,95 + 792,5 = 5281,5 \text{кВАр},$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_{p\Sigma})^2 + (Q_{p\Sigma})^2} = \sqrt{6883,1^2 + 5281,5^2} = 8675,9 \text{кВА.}$$

где  $K_{p.m}$  – коэффициент одновременности максимумов нагрузки [3, стр. 35].

Приблизительные потери мощности в трансформаторах ГПП

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{тр.ГПП}} &= 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 8675,9 = 173,5 \text{кВт}, \\ \Delta Q_{\text{тр.ГПП}} &= 0,10 \cdot S_{p\Sigma} = 0,10 \cdot 8675,9 = 867,6 \text{кВАр},\end{aligned}$$

где  $\Delta P_{\text{тр.ГПП}}$  – потери активной мощности в трансформаторах ГПП, кВт;

$\Delta Q_{\text{тр.ГПП}}$  – потери реактивной мощности в трансформаторах ГПП, кВАр.

Определяем полную расчетную мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП

$$\begin{aligned}S_p &= \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{\text{тр.ГПП}})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{\text{тр.ГПП}})^2} = \\ &= \sqrt{(6883,1 + 173,1)^2 + (5281,5 + 867,6)^2} = \sqrt{7056,6^2 + 6149,1^2} = 9359,9 \text{кВА.}\end{aligned}$$

Т.о., произведен расчет нагрузки предприятия без учета компенсации реактивной мощности.

Чтобы учесть компенсацию реактивной мощности необходимо определиться с уровнем напряжения питающих линий.

При выборе напряжения питающей линии ГПП используются следующие рекомендации [5, стр. 46]:

–напряжение 35 кВ имеет экономические преимущества при передаваемой мощности не более 10 МВА;

–напряжение 110 кВ целесообразно применять при потребляемой предприятием мощности 10 – 120 МВА;

–при мощностях, превышающих 120 – 150 МВА, для электроснабжения предприятия возможно применение напряжения 220 кВ.

Для определения экономически целесообразной величины напряжения питающей линии ГПП воспользуемся формулой Илларионова

$$U_{\text{эк}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{10,0} + \frac{2500}{7,057}}} = 49,7 \text{кВ},$$

где  $L$  – длина питающей линии, км;

$U_{\text{эк}}$  – экономическое напряжение рассматриваемого участка, кВ.

С учетом рекомендаций принимаем к рассмотрению напряжение питающих линий

$$U_{\text{ном}} = 35 \text{кВ}$$

Реактивная мощность, передаваемая в сеть предприятия от системы

$$Q_3 = \alpha \cdot P_p = 0,24 \cdot 7056,6 = 1693,6 \text{кВАр},$$

где  $\alpha$  – расчетный коэффициент, соответствующий средним условиям передачи реактивной мощности по сетям системы [3, стр. 35].

Приблизительное значение мощности компенсирующих устройств

$$Q_{\text{ку}} = Q_p - Q_3 = 6149,1 - 1693,6 = 4455,5 \text{кВАр}.$$

Полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП с учетом компенсации реактивной мощности

$$S_{\text{р,ГПП}} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{ку}})^2} = \sqrt{7056,6^2 + (6149,1 - 4455,5)^2} = \sqrt{7056,6^2 + 1693,6^2} = 7257,0 \text{кВА}.$$

В дальнейшем, после точного определения мощности компенсирующих устройств будет определено более точное значение полной расчетной мощности предприятия.

### 3.2 Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Для определения места расположения ГПП, на генплане предприятия наносится картограмма электрических нагрузок. Картограмма нагрузок представляет собой размещенные на генплане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определенном масштабе соответствуют расчетным нагрузкам цехов. Силовые нагрузки до и выше 1000 В изображаются отдельными кругами.

Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В.

На генплан предприятия произвольно наносятся оси координат и определяются значения  $x_i$  и  $y_i$  для каждого цеха.

Пример расчета (Прессово-кузнечный цех).

$$S_p = 2391,5 \text{кВА}, \quad P_{\text{р,о}} = 98,6 \text{кВт}, \quad x = 70,5 \text{мм} \quad y = 123,0 \text{мм}$$

Радиус окружности для силовой нагрузки корпуса

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{2391,5}{3,14 \cdot 0,550}} = 37,2 \text{мм}$$

где  $S_{\text{р,и}}$  – расчетная полная мощность  $i$ -того цеха с учетом освещения, кВА;

$m$  – масштаб для определения площади круга нагрузки до 1000 В, кВА/мм<sup>2</sup>;

$m$  – масштаб для определения площади круга нагрузки выше 1000 В, кВА/мм<sup>2</sup>;



Угол сектора нагрузки освещения корпуса

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o}}{S_p} = \frac{360^\circ \cdot 98,6}{2391,5} = 14,8 \text{ град.}$$

Тогда

$$S_p \cdot x = 2391,5 \cdot 70,5 = 168598,3 \text{кВА} \cdot \text{мм},$$

$$S_p \cdot y = 2391,5 \cdot 123,0 = 294150,2 \text{кВА} \cdot \text{мм}.$$

Результаты расчетов располагаются в приложении 3.

Координаты центра электрических нагрузок предприятия

$$x_0 = \frac{\sum(S_{p.i} \cdot x_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{1048628,0}{8382,1} = 125,1 \text{ мм},$$

$$y_0 = \frac{\sum(S_{p.i} \cdot y_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{1199891,4}{8382,1} = 143,1 \text{ мм}.$$

Так как ЦЭН попал в зону расположения цехов, то расположение ГПП смещается в сторону открытой площадки. Тогда новые координаты ЦЭН будут

$$x_0 = 147,6 \text{мм}, \quad y_0 = 161,2 \text{мм}.$$

Картограмма нагрузок приведена в приложении 11.

### 3.3 Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

При установке на крупных промышленных предприятиях группы цеховых трансформаторов их номинальная мощность определяется плотностью нагрузки и выбирается, одинаковой для всей группы. Удельная плотность нагрузки [2, стр. 82, табл. 5.1]

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{ц}} = \frac{7925,4}{67527,0} = 0,117 \text{ кВА/М}^2; \text{ принимаем } S_{\text{ном.тр}} = 1000 \text{ кВА}.$$

Таблица 3.1 – Данные по трансформаторам [1, стр. 157, табл. 7.3]

<i>Tun</i>	<i>S<sub>ном</sub></i> , <i>МВА</i>	<i>U<sub>вн</sub></i> , <i>кВ</i>	<i>U<sub>нн</sub></i> , <i>кВ</i>	<i>P<sub>хх</sub></i> , <i>кВт</i>	<i>Q<sub>хх</sub></i> , <i>кВАр</i>	<i>P<sub>кз</sub></i> , <i>кВт</i>	<i>Q<sub>кз</sub></i> , <i>кВАр</i>	<i>U<sub>к</sub></i> , <i>%</i>	<i>I<sub>хх</sub></i> , <i>%</i>
ТМ-1000/10	1,00	10,0	0,4	2,45	14,0	12,2	55,0	5,5	1,40

Минимальное число цеховых трансформаторов

$$n_{\text{тр.0}} = \frac{\sum(P_p^H + P_{p.o})}{\beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{6362,7}{0,7 \cdot 1000} = 9,09 \text{ шт}, \text{ принимаем } n_{\text{тр}} = 10 \text{ шт}.$$

Активная нагрузка на один трансформатор

$$P_1 = \frac{\sum(P_p^H + P_{p.o})}{n_{\text{тр}}} = \frac{6362,7}{10} = 636,3 \text{ кВт}.$$

Число трансформаторов для установки в цехах предприятия (корпус №1)

$$n_{\text{тр.i}} = \frac{\sum(P_p^H + P_{p.o})}{P_1} = \frac{1723,6}{636,3} = 2,709 \text{ шт}.$$

Нагрузки цехов объединяются таким образом, чтобы трансформаторные подстанции были загружены оптимально, а количество трансформаторов было в пределах расчетного числа трансформаторов.

Результаты расчетов располагаются в приложении 4.

На основании расчетов и группирований нагрузок на генплане предприятия производим расстановку цеховых трансформаторных подстанций, приложение 10.

### 3.4 Компенсация реактивной мощности

При выборе средств компенсации реактивной мощности решающее значение имеет количество установленных трансформаторов, наличие синхронных и асинхронных двигателей и нагрузки со стороны напряжения выше 1000 В.

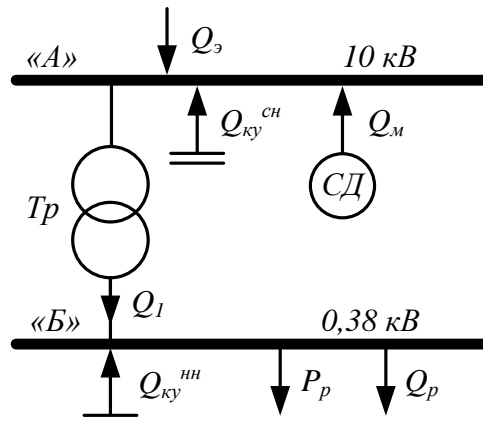


Рисунок 3.1 – Схема распределения реактивной мощности

На данном предприятии имеется синхронная высоковольтная нагрузка. Принимаем к рассмотрению двигатели типа СТД с параметрами [5, стр. 172, табл. П7.3.]

- номинальная напряжение двигателя  $U_{\text{ном}}=10\text{кВ}$ ;
- номинальная активная мощность  $P_{\text{СД}}=315\text{ кВт}$ ;
- номинальная реактивная мощность  $Q_{\text{СД}}=158\text{кВАр}$ ;
- КПД  $\eta=96,17\%$ ;
- коэффициент  $D_1=2,22\text{кВт}$ ;
- коэффициент  $D_2=2,95\text{ кВт}$ ;
- число двигателей  $n_{\text{СД}}=2$ .

Коэффициент загрузки синхронных двигателей по активной мощности

$$\beta_{\text{СД}} = \frac{P_{\text{синх}}}{P_{\text{СД}} \cdot n_{\text{СД}}} = \frac{630,0}{315 \cdot 2} = 1,00,$$

где  $P_{\text{синх}}$  – синхронная нагрузка на стороне ВН, кВт.

Напряжение на зажимах синхронного двигателя

$$U_{\text{СД}} = \frac{U_{\text{ном}}^{\text{СД}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{10,0}{10,0} = 1,00.$$

Наибольшая допустимая перегрузка двигателя по реактивной мощности [5, стр. 173, табл. П7.5.]

$$\alpha_{\text{м}} = 1,23.$$

Суммарная располагаемая реактивная мощность двигателей

$$Q_{\text{м}} = \frac{n_{\text{СД}} \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot Q_{\text{СД}}}{\eta} = \frac{2 \cdot 1,23 \cdot 158 \cdot 100}{96,17} = 402,9\text{ кВАр}.$$

Наибольшая реактивная мощность, которая может быть передана со стороны сети выше 1000 В в сеть до 1000 В

$$Q_1 = \sqrt{(N_{\text{тр}} \cdot \beta \cdot S_{\text{ном.тр}})^2 - (P_{\text{р.н}} + P_{\text{р.о}})^2} = \sqrt{(10 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 6362,7^2} \\ = 2918,1\text{кВАр}.$$

Баланс реактивной мощности в узле «А»

$$Q_A = Q_3 + Q_M - Q_1 = 1693,6 + 402,9 - 2918,1 = -821,6 \text{кВАр.}$$

Мощность конденсаторных установок на напряжении выше 1000 В

$$Q_{\text{ку.расч}}^{\text{СН}} = Q_1 - Q_3 - Q_3 = 2918,1 - 402,9 - 1693,6 = 821,6 \text{кВАр.}$$

Намечаем установку комплектных конденсаторных установок типа УК-6,3(10,5)-300-У1с параметрами [5, стр. 167, табл. П6.2]:

–номинальное напряжение  $U_{\text{ном.ку}}=10,5\text{кВ}$ ;

–номинальная мощность  $Q_{\text{ном.ку}}=300\text{кВАр}$ ;

Полная реактивная мощность, генерируемая одной комплектной конденсаторной установкой

$$Q_{\text{ку}} = \left( \frac{U_{\text{ном}}^{\text{СН}}}{U_{\text{ном.ку}}} \right)^2 \cdot Q_{\text{ном.ку}} = \left( \frac{10}{10,5} \right)^2 \cdot 300 = 272,1 \text{кВАр.}$$

Необходимое количество комплектных конденсаторных установок для установки на стороне СН

$$n_{\text{ку.расч}} = \frac{Q_{\text{ку.расч}}^{\text{СН}}}{Q_{\text{ку}}} = \frac{821,6}{272,1} = 3,0 \text{шт} \quad \text{принимаем } n_{\text{ку}} = 3 \text{шт.}$$

Полная реактивная мощность, генерируемая комплектными конденсаторными установками

$$Q_{\text{ку}}^{\text{СН}} = Q_{\text{ку}} \cdot n_{\text{ку}} = 272,1 \cdot 3 = 816,3 \text{кВАр.}$$

Баланс реактивной мощности в узле «Б»

$$Q_B = Q_1 - Q_{\text{р.н}} = 2918,1 - 4725,2 = -1807,1 \text{кВАр.}$$

Мощность конденсаторных установок на напряжении 0,4 кВ

$$Q_{\text{ку.расч}}^{\text{НН}} = Q_{\text{р.н}} - Q_1 = 4725,2 - 2918,1 = 1807,1 \text{кВАр.}$$

Намечаем установку комплектных конденсаторных установок типа УКБ-0,38-450-У3 с параметрами [5, стр. 167, табл. П6.2]:

–номинальное напряжение  $U_{\text{ном.ку}}=0,38\text{кВ}$ ;

–номинальная мощность  $Q_{\text{ном.ку}}=450\text{кВАр}$ .

Полная реактивная мощность, генерируемая одной комплектной конденсаторной установкой

$$Q_{\text{ку}} = \left( \frac{U_{\text{ном}}^{\text{НН}}}{U_{\text{ном.ку}}} \right)^2 \cdot Q_{\text{ном.ку}} = \left( \frac{0,38}{0,38} \right)^2 \cdot 450 = 450 \text{кВАр.}$$

Необходимое количество комплектных конденсаторных установок для установки на стороне НН

$$n_{\text{ку.расч}} = \frac{Q_{\text{ку.расч}}^{\text{НН}}}{Q_{\text{ку}}} = \frac{1807,1}{450,0} = 4 \text{шт} \quad \text{принимаем } n_{\text{ку}} = 4 \text{шт.}$$

Полная реактивная мощность, генерируемая комплектными конденсаторными установками

$$Q_{\text{ку}}^{\text{НН}} = Q_{\text{ку}} \cdot n_{\text{ку}} = 450 \cdot 4 = 1800,0 \text{кВАр.}$$

Мощность, генерируемая синхронными двигателями

$$Q = Q_M = 402,9 \text{кВАр.}$$

Суммарная генерируемая мощность компенсирующих устройств

$$Q_{\text{ку}} = Q_{\text{ку}}^{\text{СН}} + Q_{\text{ку}}^{\text{НН}} + Q = 816,3 + 1800,0 + 402,9 = 3019,2 \text{кВАр.}$$

Полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП с учетом точного значения реактивной мощности компенсирующих устройств

$$S_{p,ГПП} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{кy})^2} = \sqrt{7056,6^2 + (6149,1 - 3019,2)^2}$$

$$= \sqrt{7056,6^2 + 3129,9^2} = 7719,6 \text{кВА.}$$

### 3.5 Составление схемы внешнего электроснабжения

Принимаем схему внешнего электроснабжения в виде двух блоков с выключателями и неавтоматической перемычкой. При нарушении в трансформаторе, сработает защита и подаст сигнал на отключение выключателя в цепях трансформатора на низкой и высокой стороне. Секционный выключатель низкой стороны подключит секцию, оставшуюся без напряжения. Разъединители в ремонтной перемычке нормально отключены. В случае вывода в ремонт трансформатора или выключателя в цепи трансформатора есть возможность оставить в работе обе питающие линии путем включения разъединителей перемычки. Причем сначала включается перемычка, а затем отключаются цепи трансформатора.

Произведем расчет капитальных затрат на сооружение схемы внешнего электроснабжения.

При расчетах рационально учитывать повышающий зональный коэффициент на базисную стоимость электроэнергетических объектов. Для Сибири данный коэффициент [6, стр. 279, табл. 7.2]

$$\gamma = 1,2.$$

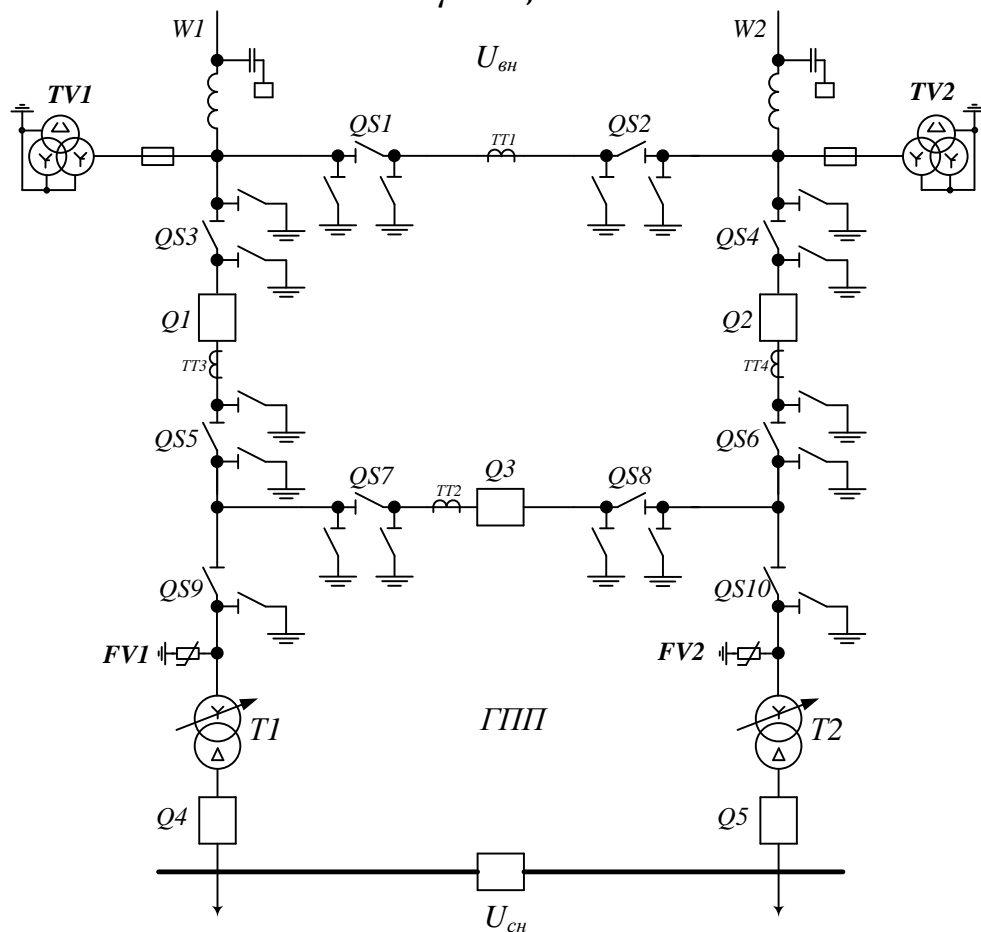


Рисунок 3.2 – Схема внешнего электроснабжения

Капитальные затраты на сооружение блочных и мостиковых схем указываются в целом с учетом затрат на выключатели, разъединители, отделители, короткозамыкатели, трансформаторы тока и напряжения, разрядники, аппаратуру управления, сигнализации, релейной защиты и автоматики, а так же строительные конструкции, фундаменты и соответствующие строительные-монтажные работы

$$K_{\text{сх}}^{\text{а}} = K_{\text{сх}} \cdot \gamma = 1749300,0 \cdot 1,2 = 2099160,0 \text{руб},$$

где  $K_{\text{сх}}$  – капитальные затраты на сооружение схемы [6, стр. 291, табл. 7.15.], руб.

Годовые эксплуатационные расходы

$$I_{\text{сх}}^{\text{а}} = K_{\text{сх}}^{\text{а}} \cdot (E_{\text{ам}} + E_{\text{об}}) = 2099160,0 \cdot (0,067 + 0,059) = 264494,2 \text{руб/год},$$

где  $E_{\text{ам}}$  – нормы ежегодных отчислений на амортизацию [6, стр. 258, табл. 6.1.];

$E_{\text{об}}$  – нормы ежегодных отчислений на обслуживание [6, стр. 258, табл. 6.2.].

Суммарные приведенные затраты

$$\begin{aligned} Z_{\text{сх}}^{\text{а}} &= K_{\text{сх}}^{\text{а}} \cdot (E_{\text{н}} + E_{\text{ам}} + E_{\text{об}}) = 2099160,0 \cdot (0,193 + 0,067 + 0,059) \\ &= 669632,0 \text{руб/год}, \end{aligned}$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений для силового оборудования [5, стр. 76].

### 3.6 Выбор мощности силовых трансформаторов на ГПП

Мощность трансформатора выберем с учетом известного суточного графика нагрузки предприятия, рисунок 3.3.

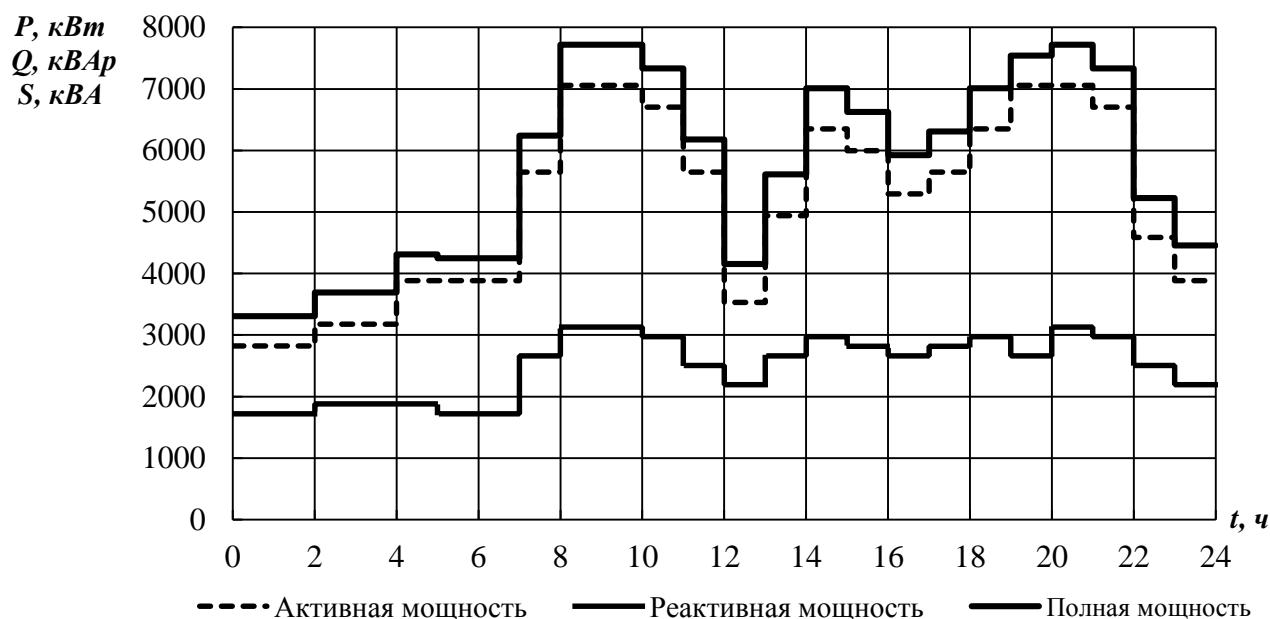


Рисунок 3.3 – Суточный график нагрузок предприятия

Из суточного графика можно определить

$$S_{\text{max}} = 7719,6 \text{кВА}.$$

Потребляемая за сутки активная и реактивная энергия

$$W = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i = 123138,2 \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad V = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot t_i = 59467,3 \text{кВАр} \cdot \text{ч}.$$

Средняя за сутки нагрузка предприятия

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{W^2 + V^2}}{24} = \frac{\sqrt{123138,2^2 + 59467,3^2}}{24} = 5697,7 \text{кВА}.$$

Суточный график активной нагрузки перестраиваем в годовой график нагрузок по продолжительности, рисунок 3.4.

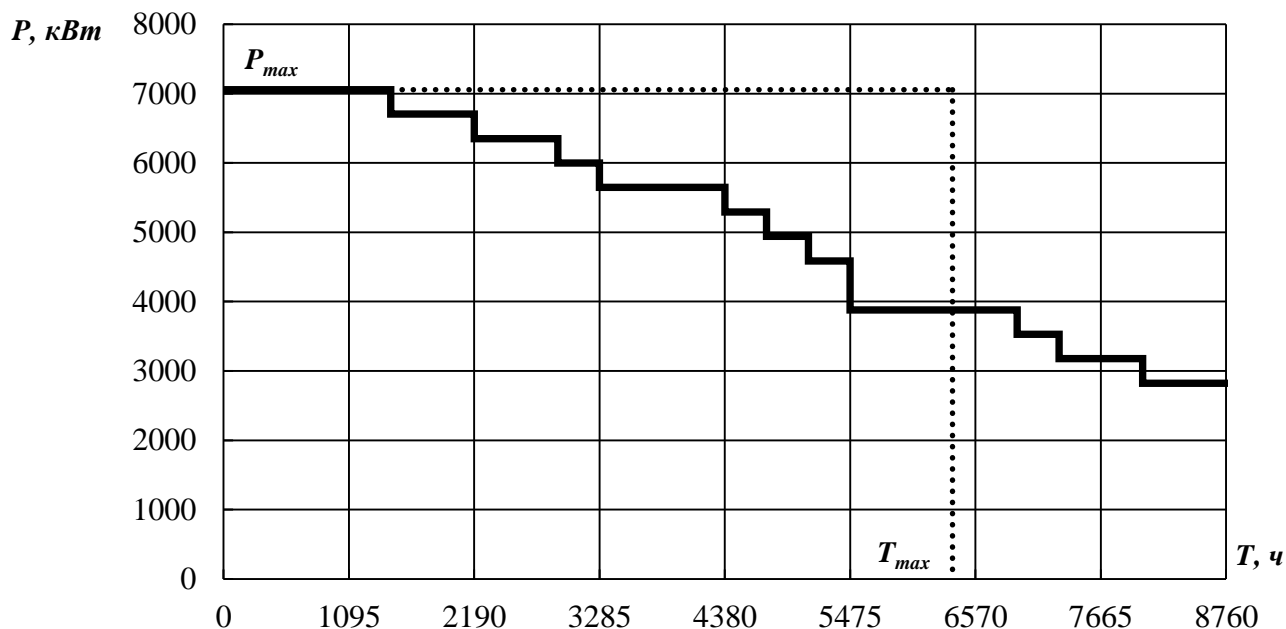


Рисунок 3.4 – Годовой график нагрузки по продолжительности  
Количество потребленной за год электрической энергии

$$W_{\text{год}} = 44945453,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Число часов использования максимальной нагрузки

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\text{max}}} = \frac{44945453,4}{7056,6} = 6369,3 \text{ ч}.$$

Время максимальных потерь

$$\tau_{\text{max}} = (0,124 + T_{\text{max}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 6369,3 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 5072,1 \text{ ч}.$$

Выбор трансформаторов по перегрузочной способности производится по продолжительности максимума нагрузки  $t_{\text{max}}$  и коэффициенту заполнения графика нагрузки  $k_{\text{зап.гр}}$ , который определяется по суточному графику нагрузки

$$k_{\text{зап.гр}} = \frac{S_{\text{ср}}}{S_{\text{max}}} = \frac{5697,7}{7719,6} = 0,74.$$

Продолжительность максимума нагрузки из суточного графика нагрузок предприятия

$$t_{\text{max}} = 4 \text{ ч}.$$

Кратность допустимой нагрузки трансформатора с учетом коэффициента заполнения графика и продолжительности максимума нагрузки [5, стр. 70, рис. 3.9.]

$$k_{\text{нагр}} = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном.тр}}} = 1,13.$$

Номинальная мощность трансформаторов

$$S_{\text{тр.расч}} = \frac{S_{\text{max}}}{k_{\text{нагр}}} = \frac{7719,6}{1,13} = 6831,5 \text{ кВА}.$$

Принимаем к установке на ГПП по два трансформатора мощностью

$$S_{\text{ном.тр}} = 6300 \text{ кВА}, \quad S_{\text{ном.тр}} = 10000 \text{ кВА},$$

1) Коэффициент загрузки

$$\beta = \frac{S_{\text{max}}}{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{7719,6}{2 \cdot 6300} = 0,61.$$

Проверяем установленную мощность трансформатора в послеаварийном режиме при отключении одного из трансформаторов

$$1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}} = 1,4 \cdot 6300 = 8820,0 \text{кВА} >$$

$$k_{I-II} \cdot S_{\text{max}} = 0,50 \cdot 7719,6 = 3823,5 \text{кВА.}$$

Следовательно, выбранная мощность трансформаторов обеспечивает электроснабжение предприятия как в нормальном, так и в послеаварийном режимах.

2) Коэффициент загрузки

$$\beta = \frac{S_{\text{max}}}{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{7719,6}{2 \cdot 10000} = 0,39.$$

Проверяем установленную мощность трансформатора в послеаварийном режиме при отключении одного из трансформаторов

$$1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}} = 1,4 \cdot 10000 = 14000,0 \text{кВа} >$$

$$k_{I-II} \cdot S_{\text{max}} = 0,50 \cdot 7719,6 = 3823,5 \text{кВа.}$$

Следовательно, выбранная мощность трансформаторов обеспечивает электроснабжение предприятия как в нормальном, так и в послеаварийном режимах.

Таблица 3.2 – Параметры трансформаторов [II, стр. 207, табл. 5.12], [II, стр. 209, табл. 5.13], [II, стр. 212, табл. 5.17]

<i>Tun</i>	<i>S<sub>ном</sub></i> , <i>MBA</i>	<i>U<sub>вн</sub></i> , <i>кВ</i>	<i>U<sub>нн</sub></i> , <i>кВ</i>	<i>P<sub>xx</sub></i> , <i>кВт</i>	<i>Q<sub>xx</sub></i> , <i>кВАр</i>	<i>P<sub>кз</sub></i> , <i>кВт</i>	<i>Q<sub>кз</sub></i> , <i>кВАр</i>	<i>U<sub>к</sub></i> , <i>%</i>	<i>I<sub>xx</sub></i> , <i>%</i>	<i>Цена</i> <i>руб</i>
<i>ТМН-6300/35</i>	6,3	35,0	11	9,2	56,7	46,5	472,5	7,5	0,90	3391500
<i>ТМН-10000/35</i>	10,0	36,75	10,5	14,5	80,0	65,0	750,0	7,5	0,80	3570000

### Трансформатор ТМН-6300/35

Приведенные потери мощности в трансформаторах

$$\Delta P'_{\text{xx}} = \Delta P_{\text{xx}} + k_{\text{эк}} \cdot \Delta Q_{\text{xx}} = 9,2 + 0,07 \cdot 56,7 = 13,2 \text{кВт},$$

$$\Delta P'_{\text{кз}} = \Delta P_{\text{кз}} + k_{\text{эк}} \cdot \Delta Q_{\text{кз}} = 46,5 + 0,07 \cdot 472,5 = 79,6 \text{кВт},$$

где  $k_{\text{эк}}$  – экономический эквивалент реактивной мощности, коэффициент, который учитывает потери активной мощности, связанные с производством и распределением 1 кВАр реактивной мощности, кВт/кВАр [8].

Полные потери мощности в двух трансформаторах

$$\Delta P_{\text{тр}}^{\text{a}} = n_{\text{тр}} \cdot (\Delta P'_{\text{xx}} + \beta^2 \cdot \Delta P'_{\text{кз}}) = 2 \cdot (13,2 + 0,61^2 \cdot 79,6) = 86,1 \text{кВт}.$$

Потери активной энергии

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{тр}}^{\text{a}} &= n_{\text{тр}} \cdot (\Delta P'_{\text{xx}} \cdot t_{\text{год}} + \beta^2 \cdot \Delta P'_{\text{кз}} \cdot \tau_{\text{max}}) \\ &= 2 \cdot (13,2 \cdot 8760 + 0,61^2 \cdot 79,6 \cdot 5072,1) = 533720,3 \text{кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Стоимость годовых потерь электроэнергии в трансформаторах

$$\Delta C_{\text{тр}}^{\text{a}} = \Delta W_{\text{тр}}^{\text{a}} \cdot \Delta C_{\text{э}} = 533720,3 \cdot 0,216 = 115224,9 \text{руб},$$

где  $\Delta C_{\text{э}}$  – стоимость одного кВт·ч электроэнергии, руб/(кВт·ч).

Капитальные затраты на установку трансформаторов

$$K_{\text{тр}}^{\text{a}} = K_{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр}} \cdot \gamma = 3391500 \cdot 2 \cdot 1,2 = 8139600,0 \text{руб}.$$

где  $K_{\text{тр}}$  – капитальные затраты на установку одного трансформатора [6, стр. 293, табл. 7.17.], руб.

Годовые эксплуатационные расходы

$$I_{\text{тр}}^a = K_{\text{тр}}^a \cdot (E_{\text{ам}} + E_{\text{об}}) + \Delta C_{\text{тр}}^a = 8139600,0 \cdot (0,067 + 0,059) + 115224,9 = 1140814,5 \text{руб/год},$$

где  $E_{\text{ам}}$  – нормы ежегодных отчислений на амортизацию [6, стр. 258, табл. 6.1.];  
 $E_{\text{об}}$  – нормы ежегодных отчислений на обслуживание [6, стр. 258, табл. 6.2.].

Суммарные приведенные затраты

$$Z_{\text{тр}}^a = K_{\text{тр}}^a \cdot (E_{\text{н}} + E_{\text{ам}} + E_{\text{об}}) + \Delta C_{\text{тр}}^a = 8139600,0 \cdot (0,193 + 0,067 + 0,059) + 115224,9 = 2711757,3 \text{руб/год},$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений для силового оборудования [5, стр. 76].

Расчет по другим трансформаторам сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Определение суммарных приведенных затрат на установку силового оборудования

$U_{\text{ном}},$ кВ	Тр-тор	$\Delta P_{\text{кз}},$ кВт	$\Delta P_{\text{хх}},$ кВт	$\beta$	$K_{\text{тр}},$ руб	$C_{\text{пот}},$ руб/год	$C_{\text{ам}},$ руб/год	$C_{\text{об}},$ руб/год	$Z_{\text{тр}},$ руб/год
35	ТМН-6300/35	79,6	13,2	0,61	8139600,0	115224,9	545353,2	480236,4	2711757,3
	ТМН-10000/35	117,5	20,1	0,39	8568000,0	114363,0	574056,0	505512,0	2847555,0

### 3.7 Выбор сечения линии, питающей ГПП

Выбор сечения линии производится для двух видов трансформаторов с последующим технико-экономическим сравнением двух вариантов.

Выбор сечения провода проводится по экономической плотности тока.

#### ВЛЭП 35 кВ, трансформаторы ТМН–6300/35

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр.ГПП}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 103,9 \text{А}.$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр.ГПП}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 6300}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 207,8 \text{А}.$$

Экономическое сечение

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{ЭК}}} = \frac{103,9}{1,0} = 103,9 \text{мм}^2,$$

где  $j_{\text{ЭК}}$  – нормированное значение экономической плотности тока с учетом числа часов использования максимальной нагрузки [6, стр. 78, табл. 3.12], А/мм<sup>2</sup>.

Из стандартного ряда сечений принимаем сталеалюминевый провод АС 120/19 с  $I_{\text{доп}}=309 \text{А}$  [6, стр. 82, табл. 3.15.]

–Проверка по перегрузочной способности (в послеаварийном режиме при отключении одной из питающих линий)

$$I_{\text{расч.п/ав}} < 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 390 = 507,0 \text{А}.$$

Проверка выполняется

–Проверка по условию механической прочности: согласно ПУЭ, воздушные линии напряжением 35 кВ и выше, сооружаемые на двухцепных опорах с применением сталеалюминевых проводов, должны иметь сечение не менее 120 мм<sup>2</sup>. Таким образом, проверка выполняется.

–Проверка по допустимой потере напряжения



$$L_{\text{доп}} < L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{расч}}} = 2,05 \cdot 5 \cdot \frac{390}{103,9} = 38,5 \text{ км} > L_{\text{факт}} = 10,0 \text{ км},$$

где  $\Delta U_{\text{доп}}$  – допустимое значение потери напряжения;

$L_{\text{доп}}$  – допустимая длина питающей линии, км;

$L_{\text{факт}}$  – фактическая длина питающей линии, км;

$L_{\Delta U 1\%}$  – длина линии при полной загрузке, на которой потеря напряжения равна 1%, [3, стр. 89, табл. П.2.7].

– Проверка на корону: при номинальном напряжении 35 кВ не производится.  
Потери активной энергии

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{лэп}}^a &= n_{\text{ц}} \cdot \Delta p_{\text{уд}} \cdot k_3^2 \cdot L \cdot \tau_{\text{max}} = n_{\text{ц}} \cdot \Delta p_{\text{уд}} \cdot \left( \frac{I_{\text{расч}}}{I_{\text{доп}}} \right)^2 \cdot L \cdot \tau_{\text{max}} \\ &= 2 \cdot 140 \cdot \left( \frac{103,9}{390} \right)^2 \cdot 10,0 \cdot 5072,1 = 1008417,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \end{aligned}$$

где  $k_3$  – коэффициент загрузки линии по току;

$\Delta p_{\text{уд}}$  – удельные потери в линии при номинальной загрузке [3, стр. 89, табл. П.2.7], кВт/км.

Стоимость годовых потерь электроэнергии в линии

$$\Delta C_{\text{лэп}}^a = \Delta W_{\text{лэп}}^a \cdot \Delta C_{\text{э}} = 1008417,5 \cdot 0,216 = 217707,3 \text{ руб},$$

где  $\Delta C_{\text{э}}$  – стоимость одного кВт·ч электроэнергии, руб/(кВт·ч).

Капитальные затраты на сооружение линии

$$K_{\text{лэп}}^a = K_{\text{лэп}} \cdot L \cdot \gamma = 1999200 \cdot 10,0 \cdot 1,2 = 23990400,0 \text{ руб},$$

где  $K_{\text{лэп}}$  – капитальные затраты на строительство одного километра ВЛЭП, для двухцепной линии на стальных опорах, для I района по гололеду [6, стр. 282, табл. 7,5.], руб.

Годовые эксплуатационные расходы

$$\begin{aligned} I_{\text{лэп}}^a &= K_{\text{лэп}}^a \cdot (E_{\text{ам}} + E_{\text{об}}) + \Delta C_{\text{лэп}}^a = 23990400,0 \cdot (0,100 + 0,008) + 217707,3 \\ &= 2808670,5 \text{ руб/год}, \end{aligned}$$

где  $E_{\text{ам}}$  – нормы ежегодных отчислений на амортизацию [6, стр. 258, табл. 6.1.];

$E_{\text{об}}$  – нормы ежегодных отчислений на обслуживание [6, стр. 258, табл. 6.2.].

Суммарные приведенные затраты

$$Z_{\text{лэп}}^a = K_{\text{лэп}}^a \cdot (E_{\text{н}} + E_{\text{ам}} + E_{\text{об}}) + \Delta C_{\text{лэп}}^a = 23990400,0 \cdot (0,152 + 0,100 + 0,008) + 217707,3 = 6455211,3 \text{ руб/год},$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений для линий электропередачи [5, стр. 76].

Расчет по другим ЛЭП сведем в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Определение суммарных приведенных затрат на сооружение ЛЭП, питающих ГПП

$U_{ном},$ кВ	Тр-тор	Сечение мм <sup>2</sup>	$k_3$	К <sub>ЛЭП</sub> , руб	К <sub>об</sub> , руб	С <sub>пот</sub> , руб/год	С <sub>ам</sub> , руб/год	С <sub>об</sub> , руб/год	З <sub>ЛЭП</sub> , руб/год
35	ТМН-6300/35	АС 120/19	0,266	23990400,0	2099160,0	217707,3	2399040,0	191923,2	6455211,3
	ТМН-10000/35	АС 150/24	0,367	23990400,0		438484,5	2399040,0	191923,2	6675988,5

### 3.8 Технико-экономическое сравнение вариантов

Для удобства сравнения сведем результаты технико-экономических расчетов в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Сравнение суммарных приведенных затрат

$U_{ном},$ кВ	Тр-тор	Сечение мм <sup>2</sup>	З, руб/год
35	ТМН-6300/35	АС 120/19	9166968,5
	ТМН-10000/35	АС 150/24	9523543,4

Исходя из сравнения расчетов, можно сделать вывод, что по приведенным затратам наиболее целесообразен вариант с трансформаторами мощностью 4000 кВА.

### 3.9 Схема внутривародской сети выше 1000 В

Распределительная сеть выше 1000 В по территории предприятия выполняется трёхжильными кабелями марки ВББШв (кабель с медными жилами, с оболочкой из вулканизированного полиэтилена, бронированный, с наружным покровом из поливинилхлоридного шланга) с прокладкой по эстакадам. Питание высоковольтных двигателей осуществляем кабельными линиями той же марки, с прокладкой по эстакадам.

Схема питания цеховых трансформаторных подстанций приведена в приложении 12.

#### ГПП – РУ1

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{расч} = \frac{n_{тр} \cdot S_{ном.тр} + S_p^B}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 1000 + 409,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 69,6А.$$

где  $S_{ном.тр}$  – номинальная мощность цехового трансформатора, кВА;

$S_p$  – расчетная мощность высоковольтной нагрузки РУ, кВА;

$n_{тр}$  – количество трансформаторов, шт;

$n_{ц}$  – количество цепей питающей линии, шт.

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{расч.п/ав} = \frac{n_{тр} \cdot S_{ном.тр} + S_p^B}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 1000 + 409,5}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 139,1А.$$

Экономическое сечение при работе предприятия с  $T_{max} > 5000$  час/год и питания кабелями с медными жилами определяется для экономической плотности тока  $j_{эк} = 2,0$  А/мм<sup>2</sup> [1, стр. 72, табл. 3.16]

$$F_{эк} = \frac{I_{расч}}{j_{эк}} = \frac{69,6}{2,0} = 34,8мм^2$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки ВБбШв

$$F = 35 \text{ мм}^2 \text{ с } I_{\text{доп}} = 120 \text{ А. [1, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].}$$

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учётом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,00 \cdot 120 = 120 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 69,6 \text{ А},$$

где  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент прокладки при прокладке кабельных линий по эстакадам;

$$1,3 \cdot I'_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 120 = 156,0 \text{ А} > I_{\text{расч.п/ав}} = 139,1 \text{ А}.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок. Оставляем ранее намеченный кабель.

### РУ1 – ТПЗ

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ А}.$$

где  $S_{\text{ном.тр}}$  – номинальная мощность цехового трансформатора, кВА;

$n_{\text{тр}}$  – количество трансформаторов, шт;

$n_{\text{ц}}$  – количество цепей питающей линии, шт.

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}}{(n_{\text{ц}} - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 115,5 \text{ А}.$$

Экономическое сечение при работе предприятия с  $T_{\text{max}} > 5000$  час/год и питания кабелями с медными жилами определяется для экономической плотности тока  $j_{\text{эк}} = 2,0$  А/мм<sup>2</sup> [1, стр. 72, табл. 3.16]

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{эк}}} = \frac{57,7}{2,0} = 28,9 \text{ мм}^2.$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки ВБбШв

$$F = 25 \text{ мм}^2 \text{ с } I_{\text{доп}} = 95 \text{ А. [1, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].}$$

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учётом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,00 \cdot 95 = 95,00 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 57,7 \text{ А},$$

где  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент прокладки при прокладке кабельных линий по эстакадам;

$$1,3 \cdot I'_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 93,5 = 123,5 \text{ А} > I_{\text{расч.п/ав}} = 115,5 \text{ А}.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок. Оставляем ранее намеченный кабель.

### ТПЗ – ТП5

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1 \cdot 1000}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ А}.$$

Экономическое сечение при работе предприятия с  $T_{\text{max}} > 5000$  час/год и питания кабелями с медными жилами определяется для экономической плотности тока  $j_{\text{эк}} = 2,0$  А/мм<sup>2</sup> [1, стр. 72, табл. 3.16]

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{ЭК}}} = \frac{57,7}{2,0} = 28,9 \text{ мм}^2.$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки ВББШв

$$F = 25 \text{ мм}^2 \text{ с } I_{\text{доп}} = 95 \text{ А. [1, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].}$$

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,00 \cdot 95 = 95,0 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 57,7 \text{ А},$$

где  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент прокладки при прокладке кабельных линий по эстакадам.

Выбранное сечение проходит по результату проверки. Оставляем ранее намеченный кабель.

### РУ1-СД 315 кВт

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{СД}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} = \frac{315}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,84} = 21,6 \text{ А}.$$

где  $P_{\text{СД}}$  – номинальная мощность двигателя, кВт.

Экономическое сечение при работе предприятия с  $T_{\text{max}} > 5000$  час/год и питания кабелями с медными жилами определяется для экономической плотности тока  $j_{\text{ЭК}} = 2,0$  А/мм<sup>2</sup> [1, стр. 72, табл. 3.16]

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{ЭК}}} = \frac{21,6}{2,0} = 10,8 \text{ мм}^2.$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки ВББШв

$$F = 16 \text{ мм}^2 \text{ с } I_{\text{доп}} = 75 \text{ А. [1, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].}$$

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,00 \cdot 75 = 75,0 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 21,6 \text{ А},$$

где  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент прокладки при прокладке кабельных линий по эстакадам.

Выбранное сечение проходит по результатам проверок. Оставляем ранее намеченный кабель.

Дальнейшие расчеты сводим в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Выбор сечений проводников распределительной сети выше 1000 В

№ п/п	Участок	Мощность участка, кВА	$n_{\text{ц}}$ , шт	$U_{\text{ном}}$ , кВ	$L$ , км	Расчетная нагрузка		$F_{\text{ЭК}}$ , мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	$K_{\text{пр}}$	Марка и сечение	Допустимая нагрузка	
						$I_{\text{расч}}$ , А	$I_{\text{расч.ав}}$ , А					$I'_{\text{доп}}$ , А	$1,3 \cdot I'_{\text{доп}}$ , А
1	ГПП – ТП1	2000,0	2	10	0,373	57,7	115,5	28,9	Эстакады	1,00	ВББШв - 2 (3 × 25)	95,0	123,5
2	ГПП – ТП2	2000,0	2	10	0,194	57,7	115,5	28,9		1,00	ВББШв - 2 (3 × 25)	95,0	123,5
3	РУ1 – ТП3	2000,0	2	10	0,020	57,7	115,5	28,9		1,00	ВББШв - 2 (3 × 25)	95,0	123,5
4	ГПП – ТП4	2000,0	2	10	0,243	57,7	115,5	28,9		1,00	ВББШв - 2 (3 × 25)	95,0	123,5

Окончание таблицы 3.6

№ п/п	Участок	Мощность участка, кВА	$n_{ц}$ , шт	$U_{ном}$ , кВ	$L$ , км	Расчетная нагрузка		$F_{эк}$ , мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	$K_{пр}$	Марка и сечение	Допустимая нагрузка	
						$I_{расч}$ , А	$I_{расч.ав}$ , А					$I'_{доп}$ , А	$1,3 \cdot I'_{доп}$ , А
5	ГПП – ТП5	1000,0	1	10	0,076	57,7	–	28,9	Эстакады	1,00	ВБбШВ - 1 (3 × 25)	95,0	–
6	ГПП – ТП6	1000,0	1	10	0,183	57,7	–	28,9		1,00	ВБбШВ - 1 (3 × 25)	95,0	–
7	ГПП – РУ1	2409,5	2	10	0,252	69,6	139,1	34,8		1,00	ВБбШВ - 2 (3 × 35)	120,0	156,0
8	РУ1 – СД	373,9	1	10	0,177	21,6	–	10,8		1,00	ВБбШВ - 1 (3 × 16)	75,0	–

Выбранная схема распределения электроэнергии по территории предприятия приведена в приложении 10. Схема электрическая принципиальная приведена в приложении 12.

### 3.10 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

В электрических установках могут возникать различные виды КЗ, сопровождающихся резким увеличением тока. Поэтому электрооборудование, устанавливаемое в системах электроснабжения, должно быть устойчивым к токам КЗ и выбираться с учетом величин этих токов.

Напряжение на шинах ВН ГПП при расчете можно считать постоянным, так как предприятие получает питание от энергосистемы неограниченной мощности, это означает, что периодическая составляющая тока КЗ практически не изменяется во времени и остается постоянной от начала КЗ до его окончания.

Расчет токов КЗ ведем в относительных единицах. Для этого все расчетные данные приводятся к базисному напряжению и базисной мощности

Для расчетов токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения рисунок 3.5 и на её основе схему замещения рисунок 3.6. Расчетная схема представляет собой упрощенную однолинейную схему, на которой указывают все элементы системы электроснабжения и их параметры, влияющие на ток КЗ. Здесь же указывают точки, в которых необходимо определить ток КЗ.

Расчет токов КЗ ведем на участке Система – ГПП – ТП5.

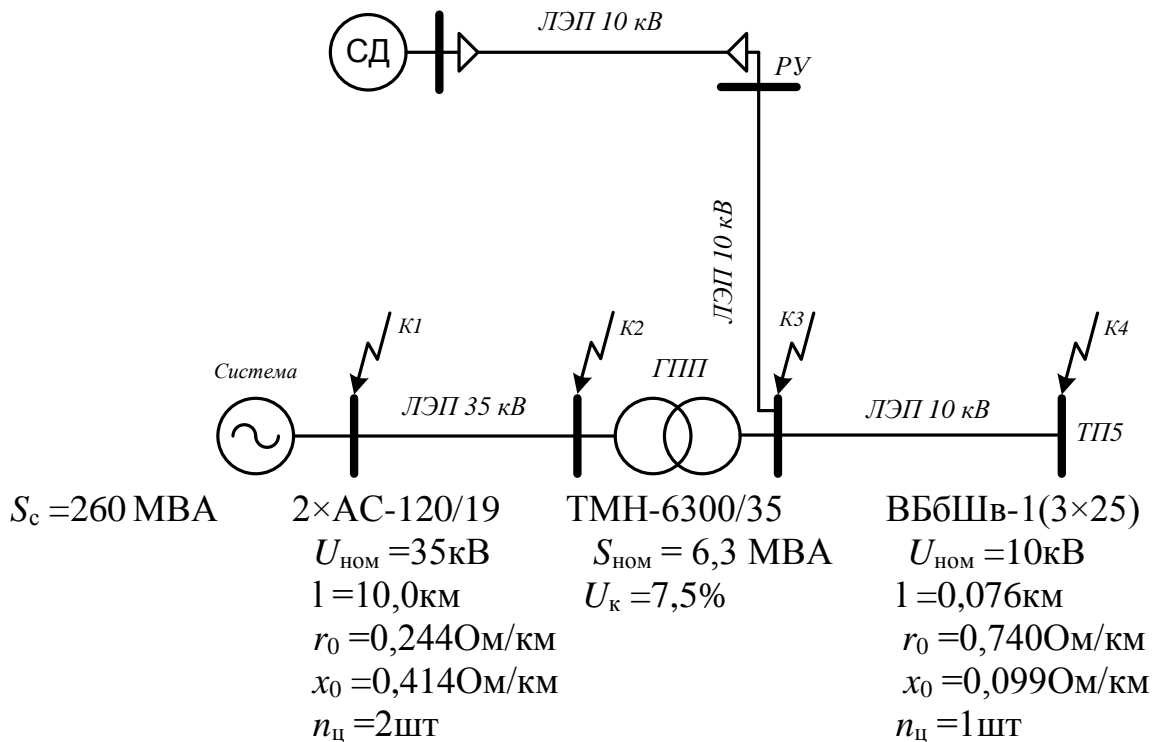


Рисунок 3.5 – Расчетная схема рассматриваемого участка

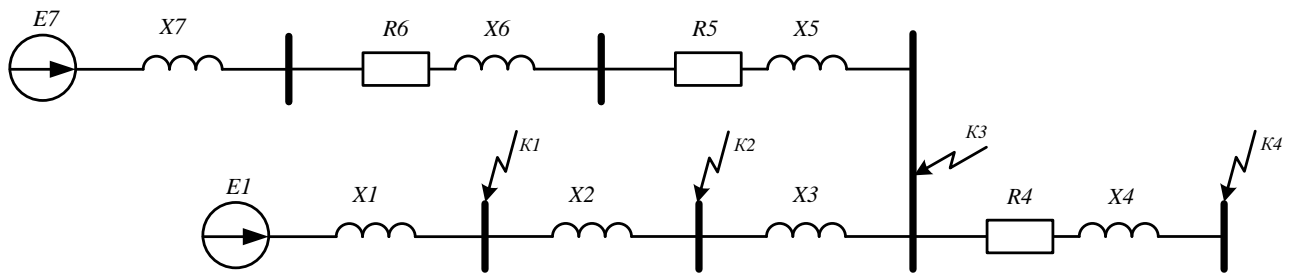


Рисунок 3.6 – Схема замещения рассматриваемого участка

По исходным данным определяем мощность системы. Приблизительно принимаем за мощность системы мощность отключения выключателя на присоединении подстанции к системе

$$S_c = 260 \text{ MVA.}$$

Принимаем за базисные величины

$$S_6 = 100 \text{ MVA, } U_{61} = 37,0 \text{ кВ, } U_{62} = 10,5 \text{ кВ.}$$

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37,0} = 1,560 \text{ кА, } I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА.}$$

Для генераторов, трансформаторов, высоковольтной ВЛЭП, как правило, учитываются только индуктивные сопротивления. Целесообразно учитывать активные сопротивления, если  $R_{\Sigma} > X_{\Sigma} / 3$ .

Сопротивления элементов

Система

$$X_c = X_1 = \frac{S_6}{S_c} = \frac{100}{360} = 0,385.$$

Воздушная линия

$$X_2 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{61}^2} = 0,414 \cdot 10,0 \cdot \frac{100}{1 \cdot 37,0^2} = 0,302.$$

Трансформаторы

$$X_3 = \frac{U_{к,\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном.тр}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,190.$$

Кабельная линия

$$R_4 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 0,740 \cdot 0,076 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,051,$$

$$X_4 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 0,099 \cdot 0,076 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,007.$$

Кабельная линия

$$R_5 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 0,520 \cdot 0,250 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,119,$$

$$X_5 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 0,095 \cdot 0,252 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,022.$$

Кабельная линия

$$R'_6 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 1,150 \cdot 0,177 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,185,$$

$$X'_6 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 0,113 \cdot 0,177 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,018.$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$R_6 = \frac{R'_6}{n_{сд}} = \frac{0,185}{2} = 0,092,$$

$$X_6 = \frac{X'_6}{n_{сд}} = \frac{0,018}{2} = 0,0091.$$

Синхронный двигатель

сопротивление одного двигателя

$$X'_7 = \frac{x''_d \cdot S_6}{S_{ном}} = \frac{0,185 \cdot 100}{0,374} = 49,478;$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$X_7 = \frac{X'_7}{n_{сд}} = \frac{49,478}{2} = 24,739,$$

$$U_{ном} = \frac{U_{ном}}{U_{62}} = \frac{10,0}{10,5} = 0,952, \quad I_{ном} = \frac{I_{ном}}{I_{62}} = \frac{0,022}{5,5} = 0,004,$$

$$E_7 = \sqrt{(U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном})^2 + (U_{ном} \cdot \sin \varphi_{ном} + I_{ном} \cdot X'_7)^2} \\ = \sqrt{(0,952 \cdot 0,842)^2 + (0,952 \cdot 0,539 + 0,004 \cdot 49,478)^2} = 1,070.$$

**Расчет короткого замыкания для точки К1.**

Эквивалентное сопротивление цепочки СД относительно точки К1

$$Z_{CD} = \sqrt{(R_6 + R_5)^2 + (X_7 + X_6 + X_5 + X_3 + X_2)^2}$$

$$= \sqrt{(0,952 + 0,019)^2 + (24,739 + 0,0091 + 0,022 + 1,190 + 0,302)^2}$$

$$= 26264.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К1

$$Z_C = X_1 = 0,385.$$

Результирующее сопротивление в точке К1

$$Z_{\Sigma 1} = \frac{Z_{CD} \cdot Z_C}{Z_{CD} + Z_C} = \frac{26,264 \cdot 0,385}{26,264 + 0,385} = 0,379.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К1

$$I_{K1} = \frac{I_{\phi 1}}{Z_{\Sigma 1}} = \frac{1,560}{0,379} = 4,116 \text{ кА}.$$

Ударный ток КЗ в точке К1

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,608 \cdot 4,116 = 9,4 \text{ кА},$$

где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент, зависящий от постоянной времени  $T_a$ , определяемый по зависимости  $k_{уд} = f(T_a)$  [9, стр. 44, табл. П1.5].

Таблица 3.7 – Расчёт токов короткого замыкания для рассматриваемого участка

Точка КЗ	$U_{\phi},$	$I_{\phi},$	$Z_{\Sigma}$	$k_{уд}$	$T_a,$	$I_K,$	$i_{уд},$
	кВ	кА	–	–	сек	кА	кА
К1	37,0	1,560	0,379	1,608	0,02	4,116	9,4
К2	37,0	1,560	0,669	1,608	0,02	2,331	5,3
К3	10,5	5,499	1,745	1,869	0,01	3,151	8,3
К4	10,5	5,499	1,797	1,869	0,01	3,060	8,1

Полученное по экономической плотности тока сечение высоковольтных линий необходимо проверить на термическую стойкость при коротком замыкании

Время отключения короткого замыкания [9, стр. 206-211]

$$t_{пр} = 0,1 \div 0,3 \text{ сек}.$$

Тепловой импульс тока короткого замыкания

$$B_K = I_K^2 \cdot t_{пр} = 3150,6^2 \cdot 0,3 = 2977965,0 \text{ А}^2 \cdot \text{сек}.$$

где  $I_K$  – ток короткого замыкания на низкой стороне трансформаторов ГПП.

Термически стойкое сечение равно

$$F_{min} = \frac{I_K \cdot \sqrt{t_{пр}}}{C} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{2977965,0}{141} = 12,2 \text{ мм}^2 < F_{real} = 25 \text{ мм}^2,$$

где  $C$  – (для кабелей до 10 кВ с медными жилами) – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при коротком замыкании и материала проводника [3, стр. 42],  $\text{А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ ;

$F_{real}$  – сечение линии, питающей подстанцию,  $\text{мм}^2$ .

Таким образом, предварительно выбранное сечение по термической стойкости проходит. Оставляем ранее выбранное сечение.



## 4 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ В СЕТИ ВЫШЕ 1000 В

В системах электроснабжения могут возникать режимы, характеризующиеся электрическими, тепловыми и механическими нагрузками, превышающие нагрузки нормального режима работы и представляющие, опасность для элементов системы электроснабжения. Правильно выбранное оборудование – залог надежной работы электрооборудования и всей системы электроснабжения.

### 4.1 Выбор выключателей и разъединителей

Рассмотрим выбор выключателя и разъединителя на высокой стороне трансформатора ГПП.

Намечаем к установке выключатель типа ВВУ-35-40/2000

Параметры выключателя [9, стр. 630, табл. П4.4]

номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 35\text{кВ}$ ;

номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 2000\text{А}$ ;

номинальный ток отключения  $I_{\text{отк.ном}} = 40\text{кА}$ ;

ток электродинамической стойкости  $I_{\text{дин}} = 40\text{кА}$ ;

пик тока электродинамической стойкости  $i_{\text{дин}} = 100\text{кА}$ ;

ток термической стойкости  $I_{\text{тер}} = 40,0\text{кА}$ ;

длительность протекания тока термической стойкости  $t_{\text{тер}} = 3\text{с}$ ;

полное время отключения выключателя  $t_{\text{отк.в}} = 0,07\text{с}$ .

Проверка выключателя

– по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$

$$U_{\text{уст}} = 35,0\text{кВ} = U_{\text{ном}} = 35,0\text{кВ};$$

– по току  $I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{7719,6}{\sqrt{3} \cdot 35,0} = 127,3\text{А} < I_{\text{ном}} = 2000,0\text{А};$$

– по отключающей способности  $I_{\text{n,t}} \leq I_{\text{отк.ном}}$

$$I_{\text{n,t}} = 4,116\text{кА} < I_{\text{отк.ном}} = 40,0\text{кА};$$

– по электродинамической стойкости  $I_{\text{n,0}} \leq I_{\text{дин}}$ ,  $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$

$$I_{\text{n,0}} = 4,116\text{кА} < I_{\text{дин}} = 40\text{кА},$$

$$i_{\text{уд}} = 9,4\text{кА} < i_{\text{дин}} = 100\text{кА};$$

– по термической стойкости  $B_{\text{к}} \leq I_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}}$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{n,0}}^2 \cdot (t_{\text{р.з.}} + t_{\text{отк.в}} + T_{\text{а}}) = 4,116^2 \cdot (1,2 + 0,07 + 0,020) = 21,859\text{кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 40,0^2 \cdot 3 = 4800,0 \cdot \text{с},$$

$$B_{\text{к}} = 21,859\text{кА}^2 \cdot \text{с} < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 4800,0\text{кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель проходит по результатам проверок.

Намечаем к установке разъединитель типа РВЗ-35/630

Параметры разъединителя [9, стр. 630, табл. П4.4]

номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 35\text{кВ}$ ;

номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 630\text{А}$ ;

амплитуда предельного сквозного тока  $i_{\text{пр.с}} = 51\text{кА}$ ;

ток термической стойкости  $I_{\text{тер}} = 20,0\text{кА}$ ;

длительность протекания тока термической стойкости  $t_{\text{тер}} = 4\text{с}$ ;

Проверка разъединителя

–по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$   
 $U_{уст} = 35,0 \text{ кВ} = 35,0 \text{ кВ};$

–по току  $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = 127,3 \text{ А} < I_{ном} = 630,0 \text{ А};$$

–по электродинамической стойкости  $i_{уд} \leq i_{пр.с}$

$$i_{уд} = 9,4 \text{ кА} < i_{пр.с} = 51 \text{ кА};$$

–по термической стойкости  $B_k \leq I_{2тер} \cdot t_{тер}$

$$B_k = 21,859 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 20,0^2 \cdot 4 = 1600,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Разъединитель проходит по результатам проверок.

Оборудование выбираем однотипное, т.е. все разъединители на высокой стороне будут одной марки и все выключатели на высокой стороне будут одной марки.

Дальнейший расчет сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Выбор выключателей и разъединителей

<i>Расчетные данные</i>	<i>Выключатель ВВУ-35-40/2000</i>	<i>Разъединитель РВЗ-35/630</i>
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
$I_{max} = 127,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_{n,t} = 4,1 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА}$	—
$I_{n,0} = 4,1 \text{ кА}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	—
$i_{уд} = 9,4 \text{ кА}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 21,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
<i>Расчетные данные</i>	<i>Выключатель ВЭ-10-20/630</i>	<i>Разъединитель</i>
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	Используется выкатная тележка
$I_{max} = 228,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	
$I_{n,t} = 3,2 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$	
$I_{n,0} = 3,2 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$	
$i_{уд} = 8,3 \text{ кА}$	$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	
$B_k = 5,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	

## 4.2 Выбор измерительных трансформаторов тока

Трансформаторы тока предназначены для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для измерительных приборов и реле, а так же для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Основными приборами, которые подключаются к трансформаторам тока на понизительных подстанциях являются амперметры, ваттметры, варметры и счетчики активной и реактивной энергии [9, стр. 371, рис. 4.104; 9, стр.362, табл. 4.11]. Нагрузка трансформаторов тока представлена в таблице 4.2 [9, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 4.2 – Нагрузка трансформаторов тока

Место установки	Прибор	Тип	Нагрузка, В·А		
			А	В	С
Сторона ВН трансформатора	Амперметр	Э – 350	–	0,5	–
	Ваттметр	Д – 335	0,5	–	0,5
	Варметр	Д – 335	0,5	–	0,5
	Счетчик W	ЦЭ36805	2,5	–	2,5
	Счетчик V	ЦЭ36805	2,5	–	2,5
<b>Итого:</b>			<b>6,0</b>	<b>0,5</b>	<b>6,0</b>
Сторона НН трансформатора	Амперметр	Э – 350	–	0,5	–
	Ваттметр	Д – 335	0,5	–	0,5
	Варметр	Д – 335	0,5	–	0,5
	Счетчик W	ЦЭ36805	2,5	–	2,5
	Счетчик V	ЦЭ36805	2,5	–	2,5
<b>Итого:</b>			<b>6,0</b>	<b>0,5</b>	<b>6,0</b>

Пример выбора трансформатора тока на стороне ВН трансформатора ГПП. Из таблицы 4.2 видно, что наиболее загружены фазы А и С. Для них ведем расчет.

Намечаем к установке трансформатор тока типа ТФЗМ35

Параметры трансформатора тока [8, стр. 295, табл. 5-9]

номинальное напряжение  $U_{ном} = 35\text{кВ}$ ;

номинальный ток  $I_{ном} = 150\text{А}$ ;

вторичный номинальный ток трансформатора тока  $I_2 = 5\text{А}$ ;

ток электродинамической стойкости  $i_{дин} = 31\text{кА}$ ;

ток термической стойкости  $I_{тер} = 7,0\text{кА}$ ;

длительность протекания тока термической стойкости  $t_{тер} = 3\text{с}$ ;

вторичная номинальная нагрузка трансформатора тока  $Z_{2ном} = 1,2\text{Ом}$ ;

класс точности 0,5.

– проверка трансформатора тока по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 35,0\text{кВ} = U_{ном} = 35,0\text{кВ};$$

– проверка трансформатора тока по току  $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{7719,6}{\sqrt{3} \cdot 35,0} = 127,3\text{А} < I_{ном} = 150,0\text{А};$$

– проверка трансформатора тока по вторичной нагрузке  $Z_2 \leq Z_{2ном}$

Общее сопротивление приборов, подключенных к трансформатору тока

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{6,0}{5^2} = 0,24\text{Ом},$$

где  $S_{приб}$  – мощность потребляемая приборами (таблица 4.2).

Допустимое сопротивление проводников

$$r_{\text{пр.доп}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}} = 1,2 - 0,24 - 0,10 = 0,86 \text{ Ом},$$

где  $r_{\text{к}}$  – сопротивления контактов (0,05 Ом при двух-трех приборах; 0,1 Ом при большем количестве приборов) [9, стр. 374].

Для присоединения приборов к трансформаторам тока используем кабель с алюминиевыми жилами. Расчетное сечение кабеля

$$q_{\text{расч}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0238 \cdot 8}{0,86} = 0,26 \text{ мм}^2$$

где  $\rho = 0,0283 \text{ Ом/мм}^2$  — удельное сопротивление алюминиевого провода [9, стр. 374];

Принимаем кабель марки АКРВГ сечением  $q=4 \text{ мм}^2$  [9, стр. 375].

Тогда сопротивление кабеля

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{q} = \frac{0,283 \cdot 8}{4} = 0,57 \text{ Ом}.$$

Тогда вторичная нагрузка трансформатора тока

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} = 0,24 + 0,057 + 0,10 = 0,397 \text{ Ом} < Z_{2\text{ном}} = 1,200 \text{ Ом}.$$

– проверка трансформатора тока на электродинамическую стойкость  $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$

$$i_{\text{уд}} = 9,4 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 31 \text{ кА};$$

– проверка трансформатора тока на термическую стойкость  $B_{\text{к}} \leq P_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}}$

$$B_{\text{к}} = 21,859 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 7,0^2 \cdot 3 = 147,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Трансформатор тока проходит по результатам проверок.

Трансформатор тока на низкой стороне трансформатора ГПП производится аналогично. Поэтому дальнейшие расчеты сведем в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Выбор трансформаторов тока в цепях трансформатора ГПП

<i>Тип ТТ</i>	<i>Расчетные данные</i>	<i>Каталожные данные</i>
<i>ТА1 ТШЛ 10 Сторона НН трансформатора</i>	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} = 228,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
	$B_{\text{к}} = 5,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 14700 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{\text{уд}} = 8,3 \text{ кА}$	<i>не проверяется</i>
	$r_2 = 0,375 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{ном}} = 0,800 \text{ Ом}$
<i>ТА2 ТФЗМ35 Сторона ВН трансформатора</i>	$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} = 127,3 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 150 \text{ А}$
	$B_{\text{к}} = 21,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 147,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{\text{уд}} = 9,4 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 31 \text{ кА}$
	$r_2 = 0,397 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{ном}} = 1,200 \text{ Ом}$

### 4.3 Выбор измерительных трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения предназначены для понижения высокого напряжения до стандартного значения 100 вольт, а так же для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Основными приборами, которые подключаются к трансформаторам напряжения на понизительных подстанциях являются вольтметры, ваттметры, варметры, частотомеры и счетчики активной и реактивной энергии [9, стр. 371, рис. 4.104; 9, стр. 362, табл. 4.11]. Нагрузка трансформаторов напряжения представлена в таблице 4.4 [9, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 4.4 – Нагрузка трансформаторов напряжения

Место установки	Прибор	Тип	$S_{обм}, B \cdot A$	$n_{обм}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{приб}$	Потр. мощн.	
								P, Вт	Q, ВАр
Сторона ВН трансформатора	Вольтметр	Э – 335	2,0	1	1	0	1	2,0	0,0
	Вольтметр	Н – 393	10,0	1	1	0	1	10,0	0,0
	Частотомер	Н – 397	7,0	1	1	0	1	7,0	0,0
	Ваттметр	Д – 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Варметр	Д – 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Счетчик W	ЦЭ36805	0,02	—	—	—	1	0,02	0,0
	Счетчик V	ЦЭ36805	0,02	—	—	—	1	0,02	0,0
<b>Итого:</b>								<b>25,0</b>	<b>0,0</b>
Сторона НН трансформатора	Вольтметр	Э – 335	2,0	1	1	0	2	4,0	0,0
	Ваттметр	Д – 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Варметр	Д – 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Счетчик W	ЦЭ36805	0,02	—	—	—	6	0,12	0,0
	Счетчик V	ЦЭ36805	0,02	—	—	—	6	0,12	0,0
<b>Итого:</b>								<b>10,2</b>	<b>0,0</b>

а) Выбор трансформаторов напряжения на стороне НН трансформатора.

Намечаем установку трансформатора напряжения типа НТМИ-10

Параметры трансформатора напряжения

номинальное напряжение  $U_{ном} = 10\text{кВ}$ ;

номинальная мощность  $S_{ном} = 120\text{В} \cdot \text{А}$ ;

класс точности 0,5.

– проверка трансформатора напряжения по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 10\text{кВ} = U_{ном} = 10\text{кВ};$$

– проверка трансформатора напряжения по вторичной нагрузке  $S_2 \leq S_{ном}$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 4.4.

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{10,2^2 + 0,0^2} = 10,2\text{В} \cdot \text{А} < S_{ном} = 120\text{В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напряжения проходит по результатам проверок.

б) Выбор трансформаторов напряжения на стороне ВН трансформатора.

Намечаем установку трансформатора напряжения типа ЗНОМ-35

Параметры трансформатора напряжения

номинальное напряжение  $U_{ном} = 35\text{кВ}$ ;

номинальная мощность  $S_{ном} = 150\text{В} \cdot \text{А}$ ;

класс точности 0,5.

– проверка трансформатора напряжения по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 35\text{кВ} = U_{ном} = 35\text{кВ};$$

– проверка трансформатора напряжения по вторичной нагрузке  $S_2 \leq S_{ном}$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 4.4.

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{25,0^2 + 0,0^2} = 25,0\text{В} \cdot \text{А} < S_{ном} = 150\text{В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напряжения проходит по результатам проверок.

Для соединения трансформаторов напряжения с приборами принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил  $q = 4\text{мм}^2$  по условию механической прочности [9, стр. 375].

#### 4.4 Учет электрической энергии

Для присоединения точных измерительных приборов используются трансформаторы тока с классом точности – 0,2, для счетчиков денежного расчета – 0,5, для всех технических измерительных приборов – 1, для релейной защиты – 3 и 10.

Большое значение играет точность измерения потребленной электроэнергии, так как вопросы рационального и экономного расходования электроэнергии занимают важнейшую роль на промышленном предприятии. Одним из главных условий решения этих вопросов является организация доступной и качественной системы учета электроэнергии. В качестве такой системы применим автоматизированную систему коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).

АСКУЭ – иерархическая система, представляющая собой техническое устройство, функционально объединяющее совокупность измерительно-информационных комплексов точек измерений, информационно-вычислительных комплексов электроустановок, информационно-вычислительного комплекса и системы обеспечения единого времени, выполняющее функции проведения измерений, сбора, обработки и хранения результатов измерений, информации о состоянии объектов и средств измерений, а также передачи полученной информации в интегрированную автоматизированную систему управления коммерческим учетом на оптовом рынке электроэнергии в автоматизированном режиме.

В системе общего учёта расхода электроэнергии на промышленном предприятии важное место занимает технический учёт, то есть контроль расхода электроэнергии по цехам, энергоёмким агрегатам и линиям. Технический учёт позволяет осуществлять контроль за соблюдением режимов электропотребления и является основой для составления электробалансов на промышленном предприятии. Наличие такого учёта позволяет определить удельный расход электроэнергии на различные виды выпускаемой продукции.

Основными функциями АСКУЭ является:

– непрерывный опрос счетчиков электроэнергии устройством сбора данных;

– дистанционная запись тарифных расписаний в приборы учета по отложенному заданию;

- автоматическая коррекция текущего времени для каждого счетчика по внутренним часам сервера сбора данных;
- хранение даты и времени начала эксплуатации;
- возможность дистанционного отключения нагрузки;
- организация прозрачного канала связи для работы со счетчиками при помощи конфигурационного программного обеспечения;
- определение и регистрация фактов безучетного потребления электроэнергии в системе, на основе сведения балансов отпущенной и потребленной энергии за интервалы времени;
- передача данных о потребленной электроэнергии в биллинговые системы;
- технический учет расхода электроэнергии.

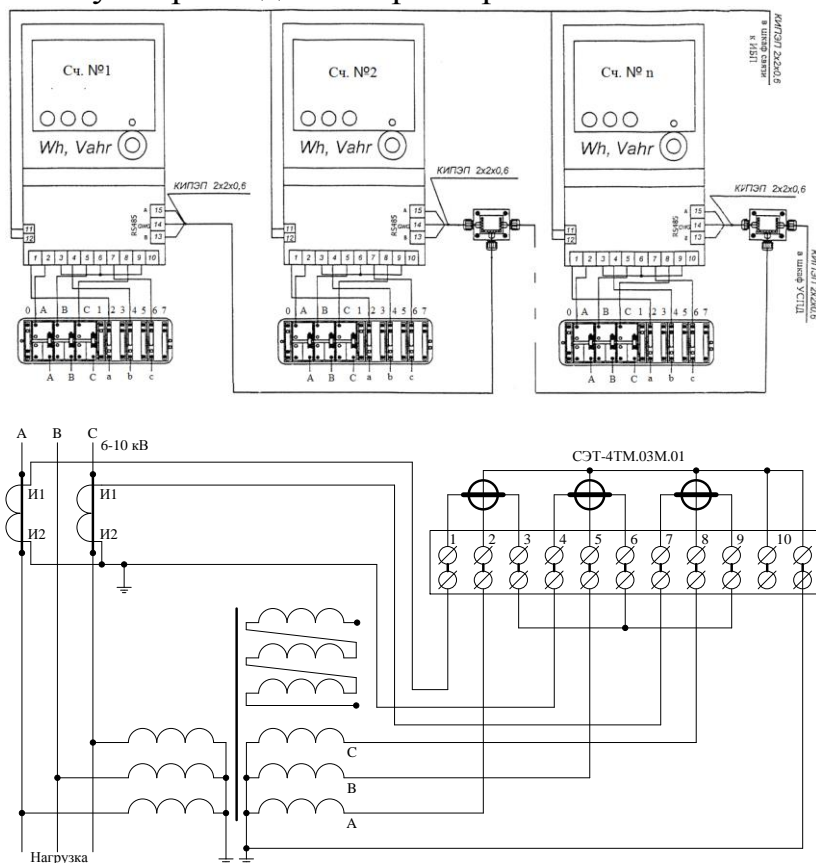


Рисунок 4.1 – Схема учета электроэнергии

## 5 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ РЕМОНТНОГО ЦЕХА

Электроснабжение выполняется в следующей последовательности.

Приёмники распределяются по пунктам питания, определяются расчётные электрические нагрузки, выбирается схема и способ прокладки сети.

Производится выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверка их по потере напряжения.

Производится выбор аппаратов защиты и силовой распределительной сети, согласуя с аппаратами защиты.

Для участка сети проектируемого объекта строится карта селективности действия аппаратов защиты.

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

Производится расчёт питающей и распределительной сети по условиям допустимой потере напряжения.

### 5.1 Выбор защитных аппаратов и сечений линий, питающих распределительные пункты и электроприёмники

В качестве аппаратов защиты принимаем автоматические выключатели серии ВА с электромагнитным расцепителем для защиты линии от токов КЗ и тепловым для защиты от перегрузки.

Выбор сечений питающей линий производится по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева. Линии, питающие распределительные пункты, проверяются по допустимой потере напряжения. Сечения кабелей согласовываются с действием аппаратов защиты.

Для питания распределительных пунктов и отдельных электроприёмников принимаем кабель марки ВВГ с прокладкой на лотках по стенам. Питание осуществляем по радиальным линиям.

Примеры выбора аппаратуры и кабелей.

а) Выбор отходящего выключателя ТП

Расчетная мощность нагрузки подстанции

$$S_{м.пс} = 612,6 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток нагрузки подстанции

$$I_{р.пс} = \frac{S_{м.пс}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{612,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 930,7 \text{ А.}$$

Номинальный ток трансформаторов подстанции

$$I_{ном.тр} = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1519,3 \text{ А.}$$

Пиковый ток подстанции

$$I_{пик.пс} = I_{пик}^{max.пс} + I_{ном.тр} - I_{м}^{пс} = 992,2 + 1519,3 - 224,6 = 2287,0 \text{ А.}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА74 – 45 с параметрами

$$I_{ном.ав} = 3000 \text{ А, } I_{тепл} = 2000 \text{ А [3, стр. 87, табл. П.2.3].}$$

–проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{тепл} = 2000 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{ном.тр} = 1,1 \cdot 1519,3 = 1671,3 \text{ А.}$$



–проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 1,25 \cdot 2287,0 = 2858,7\text{А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1,25 \cdot 2858,7}{2000} = 1,4, \quad \text{принимаем } K = 2,0$$

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 2,0 \cdot 2000 = 4000,0\text{А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 2858,7\text{А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

б) Участок ТП – ПР1

Расчетный и пиковый ток нагрузки ПР1

$$I_p = 97,1\text{А}, \quad I_{\text{пик}} = 370,1\text{А.}$$

Намечаем к установке автомат марки: ВА57 – 35 с параметрами

$$I_{\text{ном.ав}} = 250\text{А}, \quad I_{\text{тепл}} = 125\text{А} [3, \text{стр. 87, табл. П.2.3}].$$

–проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 125\text{А} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 97,1 = 106,8\text{А.}$$

–проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 370,1 = 462,6\text{А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{462,6}{125} = 3,7, \quad \text{принимаем } K = 5,0$$

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 5,0 \cdot 125 = 625,0\text{А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 462,6\text{А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки ВВГ – 1(4 × 50)  $I_{\text{доп}} = 145\text{А}$  [1, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

–проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 145\text{А} > I_p = 106,8\text{А.}$$

–согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 145\text{А} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 125}{1} = 125,0\text{А},$$

где  $I_3$  – ток уставки срабатывания защитного аппарата, А;

$k_{\text{прокл}}$  – поправочный коэффициент на условие прокладки (для нормальных условий принимается равным 1);

$k_3$  – кратность защиты (отношение длительно допустимого тока для кабеля к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата при перегрузке или КЗ).

–проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,132 \cdot 97,1 \cdot 0,028 = 0,036\% < 5\%,$$

где  $l$  – длина рассматриваемой линии, км.

5% – допустимое значение потерь напряжения.

$\Delta U_0$  – потеря напряжения в трехфазных сетях 380 В [3, стр. 91, табл. П.2.11], % / (А·км);

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

в) Участок ПР1 – Шестишпindleльный станок

Номинальный и пусковой ток нагрузки

$$I_{\text{ном}} = 57,5\text{А}, \quad I_{\text{пуск}} = 287,4\text{А}.$$

Намечаем к установке автомат марки: ВА57 – 35 с параметрами

$$I_{\text{ном.ав}} = 250\text{А}, \quad I_{\text{тепл}} = 80\text{А} \quad [3, \text{стр. 87, табл. П.2.3}].$$

–проверка намеченного автомата по нагреву номинальным током

$$I_{\text{тепл}} = 80\text{А} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 57,5 = 63,2\text{А}.$$

–проверка намеченного автомата по условию перегрузки пусковым током

$$1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 287,4 = 431,0\text{А}.$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,5 \cdot I_{\text{пуск}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{431,0}{80} = 5,4, \quad \text{принимаем } K = 6,0$$

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о.}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 6,0 \cdot 80 = 480,0\text{А} > 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 431,0\text{А}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки ВВГ – 1(4 × 25)  $I_{\text{доп}} = 95\text{А}$  [1, стр. 66-68, табл.

3.6-3.9].

–проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 95\text{А} > I_{\text{ном}} = 57,5\text{А}.$$

–согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 95\text{А} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 80}{1} = 80,0\text{А}.$$

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

г) Участок ПР6 – Печь

Номинальный и пусковой ток нагрузки

$$I_{\text{ном}} = 47,5\text{А}.$$

Намечаем к установке автомат марки: ВА13 – 29 с параметрами

$$I_{\text{ном.ав}} = 63\text{А}, \quad I_{\text{тепл}} = 63\text{А} \quad [3, \text{стр. 87, табл. П.2.3}].$$

–проверка намеченного автомата по нагреву номинальным током

$$I_{\text{тепл}} = 63\text{А} > 1,1 \cdot I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 47,5 = 52,2\text{А}.$$

Так как у данного электроприемника нет пускового тока, то проверку по условию перегрузки пусковым током делать не надо. Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки ВВГ – 1(4 × 16)  $I_{\text{доп}} = 75\text{А}$  [1, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

–проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 75\text{А} > I_{\text{ном}} = 52,2\text{А}.$$

–согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 75\text{А} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 63}{1} = 63,0\text{А}.$$

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

Выбор аппаратов защиты и кабельных линий приведен в приложении 5.

## 5.2 Построение эпюры отклонения напряжения

В соответствии с этим ГОСТ для силовых сетей промышленных предприятий отклонение напряжений не должен превышать  $\pm 5\%$  от номинального значения. На шинах 6-10 кВ подстанции, к которой присоединены распределительные сети,

напряжение должно поддерживаться не ниже 105% номинального в период наибольших нагрузок и не выше 100% номинального в период наименьших нагрузок этих сетей.

Рассмотрим цепочку ГПП – ТП5 – ПР7 – ЭП №66.

Расчетные данные приемника №66

$$P_{\text{НОМ}} = 38,0 \text{ кВт}; \quad Q_{\text{НОМ}} = 28,5 \text{ кВАр}; \quad S_{\text{НОМ}} = 47,5 \text{ кВА}.$$

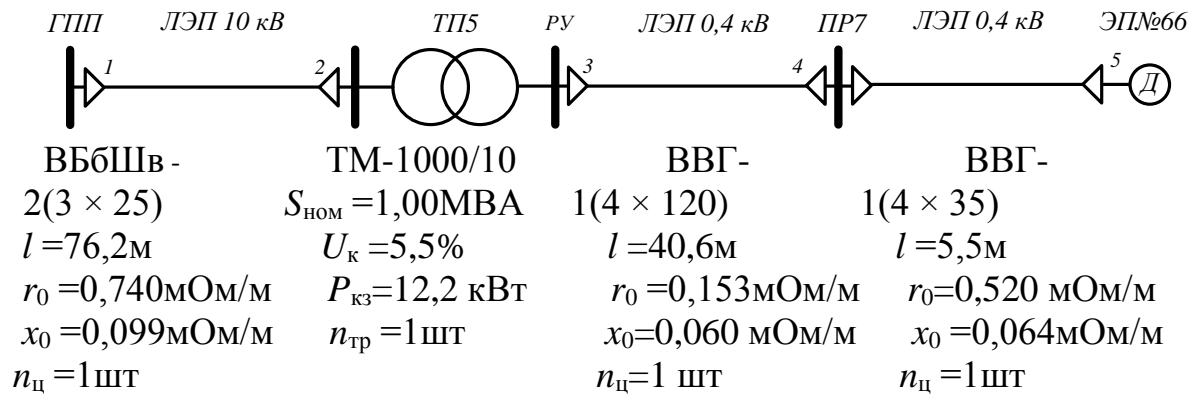


Рисунок 5.1 – Расчетная схема

### Расчет максимального режима нагрузки

#### Участок 1-2

Активное и реактивное сопротивление участка 1-2

$$R_{12} = \frac{r_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,740 \cdot 76,2}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0560 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = \frac{x_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,099 \cdot 76,2}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0080 \text{ Ом}.$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 1-2

$$P_{12} = \sum P_{\text{ц,ТП}} = 612,6 \text{ кВт}, \quad Q_{12} = \sum Q_{\text{ц,ТП}} = 451,0 \text{ кВАр}.$$

Потеря напряжения на участке 1-2

$$\Delta U_{12, \%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{612,6 \cdot 0,056 + 451,0 \cdot 0,008}{10 \cdot 10,5^2} = 0,034\%$$

Потеря напряжения на участке 1-2 в именованных единицах

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12, \%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,034 \cdot \frac{10500}{100} = 3,6 \text{ В}.$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 1-2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 3,6 = 10496,4 \text{ В}.$$

#### Участок 2-3

Активная и реактивная составляющая значения напряжения короткого замыкания трансформатора

$$U_a = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot 100\%}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{12,2 \cdot 100}{1000} = 1,220,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 + U_a^2} = \sqrt{5,5^2 + 1,220^2} = 5,363.$$

Коэффициент загрузки трансформатора

$$\beta = \frac{P_{12}}{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{612,6}{1 \cdot 1000} = 0,613.$$

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторе

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot P_{12} = 0,02 \cdot 612,6 = 12,3 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,10 \cdot P_{12} = 0,10 \cdot 612,6 = 61,3 \text{ кВАр}.$$

Активная, реактивная и полная мощности, протекающие по участку 2-3

$$P_{23} = P_{12} - \Delta P_{\text{тр}} = 612,6 - 12,3 = 600,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{23} = Q_{12} - \Delta Q_{\text{тр}} = 451,0 - 61,3 = 389,7 \text{ кВАр}.$$

$$S_{23} = \sqrt{P_{23}^2 + Q_{23}^2} = \sqrt{600,3^2 + 389,7^2} = 715,7 \text{ кВА}.$$

Коэффициент мощности на участке 2-3

$$\cos \varphi = \frac{P_{23}}{S_{23}} = \frac{600,3}{715,7} = 0,839, \quad \sin \varphi = \frac{Q_{23}}{S_{23}} = \frac{389,7}{715,7} = 0,544,$$

Потеря напряжения на участке 2-3

$$\begin{aligned} \Delta U_{23,\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi) \\ &= 0,613 \cdot (1,220 \cdot 0,839 + 5,363 \cdot 0,544) + \frac{0,613^2}{200} \\ &\quad \cdot (1,220 \cdot 0,544 - 5,363 \cdot 0,839) = 2,408\%. \end{aligned}$$

Потеря напряжения на участке 2-3 в именованных единицах

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 2,408 \cdot \frac{10496,4}{100} = 252,8 \text{ В}.$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 2-3

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 10496,4 - 252,8 = 10243,6 \text{ В}.$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 2-3 с учетом коэффициента трансформации

$$U_3^{\text{нн}} = U_3 = 400 \cdot \frac{10243,6}{10500} = 390,2 \text{ В}.$$

#### Участок 3-4

Активное и реактивное сопротивление участка 3-4

$$R_{34} = \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,153 \cdot 40,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,00620 \text{ Ом},$$

$$X_{34} = \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 40,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,00240 \text{ Ом}.$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 3-4

$$P_{34} = P_{\text{ПР}} = 115,8 \text{ кВт}, \quad Q_{34} = Q_{\text{ПР}} = 89,2 \text{ кВАр}.$$

Потеря напряжения на участке 3-4

$$\Delta U_{34,\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{115,8 \cdot 0,0062 + 89,2 \cdot 0,0024}{10 \cdot 0,390^2} = 0,615\%$$

Потеря напряжения на участке 3-4 в именованных единицах

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34,\%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 0,615 \cdot \frac{390,2}{100} = 2,4 \text{ В}.$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 3-4

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 390,2 - 2,4 = 387,8 \text{ В}.$$

#### Участок 4-5

Активное и реактивное сопротивление участка 4-5

$$R_{45} = \frac{r_{45} \cdot l_{45}}{n_{ц}} = \frac{0,520 \cdot 5,5}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0030 \text{ м},$$

$$X_{45} = \frac{x_{45} \cdot l_{45}}{n_{ц}} = \frac{0,064 \cdot 5,5}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0000 \text{ м}.$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 4-5

$$P_{45} = P_{\text{НОМ}} = 38,0 \text{ кВт}, \quad Q_{45} = Q_{\text{НОМ}} = 28,5 \text{ кВАр}.$$

Потеря напряжения на участке 4-5

$$\Delta U_{45, \%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{38,0 \cdot 0,003 + 28,5 \cdot 0,000}{10 \cdot 0,388^2} = 0,079 \text{ \%}.$$

Потеря напряжения на участке 4-5 в именованных единицах

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45, \%} \cdot \frac{U_4}{100\%} = 0,079 \cdot \frac{387,8}{100} = 0,3 \text{ В}.$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 4-5

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 387,8 - 0,3 = 387,5 \text{ В}.$$

Результаты расчетов приведены в приложении 15.

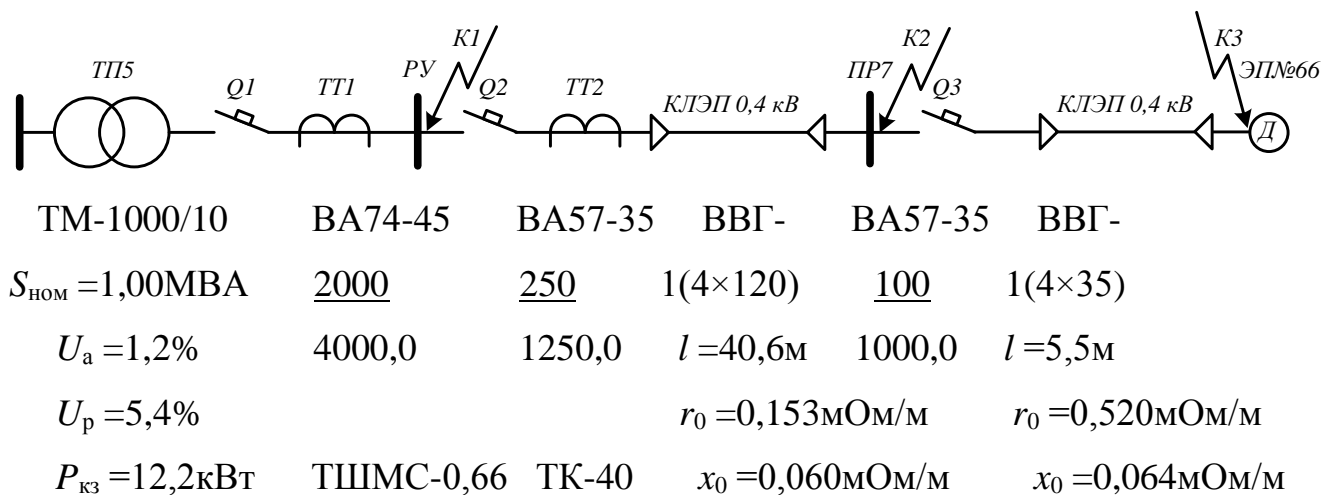
Из эюр отклонений напряжения видно, что потеря напряжения в линиях соответствует норме и принятые сечения пригодны для эксплуатации.

### 5.3 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчет в сравнении с расчетом токов КЗ в сетях напряжением выше 1000 В обладает следующими особенностями:

- напряжение на шинах ЦТП считается неизменным при КЗ в сети до 1000 В;
- при расчете токов КЗ учитываем активные и индуктивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети;
- расчет ведем в именованных единицах;
- напряжение принимаем на 5% выше номинального напряжения сети.

Расчет токов КЗ ведем для участка ТП5 – ПР7 – ЭП №66.



$$I_{\text{ном.тр}} = 1,52 \text{кА} \quad 2000/5 \quad 300/5 \quad n_{\text{ц}} = 1 \text{шт} \quad n_{\text{ц}} = 1 \text{шт}$$

Рисунок 5.2 – Расчетная схема

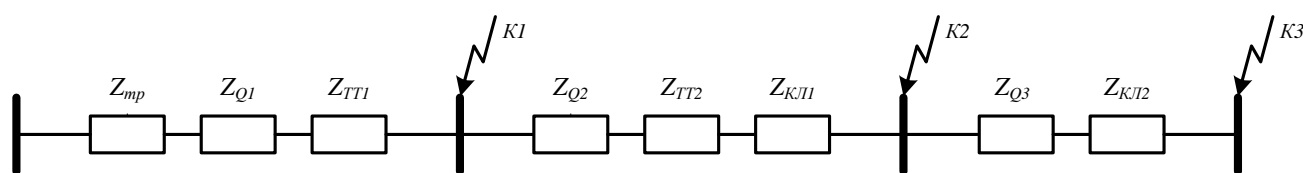


Рисунок 5.3 – Схема замещения

Сопротивления элементов.

Трансформаторы

$$R_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{а}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{1,220}{100} \cdot \frac{400^2}{1000} = 2,0 \text{мОм},$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{р}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{5,363}{100} \cdot \frac{400^2}{1000} = 8,6 \text{мОм}.$$

Сопротивление катушек максимального тока автоматов при номинальных токах больше 1000 А не учитываются, по этому, сопротивление автомата Q1 не учитываем.

Автоматы Q2, Q3

$$R_{Q2} = 0,36 \text{мОм}, \quad X_{Q2} = 0,28 \text{мОм},$$

$$R_{Q3} = 1,30 \text{мОм}, \quad X_{Q3} = 0,86 \text{мОм},$$

Сопротивления первичной обмотки трансформаторов тока с коэффициентом трансформации >1000/5 не учитывается, по этому, сопротивление трансформатора тока ТТ1 не учитываем.

Трансформатор тока ТТ2

$$R_{\text{ТТ2}} = 0,20 \text{мОм}, \quad X_{\text{ТТ2}} = 0,30 \text{мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

$$R_{\text{кл1}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,153 \cdot 40,6}{1} = 6,2 \text{мОм},$$

$$X_{\text{кл1}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 40,6}{1} = 2,4 \text{мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

$$R_{\text{кл2}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,520 \cdot 5,5}{1} = 2,9 \text{мОм},$$

$$X_{\text{кл}2} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,064 \cdot 5,5}{1} = 0,4 \text{ мОм.}$$

### Расчет тока короткого замыкания для точки К1.

Полное сопротивление до точки К1

$$Z_{\text{К1}} = Z_{\text{тр}} = \sqrt{R_{\text{тр}}^2 + X_{\text{тр}}^2} = \sqrt{2,0^2 + 8,6^2} = 8,8 \text{ мОм.}$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{\text{К1}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 8,8} = 26,2 \text{ кА.}$$

Постоянная времени

$$T_{a1} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{8,6}{314 \cdot 2,0} = 0,0140 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,0140} = 1,490.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К1

$$i_{\text{уд.К1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд1}} \cdot I_{\text{К1}} = \sqrt{2} \cdot 1,490 \cdot 26,2 = 55,3 \text{ кА.}$$

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Расчёт токов короткого замыкания для рассматриваемого участка

Точка КЗ	$Z_{\Sigma}$	$k_{\text{уд}}$	$T_a,$	$I_{\text{кз}}$	$i_{\text{уд}}$
К1	8,8	1,490	0,0140	26,2	1,5
К2	14,5	1,094	0,0042	15,9	24,6
К3	18,2	1,043	0,0032	12,7	18,7

## 5.4 Построение карты селективности действия аппаратов защиты

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

- номинальный и пусковой токи электроприёмника;
- расчётный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- расчётный и пиковый ток вводного распределительного устройства (при его наличии);

- расчётный и пиковый ток подстанции;
- характеристики защитных аппаратов;
- значения токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ.

Данные нагрузки и аппаратов защиты для построения карты селективности, а так же сама карта селективности приведены в приложении 15.

### 5.5 Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ

Обеспечение отключения аппаратами защиты токов трехфазного КЗ не является гарантией отключения однофазного КЗ, по той причине, что токи однофазного короткого замыкания в несколько раз меньше токов трехфазного КЗ. В сети напряжения 0,4 кВ необходимо быстрое отключение повреждения. Это достигается высокой проводимостью петли фаза ноль.

Сопротивления элементов.

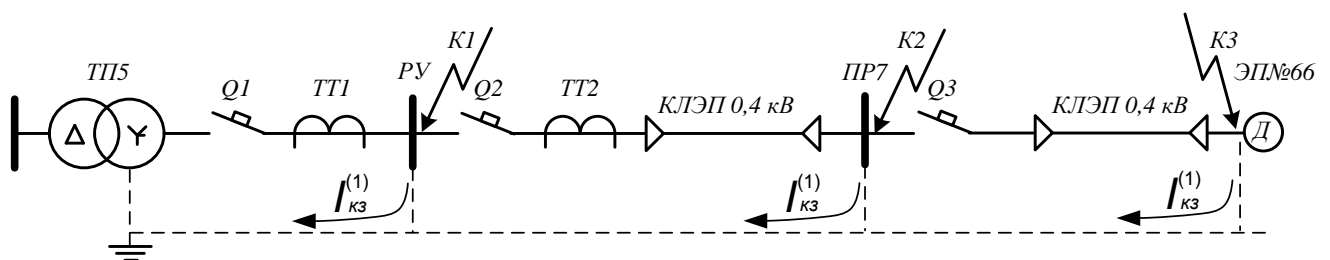
Сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус [2, стр. 60, табл. 4.6]

$$\frac{Z_{тр}}{3} = \frac{27,0}{3} = 9,0\text{мОм}.$$

Сопротивление катушек максимального тока автоматов при номинальных токах больше 1000 А не учитываются, по этому, сопротивление автомата Q1 не учитываем.

Автоматы Q2, Q3  $R_{Q2} = 0,36\text{мОм}$ ,  $X_{Q2} = 0,28\text{мОм}$ ,  
 $R_{Q3} = 1,30\text{мОм}$ ,  $X_{Q3} = 0,86\text{мОм}$ ,

Расчет токов КЗ ведем для участка ТП5–ПР7–ЭП№66.



ТМ1000/10	ВА74-45	ВА57-35	ВВГ-	ВА57-35	ВВГ-
$z_{тр} = 27,0\text{мОм}$	$\frac{2000}{4000,0}$	$\frac{250}{1250,0}$	1(4×120)	$\frac{100}{1000,0}$	1(4×35)
			$l = 40,6\text{м}$		$l = 5,5\text{м}$
			$r_{\phi} = 0,153\text{мОм/м}$		$r_{\phi} = 0,520\text{мОм/м}$
	ТШМС-0,66	ТК-40	$r_{н} = 0,363\text{мОм/м}$		$r_{н} = 1,242\text{мОм/м}$
	$\frac{2000}{5}$	$\frac{300}{5}$	$x' = 0,060\text{мОм/м}$		$x' = 0,064\text{мОм/м}$
			$n_{ц} = 1\text{шт}$		$n_{ц} = 1\text{шт}$

Рисунок 5.4 – Расчетная схема



Сопротивления первичной обмотки трансформаторов тока с коэффициентом трансформации  $>1000/5$  не учитывается, по этому, сопротивление трансформатора тока ТТ1 не учитываем.

Трансформатор тока ТТ2

$$R_{ТТ2} = 0,20\text{мОм}, \quad X_{ТТ2} = 0,30\text{мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,153 \cdot 40,6}{1} = 6,2\text{мОм},$$

активное сопротивление нулевого проводника [1, стр. 143, табл. 6.22]

$$R_{\text{н}1} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,363 \cdot 40,6}{1} = 14,7\text{мОм},$$

внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль [2, стр. 61]

$$X'_1 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 40,6}{1} = 24,4\text{мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,520 \cdot 5,5}{1} = 2,9\text{мОм},$$

активное сопротивление нулевого проводника [1, стр. 143, табл. 6.22]

$$R_{\text{н}2} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{1,242 \cdot 5,5}{1} = 6,8\text{мОм},$$

внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль [2, стр. 61]

$$X'_2 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 5,5}{1} = 3,3\text{мОм}.$$

Сопротивление дуги в точке К3 [2, стр. 61]

$$R_{\text{д}} = 0,03\text{мОм}.$$

Сопротивление питающей системы [2, стр. 61]

$$X_{\text{с}} = 3,2\text{мОм}.$$

Внутреннее индуктивное сопротивление проводов зануления  $X''$  учитывается только для проводов выполненных из стали [2, стр. 61].

Для расчета тока однофазного КЗ рекомендуется упрощенная формула

$$I_{\text{К}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_{\text{н}}},$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение сети, В.

Расчет тока короткого замыкания для точки К1.

Сопротивление петли фаза ноль до точки К1

$$Z_{n1} = \sqrt{R_d^2 + X_c^2} = \sqrt{0,03^2 + 3,2^2} = 3,2 \text{ мОм.}$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{тр}}{3} + Z_{n1}} = \frac{220}{9,0 + 3,2} = 18,0 \text{ кА.}$$

Проверка условия

$$I_{K1}^{(1)} = 18,0 \text{ кА} > 3 \cdot I_{\text{ном.расц}} \Rightarrow 3 \cdot 2,000 = 6,0 \text{ кА,}$$

следовательно, в случае однофазного КЗ в точке К1 автомат, защищающий отходящую линию на ТП, должен безотказно сработать.

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Расчёт токов короткого замыкания для рассматриваемого участка

<i>Точка КЗ</i>	<i>Z<sub>Σ</sub></i> <i>мОм</i>	<i>I<sub>кз</sub></i> <i>кА</i>	<i>3·I<sub>ном.расц</sub></i> <i>кА</i>
К1	3,2	18,0	6,0
К2	35,4	4,95	0,75
К3	45,8	4,01	0,30

## **6 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА**

### **6.1 Назначение РЗиА**

Устройства защиты и автоматики должны выполнять определенные функции. Для релейной защиты такими функциями являются ее срабатывания при повреждении защищаемого элемента и несрабатывания при КЗ за пределами этого элемента. С целью ограничения отказов функционирования защите придаются определенные свойства. Основные из них – селективность, устойчивость и надежность функционирования.

Основные условия надежной работы релейной защиты:

–обеспечение селективности, т.е. отключение только поврежденных участков. Время срабатывания защиты характеризуется выдержкой времени, обеспечивающей селективность;

–чувствительность ко всем видам повреждений на защищаемой линии и на линиях, питаемых от нее, а также к изменению в связи с этим параметров, что оценивается коэффициентом чувствительности;

–максимальная простота схем с наименьшим числом аппаратов и достаточная надежность и быстродействие;

–наличие сигнализации о неисправностях в цепях, питающих аппараты релейной защиты.

Релейная защита выполняется на реле различных типов. Реле, применяемые в релейной защите, классифицируются по следующим признакам:

–по способу воздействия на отключение – прямого и косвенного действия;

–по принципу действия – электромагнитные, электродинамические, тепловые, электронные и другие;

–по параметру действия – ток, напряжение, мощность, тепловые и другие.

### **6.2 Защиты трансформатора**

Устройства релейной защиты для силовых трансформаторов предусматривают защиту от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

–многофазных замыканий в обмотках и на выводах;

–однофазных замыканий на землю в обмотке и на выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью;

–витковых замыканий в обмотках, токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ и перегрузкой, понижения уровня масла.

Виды защит трансформатора определяются его мощностью, назначением, режимом работы, местом установки, схемой включения.

### **6.3 Токовые защиты трансформатора от коротких замыканий**

Для защиты трансформатора небольшой и средней мощности от коротких замыканий в его обмотках на выводах и в соединениях используют токовую отсечку без выдержки времени и токовую защиту со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Защита устанавливается со стороны источника питания непосредственно у выключателя. При этом в зону действия защиты входят трансформатор и его соединения с выключателем. Срабатывая, защита действует на отключение выключателей.

Недостатком отсечки без выдержки времени является неполная защита трансформатора. В её зону действия входит только часть обмотки. Защита не реагирует на замыкания на выводах и в соединениях с выключателем со стороны низшего напряжения.

Для устранения этого недостатка токовую отсечку без выдержки времени дополняют максимальной токовой защитой, которая является вместе с тем защитой трансформатора от сверхтоков внешних коротких замыканий. При установке на трансформаторе защита действует на отключение выключателя со стороны высшего напряжения. Для повышения чувствительности к повреждениям внутри бака защита со ступенчатой характеристикой дополняется газовой защитой.

Примеры схем защит приведены в приложении 6 (рисунок 1. а, б, в)

### **6.4 Газовая защита**

Баки трансформаторов заполняются маслом. Ток короткого замыкания, проходящий через место установки токовой защиты при повреждении внутри бака трансформатора, определяется числом замкнувшихся витков и поэтому может оказаться недостаточным для ее действия. Однако витковые замыкания представляют опасность для трансформатора и должны отключаться.

Опасным внутренним повреждением является «пожар стали» магнитопровода, который возникает при нарушении изоляции между листами магнитопровода. Токовая и дифференциальная защиты на этот вид повреждения не реагируют. В этом случае применяют газовую защиту, фиксирующую появление в баке трансформатора газа. Образование газа является следствием разложения масла и других изолирующих материалов под действием электрической дуги или недопустимого нагрева.

Основным элементом газовой защиты является газовое реле (приложение 6, рисунок 1. г) Корпус газового реле врезается в маслопровод между крышкой бака и расширителем, так чтобы не препятствовать циркуляции масла между ними. Элементы выполнены в виде плоскодонных алюминиевых чашек, вращающихся вместе с подвижными контактами 4 вокруг осей 3. Эти контакты замыкаются с неподвижными контактами 5 при опускании чашек.

В нормальном режиме при наличии масла в кожухе реле чашки удерживаются пружинами 6 в положении, указанном на рисунке. Система отрегулирована так, что масса чашки с маслом является достаточной для преодоления силы пружины при отсутствии масла в кожухе реле. Поэтому

понижение уровня масла сопровождается опусканием чашек и замыканием соответствующих контактов. Сначала опускается верхняя чашка и реле действует на сигнал. При интенсивном газообразовании возникает сильный поток масла и газов из бака в расширитель через газовое реле. На пути потока находится лопасть 7, действующая вместе с нижней чашкой на общий контакт. Лопасть поворачивается и замыкает контакт в цепи отключения трансформатора.

Достоинства газовой защиты: высокая чувствительность и реагирование практически на все виды повреждения внутри бака; сравнительно небольшое время срабатывания; простота выполнения.

Недостаток защиты – нереагирование на повреждения вне бака, в зоне между трансформатором и выключателями. Так же, вследствие несовершенства конструкции современных газовых реле защиту приходится выводить из действия при попадании воздуха в бак трансформатора, что может быть, например, при доливке масла, после ремонта системы охлаждения и др.

### **6.5 Дифференциальные токовые защиты трансформаторов**

Дифференциальные токовые защиты трансформаторов выполняются в виде: дифференциальной токовой отсечки; дифференциальной защиты с промежуточными насыщающимися трансформаторами тока; дифференциальной токовой защиты с реле, имеющими торможение.

Дифференциальная токовая отсечка выполняется посредством максимальных реле тока КА1 и КА2, например РТ – 40 или РТМ, включаемых непосредственно в дифференциальную цепь схемы без каких-либо промежуточных устройств.

Достоинства – быстрое действие и простота. Однако из-за большого тока срабатывания токовая отсечка иногда недостаточна чувствительна, поэтому она применяется на трансформаторах небольшой мощности.

Для выполнения дифференциальной токовой защиты с насыщающимися трансформаторами используются реле с НТТ типа РНТ – 565. Реле РНТ – 565 применяется при низкой чувствительности токовой отсечки или если требуются дополнительные устройства для выравнивания токов в схеме с реле косвенного действия. Благодаря НТТ защита отстраивается от бросков тока намагничивания. Если чувствительность защиты с реле типа РНТ недостаточна, то дифференциальная защита выполняется посредством реле с торможением.

### **6.6 Расчет дифференциальной защиты трансформатора ГПП**

Дифференциальная защита трансформатора является основной быстродействующей защитой от межфазных КЗ и замыканий между витками одной фазы. Схема расчета дифференциальной защиты приведена на рисунке 6.1.

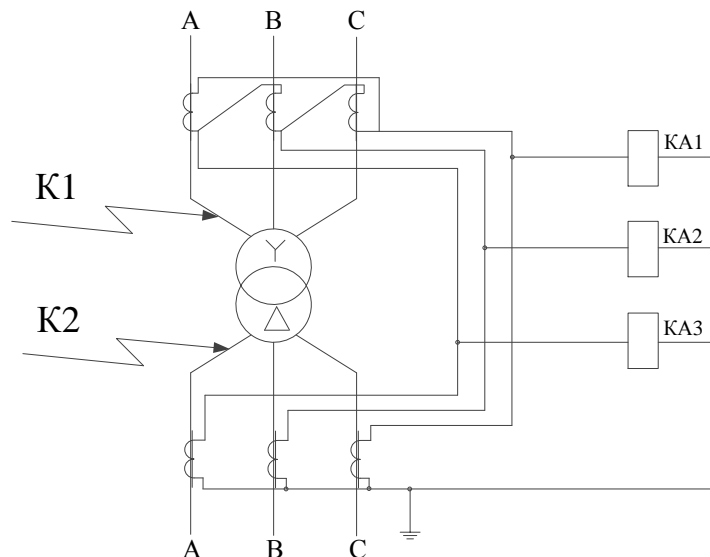


Рисунок 6.3 – Дифференциальная токовая защита трансформатора

При создавшемся аварийном режиме в зоне защиты в работу вступает дифференциальная защита и отключает повреждение без выдержки времени со стороны НН и ВН одновременно.

Таблица 6.1 – Исходные данные для расчета дифференциальной защиты

<i>Числовое значение для стороны</i>	
<i>35,0</i>	<i>10,0</i>
Номинальные токи защищаемого трансформатора	
$I_{ВН} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1,4 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 35,0} = 145,5\text{А.}$	$I_{НН} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{1,4 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 10,0} = 509,2\text{А.}$
Схема соединения обмоток трансформаторов	
Y	Δ
Схема соединения обмоток трансформаторов тока	
Δ	Y
Коэффициент схемы	
$K_{\text{сх}}^{(3)} = \sqrt{3}$	$K_{\text{сх}}^{(3)} = 1$
Принятый стандартный коэффициент трансформации трансформаторов тока	
$K_{\text{А.ВН}} = \frac{150}{5} = 30,0$	$K_{\text{А.НН}} = \frac{2000}{5} = 400,0$
Расчетный коэффициент трансформации трансформаторов тока	
$K_{\text{АΔ}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(3)} \cdot I_{ВН}}{5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 145,5}{5} = 50,4$	$K_{\text{АУ}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(3)} \cdot I_{НН}}{5} = \frac{1 \cdot 509,2}{5} = 101,8$
Вторичный ток в плечах защиты	
$I_{2ВН} = \frac{K_{\text{сх}}^{(3)} \cdot I_{ВН}}{K_{\text{А.ВН}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 145,5}{30,0} = 8,4\text{А.}$	$I_{2НН} = \frac{K_{\text{сх}}^{(3)} \cdot I_{НН}}{K_{\text{А.НН}}} = \frac{1 \cdot 509,2}{400,0} = 1,3\text{А.}$
Токи КЗ	
$I_{\text{кз.ВН}} = 2331,4\text{А.}$	$I_{\text{кз.НН}} = 3150,6\text{А.}$

Ток небаланса, обусловленный погрешностью трансформаторов тока  
 $I'_{нб} = I_{нб.тр} = K_a \cdot K_{одн} \cdot \Psi_i \cdot I_{кз.вн.мах} = 1 \cdot 1,0 \cdot 0,1 \cdot 2331,4 = 233,1\text{А}$ ,  
 где  $K_a$  – коэффициент, учитывающий наличие аperiodической составляющей [11, стр. 156];

$K_{одн}$  – коэффициент однотипности трансформаторов тока [11, стр. 156];

$\Psi_i$  – относительное значение полной погрешности трансформаторов тока [11, стр. 156].

Ток небаланса, обусловленный наличием РПН у силового трансформатора

$$I''_{нб} = I_{нб.рег} = \Delta U_{*a} \cdot K_{ток} \cdot I_{кз.вн.мах} = 0,09 \cdot 1,0 \cdot 2331,4 = 209,8\text{А},$$

где  $\Delta U_{*a}$  – относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения, равная половине диапазона регулирования силового трансформатора;

$K_{ток}$  – коэффициент токораспределения (для двухобмоточного трансформатора) [11, стр. 157].

Первичный расчетный ток небаланса при внешнем КЗ

$$I_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} = 233,1 + 209,8 = 443,0\text{А}.$$

Предварительный ток срабатывания защиты по условию отстройки от тока небаланса

$$I_{с.з} \geq K_{над} \cdot I_{нб} = 1,3 \cdot 443,0 = 575,8\text{А},$$

где  $K_{над}$  – коэффициент надежности, учитывающий ошибку реле и необходимый запас [11, стр. 158].

Предварительный ток срабатывания защиты по условию от броска тока намагничивания

$$I_{с.з} \geq K_{над} \cdot I_{вн} = 1,3 \cdot 145,5 = 189,1\text{А}.$$

Принимаем расчетный ток срабатывания защиты

$$I_{с.з} = 575,8\text{А}.$$

Расчетный ток в реле [11, стр. 27, табл. 2.1]

$$I_p = 1,5 \cdot \frac{I_{кз.вн.мин}}{K_{А.вн}} = 1,5 \cdot \frac{2331,4}{30,0} = 116,6\text{А}.$$

При двухфазном КЗ на стороне НН ток повреждения проходит через обмотки трансформатора тока стороны ВН, соединенные в треугольник. Предварительный ток срабатывания реле

$$I_{с.р} = \frac{K_{сх}^{(3)} \cdot I_{с.з}}{K_{А.вн}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 575,8}{30,0} = 33,2\text{А}.$$

Предварительное значение коэффициента чувствительности при двухфазном КЗ

$$K_{ч}^{(2)} = \frac{I_p}{I_{с.р}} = \frac{116,6}{33,2} = 3,51 > 2.$$

Проверка выполняется, можно вести расчет дальше. Необходимо определить число витков обмоток реле. Расчет начинается с определения числа витков обмотки ВН, так как это питающая сторона с регулируемым напряжением.

Таблица 6.2 – Определение числа витков насыщающегося трансформатора

Расчетный ток срабатывания реле на стороне ВН
$I_{с.р.вн.расч} = \frac{K_{сх}^{(3)} \cdot I_{с.з}}{K_{А.вн}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 575,8}{30,0} = 33,2А.$
Расчетное число витков обмотки реле для стороны ВН
$W_{вн.расч} = \frac{F_{ср}}{I_{с.р.вн.расч}} = \frac{100}{33,2} = 3,0шт, \text{ принимаем } W_{вн} = 3,0шт.$
Фактический ток срабатывания реле на стороне ВН
$I_{с.р.вн} = \frac{F_{ср}}{W_{вн}} = \frac{100}{3,0} = 33,3А.$
Фактический расчетный ток срабатывания защиты на стороне ВН
$I_{с.з.вн} = \frac{I_{с.р.вн} \cdot K_{А.вн}}{K_{сх}^{(3)}} = \frac{33,3 \cdot 30,0}{\sqrt{3}} = 577,4А.$
Расчетный ток срабатывания защиты на стороне НН
$I_{с.р.нн.расч} = \frac{I_{с.з.вн} \cdot U_{вн}}{U_{нн}} = \frac{577,4 \cdot 35,0}{10,0} = 2020,7А.$
Расчетное число витков обмотки реле для стороны НН
$W_{нн.расч} = \frac{W_{вн} \cdot I_{2вн}}{I_{2нн}} = \frac{3 \cdot 8,4}{1,3} = 19,8шт, \text{ принимаем } W_{нн} = 20,0шт.$
Ток небаланса, составляющая $I''_{нб}$
$I'''_{нб} = \frac{W_{нн.расч} - W_{нн}}{W_{нн.расч}} \cdot I_{кз.вн.мах} = \frac{19,8 - 20,0}{19,8} \cdot 2331,4 = 24,2А.$
Первичный расчетный ток небаланса
$I_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб} = 233,1 + 209,8 + 24,2 = 467,1А.$
Ток срабатывания защиты по условию отстройки от тока небаланса
$I_{с.з} \geq K_{над} \cdot I_{нб} = 1,3 \cdot 467,1 = 607,3А.$
Расчетное число витков обмотки реле для стороны ВН
$W_{вн.расч} = \frac{F_{ср}}{I_{с.р.вн}} = \frac{100}{33,3} = 3,0шт, \text{ принимаем } W_{вн} = 3,0шт.$
Фактический ток срабатывания реле на стороне ВН
$I_{с.р.вн} = \frac{F_{ср}}{W_{вн}} = \frac{100}{3,0} = 33,3А.$
Фактический расчетный ток срабатывания защиты на стороне ВН
$I_{с.з.вн} = \frac{I_{с.р.вн} \cdot K_{А.вн}}{K_{сх}^{(3)}} = \frac{33,3 \cdot 30,0}{\sqrt{3}} = 577,4А.$
Расчетный ток срабатывания защиты на стороне НН
$I_{с.р.нн.расч} = \frac{I_{с.з.вн} \cdot U_{вн}}{U_{нн}} = \frac{577,4 \cdot 35,0}{10,0} = 2020,7А.$



Расчетное число витков обмотки реле для стороны НН
$W_{\text{НН.расч}} = \frac{W_{\text{ВН}} \cdot I_{2\text{ВН}}}{I_{2\text{НН}}} = \frac{3 \cdot 8,4}{1,3} = 19,8 \text{ шт.}, \text{ принимаем } W_{\text{НН}} = 20,0 \text{ шт.}$
Ток небаланса, составляющая $I''_{\text{Нб}}$
$I''_{\text{Нб}} = \frac{W_{\text{НН.расч}} - W_{\text{НН}}}{W_{\text{НН.расч}}} \cdot I_{\text{Кз.ВН.max}} = \frac{19,8 - 20,0}{19,8} \cdot 2331,4 = 24,2 \text{ А.}$
Первичный расчетный ток небаланса
$I_{\text{Нб}} = I'_{\text{Нб}} + I''_{\text{Нб}} + I'''_{\text{Нб}} = 233,1 + 209,8 + 24,2 = 467,1 \text{ А.}$
Ток срабатывания защиты по условию отстройки от тока небаланса
$I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{над}} \cdot I_{\text{Нб}} = 1,3 \cdot 467,1 = 607,3 \text{ А.}$
Уточненный ток срабатывания реле на стороне ВН
$I_{\text{с.р.ВН}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(3)} \cdot I_{\text{с.з}}}{K_{\text{А.ВН}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 607,3}{30,0} = 35,1 \text{ А.}$
Окончательно принятое число витков
$W_{\text{ВН}} = 3,0 \text{ шт.}; \quad W_{\text{НН}} = 20,0 \text{ шт.}$
Проверка по уравнению
$I_{2\text{ВН}} \cdot W_{\text{ВН}} = 8,4 \cdot 3,0 = 25,2 \cong I_{2\text{НН}} \cdot W_{\text{НН}} = 1,3 \cdot 20,0 = 25,5$

Расчетный ток в реле [11, стр. 27, табл. 2.1]

$$I_{\text{р}} = 1,5 \cdot \frac{I_{\text{Кз.ВН.min}}}{K_{\text{А.ВН}}} = 1,5 \cdot \frac{2331,4}{30,0} = 116,6 \text{ А.}$$

Оценка значения коэффициента чувствительности при двухфазном КЗ

$$K_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{I_{\text{р}}}{I_{\text{с.р}}} = \frac{116,6}{35,1} = 3,32 > 2.$$

Расчитанная защита достаточно чувствительна и может быть рекомендована к установке.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
35ГЗБ2	Махмудалиев Алишер Ахмадалиевич

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Отделение</b>	<b>Отделение электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>13.02.02 Электроэнергетика и электротехника</b>

### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- стоимость материалов и оборудования; - квалификация исполнителей; - трудоёмкость работы.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- нормы амортизации; - размер минимальной оплаты труда.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- отчисления в социальные фонды.

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Формирование вариантов решения с учетом потерь электроэнергии.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование выполнения проекта: - Расчет бюджета затрат на проектирование; - Расчет капитальных вложений в основные средства.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение научно - технической эффективности.

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Альтернативы проведения проектирования;</i>
2. <i>График проведения и бюджет проектирования.</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н. доцент		

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
35ГЗБ2	Махмудалиев Алишер Ахмадалиевич		

## 7 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Целью данной работы является составление сметы на проектирование электроснабжения НПП «Эталон» и расчет сметы затрат на электрооборудование ремонтно-механических мастерских предприятия.

Капитальные вложения в электрооборудование – это в первую очередь, стоимость электрооборудования и стоимость строительно-монтажных работ.

В настоящее время, когда государственные средства на финансирование фундаментальной и прикладной науки очень ограничены, актуальным является формирование рыночных отношений в науке. Вся прикладная наука должна быть более конкретно ориентирована на потребителей, которых необходимо заинтересовать в использовании научных идей и разработок.

Учет особенностей развития экономики на современном этапе позволяет правильно ориентироваться в создании отдельных видов техники, в формировании технического базиса производства, в развитии производительных сил в целом. Однако при осуществлении конкретных задач, связанных с практической реализацией достижений науки и техники, учета общих требований недостаточно, поскольку само по себе это не обеспечивает принятия высокоэффективных решений в каждом отдельном случае.

Для этого необходимо экономическое обоснование принимаемых технических решений, то есть важнейшим критерием прогрессивности создаваемых образцов и видов техники, их соответствия современным требованиям научно-технического прогресса является экономика. Нет такого технического показателя или параметра, который в конечном итоге не был бы связан с экономикой. В отдельном случае можно говорить лишь о методологической трудности в установлении этой зависимости, в ее

количественной оценке. Но, тем не менее, такая возможность всегда существует и ее экономический анализ необходим.

## 7.1 Формирование вариантов решения проблем

Основные этапы выбора решения:

- Точная формулировка поставленной проблемы.
- Определение параметров (характеристик), от которых зависит решение проблемы.
- Деление параметров на их значения и представление их в виде набора матриц (или морфологической таблицы, карты).
- Формирование вариантов путем комбинаций – по одному элементу из каждой строки.
- Проверка всех имеющихся в морфологической карте вариантов на совместимость элементов и отброс нулевых вариантов, определение функциональной ценности всех возможных сочетаний.
- Выбор из морфологической карты наилучшего варианта решения проблемы (выполняется с применением различных, в том числе экспертных методов).

После того, как сформированы варианты решения, необходимо выбрать наилучший из них. Критерием для выбора могут служить затраты на проект:

$$Z_{\text{пр}} = E_n \cdot K + U \rightarrow \min,$$

где  $E_n$ - норма доходности инвестиций;

$U$  – ‘эксплуатационные затраты с учетом потерь и обеспечения надежности.

Таблица 7.1 - Матрица структурного решения выбора

Индекс параметра	Морфологический признак(параметр)	Вид(способ) исполнения		
		1	2	3
1	2	3	4	5
1	Вид тока	постоянный	переменный	импульсный
2	Охлаждение трансформаторов	Естественное воздушное	Естественное масляное	Масляное охлаждение с дутьем и естественной циркуляцией масла
3	Материал кабеля	Алюминий	Медь	-
4	Марка кабеля	ВРГ	НРГ	ВВГ
5	Защитная аппаратура	Плавкие предохранители	Автоматические предохранители	-
6	Силовые распределительные пункты	Щиты распределительные	Типовое РП	
7	Схема внутрицехового электроснабжения	Магистральная	Радиальная	
Вариант решения				

## 7.2 Планирование расчета и проектирования электроснабжения промышленного предприятия

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках расчета и проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения расчета и проектирования.

Для выполнения расчета и проектирования формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения расчета и проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 7.2.

Таблица 7.2 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ Раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления РиП	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель
	3	Выбор направления проектирования	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и проектирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отпечатано РиП	7	Составление пояснительной записки	Инженер
	8	Публикация полученных результатов	Инженер

### 7.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

В таблице 7.3 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

#### **7.4 Разработка графика проведения расчета и проектирования**

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22,$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 7.3.



Таблица 7.3 - Временные показатели проведения расчета и проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители				Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ожсi}$ , чел-дни												
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1		Исп.2	Исп.	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение технич. задания	1	5	3	2	10	4	1,4	7	3,4	Руковод.	Руковод.	Инженер	Руковод.	1,4	3,5	3,4	1,7	4,3	4,1
Подбор и изучение материалов по теме	1	4	3	2	8	4	1,4	5,6	3,4	Руковод.	Руковод.	Инженер	Руковод.	1,4	2,8	3,4	1,7	3,4	4,1
Выбор направления исследований	1	4	2	3	8	3	1,8	5,6	2,4	Руковод.	Руковод.	Инженер	Руковод.	1,8	2,8	2,4	2,2	3,4	2,9
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	2	5	1,4	1,4	3,2	Руковод.	Руковод.		Руковод.	1,4	1,4	3,2	1,7	1,7	3,9
Проведение теоретических расчетов и обоснований	61	81	68	89	94	91	72	86	77	Инженер	Руковод.	Инженер	Инженер	72	43	77,2	88,1	52,6	94,2
Оценка эффективности полученных результатов	2	10	2	3	12	3	2,4	11	2,4	Инженер	Инженер		Инженер	2,4	11	2,4	2,9	13,2	2,9

Составлен ие пояснител ьной записки	11	14	13	17	25	20	13	18	16	Инженер	Инженер	Инженер	13	18	15, ,8	16, 3	22, 4	19, 3
Публикац ия результат ов	1	1	1	5	5	5	2, 6	2, 6	2, 6	Инженер	Инженер	Инженер	2, 6	2, 6	2, 6	3,2	3,2	3,2
Итого																117, ,9	104, ,2	134, ,7

Итого длительность работ в календарных днях при использовании

- Первого варианта- 118 календарных дней.
- Второго варианта- 105 календарных дней.
- Третьего варианта- 135 календарных дней.

На основе таблицы 7.3 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 7.4.

Таблица 7.4 - Календарный план-график проведения РИП по теме.

№	Вид работ	Ткí, кал.дн	продолжительность выполнения работ																	
			январь		февраль			март			апрель			май			июнь			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			
1	Составление и утверждение технического задания	4,1	■																	
2	Подбор и изучение материалов по теме	4,1	■																	
3	Выбор направления исследований	2,9	■																	
4	Календарное планирование работ по теме	3,9		■																
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	94,2			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
6	Оценка эффективности полученных результатов	2,9																		
7	Составление пояснительной записки	19,3															■	■		
8	Публикация полученных результатов	3,2																■		

Руководитель- ■ Инженер- ■

### 7.5 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 7.5.

Таблица 7.5 - Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители			трудо-емкость, чел-дн..			ЗП на один чел.-дн., тыс.руб..			ЗП по окладу, тыс. руб..		
		исп.1	исп.2	исп.3	исп.1	исп.2	исп.3	исп.1	исп.2	исп.3	исп.1	исп.2	исп.3
1	Составление и утверждение технического задания	руковод	руковод	руковод	1,4	6,2	2,8	1323,48	1323,48	1323,48	1852,872	8205,6	4499,832
			инженер						832			5158,4	
2	Подбор и изучение материалов по теме	руковод	руковод	руковод	1,4	6,2	3,4	1323,48	1323,48	1323,48	1852,872	8205,6	4499,832
			инженер						832			5158,4	
3	Выбор направления исследований	руковод	руковод	руковод	1,8	5,6	2,4	1323,48	1323,48	1323,48	2382,264	7408,8	3176,352
			инженер						832			4659,2	
4	Календарное планирование работ по теме	руковод	руковод	руковод	1,4	1,4	3,2	1323,48	1323,48	1323,48	1852,872	1852,872	4235,136
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	инженер	руковод	инженер	72	86	77	832	1323,48	832	59904	113821	64064
			инженер						832			71552	
6	Оценка эффективности полученных результатов	инженер	инженер	инженер	2,4	9,2	2,4	832	832	832	1996,8	9152	1996,8
7	Составление пояснительной записки	инженер	инженер	инженер	14	18	15	832	832	832	10816	14976	13312
8	Публикация полученных результатов	инженер	инженер	инженер	3,4	3,4	3,4	832	832	832	2163,2	2163,2	2163,2
	Итого										82820,88	252144,07	97947,152

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата руководителя, инженера рассчитываются по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн (табл.2);

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 7.6.

Таблица 7.6 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	17
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	234

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где  $Z_{tc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{tc}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{tc}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{tc}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_t$  и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 7.7.

Таблица 7.7 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{tc}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$Z_{осн}$ , руб.			$Z_{осн}$ , руб.		
							Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	16000	0,3	0,15	1,3	30160,00	1323,48	6	105,6	12,4	7940,9	139759	16411
Инженер	8000	0,3	0,5	1,3	18720,00	832,00	90	135	99	74880	112320	82368
Итого $Z_{осн}$ :										82821	252079	98779

Основная заработная плата руководителя(от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

## 7.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}},$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

## 7.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл.7.9.

Таблица 7.9 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	82820,9	252079	98779
2. Накладные расходы	19457,71	59015	23158
3. Бюджет затрат НТИ	141068,38	427860	167899

## 7.8 Расчет капитальных вложений в основные средства

Для осуществления проекта необходимы затраты на строительство зданий, очистных сооружений, приобретение оборудования, измерительных приборов, технологической оснастки и производственного инвентаря, транспортных средств и т.д.

Рассчитанные по видам основных фондов капитальные вложения сводятся в таблицу 7.10 с указанием срока службы.

Таблица 7.10 - Капитальные вложения во вне оборотные активы

Группы и виды вне оборотных активов	Кол-во, шт.	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая балансовая стоимость, тыс. руб.	Срок службы, лет
Трансформаторы ТМН-10000/10	2	630	1260	30
Выключатели ВВУ 35-40	2	7,169	14,338	15
Автоматические выключатели ВА 57-59	2	11,655	23,31	15
Разъединитель РДЗ-35 1000	9	2,692	24,228	15
Автоматические выключатели ВА 57-31	5	1,526	7,63	15
Автоматические выключатели ВА 75-45	3	88,832	266,496	15
Пункт распределительный ПР 8503	9	294	2646	15
Пункт распределительный ПР 11-3011	2	5,369	10,738	15
Конденсаторные батареи УKM 58-04-225-37.5У3	2	88	176	30
Кабель	800 м.	1,899/ м.	1519,2	30
Всего			5947,94	



Суммарные капитальные вложения в систему электроснабжения цеха составляют:

$$K = K_{\text{пр}} + K_{\text{об}},$$

$$K = 336719,78 + 5947940 = 6284659,78 \text{ руб.}$$

### 7.9 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 7.11

Таблица 7.11 - Интегральный финансовый показатель

	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$
Исполнение 1	0,33
Исполнение 2	1
Исполнение 3	0,39

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (16)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта приведена в таблице 7.12.

Таблица 7.12 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Повышение производительности труда пользователя	0,2	3	3	5
Надежность	0,2	4	5	5
Безопасность	0,25	3	3	5
Финансирование научной разработки	0,15	5	4	3
Наличие сертификации разработки	0,2	5	3	5
ИТОГО	1			

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 7.13

Таблица 7.13 - Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

	$I_{pi}$
Исполнение 1	3,9
Исполнение 2	3,55
Исполнение 3	4,7

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}}, \quad I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр}^{исп.3}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.(2,3)}}; \mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.(1,3)}}; \mathcal{E}_{cp3} = \frac{I_{исп.3}}{I_{исп.(1,2)}}$$

Таблица 7.14 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1		Исп.2		Исп.3	
		По отношению к исп.2	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,33		1		0,39	
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности и разработки	3,9		3,55		4,7	
3	Интегральный показатель эффективности	11,82		3,55		12,05	
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	3,33	0,98	0,30	0,29	1,02	3,39

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗБ2	Махмудалиев Алишер Ахмадалиевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения		Рабочая зона представляет собой закрытую территорию, основное рабочее оборудование – электропривод переменного тока.	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>· физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>· действие фактора на организм человека;</li> <li>· приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>· предлагаемые средства защиты;</li> <li>· (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>		1. Анализ следующих вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Шум;</li> <li>- Вибрация;</li> <li>- Недостаточный уровень освещения;</li> <li>- Отклонение параметров микроклимата от допустимых значений.</li> </ul> 2. Анализ следующих опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Поражение электрическим током;</li> <li>- Механические травмы.</li> </ul>	
<b>2. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>		Анализ воздействия на атмосферу: выбросы загрязняющих веществ в результате деятельности ремонтного цеха. Анализ воздействия на литосферу: образование отходов в результате деятельности ремонтного цеха.	
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul>		Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха – пожар. Разработка превентивным мер по предупреждению ЧС, действий во время ЧС и для ликвидации её последствий.	

– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	Организационные вопросы обеспечения безопасности в рабочей зоне для электротехнического персонала

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Махмудалиев Алишер Ахмадалиевич		

## **8 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Охрана труда представляет собой систему законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда. В нашей стране государство направляет средства на проведение мероприятий по охране здоровья трудящихся и в частности на обеспечение техники безопасности и производственной санитарии. Мероприятия, связанные с созданием безопасных условий труда осуществляются в плановом порядке.

В данном разделе рассмотрены следующие вопросы охраны труда: проанализированы условия труда с точки зрения наличия возможности появления вредных факторов и их воздействие на работающих, рассмотрены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте электромонтера.

В данной работе рассмотрен ремонтный цех НПП «ЭТАЛОН». В данном цехе оборудование, которое создает множество опасных и вредных факторов. Необходимо строго соблюдать технику безопасности и применять различные меры для обеспечения безопасности рабочего персонала.

### **8.1 Производственная безопасность**

#### **Анализ опасных и вредных факторов**

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья, или смерти. Вредный производственный фактор - производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях может привести к заболеванию, снижению работоспособности и (или) отрицательному влиянию на здоровье потомства. В зависимости от количественной характеристики (уровня, концентрации и др.) и продолжительности воздействия вредный производственный фактор может стать опасным.

При выполнении своих профессиональных обязанностей персонал цеха может столкнуться со следующими опасными производственными факторами:

#### **1. Опасные факторы:**

- механические травмы;
- поражения электрическим током;

#### **2. Вредные факторы:**

- Шум;
- Вибрация;
- Недостаточный уровень освещения;
- Отклонение параметров микроклимата от допустимых значений.

## Техника безопасности

Техника безопасности – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

### Электробезопасность:

Гигиеническое нормирование ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [14] устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, Правила устройства электроустановок [15] и Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н “Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок” (вступил в силу 4 августа 2014 года) [16].

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью, так как в цехе расположена трансформаторная подстанция. В цехе отсутствует токопроводящая пыль и влажность, но есть возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам и механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой.

1. Для работы с электроустановками выше 1000 В применяются:

а) Основные защитные средства:

- изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, устройства и приспособления для ремонтных работ;
- изолирующие устройства и приспособления для работ на ВЛ с непосредственным прикосновением электромонтера к токоведущим частям (изолирующие лестницы, площадки, изолирующие тяги, канаты, корзины телескопических вышек, кабины для работы у провода и др.).

б) Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические перчатки;
- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- изолирующие подставки и накладки;
- диэлектрические колпаки;
- переносные заземления;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

2. Для работы с электроустановками ниже 1000 В применяются

а) Основные защитные средства:

- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

б) Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- переносные заземления;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

На подстанция имеется комплект предупредительных плакатов.

На рабочем месте дежурного персонала находится полный комплект рабочих инструкций и инструкций по технике безопасности:

1. Должностная инструкция дежурного данного района обслуживания.
2. Инструкция по производству оперативных переключений на подстанции данного района.
3. Инструкция действий оперативного персонала в случае аварии.
4. Инструкция по отысканию однофазных замыканий на землю в данном районе подстанций.
5. Инструкция дежурного персонала по технике безопасности.
6. Оперативный журнал.
7. Журнал производства работ.
8. Журнал телефонограмм.
9. Журнал закороток.

На подстанции имеется список лиц административно – технического персонала утвержденный главным энергетиком предприятия, имеющих право единоличного осмотра подстанций.

Основными мерами защиты на объекте от поражения током являются

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением от случайного прикосновения;
- электрическое разделение сети;
- устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрического оборудования, что достигается применением малых напряжений, использованием двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и д.р.;
- применение специальных защитных средств переносных приборов и приспособлений;
- организация безопасной эксплуатации электроустановок;
- применение индивидуальных средств защиты: изолирующие электрозащитные средства, ограждающие средства защиты, предназначенные для временного ограждения токоведущих частей, для временного заземления, предохранительные средства защиты предназначенные для индивидуальной защиты от световых, тепловых и механических повреждений.

К основным техническим средствам защиты от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

- отключение электроустановки и электрическая изоляция токоведущих частей;



- ограждение и вывешивание запрещающих, указательных, предупреждающих и предписывающих плакатов;
- сигнализация и блокировка;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сети;
- зануление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- индивидуальной защиты и защитные средства: штанги изолирующие, диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки, слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками, переносные заземления, предупредительные плакаты, предохранительные пояса.

К основным организационным мероприятиям, обеспечивающим безопасность работ в электроустановках согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы.

#### **Механические травмы:**

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности и регламентируются «Межотраслевыми правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок» ПОТРМ-016-2001; РД 153 -34,0-03,150-00 [16].

В рассматриваемом цехе большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество оборудования. При необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала - предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация.

## **8.2 Производственная санитария**

### **Микроклимат:**

В обеспечении условий высокопроизводственного труда научно-технического персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма.

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [17] и СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [18].

Таблица 1 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Диапазон ниже оптимальных величин $t_{\text{опт}}$	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, ф%	Скорость движения воздуха, м/с	
						Если $t^{\circ} < t^{\circ}_{\text{опт}}$	Если $t^{\circ} > t^{\circ}_{\text{опт}}$
Холодный	Па	17,0 – 18,9	21,1 – 23,0	16,0 – 24,0	15 – 75	0,1	0,3
Теплый	Па	18,0 – 19,9	22,1 – 27,0	17,0 – 28,0	15 – 75	0,1	0,4

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Таблица 2 – Оптимальные нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, ф%	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па	19,0-21,0	18,0 – 22,0	60 – 40	0,2
Теплый	Па	20,0-22,0	19,0 – 23,0	60 – 40	0,2

Для рассматриваемого объекта установлены оптимальные величины показателей микроклимата. Для холодного периода года используется кондиционирование воздуха и отопление. Устройства систем вентиляции используются круглогодично. Теплозащитные экраны применяются по необходимости, в основном в теплый период.

Вредные вещества:

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [17] вредные вещества разделяют на 4 класса опасности:

1. Чрезвычайно опасные (ПДК < 0,1 мг/ м3);
2. Высокoопасные (ПДК = 0,1, 1 мг/ м3);
3. Умеренно опасные (ПДК = 1, 10 мг/ м3);
4. Малоопасные (ПДК > 10 мг/ м3).

В рассматриваемом цехе используются малоопасные вредные вещества (керосин, соединения железа). Основной мерой борьбы с вредными веществами является применение системы вентилирования.

#### **Производственная вентиляция:**

Нормы производственной вентиляции установлены согласно СП 60.13330.2016 [19].

На рабочем месте предусматривается искусственная приточно-вытяжная общеобменная вентиляция с расходом воздуха на одного работающего не менее 60 м<sup>3</sup>/ч.

Воздух, поступающий в помещение в зимнее время, подогревается на входе тепловыми завесами, а охлаждается с помощью приточно-вытяжной вентиляции. Механическая вентиляция обеспечивает очистку выбрасываемого наружу воздуха, что очень важно для воздушной среды окружающей предприятие.

#### **Виброакустические вредные факторы:**

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием, ГОСТ 12.1.012 – 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [20], Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [21].

Таблица 3 – Гигиенические нормы вибрации

Вид вибрации	Допустимый уровень вибростойкости, дБ, в активных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					
	2	4	8	16	32,5	63
Технологическая	108	99	93	92	92	92

Вибрацию в рассматриваемом цехе можно наблюдать при работе большинства оборудования. Для снижения уровня вибрации производится тщательное наблюдение за узлами оборудования, и, в случае необходимости, настройка оборудования и замена изношенных частей установок.

#### **Шум:**

Шум наносит большой ущерб, вредно действует на организм человека и снижает производительность труда. Утомление рабочих из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению травм.

При нормирование шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума, нормирование уровня звука. Таким образом, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значение которых приведены в ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности» [22]. Поэтому для рабочих мест цеха допустимый уровень звукового давления в активной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц есть 80 дБ, а допустимый эквивалентный уровень звука 85 дБА. При данном производственном процессе уровень шумов не выходит за нормативы.

Основным источником шума на подстанции является гудение трансформатора. Шум, создаваемый трансформатором, не выходит за пределы норм. Никакие дополнительные средства защиты не предусмотрены.

Шум в рассматриваемом цехе может возникать только при использовании некоторых видов оборудования, поэтому применяются индивидуальные средства защиты от шума, а так же звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций с инженерными конструкциями и укрытия в кожухи источников шума. В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

### **Защита от электромагнитных полей:**

Нормирование ЭМП промышленной частоты осуществляют по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного полей частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в нем и регламентируются ГОСТ 12.1.002 – 84 "Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах" [23].

Источниками электромагнитных полей являются ВЛЭП, включающие коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики.

В рассматриваемом цехе некоторое технологическое оборудование способно создавать напряженность электрического поля на рабочих местах выше 5 кВ/м, при этом применяется рациональное размещение оборудования, излучающее электромагнитную энергию, а рабочие места персонала удалены от источников электромагнитных полей.

### **Освещение:**

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам, предусмотренным СП.52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [24]. Для безопасного продолжения работы, или выхода людей из помещений при внезапном отключении должно быть предусмотрено аварийное освещение. Длительное снижение напряжения у наиболее удаленной лампы не должно быть более 5%. Питание аварийного освещения должно быть надежным и от независимого источника. Для аварийного освещения должны применяться светильники, отличающиеся от светильников рабочего освещения типом или размером, или на них должны быть нанесены специальные знаки.

На объекте предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. При этом аварийное освещение представляет около 10% от общего освещения.

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники показывающие выход. Данные светильники оборудованы аккумуляторными батареями и приборами автоматики, так что при исчезновении напряжения в сети, автоматически включаются с помощью собственного источника питания.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В. Светильники подключаются с помощью штепсельной розетки, которая размещена в отдельном корпусе вместе с трансформатором 220/36В.

### **Расчет системы искусственного освещения:**

Воспользуемся методом коэффициента светового потока:

Размещение светильников в плане и разрезе помещения определяется следующими размерами:

$A$ – длина цеха, м;

$B$ – ширина цеха, м;

$H$ – высота цеха, м;

$h_c$ – расстояние от перекрытия до светильником (свес), м;

$h_p$ – высота от пола до рабочей поверхности, м;

$\rho_n$ – коэффициент отражения потолка для бетонного потолка [25, стр. 9, табл. 7];

$\rho_m$ – коэффициент отражения для бетонных стен с окнами [25, стр. 9, табл. 7].

Высота светильников над полом (высота подвеса)

$$h_n = H - h_c = 7,0 - 0,2 = 6,8\text{м.}$$

Расчетная высота (высота светильников над рабочей поверхностью)

$$H_p = h_n - h_p = 6,8 - 0,7 = 6,1\text{м.}$$

Интегральный критерий оптимальности расположения люминесцентных светильников с защитной решеткой [25, стр. 6, табл. 4]

$$\lambda = \frac{L}{H_p} = 1,1.$$

Расстояние между соседними рядами светильников

$$L = \lambda \cdot H_p = 1,1 \cdot 6,1 = 6,7\text{м.}$$

Рекомендуемое расстояние от крайних рядов светильников до стены

$$L_{\text{рек}} = \frac{L}{3} = \frac{6,7}{3} = 2,2\text{м.}$$

Таким образом, принимаем число рядов светильников  $m$ : 3шт.

Число светильников каждом ряду: 39шт.

Общее количество светильников  $N=117$ шт. (Тип ОДЛ-2-40)

Общее количество ламп  $n = 2 \cdot N = 234$ шт. (Тип ЛБ-40)

Фактическое расстояние от крайних рядов светильников до стены с учетом выбранного количества рядов

$$L = \frac{B - L \cdot (m - 1)}{2} = \frac{18,0 - 6,7 \cdot (3 - 1)}{2} = 2,3\text{м.}$$

Индекс помещения

$$i = \frac{F_{\text{ц}}}{H_p \cdot (A + B)} = \frac{1296,0}{6,1 \cdot (72,0 + 18,0)} = 2,4,$$

где  $F_{\text{ц}}$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>.

Коэффициент использования [25, стр. 11, табл. 8]

$$\eta = 0,61$$

Необходимый световой поток ламп в каждом ряду

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot F_{\text{ц}} \cdot Z}{\eta \cdot n} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 1296 \cdot 1,1}{0,61 \cdot 234} = 2996,2\text{Лм,}$$

где  $E_n$  – нормируемое значение минимальной освещенности (разряд IV, подразряд "в"), лк [25, стр. 7, табл. 5];

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (ИС, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли [25, стр. 9, табл. 6];

$Z = E_{\text{ср}}/E_{\text{мин}}$  – коэффициент, характеризующий неравномерность освещения (для люминесцентных ламп) [25, стр. 8].

Согласно рекомендациям справочной литературы выбираем ближайшую стандартную лампу, поток которой не должен отличаться от  $\Phi$  больше чем –10%; +20%.

Принимаем люминесцентные лампы типа ЛБ-40

Мощность принятых ламп  $P_{\text{ном}} = 40\text{Вт}$ , [25, стр. 9, табл. 6].

Световой поток принятых ламп  $\Phi_{\text{л.станд}} = 3200\text{Лм}$ , [25, стр. 9, табл. 6].

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 6,4\% \leq +20$$

проверка выполняется.

Электрическая мощность осветительной установки

$$P_0 = n \cdot P_{\text{ном}} = 234 \cdot 40 = 9660,0 \text{ Вт.}$$

В рассматриваемом цехе был произведен расчет искусственного освещения с применением люминесцентных ламп. План размещения светильников приведен в приложении 1.

### 8.3 Экологическая безопасность

Влияние электрических сетей на окружающую среду определяется воздействием электрического поля, использованием земельных ресурсов, нарушением природных ландшафтов.

Для исключения влияния на окружающую среду возможных разливов трансформаторного масла при авариях с маслонаполненным оборудованием, на подстанциях предусматриваются маслоприемники, аварийные маслостоки и закрытые маслосборники, в которые также могут поступать воды из маслоприемников содержащие следы масла.

Мероприятия по охране природы регламентируются ГОСТ 17.0.001-86 (Основные положения) [28], ГОСТ 17.2.1.01-86 (Атмосфера) [29] и ГОСТ 17.11.02-86 (Гидросфера) [30].

Для работающих на промышленных предприятиях, непосредственной окружающей средой является воздух рабочей зоны.

Охрана окружающей среды на предприятии предусматривает мероприятия, предотвращающие загрязнение воздушного бассейна. С этой целью загрязненный воздух, удаляемый из производственных помещений, пропускается через специальные очистительные фильтрующие и обезвреживающие устройства, которые обеспечивает вытяжному воздуху то же качество, что и на входе.

В самом процессе производства не образуются сточные воды. Сточные воды появляются в результате мойки оборудования и текущей уборки и специальными сливами отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

Твердые отходы, к которым относятся первичная упаковка сырья, отработавшие фильтры, и т.д. сжигаются в собственных устройствах. Остальные образующиеся отходы вывозятся специализированными организациями на объекты размещения отходов. Твердые отходы, которые представляет вторичная упаковка, можно сортировать и отправлять на переработку на картонажно-бумажные фабрики.

Также для поддержания экологического равновесия в природе, на заводе проводятся мероприятия по озеленению территории предприятия.

## 8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. Стихийные бедствия – явления природы, возникающие внезапно. Они носят чрезвычайный характер и приводят к нарушению нормальной жизни, гибели людей и уничтожению материальных ценностей. К стихийным бедствиям обычно относят землетрясения, наводнения, селевые потоки, оползни, снежные заносы и др.

Большинство из перечисленных чрезвычайных ситуаций могут случиться на рассматриваемом предприятии. Для повышения устойчивости к ним предусмотрены различные меры:

1. Для обеспечения бесперебойной работы в случае ЧС предусмотрено питание от двух источников электроэнергии, удаленных на такое расстояние, чтобы исключить возможность разрушения их в военное время одним ядерным ударом, а в мирное время – стихийным бедствием или аварией, а также имеются резервные источники питания.

2. В целях снижения опасности взрыва применяют вентиляционные установки, автоматическая сигнализация, систематически контролируется температура узлов электрооборудования. На каждом этаже предприятия установлена радиоточка для оповещения людей о пожаре или другой ЧС.

3. От прямых ударов молнии установлена молниезащита. Молниеприемниками служат неизолированные стержневые молниеотводы. В качестве токоотводов используют наружные вертикальные стальные конструкции (пожарные лестницы). По каждому этажу проложены стальные пояса из полосовой стали, к которым присоединяются токоотводы, все металлические конструкции и оборудование. Каждый токоотвод такого устройства присоединен к замкнутому контуру, уложенному по периметру здания.

4. В качестве профилактики от сезонных вспышек вируса гриппа регулярно проводится вакцинация работающих.

5. Для снижения вероятности пожара предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация. На случай возникновения пожара предусмотрены первичные средства пожаротушения.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО.

На сводные отряды, помимо спасения людей, возлагаются неотложные аварийно-восстановительные работы, тушение пожаров, обеззараживание участков местности, транспорта, техники.

Важным условием быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике. Для этого на предприятии несколько раз в году производятся теоретическая подготовка и практические тренинги.

## 8.5 Пожарная безопасность

Основной причиной пожаров на предприятиях является нарушение технологического режима. Это связано с большим разнообразием и сложностью технологических процессов. Основы противопожарной защиты определяются Федеральным законом от 22.07.2008 №123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [26].

Ответственность за соблюдение необходимого противопожарного режима и своевременное выполнение противопожарных мероприятий возлагается на руководителя предприятия и начальника цеха.

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции. В этих инструкциях определены основные требования пожарной безопасности для данного цеха или участка производства.

Согласно Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, помещения и здания по взрывопожарной и пожарной опасности классифицируются на категории А, Б, В, Г и Д. Рассматриваемый цех относится пожароопасной категории В (в цехе применяются горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть).

Средства пожаротушения подразделяют на первичные, стационарные и передвижные (пожарные автомобили).

В помещении цеха устанавливается пожарный инвентарь, в который входит (согласно ВППБ 01-02-95 РД 153-34.0-03.301-00 [27]) такие первичные средства пожаротушения, как (из расчета на 800 м<sup>2</sup> защищаемой площади):

- ручные углекислотные огнетушители ОУ-2 (2 шт.), ОУ-5 (1 шт.);
- пенный огнетушитель (2 шт.);
- ящик с песком;
- асбест;
- ведра;
- лопаты и багор.

Кроме того, в некоторых помещениях цеха используются стационарные установки пожаротушения.

В рассматриваемом цехе возможен пожар Классов В (пожар горючих жидкостей и плавящихся твердых веществ) и Е (пожар, связанный с горением электроустановок).

Для локализации небольших загораний обслуживающий персонал до прибытия передвижных средств пожаротушения должен использовать первичные средства пожаротушения, находящиеся на пожарных щитах.

Первичные средства пожаротушения размещаются вблизи мест наиболее вероятного их применения, на виду, в безопасном при пожаре месте, с обеспечением к ним свободного доступа.

В цехе используются пожарные гидранты надземного типа. Гидранты обозначены указательной табличкой. Пожарный рукав и вся необходимая арматура располагается рядом с гидрантом в специальном шкафу.



На предприятии используется система автоматической пожарной безопасности, основанная на датчиках различных видов (дымовые, тепловые, датчики пламени). В случае возникновения пожара, срабатывает система оповещения — подается световой и звуковой сигнал об опасности. Кроме того, появляются светящиеся табло с указанием аварийных выходов и схем эвакуации людей. Одновременно срабатывает система пожаротушения (порошковые устройства пожаротушения), а устройство связи, передает информацию на пульт централизованного наблюдения.

План эвакуации приведен в приложении 2.

## **8.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.
- повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

## Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Персонал допускается к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты. На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ. Все эксплуатируемые электроустановки должны соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», и др. нормативных документов. Эксплуатация электрооборудования без заземления не допускается. Помещения опытно-производственной лаборатории обеспечиваются первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам. Все работники должны уметь пользоваться средствами пожаротушения и уметь оказывать первую помощь при несчастном случае. Не допускается загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы было осуществление электроснабжения всех электроприёмников ремонтно-механического цеха НПП «Эталон» и всего предприятия в целом. Первым этапом для достижения цели было определение расчетной электрической нагрузки цеха «методом упорядоченных диаграмм», то есть методом коэффициента спроса и коэффициента максимума и определение расчетной нагрузки предприятия в целом, определяемая, по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов (до и выше 1000 В) с учетом расчетной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и ГПП и потерь в высоковольтных линиях.

По расчетным нагрузкам цехов была построена картограмма нагрузок и определён центр электрических нагрузок предприятия. Со смещением от центра электрических нагрузок в сторону ЛЭП, питающей предприятие, была установлена главная понизительная подстанция предприятия. На ГПП установлены два двухобмоточных трансформатора марки ТДН-16000/110. Марка трансформаторов ГПП и напряжение питающих линий было выбрано на основании технико-экономического расчета. На стороне 110кВ принята схема в виде мостика с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий. На стороне 10 кВ принята одинарная секционированная система шин, с устройством АВР, оборудование установлено в закрытом помещении. Электроснабжение предприятия осуществляется от подстанции энергосистемы по двум воздушным ЛЭП 110 кВ.

Далее было определено число и мощность цеховых трансформаторов. Номинальная мощность цеховых трансформаторов принята равной 1000 кВА, минимальное расчётное число трансформаторов цеховых ТП равно двенадцати. Расчет мощности компенсирующих устройств был произведен для минимального числа трансформаторов и для увеличенного числа цеховых трансформаторов. Технико-экономическое сравнение вариантов показало, что увеличение числа трансформаторов значительно снижает затраты на низковольтные комплектные конденсаторные установки, повышает затраты на высоковольтные установки, и в общем ведет к увеличению полных затрат, т.е. оптимальным является вариант с расчетным числом трансформаторов.

Распределительная сеть выше 1000 В по территории предприятия выполнена самонесущими изолированными проводами СИП-3, а так же трёхжильными кабелями с медными жилами, с оболочкой из вулканизированного полиэтилена, бронированного, с наружным покровом из поливинилхлоридного шланга марки ВБШв, с прокладкой по эстакадам.

Следующим этапом было осуществление электроснабжения цеха. Электроприёмники цеха запитываются от распределительных шкафов четырехжильными кабелями с медными жилами с поливинилхлоридной изоляцией марки ВВГ, с прокладкой по лоткам. Защита электроприемников и кабельных линий осуществляется автоматическими выключателями марки ВА.

Карта селективности, построенная по результатам выбора аппаратов защиты показала, что селективность обеспечивается. А эпюра отклонения напряжения, построенная для максимального и минимального режимов, показала, что во всех режимах работы у электроприёмников поддерживается напряжение в допустимых пределах и выбранные сечения пригодны для эксплуатации.

По проводимым в процессе расчётов проверкам, по карте селективности и по эпюрам отклонения напряжения можно сделать вывод, что данная модель электроснабжения цеха и всего предприятия в целом надёжна и пригодна к эксплуатации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: Учеб. пособие – Томск: Изд-во ТПУ 2006.
2. Мельников М.А. Внутрицеховое электроснабжение: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002.
3. Гаврилин А.И., Обухов С.Г., Озга А.И., Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению выпускной работы бакалавра, Томск, ТПУ, 2001.
4. Барченко Т.Н., Закиров Р.И., Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие к курсовому проекту, Томск, ТПИ, 1988.
5. Климова Г.Н. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие/ Г.Н. Климова, А.В. Кабышев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
6. Справочник по проектированию электроэнергетических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.
7. Крючков И.П. и др. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учеб. пособ. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978.
8. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. пособ. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
9. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учеб. пособ. – ФОРУМ:ИНФРА-М, 2006.
10. Молниезащита электроустановок систем электроснабжения: учебное пособие /А.В. Кабышев. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006
11. Мельников М.А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. - 178 с.
12. Копьев В.Н. Релейная защита основного элек-рооборудования электростанций и подстанций. Вопросы проектирования: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп.– Томск: Изд. ЭЛТИ ТПУ, 2005. - 107 с.
13. Борисова Л.М., Гершанович Е.А. Экономика энергетики: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2006.
14. ГОСТ 12.1.038-82 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
15. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
16. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н “Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок”
17. ГОСТ 12.1.005-88 (2001) ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
18. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
19. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция, кондиционирование.

20. ГОСТ 12.1.012 – 90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
21. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
22. ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
23. ГОСТ 12.1.002-84 (1999) ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
24. СП.52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
25. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001.
26. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности
27. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. РД 153-34.0-03.301-00. ВППБ 01-02-95.
28. ГОСТ 17.0.001-86 Охране окружающей среды. Основные положения.
29. ГОСТ 17.2.1.01-86 Атмосфера.
30. ГОСТ 17.11.02-86 Гидросфера.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1 – Определение расчетных нагрузок ремонтного цеха по пунктам питания

№ п/п	Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП п	Установленная мощность		$m = P_{\text{ном.мах}}/P_{\text{ном.мин}}$	Коэффициент использования $K_u$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников $n_e$	Коэффициент максимума $K_M$	Максимальная нагрузка			$I_M,$ А	$I_{\text{пик}},$ А
			$P_{\text{ном}},$ кВт	$\Sigma P_{\text{ном}},$ кВт					$P_{\text{ср}}=K_u \cdot P_{\text{ном}}$ кВт	$Q_{\text{ср}}=P_{\text{ср}} \cdot \text{tg}\varphi,$ кВАр			$P_M=K_M \cdot P_{\text{ср}}$ кВт	$Q_M=(1 \div I, I) \cdot Q_{\text{ср}}$ кВАр <sup>2</sup>	кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Шкаф распределительный ПР-1</b>																	
<b>Электроприемники группы "А" <math>K_u &lt; 0,6</math></b>																	
1	Станки разные	9	4,7 ÷ 20,2	103,7		0,25	0,60	1,33	25,9	34,6							
<b>Итого по группе "А"</b>		<b>9</b>	<b>4,7 ÷ 20,2</b>	<b>103,7</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,25</b>	<b>0,60</b>	<b>1,33</b>	<b>25,9</b>	<b>34,6</b>	<b>7</b>	<b>1,98</b>	<b>51,4</b>	<b>38,0</b>	<b>63,9</b>		
<b>Итого по ПР-1</b>		<b>9</b>	<b>4,7 ÷ 20,2</b>	<b>103,7</b>		<b>0,25</b>	<b>0,60</b>	<b>1,33</b>	<b>25,9</b>	<b>34,6</b>			<b>51,4</b>	<b>38,0</b>	<b>63,9</b>	<b>97,1</b>	<b>370,1</b>
<b>Шкаф распределительный ПР-2</b>																	
<b>Электроприемники группы "А" <math>K_u &lt; 0,6</math></b>																	
1	Станки разные	9	3,5 ÷ 39,9	139,1		0,25	0,60	1,33	34,8	46,4							
2	Сварочный полуавтомат ПВ = 60%	1	22,7 ÷ 22,7	22,7		0,30	0,60	1,33	6,8	9,1							
<b>Итого по группе "А"</b>		<b>10</b>	<b>3,5 ÷ 39,9</b>	<b>161,8</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,26</b>	<b>0,60</b>	<b>1,33</b>	<b>41,6</b>	<b>55,4</b>	<b>7</b>	<b>1,96</b>	<b>81,7</b>	<b>61,0</b>	<b>101,9</b>		
<b>Итого по ПР-2</b>		<b>10</b>	<b>3,5 ÷ 39,9</b>	<b>161,8</b>		<b>0,26</b>	<b>0,60</b>	<b>1,33</b>	<b>41,6</b>	<b>55,4</b>			<b>81,7</b>	<b>61,0</b>	<b>101,9</b>	<b>154,9</b>	<b>694,1</b>

продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Шкаф распределительный ПР-3</b>																	
<b>Электроприемники группы "А" <math>K_u &lt; 0,6</math></b>																	
1	Станки разные	6	9,7 ÷ 45,9	120,2		0,25	0,60	1,33	30,1	40,1							
2	Прессы, ножницы	2	5,8 ÷ 18,0	23,8		0,35	0,65	1,17	8,3	9,7							
3	Правильное устройство	1	20,0 ÷ 20,0	20,0		0,50	0,50	1,73	10,0	17,3							
<b>Итого по группе "А"</b>		<b>9</b>	<b>5,8 ÷ 45,9</b>	<b>164,0</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,30</b>	<b>0,58</b>	<b>1,39</b>	<b>48,4</b>	<b>67,1</b>	<b>6</b>	<b>1,95</b>	<b>94,2</b>	<b>73,8</b>	<b>119,7</b>		
<b>Электроприемники группы "Б" <math>K_u \geq 0,6</math></b>																	
4	Вентилятор	1	11,0 ÷ 11,0	11,0		0,75	0,80	0,75	8,3	6,2							
<b>Итого по группе "Б"</b>		<b>1</b>	<b>11,0 ÷ 11,0</b>	<b>11,0</b>		<b>0,75</b>	<b>0,80</b>	<b>0,75</b>	<b>8,3</b>	<b>6,2</b>		<b>1</b>	<b>8,3</b>	<b>6,2</b>	<b>10,3</b>		
<b>Итого по ПР-3</b>		<b>10</b>	<b>5,8 ÷ 45,9</b>	<b>175,0</b>		<b>0,32</b>	<b>0,61</b>	<b>1,29</b>	<b>56,6</b>	<b>73,3</b>			<b>102,4</b>	<b>80,0</b>	<b>130,0</b>	<b>197,5</b>	<b>817,8</b>
<b>Шкаф распределительный ПР-4</b>																	
<b>Электроприемники группы "А" <math>K_u &lt; 0,6</math></b>																	
1	Станки разные	9	11,5 ÷ 56,8	231,0		0,25	0,60	1,33	57,8	77,0							
2	Кран-балка ПВ = 40%	1	15,5 ÷ 15,5	15,5		0,10	0,50	1,73	1,6	2,7							
<b>Итого по группе "А"</b>		<b>10</b>	<b>11,5 ÷ 56,8</b>	<b>246,5</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,24</b>	<b>0,60</b>	<b>1,34</b>	<b>59,3</b>	<b>79,7</b>	<b>7</b>	<b>2,01</b>	<b>119,0</b>	<b>87,7</b>	<b>147,8</b>		
<b>Итого по ПР-4</b>		<b>10</b>	<b>11,5 ÷ 56,8</b>	<b>246,5</b>		<b>0,24</b>	<b>0,60</b>	<b>1,34</b>	<b>59,3</b>	<b>79,7</b>			<b>119,0</b>	<b>87,7</b>	<b>147,8</b>	<b>224,6</b>	<b>992,2</b>
<b>Шкаф распределительный ПР-5</b>																	
<b>Электроприемники группы "А" <math>K_u &lt; 0,6</math></b>																	
1	Станки разные	7	5,3 ÷ 18,2	86,2		0,25	0,60	1,33	21,6	28,7							
<b>Итого по группе "А"</b>		<b>7</b>	<b>5,3 ÷ 18,2</b>	<b>86,2</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,25</b>	<b>0,60</b>	<b>1,33</b>	<b>21,6</b>	<b>28,7</b>	<b>6</b>	<b>2,06</b>	<b>44,4</b>	<b>31,6</b>	<b>54,5</b>		
<b>Электроприемники группы "Б" <math>K_u \geq 0,6</math></b>																	
2	Вентилятор	1	10,0 ÷ 10,0	10,0		0,75	0,80	0,75	7,5	5,6							
<b>Итого по группе "Б"</b>		<b>1</b>	<b>10,0 ÷ 10,0</b>	<b>10,0</b>		<b>0,75</b>	<b>0,80</b>	<b>0,75</b>	<b>7,5</b>	<b>5,6</b>		<b>1</b>	<b>7,5</b>	<b>5,6</b>	<b>9,4</b>		
<b>Итого по ПР-5</b>		<b>8</b>	<b>5,3 ÷ 18,2</b>	<b>96,2</b>		<b>0,30</b>	<b>0,65</b>	<b>1,18</b>	<b>29,1</b>	<b>34,4</b>			<b>51,9</b>	<b>37,2</b>	<b>63,9</b>	<b>97,1</b>	<b>343,0</b>



окончание таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Шкаф распределительный ПР-6</b>																	
<i>Электроприемники группы "А" <math>K_u &lt; 0,6</math></i>																	
1	Станки разные	2	2,8 ÷ 4,1	6,9		0,25	0,60	1,33	1,7	2,3							
2	Правильные ус-ва, модуль, автомат	2	2,2 ÷ 20,0	22,2		0,50	0,50	1,73	11,1	19,2							
3	Прессы	2	15,0 ÷ 18,0	33,0		0,35	0,65	1,17	11,6	13,5							
4	Сварочный полуавтомат ПВ = 60%	1	9,8 ÷ 9,8	9,8		0,30	0,60	1,33	2,9	3,9							
<b>Итого по группе "А"</b>		<b>7</b>	<b>2,2 ÷ 20,0</b>	<b>71,9</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,38</b>	<b>0,57</b>	<b>1,43</b>	<b>27,3</b>	<b>38,9</b>	<b>5</b>	<b>1,86</b>	<b>50,7</b>	<b>42,8</b>	<b>66,4</b>		
<i>Электроприемники группы "Б" <math>K_u \geq 0,6</math></i>																	
5	Печь	1	25,0 ÷ 25,0	25,0		0,80	0,80	0,75	20,0	15,0							
<b>Итого по группе "Б"</b>		<b>1</b>	<b>25,0 ÷ 25,0</b>	<b>25,0</b>		<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,75</b>	<b>20,0</b>	<b>15,0</b>		<b>1</b>	<b>20,0</b>	<b>15,0</b>	<b>25,0</b>		
<b>Итого по ПР-6</b>		<b>8</b>	<b>2,2 ÷ 25,0</b>	<b>96,9</b>		<b>0,49</b>	<b>0,66</b>	<b>1,14</b>	<b>47,3</b>	<b>53,9</b>			<b>70,7</b>	<b>57,8</b>	<b>91,3</b>	<b>138,8</b>	<b>446,1</b>
<b>Шкаф распределительный ПР-7</b>																	
<i>Электроприемники группы "А" <math>K_u &lt; 0,6</math></i>																	
1	Станки разные	6	2,0 ÷ 5,0	19,1		0,25	0,60	1,33	4,8	6,4							
2	Молот ковочный	1	16,4 ÷ 16,4	16,4		0,25	0,65	1,17	4,1	4,8							
3	Многоцелевой модуль	1	15,0 ÷ 15,0	15,0		0,50	0,50	1,73	7,5	13,0							
<b>Итого по группе "А"</b>		<b>8</b>	<b>2,0 ÷ 16,4</b>	<b>50,5</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,32</b>	<b>0,56</b>	<b>1,47</b>	<b>16,4</b>	<b>24,2</b>	<b>5</b>	<b>1,97</b>	<b>32,2</b>	<b>26,6</b>	<b>41,8</b>		
<i>Электроприемники группы "Б" <math>K_u \geq 0,6</math></i>																	
4	Вентилятор	3	28,0 ÷ 38,0	94,0		0,75	0,80	0,75	70,5	52,9							
5	Печь	1	16,3 ÷ 16,3	16,3		0,80	0,80	0,75	13,0	9,8							
<b>Итого по группе "Б"</b>		<b>4</b>	<b>16,3 ÷ 38,0</b>	<b>110,3</b>		<b>0,76</b>	<b>0,80</b>	<b>0,75</b>	<b>83,5</b>	<b>62,7</b>		<b>1</b>	<b>83,5</b>	<b>62,7</b>	<b>104,4</b>		
<b>Итого по ПР-7</b>		<b>12</b>	<b>2,0 ÷ 38,0</b>	<b>160,8</b>		<b>0,62</b>	<b>0,75</b>	<b>0,87</b>	<b>99,9</b>	<b>86,8</b>			<b>115,8</b>	<b>89,2</b>	<b>146,2</b>	<b>222,1</b>	<b>723,2</b>
<b>Итого силовая нагрузка</b>		<b>67</b>	<b>2,0 ÷ 56,8</b>	<b>1040,9</b>		<b>0,35</b>	<b>0,65</b>	<b>1,16</b>	<b>359,7</b>	<b>418,1</b>			<b>592,9</b>	<b>451,0</b>	<b>745,0</b>		
<b>Электрическое освещение</b>				<b>20,7</b>		<b><math>K_{co} = 0,95</math></b>			<b>19,7</b>				<b>19,7</b>				
<b>Итого по цеху</b>		<b>67</b>	<b>2,0 ÷ 56,8</b>	<b>1061,6</b>		<b>0,36</b>	<b>0,67</b>	<b>1,10</b>	<b>379,4</b>	<b>418,1</b>			<b>612,6</b>	<b>451,0</b>	<b>760,7</b>	<b>1155,7</b>	<b>1923,4</b>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 2 – Определение расчетных нагрузок по цехам предприятия

№ п/п	Наименование цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка					Суммарная нагрузка		
		$P_{уст},$ кВт	$K_c$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ кВАр	$F,$ м <sup>2</sup>	$P_{уд.о},$ Вт/м <sup>2</sup>	$P_{н.о},$ кВт	$K_{с.о}$	$P_{р.о},$ кВт	$P_p+P_{р.о},$ кВт	$Q_p,$ кВАр	$S_p,$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Потребители электроэнергии до 1000 В</b>															
1	Прессово-кузнечный цех	2500,0	0,65	0,70	1,02	1625,0	1657,8	6485	16	103,8	0,95	98,6	1723,6	1657,8	2391,5
2	Инструментальный цех	1650,0	0,45	0,75	0,88	742,5	654,8	4365	16	69,8	0,95	66,3	808,8	654,8	1040,7
3	Экспериментальный цех	350,0	0,55	0,80	0,75	192,5	144,4	5414	18	97,5	0,95	92,6	285,1	144,4	319,6
4	Штамповочный цех	900,0	0,65	0,70	1,02	585,0	596,8	7460	16	119,4	0,95	113,4	698,4	596,8	918,7
5	Ремонтный цех	1040,9	–	0,67	1,10	592,9	451,0	1296	16	20,7	0,95	19,7	612,6	451,0	760,7
6	Ремонтно-механический цех	600,0	0,45	0,70	1,02	270,0	275,5	2444	16	39,1	0,95	37,1	307,1	275,5	412,6
7	Столовая	300,0	0,45	0,85	0,62	135,0	83,7	1551	18	27,9	0,90	25,1	160,1	83,7	180,7
8	Заводуправление	257,0	0,50	0,85	0,62	128,5	79,6	10383	20	207,7	0,90	186,9	315,4	79,6	325,3
9	Лаборатория	547,0	0,55	0,80	0,75	300,9	225,6	7518	22	165,4	0,80	132,3	433,2	225,6	488,4
10	Транспортный цех	200,0	0,40	0,85	0,62	80,0	49,6	10808	16	172,9	0,60	103,8	183,8	49,6	190,3
11	Склад	78,0	0,40	0,85	0,62	31,2	19,3	4051	16	64,8	0,60	38,9	70,1	19,3	72,7
12	Административный корпус	423,0	0,50	0,85	0,62	211,5	131,1	4167	20	83,3	0,90	75,0	286,5	131,1	315,1
13	Насосная	621,0	0,65	0,75	0,88	403,7	356,0	1585	16	25,4	0,95	24,1	427,7	356,0	556,5
Территория предприятия		0,0	–	–	–	0,0	0,0	314578	0,16	50,3	1	50,3	50,3	0,0	50,3
<b>Итого по 0,38 кВ</b>		<b>9466,9</b>	–	–	–	<b>5298,6</b>	<b>4725,2</b>	<b><math>\Sigma F_{ц} = 67527</math></b>		<b>1248,0</b>	–	<b>1064,2</b>	<b>6362,7</b>	<b>4725,2</b>	<b>7925,4</b>
<b>Потребители электроэнергии выше 1000 В</b>															
13	Насосная	630,0	0,65	1,00	0,00	409,5	0,0	–	–	–	–	–	409,5	0,0	409,5
<b>Итого по 10 кВ</b>		<b>630,0</b>	–	–	–	<b>409,5</b>	<b>0,0</b>	–	–	–	–	–	<b>409,5</b>	<b>0,0</b>	<b>409,5</b>

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 3 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

<i>№ цеха</i>	<i>Наименование цеха</i>	<i>S<sub>р.и</sub>, кВА</i>	<i>P<sub>р.о.и</sub>, кВт</i>	<i>r, мм</i>	<i>α, град</i>	<i>x<sub>i</sub>, мм</i>	<i>y<sub>i</sub>, мм</i>	<i>S<sub>р.и</sub> · x<sub>i</sub>, кВА · мм</i>	<i>S<sub>р.и</sub> · y<sub>i</sub>, кВА · мм</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
<b><i>Потребители электроэнергии до 1000 В</i></b>									
1	Прессово-кузнечный цех	2391,5	98,6	37,2	14,8	70,5	123,0	168598,3	294150,2
2	Инструментальный цех	1040,7	66,3	24,5	23,0	95,6	152,0	99489,6	158184,4
3	Экспериментальный цех	319,6	92,6	13,6	104,3	151,0	203,6	48252,6	65061,1
4	Штамповочный цех	918,7	113,4	23,1	44,4	192,0	238,0	176383,6	218642,2
5	Ремонтный цех	760,7	19,7	21,0	9,3	165,8	189,4	126122,1	144074,4
6	Ремонтно-механический цех	412,6	37,1	15,5	32,4	121,0	111,8	49921,2	46125,6
7	Столовая	180,7	25,1	10,2	50,1	136,4	135,1	24642,9	24408,0
8	Заводуправление	325,3	186,9	13,7	206,8	232,8	198,2	75728,2	64473,0
9	Лаборатория	488,4	132,3	16,8	97,5	186,0	164,0	90844,5	80099,5
10	Транспортный цех	190,3	103,8	10,5	196,3	203,0	148,0	38636,6	28168,5
11	Склад	72,7	38,9	6,5	192,6	146,4	95,5	10644,4	6943,6
12	Административный корпус	315,1	75,0	13,5	85,7	125,0	73,0	39383,3	22999,8
13	Насосная	556,5	24,1	17,9	15,6	103,5	48,2	57597,5	26823,2
<b><i>Потребители электроэнергии выше 1000 В</i></b>									
13	Насосная	409,5	–	15,4	–	103,5	48,2	42383,3	19737,9
<b><i>Итого</i></b>		<b><i>8382,1</i></b>	<b><i>–</i></b>	<b><i>–</i></b>	<b><i>–</i></b>	<b><i>–</i></b>	<b><i>–</i></b>	<b><i>1048628,0</i></b>	<b><i>1199891,4</i></b>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица 4 – Число трансформаторов в цехах предприятия

<i>№ n/n</i>	<i>Наименования цехов</i>	<i><math>P_p + P_{p.o},</math> кВт</i>	<i>Количество тр-ов n<sub>i</sub>, шт</i>
1	Прессово-кузнечный цех	1723,6	2,709
2	Инструментальный цех	808,8	1,271
3	Экспериментальный цех	285,1	0,448
4	Штамповочный цех	698,4	1,098
5	Ремонтный цех	612,6	0,963
6	Ремонтно-механический цех	307,1	0,483
7	Столовая	160,1	0,252
8	Заводоуправление	315,4	0,496
9	Лаборатория	433,2	0,681
10	Транспортный цех	183,8	0,289
11	Склад	70,1	0,110
12	Административный корпус	286,5	0,450
13	Насосная	427,7	0,672

Таблица 5 – Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

<i>№ n/n</i>	<i>Наименование пункта питания и количество трансформаторов</i>	<i>Потребители энергии (номер по генплану)</i>	<i>Суммарная мощность, кВт</i>	<i>Место расположения на генплане</i>
1	ТП1 2 трансф.	1	1266,2	Цех №1
2	ТП2 2 трансф.	1, 2	1266,2	Цех №2
3	ТП3 2 трансф.	6, 7, 11-13	1251,6	Территория предприятия
4	ТП4 2 трансф.	3, 4, 8	1298,9	Цех №4
5	ТП5 1 трансф.	5	612,6	Цех №5
6	ТП6 1 трансф.	9, 10	616,9	Цех №9

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица 6 – Выбор марки и сечений проводников питающей сети, аппаратов защиты

№ n/n	Участок	$\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{пик}}}$	$1,1 \cdot I_{\text{р}}$	$1,25 \cdot I_{\text{пик}}$	Автомат			Способ прокладки	$K_{\text{пр}}$	$\frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{з}}}{K_{\text{пр}}}$	Кабель		$L$	$\cos\phi$	$\Delta U_0$	$\Delta U_{\text{р}}$
					$K$	$\frac{I_{\text{тепл}}}{I_{\text{з.о}}}$	Тип				$I_{\text{доп}}$	Марка				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Отходящий выключатель ТП	$\frac{1519,3}{2287,0}$	1671,3	2858,7	2,0	$\frac{2000}{4000,0}$	ВА74 – 45	На лотках	–	–	–	–	–	–	–	–
2	ТП - ПР1	$\frac{97,1}{370,1}$	106,8	462,6	5,0	$\frac{125}{625,0}$	ВА57 – 35		1	125	145	ВВГ - 1(4 × 50)	0,028	0,60	0,132	0,36
3	ТП - ПР2	$\frac{154,9}{694,1}$	170,4	867,6	5,0	$\frac{200}{1000,0}$	ВА57 – 35		1	200	220	ВВГ - 1(4 × 95)	0,012	0,60	0,082	0,15
4	ТП - ПР3	$\frac{197,5}{817,8}$	217,2	1022,3	6,0	$\frac{250}{1500,0}$	ВА57 – 35		1	250	260	ВВГ - 1(4 × 120)	0,007	0,61	0,071	0,10
5	ТП - ПР4	$\frac{224,6}{992,2}$	247,1	1240,3	8,0	$\frac{250}{2000,0}$	ВА57 – 35		1	250	260	ВВГ - 1(4 × 120)	0,025	0,60	0,071	0,40
6	ТП - ПР5	$\frac{97,1}{343,0}$	106,8	428,8	8,0	$\frac{125}{1000,0}$	ВА57 – 35		1	125	145	ВВГ - 1(4 × 50)	0,044	0,65	0,146	0,63
7	ТП - ПР6	$\frac{138,8}{446,1}$	152,6	557,6	5,0	$\frac{160,0}{800,0}$	ВА57 – 35		1	160	180	ВВГ - 1(4 × 70)	0,026	0,66	0,107	0,38
8	ТП - ПР7	$\frac{222,1}{723,2}$	244,3	904,1	5,0	$\frac{250}{1250,0}$	ВА57 – 35		1	250	260	ВВГ - 1(4 × 120)	0,041	0,75	0,078	0,70

Таблица 7 – Выбор распределительных пунктов, автоматов и кабелей

№ п/п	Приемник	$P_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном}}$	$I_{\text{пуск}}$	$1,1 \cdot I_{\text{ном}}$	$1,5 \cdot I_{\text{пуск}}$	Автомат				$K_{\text{пр}}$	$\frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{з}}}{K}$	Кабель		ПР
							$K$	$I$	$I$	Тип			$I$	Марка	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>ПР – 1</b>															
1	Шпоночно-фрезерный станок	6,8	19,3	96,7	21,3	145,1	6,0	25,0	150,0	ВА13 – 29	1,0	25,0	35	ВВГ - 4 × 4	ПР11-7123 $I_{\text{ном}} = 250\text{А}$
2	Зубострогальный станок	8,5	24,2	120,9	26,6	181,4	6,0	31,5	189,0	ВА13 – 29	1,0	31,5	35	ВВГ - 4 × 4	
3	Зубодолбежный станок	10,6	30,2	150,8	33,2	226,2	6,0	40,0	240,0	ВА13 – 29	1,0	40,0	42	ВВГ - 4 × 6	
4	Зубозакругляющий станок	13,6	38,7	193,5	42,6	290,2	6,0	50,0	300,0	ВА13 – 29	1,0	50,0	55	ВВГ - 4 × 10	
5	Ленточно-отрезной станок	4,7	13,4	66,9	14,7	100,3	12,0	16,0	192,0	ВА13 – 29	1,0	16,0	25	ВВГ - 4 × 2,5	
6	Шестишпиндельный станок	20,2	57,5	287,4	63,2	431,0	6,0	80,0	480,0	ВА57 – 35	1,0	80,0	95	ВВГ - 4 × 25	
<b>ПР – 2</b>															
1	Обдирочно-шлифовальный станок	12,0	34,1	170,7	37,6	256,1	6,0	40,0	240,0	ВА13 – 29	1,0	40,0	42	ВВГ - 4 × 6	ПР11-7123 $I_{\text{ном}} = 250\text{А}$
2	Станок для заточки протяжек	3,5	10,0	49,8	11,0	74,7	6,0	12,5	75,0	ВА13 – 29	1,0	12,5	25	ВВГ - 4 × 2,5	
3	Механическая ножовка	3,9	11,1	55,5	12,2	83,2	12,0	12,5	150,0	ВА13 – 29	1,0	12,5	25	ВВГ - 4 × 2,5	
4	Сварочный полуавтомат ПВ = 60%	29,3	78,1	234,3	85,9	351,4	4,0	100,0	400,0	ВА57 – 35	1,0	100,0	120	ВВГ - 4 × 35	
5	Токарно-винторезный станок	15,2	43,2	216,2	47,6	324,4	12,0	50,0	600,0	ВА13 – 29	1,0	50,0	55	ВВГ - 4 × 10	
6	Резьбонарезной станок	16,9	48,1	240,4	52,9	360,6	6,0	63,0	378,0	ВА13 – 29	1,0	63,0	75	ВВГ - 4 × 16	
7	Токарно-винторезный станок	15,2	43,2	216,2	47,6	324,4	12,0	50,0	600,0	ВА13 – 29	1,0	50,0	55	ВВГ - 4 × 10	
8	Токарно-карусельный станок	39,9	113,5	567,6	124,9	851,4	8,0	125,0	1000,0	ВА57 – 35	1,0	125,0	145	ВВГ - 4 × 50	
9	Токарно-патронный станок	15,6	44,4	221,9	48,8	332,9	12,0	50,0	600,0	ВА13 – 29	1,0	50,0	55	ВВГ - 4 × 10	

продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>ПП – 3</b>															
1	Шлицифрезерный станок	12,6	35,8	179,2	39,4	268,9	12,0	40,0	480,0	BA13 – 29	1,0	40,0	42	BBГ - 4 × 6	ПП11-7123 I <sub>ном</sub> = 250A
2	Универсальный фрезерный станок	30,0	85,4	426,8	93,9	640,2	12,0	100,0	1200,0	BA57 – 35	1,0	100,0	120	BBГ - 4 × 35	
3	Вентилятор	11,0	23,2	162,5	25,5	243,7	12,0	31,5	378,0	BA13 – 29	1,0	31,5	35	BBГ - 4 × 4	
4	Пресс-ножницы	5,8	15,2	76,2	16,8	114,2	6,0	20,0	120,0	BA13 – 29	1,0	20,0	25	BBГ - 4 × 2,5	
5	Ножницы листовые	18,0	47,3	236,4	52,0	354,6	6,0	63,0	378,0	BA13 – 29	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	
6	Вертикальный фрезерный станок	11,0	31,3	156,5	34,4	234,7	6,0	40,0	240,0	BA13 – 29	1,0	40,0	42	BBГ - 4 × 6	
7	Внутришлифовальный станок	9,7	27,6	138,0	30,4	207,0	12,0	31,5	378,0	BA13 – 29	1,0	31,5	35	BBГ - 4 × 4	
8	Правильное устройство	20,0	68,3	341,4	75,1	512,1	8,0	80,0	640,0	BA57 – 35	1,0	80,0	95	BBГ - 4 × 25	
9	Горизонтально расточной станок	45,9	130,6	653,0	143,7	979,5	8,0	160,0	1280,0	BA57 – 35	1,0	160,0	180	BBГ - 4 × 70	
<b>ПП – 4</b>															
1	Внутришлифовальный станок	18,7	53,2	266,0	58,5	399,0	8,0	63,0	504,0	BA57 – 35	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	ПП11-7123 I <sub>ном</sub> = 250A
2	Координатно расточной станок	21,2	60,3	301,6	66,4	452,4	6,0	80,0	480,0	BA57 – 35	1,0	80,0	95	BBГ - 4 × 25	
3	Полировально-шлифовальный станок	18,5	52,6	263,2	57,9	394,8	8,0	63,0	504,0	BA57 – 35	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	
4	Радиально-сверлильный станок	17,9	50,9	254,6	56,0	382,0	8,0	63,0	504,0	BA57 – 35	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	
5	Плоскопрофилешлифовальный	56,8	161,6	808,0	177,8	1212,1	8,0	200,0	1600,0	BA57 – 35	1,0	200,0	220	BBГ - 4 × 95	
6	Профилешлифовальный станок	11,5	32,7	163,6	36,0	245,4	8,0	40,0	320,0	BA57 – 35	1,0	40,0	42	BBГ - 4 × 6	
7	Токарно карусельный станок	56,8	161,6	808,0	177,8	1212,1	8,0	200,0	1600,0	BA57 – 35	1,0	200,0	220	BBГ - 4 × 95	
8	Плоскошлифовальный станок	16,0	45,5	227,6	50,1	341,4	6,0	63,0	378,0	BA57 – 35	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	
9	Бесцентрошлифовальный станок	13,6	38,7	193,5	42,6	290,2	6,0	50,0	300,0	BA57 – 35	1,0	50,0	55	BBГ - 4 × 10	
10	Кран-балка ПВ = 40%	31,0	105,8	529,2	116,4	793,8	8,0	125,0	1000,0	BA57 – 35	1,0	125,0	145	BBГ - 4 × 50	

окончание таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>ПР – 5</b>															
1	Вентилятор	10,0	21,1	147,7	23,2	221,6	12,0	25,0	300,0	BA13 – 29	1,0	25,0	35	BBГ - 4 × 4	ПР11-7123 <i>I<sub>ном</sub></i> = 250А
2	Зубообкатной станок	13,0	37,0	184,9	40,7	277,4	6,0	50,0	300,0	BA13 – 29	1,0	50,0	55	BBГ - 4 × 10	
3	Зубошлифовальный станок	7,0	19,9	99,6	21,9	149,4	6,0	25,0	150,0	BA13 – 29	1,0	25,0	35	BBГ - 4 × 4	
4	Зубострогальный станок	13,0	37,0	184,9	40,7	277,4	6,0	50,0	300,0	BA57 – 35	1,0	50,0	55	BBГ - 4 × 10	
5	Зубофрезерный станок	16,7	47,5	237,6	52,3	356,4	6,0	63,0	378,0	BA13 – 29	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	
6	Зубофрезерный станок	18,2	51,8	258,9	57,0	388,4	12,0	63,0	756,0	BA13 – 29	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	
7	Точильно-шлифовальный станок	5,3	15,1	75,4	16,6	113,1	6,0	20,0	120,0	BA13 – 29	1,0	20,0	25	BBГ - 4 × 2,5	
<b>ПР – 6</b>															
1	Правильное устройство	20,0	68,3	341,4	75,1	512,1	8,0	80,0	640,0	BA57 – 35	1,0	80,0	95	BBГ - 4 × 25	ПР11-7123 <i>I<sub>ном</sub></i> = 250А
2	Вертикально-сверлильный станок	4,1	11,7	58,3	12,8	87,5	6,0	16,0	96,0	BA13 – 29	1,0	16,0	25	BBГ - 4 × 2,5	
3	Насовочный автомат	2,2	7,5	37,6	8,3	56,3	6,0	10,0	60,0	BA13 – 29	1,0	10,0	25	BBГ - 4 × 2,5	
4	Станок для заточки пил	2,8	8,0	39,8	8,8	59,7	6,0	10,0	60,0	BA13 – 29	1,0	10,0	25	BBГ - 4 × 2,5	
5	Печь	25,0	47,5	–	52,2	–	–	63,0	–	BA13 – 29	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	
6	Пресс	18,0	47,3	236,4	52,0	354,6	6,0	63,0	378,0	BA13 – 29	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	
7	Пресс формировки муфт	15,0	39,4	197,0	43,3	295,5	6,0	50,0	300,0	BA13 – 29	1,0	50,0	55	BBГ - 4 × 10	
8	Сварочный полуавтомат ПВ = 60%	12,6	33,6	100,8	36,9	151,1	6,0	40,0	240,0	BA13 – 29	1,0	40,0	42	BBГ - 4 × 6	
<b>ПР – 7</b>															
1	Универсально заточной станок	2,0	5,7	28,5	6,3	42,7	6,0	8,0	48,0	BA13 – 29	1,0	8,0	25	BBГ - 4 × 2,5	ПР11-7123 <i>I<sub>ном</sub></i> = 250А
2	Труборез	5,0	14,2	71,1	15,6	106,7	12,0	16,0	192,0	BA13 – 29	1,0	16,0	25	BBГ - 4 × 2,5	
3	Наждак	4,0	11,4	56,9	12,5	85,4	6,0	16,0	96,0	BA13 – 29	1,0	16,0	25	BBГ - 4 × 2,5	
4	Молот ковочный	16,4	42,6	213,0	46,9	319,5	12,0	50,0	600,0	BA13 – 29	1,0	50,0	55	BBГ - 4 × 10	
5	Многоцелевой модуль	15,0	51,2	256,1	56,3	384,1	12,0	63,0	756,0	BA13 – 29	1,0	63,0	75	BBГ - 4 × 16	
6	Печь	16,3	31,0	–	34,1	–	–	40,0	–	BA13 – 29	1,0	40,0	42	BBГ - 4 × 6	
7	Ножовочный полуавтомат	2,1	6,0	29,9	6,6	44,8	6,0	8,0	48,0	BA13 – 29	1,0	8,0	25	BBГ - 4 × 2,5	
8	Вентилятор	28,0	59,1	413,6	65,0	620,4	8,0	80,0	640,0	BA57 – 35	1,0	80,0	95	BBГ - 4 × 25	
9	Вентилятор	38,0	80,2	561,3	88,2	842,0	10,0	100,0	1000,0	BA57 – 35	1,0	100,0	120	BBГ - 4 × 35	



## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

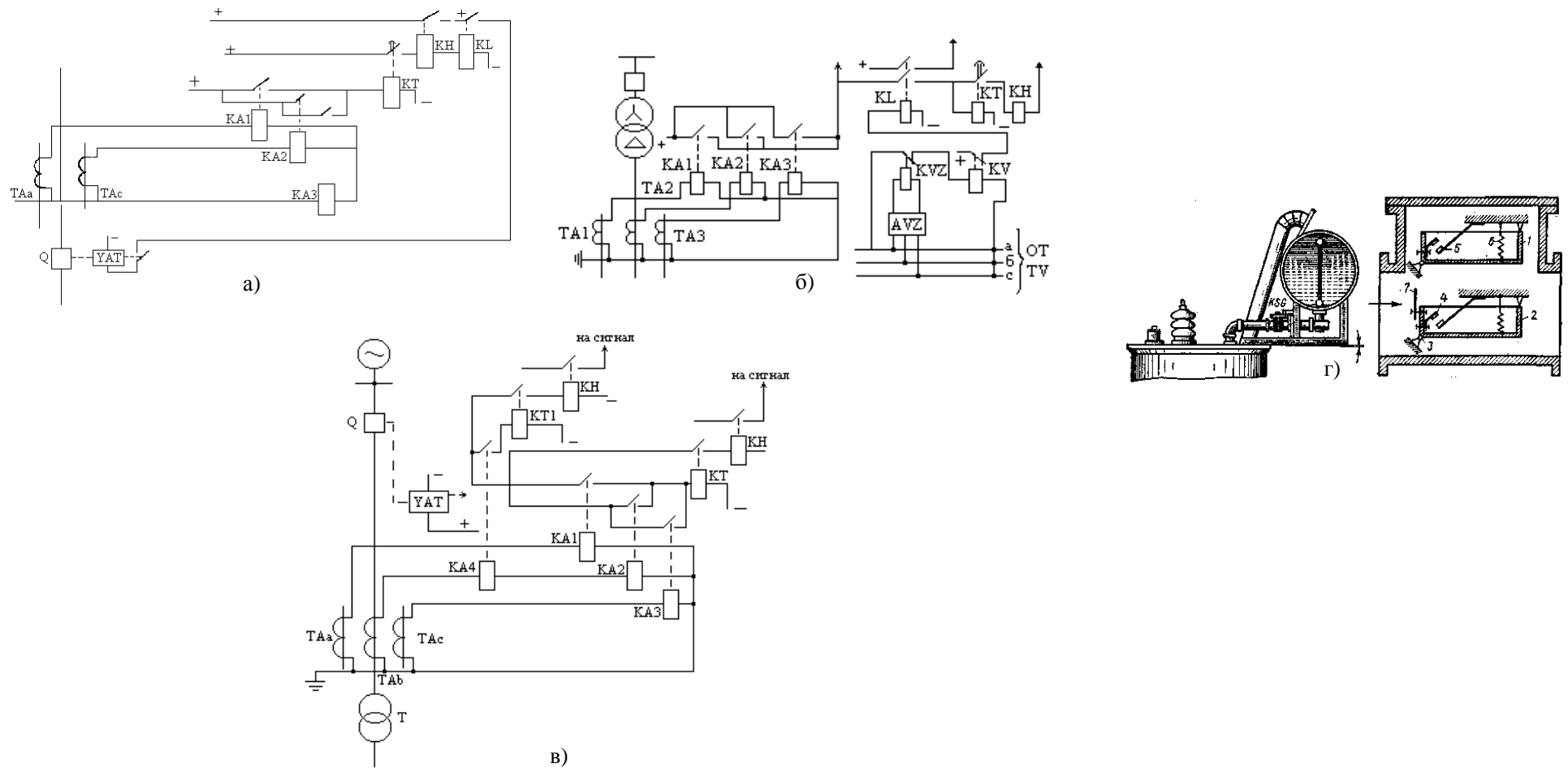


Рисунок 1 – Релейная защита

а) МТЗ линии; б) МТЗ от внешних КЗ с комбинированным пусковым органом напряжения;  
 в) МТЗ трансформатора от внешних КЗ и защита от перегрузок; г) газовое реле защиты трансформатора.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 7

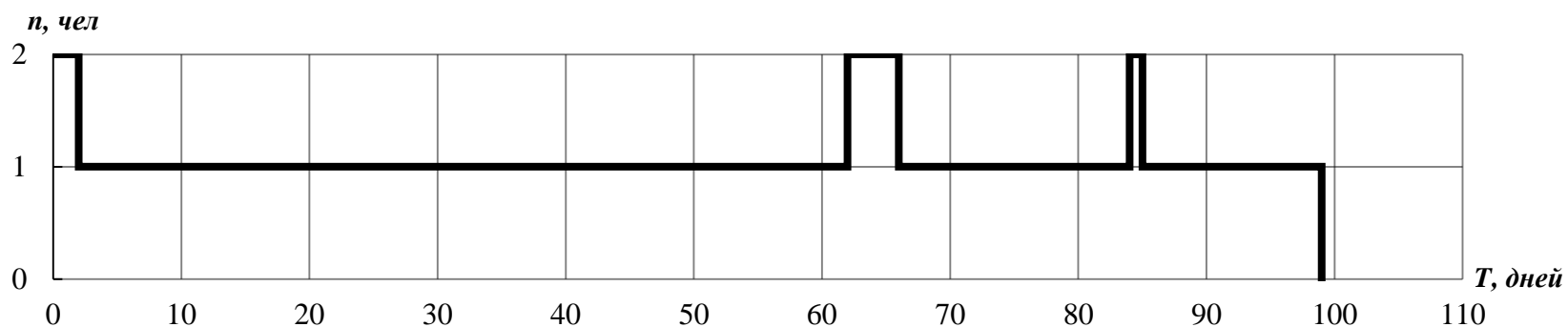
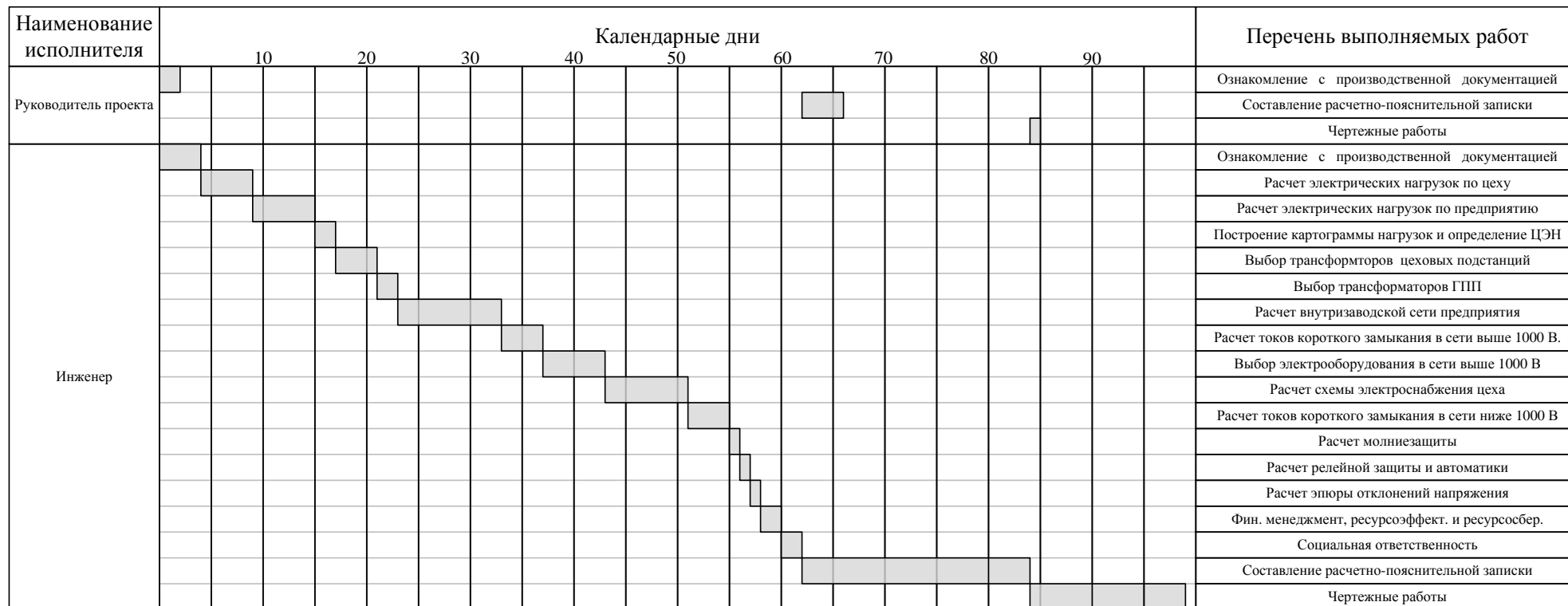


Рисунок 2 – Календарный план проекта и график занятости в выполнении проекта

# ПРИЛОЖЕНИЕ 8

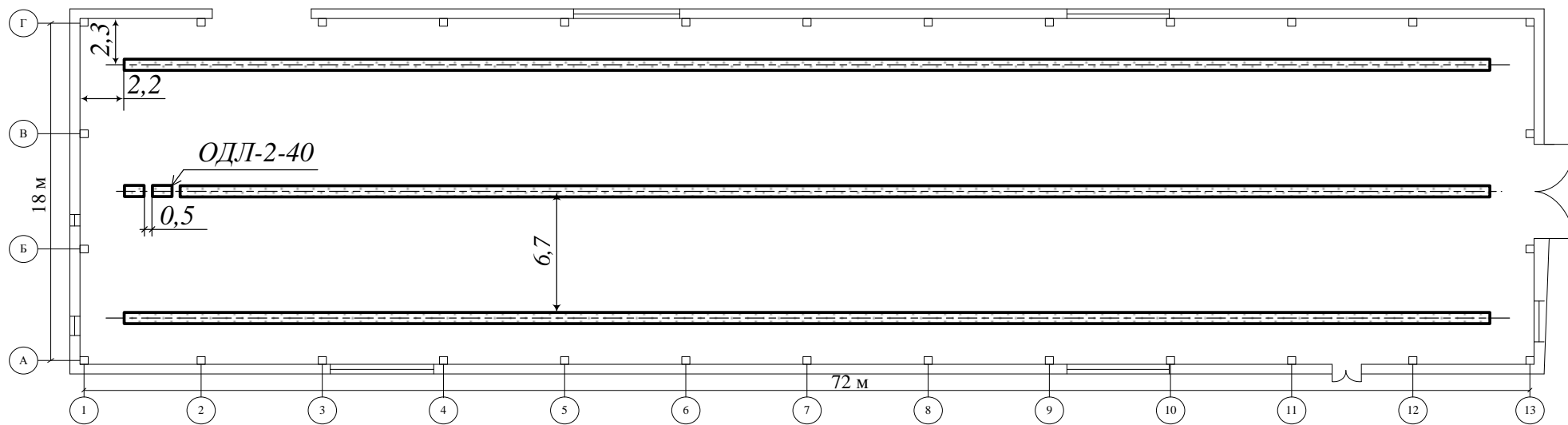


Рисунок 3 – План размещения светильников

# ПРИЛОЖЕНИЕ 9

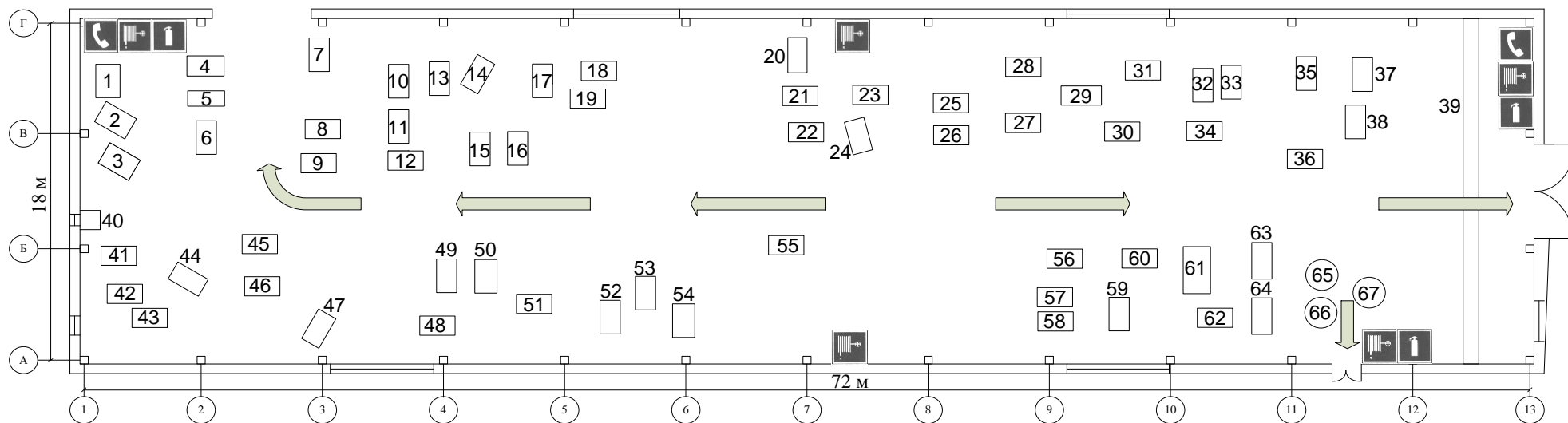


Рисунок 4 – План эвакуации

# ПРИЛОЖЕНИЕ 10

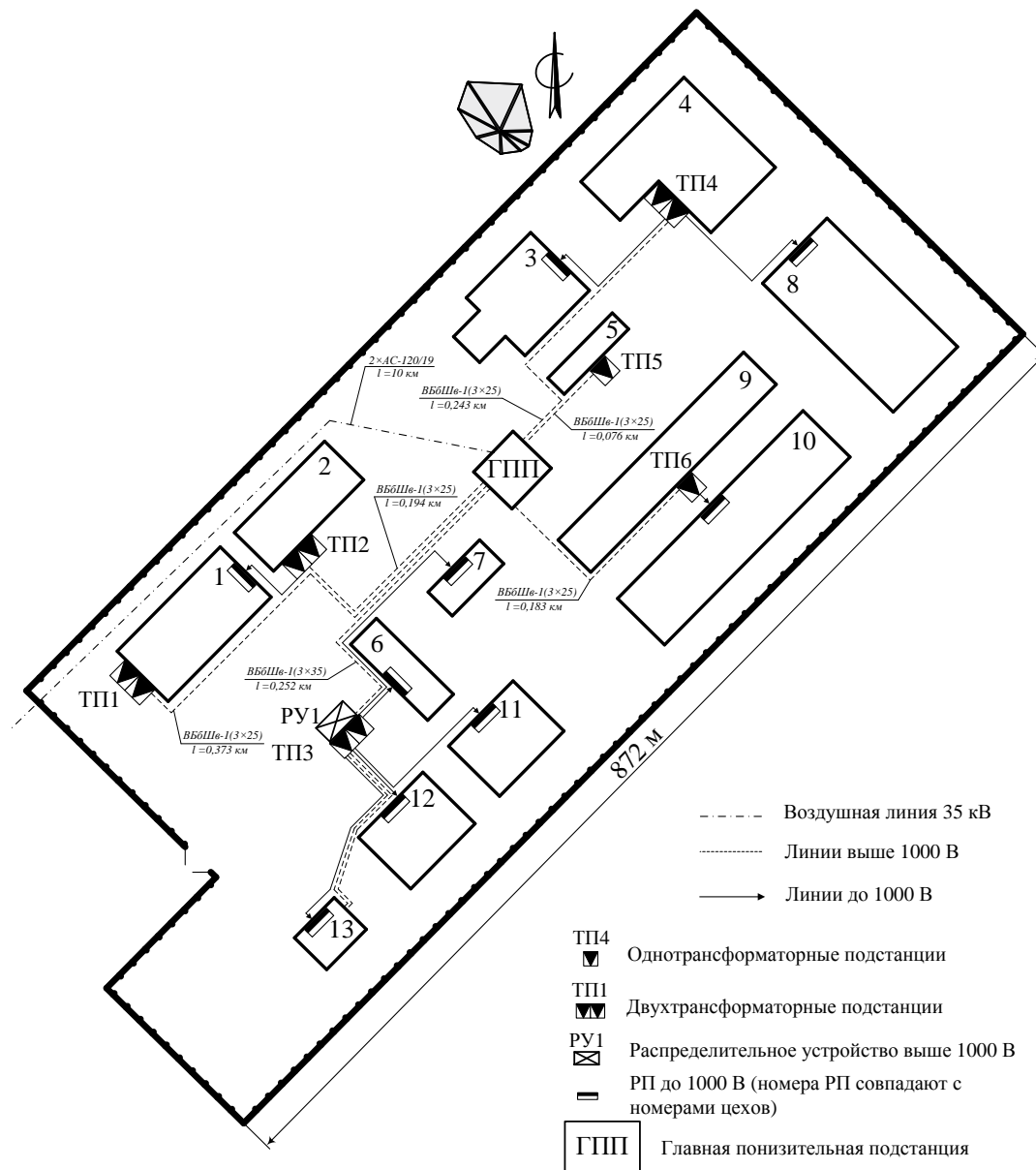


Рисунок 5 – Генплан предприятия. Распределение электроэнергии

# ПРИЛОЖЕНИЕ 11

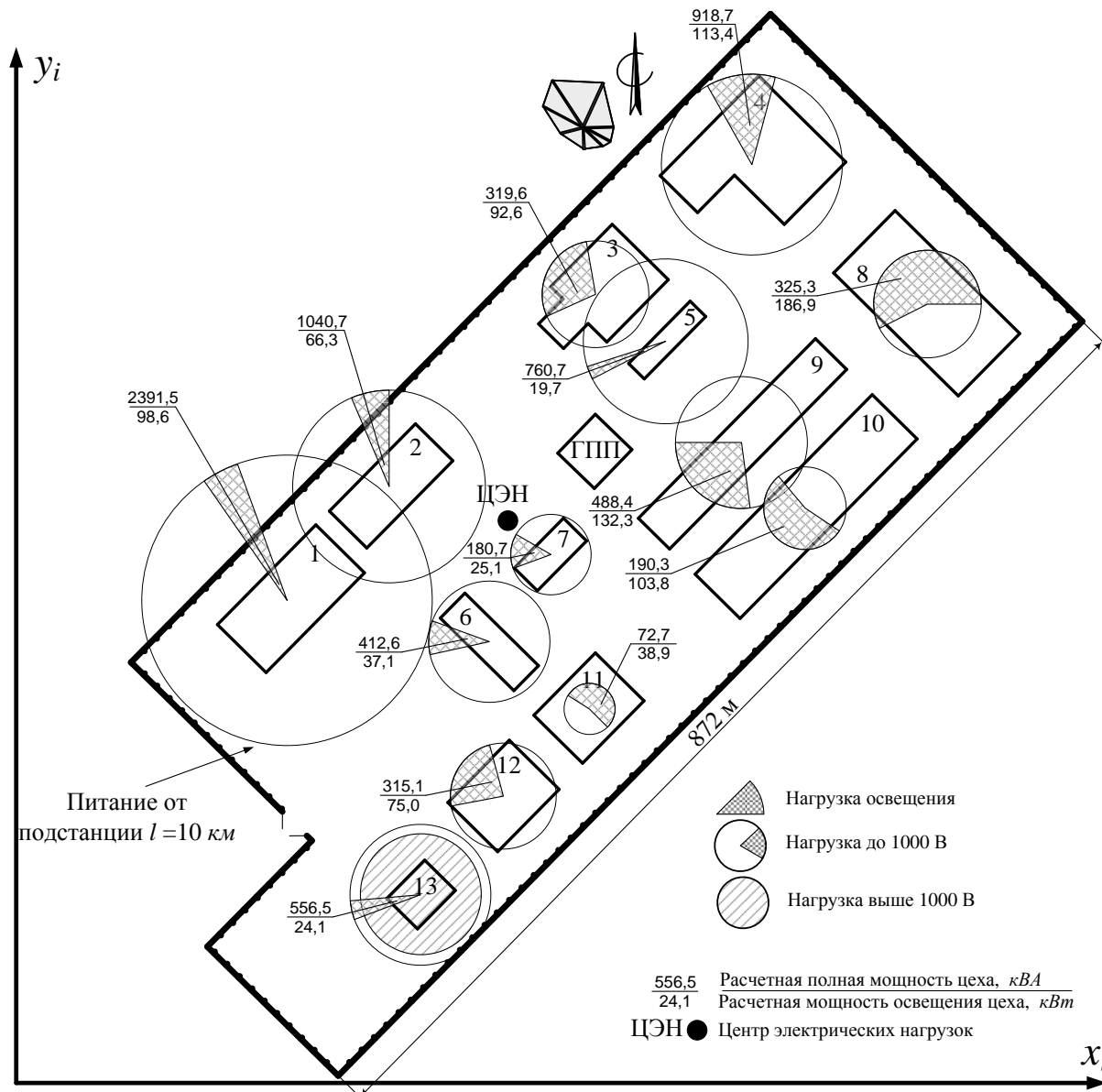


Рисунок 6 – Картограмма нагрузок

# ПРИЛОЖЕНИЕ 12

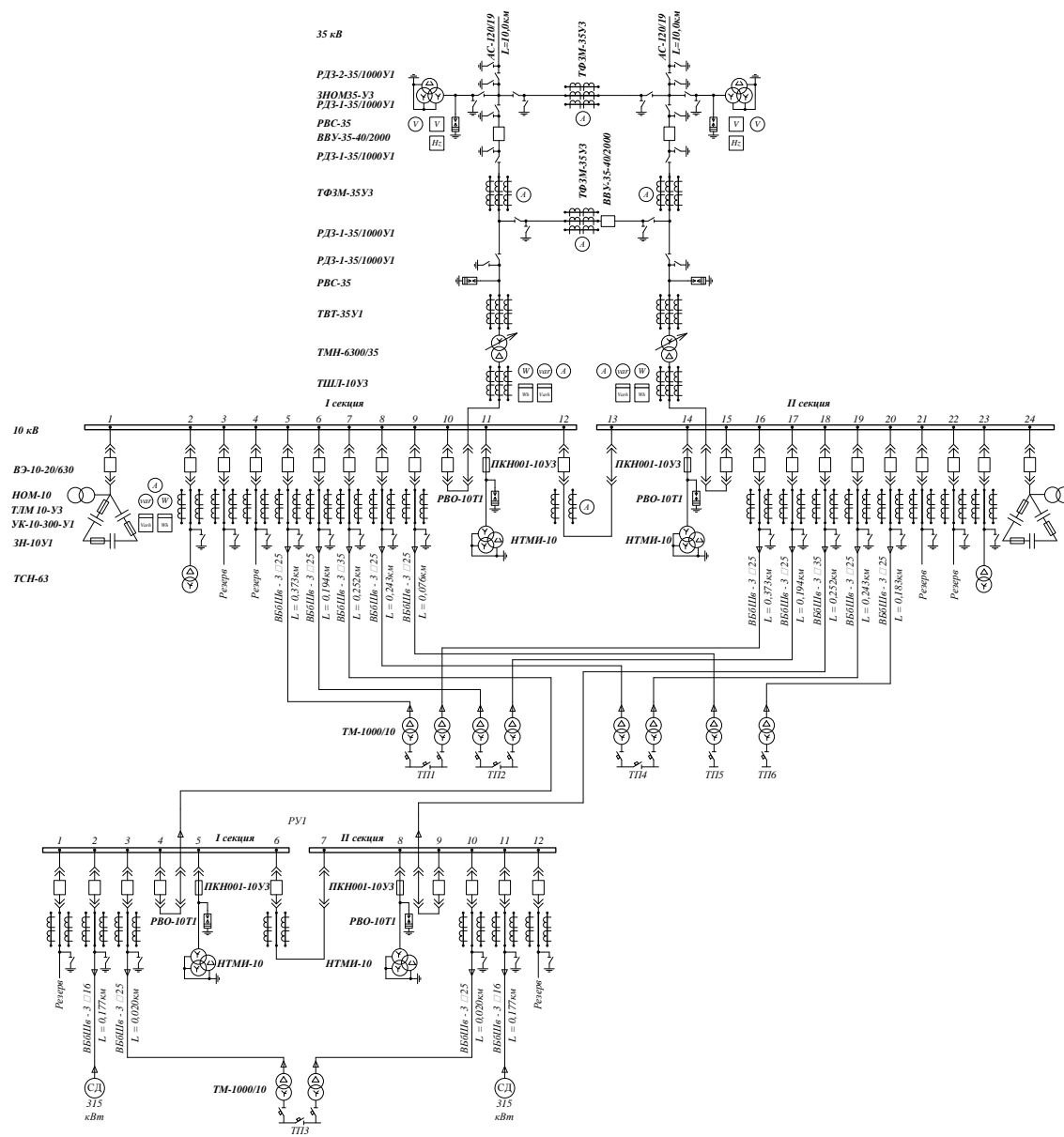


Рисунок 7 – Схема электрическая принципиальная

# ПРИЛОЖЕНИЕ 13

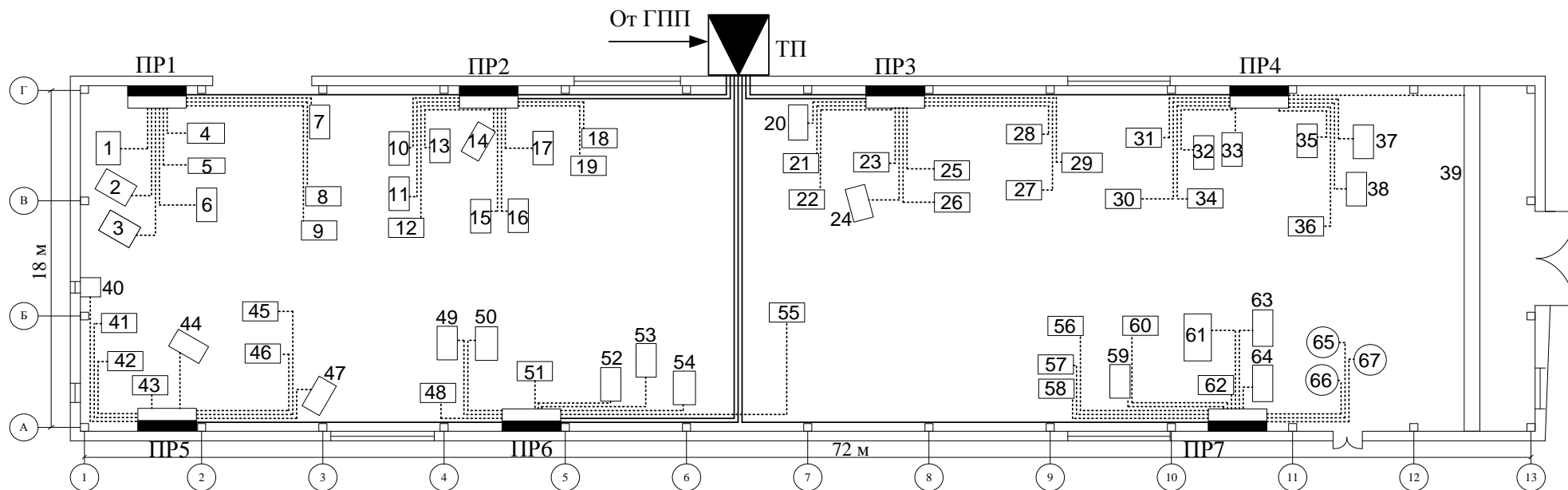


Рисунок 8 – Схема силовой сети ремонтного цеха



# ПРИЛОЖЕНИЕ 14

ТП5

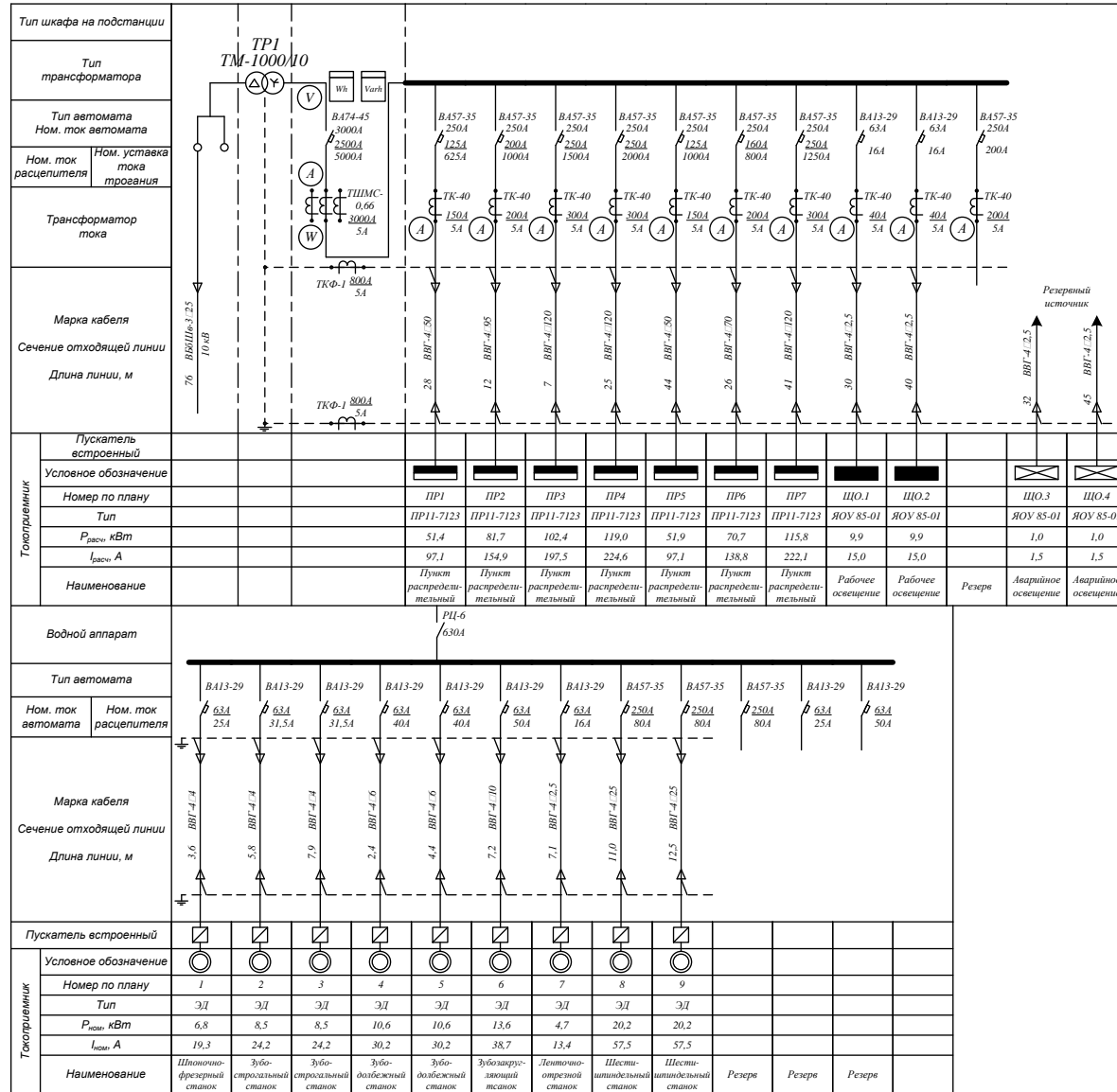
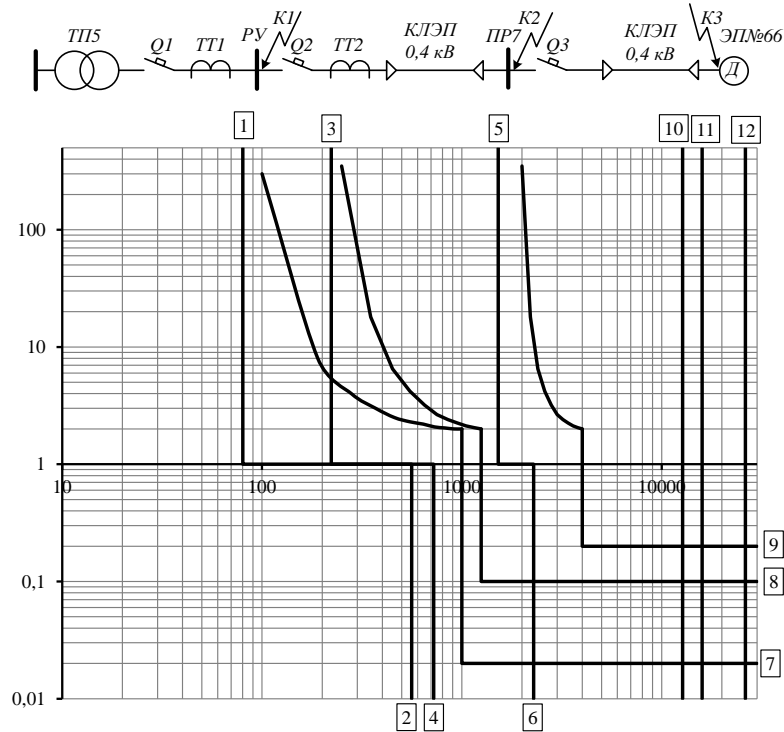


Рисунок 9 – Электроснабжение ремонтного цеха

# ПРИЛОЖЕНИЕ 15

Карта селективности действия защитных аппаратов



Узел нагрузки	ТП5	ПР7	Вентилятор №66
Расчетный ток $I_{\text{р}}$ , А	1519,3	222,1	–
Пиковый ток $I_{\text{пик}}$ , А	2287,0	723,2	–
Номинальный ток $I_{\text{ном}}$ , А	–	–	80,2
Пусковой ток $I_{\text{пуск}}$ , А	–	–	561,3
Ток КЗ $I_{\text{кз}}$ , А	26243,2	15907,9	12709,2
<b>Тип аппарата</b>	<b>ВА74 – 45</b>	<b>ВА57 – 35</b>	<b>ВА57 – 35</b>
Условия срабатывания по току			
– при перегрузке $I_{\text{ном.расч}}$ , А	2000	250	100,0
– при КЗ $I_{\text{кз}}$ , А	4000,0	1250,0	1000,0
Условия срабатывания по времени, с			
	0,2	0,1	0,02

Эпюра отклонений напряжения

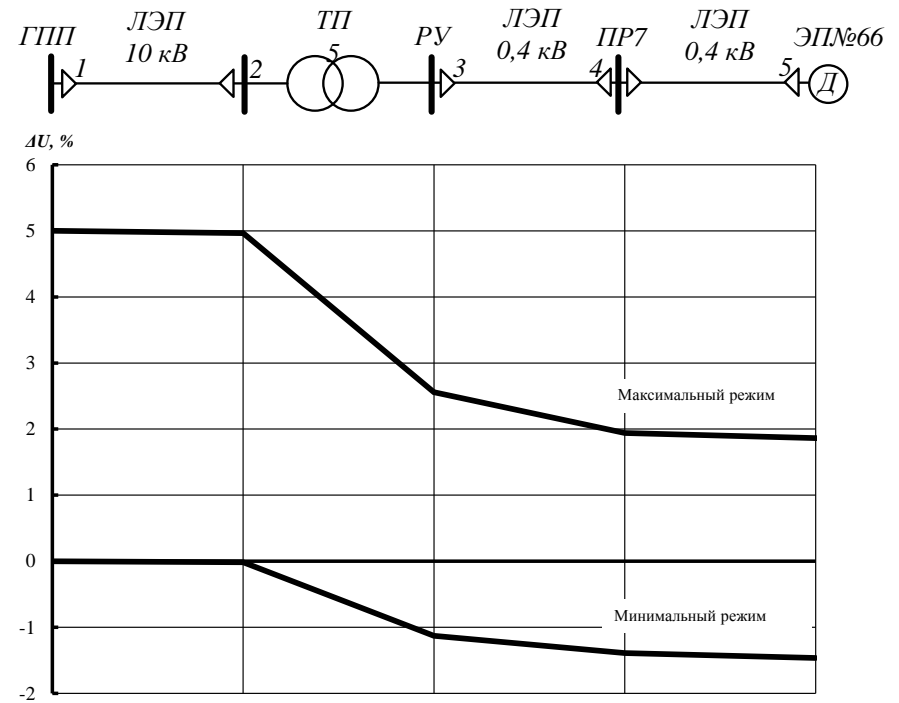


Рисунок 10 – Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности