

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

Профиль Электроснабжение

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электроснабжение никелевого завода Плавильного цеха

УДК 621.31.031:669.243.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д1	Ротару Евгений Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.
Р2	Уметь формулировать задачи в области релейной защиты и автоматики, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р4	Уметь проектировать противоаварийную автоматику, релейную защиту
Р3	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния релейной защиты и противоаварийной автоматики, интерпретировать данные и делать выводы
Р5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области релейной защиты и противоаварийной автоматики.
Р6	Иметь практические знания принципов и технологий релейной защиты и противоаварийной автоматики отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики.
Р8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики.
Р9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики.
Р10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики.

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
Профиль Электроснабжение

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3Д1	Ротару Евгений Александрович

Тема работы:

Электроснабжение никелевого завода Плавильного цеха	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	ИШЭ от 24.04.2018г. №2900/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	а) ген.план с нанесением путей внутризаводского транспорта и размещением производственно–вспомогательных цехов и подсобных помещений; б) сведения об электрических нагрузках цеха; в) план цеха; г) сведения об электрических нагрузках предприятия.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; Описание предприятия; Картограмма и определение центра электрических нагрузок; Схема внешнего и внутрипроизводственного электроснабжения; Внутризаводская распределительная сеть 10 кВ; Расчет токов короткого замыкания в сетях выше 1000 В; Электроснабжение цеха полимеризации;

	<p>Расчет электрической сети по потере напряжения; Расчет токов короткого замыкания в сетях ниже 1000 В; Построение карты селективности действия защитных аппаратов; Социальная ответственность; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Заключение.</p>
Перечень графического материала	<p>Однолинейная схема цеха; Внешний вид 2хКТП1600/10; План цеха с электрическими сетями Генеральный план предприятия с картограммой нагрузок.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.э.н., Фигурко А.А.
Социальная ответственность	Ассистент ОКД ИШНКБ, Ледовская А.М.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д1	Ротару Евгений Александрович		

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

Профиль Электроснабжение

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.04.18	Электроснабжение ремонтно-эксплуатационного блока	20
03.05.18	Определение расчетной нагрузки предприятия. Картограмма и определение центра электрических нагрузок	20
15.05.18	Схема внутризаводского электроснабжения. Схема внешнего электроснабжения	20
22.05.18	Расчет токов короткого замыкания. Выбор высоковольтного оборудования	20
23.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
24.05.18	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 107 с., 31 рис., 22 табл., 21 источник.

Ключевые слова: трансформатор, кабельная линия, ГПП, ПР, питающая сеть, распределительная сеть, электроснабжение предприятия, плавильного цеха.

Объектом исследования являются элементы системы электроснабжения никелевого завода.

Цель работы – проектирование надежной системы электроснабжения никелевого завода, в частности литейного цеха.

Исходными данными дипломной работы послужили материалы преддипломной практики. В частности электрическая схема всего завода и плавильного цеха, генеральные планы и ведомости номенклатуры используемого оборудования.

Используя исходные данные и справочную литературу была спроектирована система электроснабжения предприятия с детальной проработкой питающих сетей и коммутационной аппаратуры плавильного цеха. Используются типовые решения, что позволило максимально рационально распределить денежные ресурсы и повысить надежность. Также в результате выполнения работы определены капитальные и прочие затраты, необходимые при инженерном проектировании данного объекта. Также разработаны мероприятия по охране труда для работы персонала в плавильном цеху и на заводе в целом.

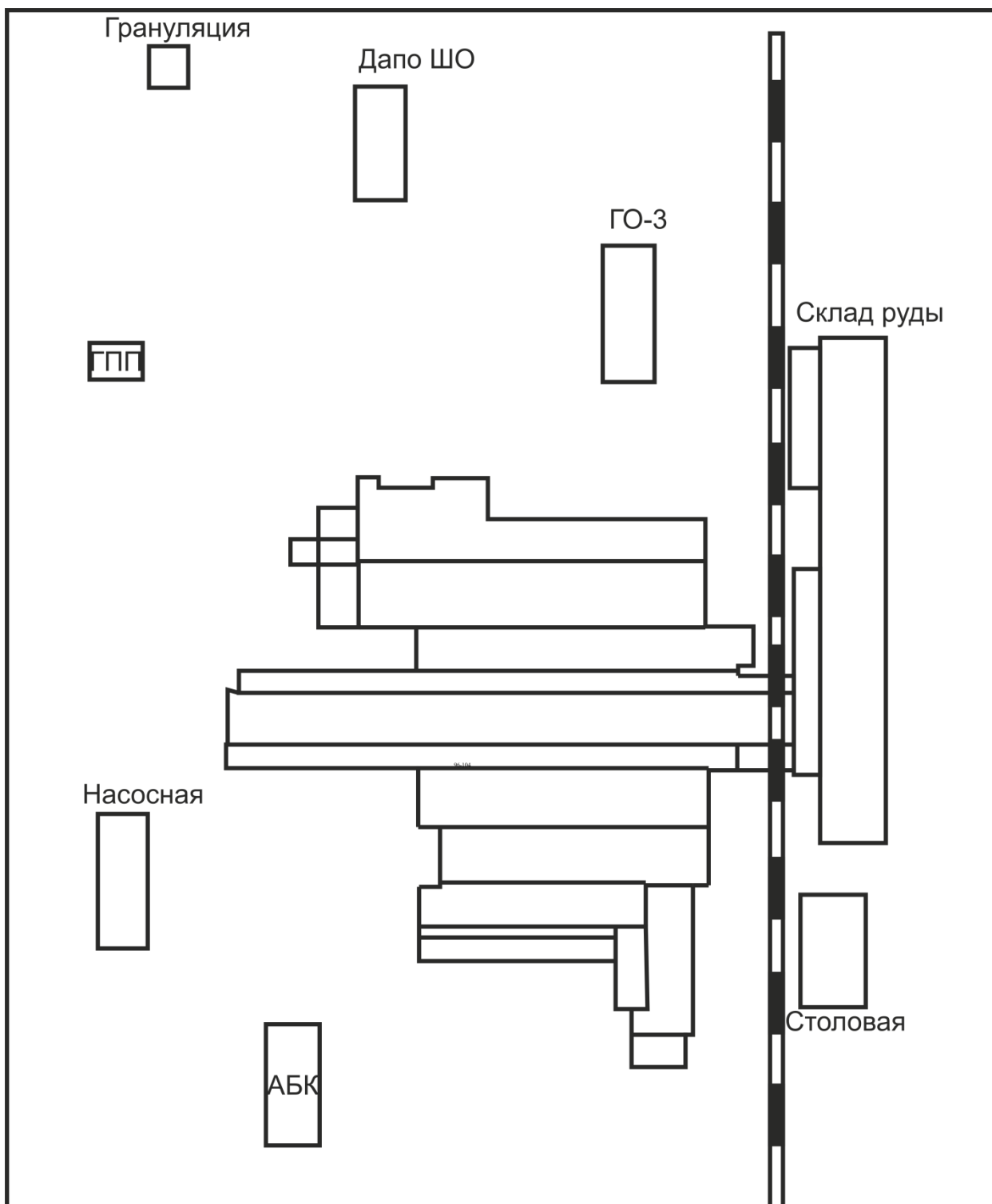
Система электроснабжения включает распределительные кабельные линии напряжением 10 и 0,4 кВ, трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ, коммутационную и защитную аппаратуру на упомянутые классы напряжений.

Значимость выполненного проекта обосновывается надежностью и экономичностью принятых решений, использованных в инженерной практике и доказавших свою состоятельность.

СОДЕРЖАНИЕ

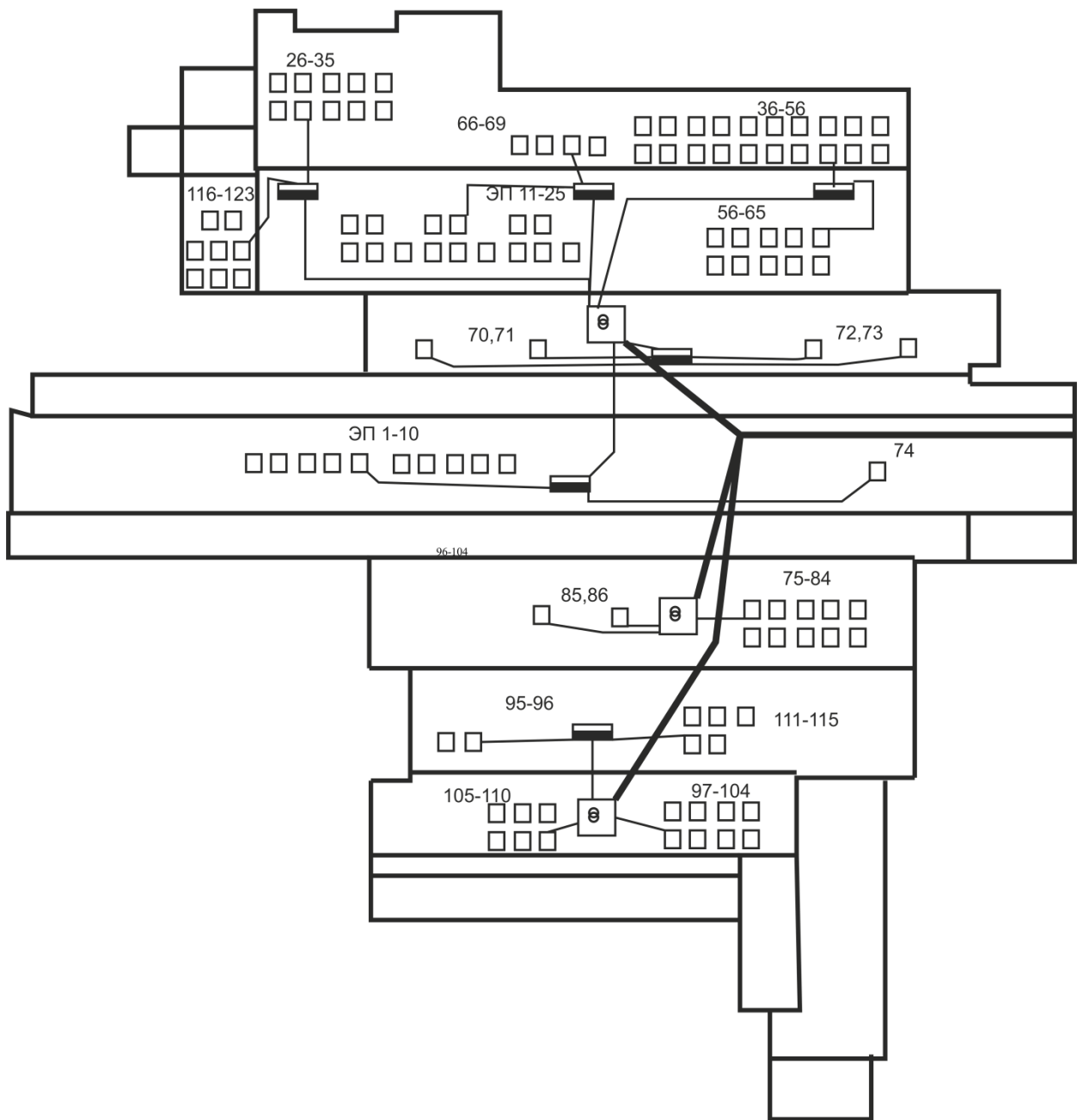
Задание	8
Введение	11
1. Характеристики производственных помещений и потребителей электроэнергии	12
2. Определение расчетной нагрузки цеха	13
3. Определение суммарной нагрузки потребления в целом по заводу	19
4. Картограмма электрических нагрузок и определение центра электрических нагрузок	23
5. Выбор числа и мощности трансформатора	25
6. Схема внешнего электроснабжения предприятия	32
7. Схема внутризаводской сети 6 - 10 кВ	35
8. Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	42
9. Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры напряжением до 1000 В	58
10. Построение эпюры отклонения напряжения	61
11. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В	67
12. Построение карты селективности действия защитных аппаратов	73
13. Финансовый менеджмент	75
14. Социальная ответственность	93
Заключение	112
Список литературы	113

ЗАДАНИЕ



План Никелевого завода

Номер на плане	Наименование электрооборудования	Паспортная мощность, кВт	Количество, штук
1-10	Конвейер	14	10
11-25	Элеватор	11	15
26-35	Питатель	2,2	10
36-55	Сушильный агрегат	3	20
56-65	Элеватор	0,75	10
66-69	Таль ПВ=85%	2,5	4
70,71	Кран ПВ=25%	45	2
72,73		22	2
74		75	2
75-84	Насос	45	10
85,86		75	2
87-94	Вибратор	2,2	8
95-96	Лебедка	20	2
97-104	Вентилятор	45	8
105-110		90	6
111-115	Бетоносмеситель	55	5
116-123	Шнек	7,5	8



План размещения оборудования 0,4 кВ в плавильном цеху

ВВЕДЕНИЕ

Научно-технический прогресс диктует необходимость всецелого совершенствования промышленной энергетики: создание экономичных, надежных систем электроснабжения промышленных предприятий, систем освещения, автоматизированных систем управления технологическими процессами, внедрение микропроцессорной техники, элегазового и вакуумного оборудования, новейших преобразовательных устройств.

Важнейшей экономической задачей сегодня является надежное обеспечение промышленных предприятий электрической энергией надлежащего качества. Системой электроснабжения в рамках предприятия или страны называется совокупность электротехнических установок, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией. Современные системы электроснабжения промышленных предприятий должны удовлетворять определенным требованиям:

- удобство эксплуатации;
- экономичность;
- безопасность;
- надежность;
- обеспечение необходимого качества электроэнергии;
- гибкость системы электроснабжения при дальнейшем развитии без существенного переустройства существующей схемы;
- максимальное приближение источников высокого напряжения к центрам электрических нагрузок потребителей;
- минимизация потерь электроэнергии.

Целью данного проекта является разработка системы электроснабжения плавильного цеха, используя при проектировании реальные данные предприятия (генплан, план цеха, сведения об электрических нагрузках), требуется проработать систему электроснабжения приемников в здании цеха, сделать выводы.

1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В отношении обеспечения надежности электроснабжения подразделяются на три категории.

Электроприемники I категории надежности – ЭП, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству; повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса.

Электроприемники II категории надежности – ЭП, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих механизмов и промышленного транспорта.

Электроприемники III категории надежности – все остальные ЭП, не подходящие под определение I и II категорий.

Таблица 1.1 – Характеристика электрических нагрузок цехов предприятия

№ Цеха	Наименование цеха	Характеристика производственной среды	Степень защиты электрооборудования	Категория ЭП по надежности питания
1	Грануляция	Жаркая, пыльная	IP44	II
2	Депо ШО	Пыльная	IP44	II
3	ГО-3	Нормальная	IP44	II
4	Склад руды	Нормальная	IP20	II
5	Насосная	Сырая	IP54	I
6	АБК	Нормальная	IP24	II
7	Столовая	Нормальная	IP24	II
8	ГО-2	Нормальная	IP44	II
9	Плавильный цех	Жаркая, пыльная	IP44	I

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОЙ НАГРУЗКИ ПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА

Все электроприемники (ЭП) разбиваются по распределительным пунктам (ПР), ближайшие ЭП и примерно одинаковые по мощности:

В каждом ПР разделяет ЭП на 2 группы:

Группа А: $K_u < 0,6$

Группа Б: $K_u \geq 0,6$

Для каждого ПР определяется суммарная номинальная мощность, приведенная к продолжительности включения (ПВ=100%)

$$P_{\text{ном}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i} \quad (1.1)$$

Для длительного режима работы

$$P_{\text{насп}} = P_{\text{ном}}; \quad (1.2)$$

Коэффициент использования $K_u, \cos \varphi, \tan \varphi$ для каждого ЭП или группы ЭП определяется по справочным данным.

Средние активная и реактивная нагрузки за максимально загруженную смену:

$$P_{\text{см}} = K_u \cdot P_{\text{ном}}; \quad (1.3)$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi. \quad (1.4)$$

Для каждой группы ЭП подводится итог по средне сменной активной и реактивной нагрузке для всей группы. Средневзвешенный коэффициент использования группы определяется как:

$$K_{u\text{-ср}} = \frac{\sum P_{\text{см}}}{\sum P_{\text{ном}}}, \quad (1.5)$$

где $\sum P_{\text{см}}$ - суммарная средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену;

$\sum P_{\text{ном}}$ - суммарная установленная мощность группы ЭП.

Эффективное число ЭП(n_3)– это такое число однородных по режиму работы и мощности ЭП которое создает ту же самую величину расчетной нагрузки, что и группа фактических ЭП разных по режиму работы и мощности..

Упрощенные способы, определения n_3 в зависимости от условий

$$1) m \leq 3 \Rightarrow n_3 = n_\phi \quad m = \frac{P_{ном}^{max}}{P_{ном}^{min}},$$

где m - коэффициент силовой сборки в группе;

$P_{ном}^{max}$ -мощность самого мощного электроприемника в группе;

$P_{ном}^{min}$ - мощность электроприемника в группе имеющего

минимальную мощность.

$$2) m > 3, K_u \geq 0,2, \text{ тогда} \quad n_3 = \frac{2 \sum P_{ном.i}}{P_{ном}^{max}};$$

где $\sum P_{ном.i}$

сумманоминальных мощностей, приведенных к ПВ100%, всех ЭП группы;

$P_{ном}^{max}$ -мощность самого мощного электроприемника в группе;

$$3) m > 3, K_u < 0,2$$

-Определяется наибольший по мощности ЭП, рассматриваемой группы.

-Определяется наиболее мощные ЭП, $P_{ном}$ которых равна или больше половины мощности наибольшего ЭП группы.

-Определяется число n_1 и $\sum P_{ном1}$ наибольших ЭП группы.

-Определяется число n и $\sum P_{ном}$ всех ЭП группы.

-Находятся значения: $n_* = \frac{n_1}{n}$ и $P_* = \frac{P_{ном1}}{P_{ном}}$

-По кривым или по таблице [6, стр.12] по n_* и P_* определяется n_{3*} .

$$n_{3*} = \frac{n_3}{n} \Rightarrow n_3 = n_{3*} \cdot n$$

Коэффициент максимума $K_m = f(n_\phi, K_u)$ -определяется по таблице[6,стр.21].

Для группы А если $n_\phi \geq 4$, то расчетная активная и реактивная мощности группы ЭП определяются из выражений:

$$P_p = K_m \cdot P_{cm}; \quad (1.6)$$

$$Q_p = Q_{cm}, \text{ при } n_\phi > 10;$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm}, \text{ при } n_\phi \leq 10.$$

Если $n_\phi \leq 3$, то в этом случае мы расчетную мощность ищем не через коэффициент максимума, а коэффициенту загрузки:

$$P_p = \sum (K_{zi} \cdot P_{Hi}); \quad (1.7)$$

где K_{zi} - коэффициент загрузки (0,75-если ПКР режим работы и 0,9 если продолжительный режим работы)

Реактивная мощность определяется из выражений:

Для длительного режима работы:

$$Q_p = 0,75 P_p;$$

Для повторно кратковременного режима работы:

$$Q_p = P_p;$$

Для группы Б если $n_\phi \leq 3$, то расчетная активная и реактивная мощности группы ЭП определяются из выражений:

$$P_p = \sum P_H;$$

Если $n_\phi > 3$, то расчетная активная и реактивная мощности группы ЭП определяются из выражений:

$$P_p = \sum P_{cm}; \quad (1.8)$$

$$Q_p = \sum Q_{cm}; \quad (1.9)$$

В последней строке таблицы подводится общий итог по цеху реактивной на грузке, общей мощности.

Полная максимальная нагрузка цеха

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.10)$$

Определение осветительной нагрузки производится по формуле:

$$P_{P.O} = K_{C.O} \cdot P_{H.O}; \quad (1.11)$$

где $P_{H.O} = P_{уд.о} \cdot F_{ц.} = 4 \cdot 12000 = 48$ (кВт) номинальная осветительная нагрузка;

$P_{уд.о} = 4$ (Вт/м²) удельная осветительная плотность нагрузки принимаем согласно с [2, таблица П2.3];

$K_{C.O} = 0,95$ коэффициент спроса осветительной нагрузки принимаем согласно с [2, таблица П2.2];

$F_{ц.} = 12000$ (м²) площадь цеха размеры цеха снимаем с генплана, в соответствии с масштабом;

$$P_{P.O} = 0,95 \cdot 48 = 45,6 \text{ (кВт)}. Q_{P.O} = 0,33 \cdot 45,6 = 15 \text{ (кВт)}.$$

Таблица 2.1 – Расчетная нагрузка цеха

Наименование электроприёмника	Заданная нагрузка, приведённая к длительному режиму						m	Сменная нагрузка			Км	К'м с	Максимальная нагрузка			
	п,шт	Рн,кВ т	ΣРн,к Вт	Ки	cosφ	tgφ		Рсм,к Вт	Qсм, кВт	Scм,кВ т			Рр,кВт	Qр,кВ ар	Sp,кВ·А	Ip,А
ПП1																
Питатель	10	2,2	22	0,2	0,6	1,3		4,4	5,9	7,3						
Шнек	8	7,5	60	0,35	0,65	1,2		21,0	24,6	32,3						
Итого А	18	9,7	82					25,4	30,4	39,6	1,13	1	28,6	30,42	41,8	63,4
ПП2																
Элеватор	10	0,8	7,5	0,4	0,6	1,3		3,0	4,0	5,0						
Таль ПВ=85%	4	2,5	10	0,2	0,65	1,2		2,0	2,3	3,1						
Итого А	14	3,3	18					5,0	6,3	8,1	1,19	1	5,96	6,338	8,7	13,2
ПП3 группа А																
Элеватор	15	11	165	0,4	0,6	1,3		66,0	88,0	110,0						
Итого А	15	11	165					66,0	88,0	110,0	1,09	1	71,9	88	113,6	172,6
ПП3 Группа Б																
Сушильный агрегат	20	3	60	0,8	0,75	0,9		48,0	42,3	64,0			48	42,33		
Итого Б	20	3	60					48,0	42,3	64,0			48	42,33	64,0	97,2
ПП4																
Кран ПВ=25%	2	45	90	0,4	0,6	1,3		36,0	48,0	60,0						
Кран ПВ=25%	2	22	44	0,2	0,65	1,2		8,8	10,3	13,5						
Итого А	4	67	134					44,8	58,3	73,5	1,67	1	74,9	58,29	94,9	144,2
ПП5 группа А																
Кран ПВ=25%	2	75	150	0,4	0,6	1,3		60,0	80,0	100,0						
Итого А	2	75	150					60,0	80,0	100,0	2,62		157	80	176,2	267,7
ПП5 группа б																
Конвейер	10	14	140	0,75	0,75	0,9			92,6	140,0			105	92,6		0,0
Итого Б	10	14	140			0			92,6	140,0			105	92,6	140,0	212,7

ПР6																
Насос	10	45	450	0,9	0,75	0,9			357,2	540,0			405	357,2		
Насос	2	75	150	0,9	0,75	0,9			119,1	180,0			135	119,1		
Итого Б	12	120	600						476,2	720,0			540	476,2	720,0	1093,9
ПР7 группа А																
Кран ПВ=25%	2	75	150	0,4	0,6	1,3		60,0	80,0	100,0						
Итого А	2	75	150					60,0	80,0	100,0	1,42	1	157	80	176,2	267,7
ПР7 группа Б																
Конвейер	10	14	140	0,75	0,75	0,9			92,6	140,0			105	92,6	0,0	0,0
Итого Б	10	14	140						92,6	140,0			105	92,6	140,0	212,7
ПР8																
Вентилятор	8	45	360	0,8	0,75	0,9			254,0	384,0			288	254		
Вентилятор	6	90	540	0,8	0,75	0,9			381,0	576,0			432	381		
Итого Б	14	135	900						635,0	960,0			720	635	960,0	1458,6
По цеху:													1851,9	1594,8	2444,0	3713,3

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОЙ НАГРУЗКИ ПОТРЕБЛЕНИЯ В ЦЕЛОМ ПО ЗАВОДУ

Одним из основных этапов проектирования системы электроснабжения является определение электрических нагрузок. По значению электрических нагрузок выбирают и проверяют электрооборудование системы электроснабжения, определяют потери мощности и электроэнергии. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты на систему электроснабжения, эксплуатационные расходы, надежность работы оборудования.

В практике проектирования систем электроснабжения применяют различные методы определения электрических нагрузок, которые подразделяют на основные и вспомогательные. В первую группу входят методы расчета по:

- установленной мощности и коэффициенту спроса;
- средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней (статистический метод);
- средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузок;
- средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм).

Вторая группа включает в себя методы расчета по:

- дельному расходу электроэнергии на единицу продукции при заданном объеме выпуска продукции за определенный период времени;
- удельной нагрузке на единицу производственной площади.

Применение того или иного метода определяется допустимой погрешностью расчетов.

Расчет произвожу методом коэффициента спроса. Расчетная нагрузка группы однородных электроприёмников определяется по формулам :

$$P_p = K_C \cdot P_{НОМ} \cdot n, \text{ кВт}, \quad (3.1)$$

где K_C - коэффициент спроса данного электроприемника, определяемый по справочным данным [5]; $P_{НОМ}$ - номинальная паспортная мощность электроприемника, определяется в исходных данных; n - количество приемников одинаковой мощности.

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\phi, \text{ квар}, \quad (3.2)$$

где $\operatorname{tg}\phi$ соответствует $\operatorname{Cos}\phi$ данной группы электроприёмников.

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВт}\cdot\text{А}. \quad (3.3)$$

Расчетная нагрузка узла системы электроснабжения, содержащего группы приёмников электроэнергии с различными режимами работы, определяется с учетом разновременности максимумов нагрузки отдельных групп:

$$S_m = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{P(i)}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_{P(i)}\right)^2} \cdot K_{PM}, \text{ кВт}\cdot\text{А}; \quad (3.4)$$

где $\sum_{i=1}^n P_{P(i)}$ и $\sum_{i=1}^n Q_{P(i)}$ - суммы активных и реактивных нагрузок отдельных групп электроприёмников; $K_{PM} = 0,9$ - коэффициент разновременности максимумов нагрузки .

Расчет электрических нагрузок двигателей А4-85/43-8У3 расположенных в Плавильном участке:

$$P_p = 0,5 \cdot 630 \cdot 2 = 630 \text{ кВт}.$$

$$Q_p = 630 \cdot 0,25 = 157,89 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{630^2 + 157,89^2} = 649,5 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Расчет электрических нагрузок остальных потребителей на стороне 10 кВ производим аналогичным способом. Результаты расчетов сводим в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Расчет электрических нагрузок на стороне 10 кВ.

Наименование участка цеха	P_H кВт	n шт.	K_c	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Расчетные		
						P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ\cdotА
Плавильный участок №1								
А4-85/43-8У3	630	2	0,85	0,85	0,62	1071	664	1260,1
Плавильный участок №2								
А4-85/62-8У3	500	4	0,8	0,8	0,75	1600	1200	2000
Обжиговый участок								
СТД-1600-23У5	1600	4	0,85	0,85	0,62	5440	-3372,8	6400,7
Участок пылеулавливания								
А4-85/62-8У3	500	6	0,8	0,8	0,75	2400	1800	3000
ВСЕГО:						10511	291,2	10515

Суммарную расчетную мощность высоковольтных БК для всего предприятия определяют из условия баланса реактивной мощности

$$Q_{БК} = Q_p - Q_{Э1};$$

$$Q_p = Q_{ВД} + \Delta Q_T + Q_{\max, m};$$

$$Q_{БК} = Q_p - Q_{Э1} = 0,2912 + 1,77 + 5,19 - 11,38 = -4,13 \text{ Мвар,}$$

где $Q_{ВД} = 0,2912 \text{ Мвар}$ - суммарная мощность, потребляемая всеми высоковольтными электродвигателями (с учетом генерирования Q от СД);

ΔQ_T - суммарные потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах.

Потери мощности в цеховых трансформаторах, приближенно:

$$\Delta P_{0,69} = 0,02 \cdot S^{ТП} = 0,02 \cdot 17723 = 354,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{0,69} = 0,1 \cdot S^{ТП} = 0,1 \cdot 17723 = 1772,3 \text{ квар.}$$

$Q_{\max, m} = 5,19 \text{ МВАр}$ - мощность, передаваемая через цеховые ТП в сеть 0,4 кВ;

$Q_{Э1}$ - экономически оптимальная реактивная мощность, передаваемая в рассматриваемый узел нагрузки от системы.

Энергосистема задает потребителю определенный коэффициент мощности, который необходимо поддерживать на шинах ГПП. Для Норильской энергосистемы он равен 0,93. Исходя из максимальной активной мощности ГПП можно определить ту величину реактивной мощности, которая будет передаваться предприятию.

$$P_m = 28,4607 \text{ МВт} \text{ — расчетная максимальная нагрузка ГПП};$$

$$Q_{Э1} = P_m \cdot \operatorname{tg} \phi = 28,4607 \cdot 0,4 = 11,38 \text{ Мвар.}$$

Т.к. величина расчетной мощности ККУ имеет отрицательный знак, то на стороне 10 кВ компенсации реактивной мощности не требуется. Все данные с учетом компенсации реактивной мощности занесем в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Уточненный расчет нагрузок

Наименование	Уточнённые данные							Расчётные данные		
	S, кВ·А	P, кВт	n, шт	cosφ	tgφ	Кз.ф.	Кс	Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВ·А
РП-1 секция										
КТП-1000	1000		1	0,6	1,33	0,8		480,0	638,4	798,7
КТП-1600	1600		4	0,97	0,25	0,72		4469,8	1117,4	4607,3
АД-500		500	2	0,8	0,75		0,8	800,0	600,0	1000,0
АД-630		630	1	0,85	0,62		0,85	535,5	332,0	630,1
РП-2 секция										
КТП-1000	1000		1	0,6	1,33	0,8		480,0	638,4	798,7
КТП-1600	1600		4	0,97	0,25	0,72		4469,8	1117,4	4607,3
АД-500		500	3	0,8	0,75		0,8	1200,0	900,0	1500,0
Итого РП								12435,0	5343,7	13534,6

ГПП-1 секция										
СД-1600		1600	2	0,85	0,62		0,85	2720,0	-1686,4	3200,4
КТП-1600	1600		3	0,97	0,25	0,72		3352,3	838,1	3455,5
АД-500		500	2	0,8	0,75		0,8	800,0	600,0	1000,0
ГПП-2 секция										
СД-1600		1600	2	0,85	0,62		0,85	2720,0	-1686,4	3200,4
КТП-1600	1600		3	0,97	0,25	0,72		3352,3	838,1	3455,5
АД-500		500	2	0,8	0,75		0,8	800,0	600,0	1000,0
ГПП-3 секция										
АД-500		500	1	0,8	0,75		0,8	400,0	300,0	500,0
ГПП-4 секция										
АД-630		630	1	0,85	0,62		0,85	535,5	332,0	630,1
Итого ГПП								14680,1	135,4	14680,8
Потери в ЦТП								345,5	1772,3	1807,4
Всего ГПП								27460,7	7251,4	28400,0

Определим коэффициент мощности на шинах ГПП:

$$\cos \phi = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} = \frac{27460,7}{28400} = 0,97.$$

Значение коэффициента мощности получилось завышенным, т.к. мы считали, что синхронные двигатели генерируют максимум реактивной мощности, поэтому получить необходимый $\cos \phi$ можно путем регулирования тока возбуждения на этих двигателях., при котором будет обеспечивается баланс реактивной энергии.

4. КАРТОГРАММА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Картограмма электрических нагрузок наноситься на ситуационный план цеха для определения местоположения РП и цеховых ТП. Построение картограммы нагрузок производится на основании результатов определения расчетных нагрузок цеха, исходя из условия, что площадь круга картограммы в выбранном масштабе являются расчетной нагрузкой цеха.

В качестве расчетной нагрузки для построения картограммы принимается активная мощность каждого электроприемника, так как реактивная мощность подлежит компенсации.

Радиус окружности находится из выражения:

$$r_{(i)} = \sqrt{\frac{P_{P(i)}}{\pi \cdot m}};$$

где $P_{P(i)}$ - расчетная нагрузка цеха, кВт; $m = 0,55$ кВт/мм² - масштаб площади круга;

Распределительная подстанция является одним из основных звеньев системы электроснабжения промышленного предприятия. Правильное размещение подстанции является основой рационального построения схемы распределения электроэнергии (снижение потерь электроэнергии, расхода кабеля и провода). Выбор места расположения подстанции определяется центром электрических нагрузок, архитектурно-строительными особенностями здания, технологическими нормами пожарной и взрывной безопасности.

Из опыта проектирования систем электроснабжения известно, что источник питания следует располагать в геометрическом центре электрических нагрузок (ЦЭН). Под ЦЭН следует понимать точку на ситуационном плане предприятия, при расположении в которой источника питания (РП), затраты на сооружение и эксплуатацию сети будут минимальны.

ЦЭН промышленного предприятия в целом определяется с помощью аналитического метода сложения параллельных нагрузок. В декартовой системе координат оси наносят на план произвольно, координаты ЦЭН определяются по формулам:

$$X_M = \frac{\sum_{i=1}^n m_{m(i)} \cdot X_{(i)}}{\sum_{i=1}^n m_{m(i)}};$$

$$Y_M = \frac{\sum_{i=1}^n m_{m(i)} \cdot Y_{(i)}}{\sum_{i=1}^n m_{m(i)}},$$

где $P_{P(i)}$ - расчетная нагрузка i -го цеха, кВт·А; $X_{(i)}$ и $Y_{(i)}$ - координаты центра нагрузок i -го цеха.

Координаты центра электрических нагрузок:

$$X_O = \frac{549060}{9195} = 59710 \text{ мм.}$$

$$Y_O = \frac{440878}{9195} = 47950 \text{ мм.}$$

Радиус окружности будет равен:

$$r_0 = \sqrt{\frac{12435}{3,14 \cdot 0,55}} = 84 \text{ м.}$$

5. ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Одна и та же электрическая нагрузка цехов на напряжение до 1000 В может быть обеспечена малым числом трансформаторов большой мощности и большим числом трансформаторов малой мощности. Поэтому выбор оптимальной мощности цеховых подстанций должен быть основан на технико-экономических расчетах.

Выбор ориентировочной мощности трансформаторов цеховых подстанций произведем по удельной плотности электрической нагрузки:

$$\sigma_H = \frac{S_P}{F},$$

где S_P — расчетная нагрузка цеха, кВ·А;

F — площадь цеха, м².

$$\sigma_H = \frac{17460,5}{30000} = 0,58 \text{ кВА} / \text{м}^2.$$

В соответствии с указаниями при плотности нагрузки более 0,3 кВА/м² целесообразность применения трансформаторов мощностью 1600 кВА или 2500 кВА должна определяться по технико-экономическим расчетам. Намечаем к установке сухие трансформаторы типа ТСЗ-1600/10 мощностью 1600 кВА, со следующими характеристиками:

$$U_{BH} = 10 \text{ кВ} ; U_{HH} = 0,69 \text{ кВ} ; P_{XX} = 4,2 \text{ кВт} ; P_K = 16 \text{ кВт} ; U_K = 5,5 \% ; I_X = 1,5 \% .$$

При выборе числа и мощности цеховых трансформаторов одновременно должен решаться вопрос об экономически целесообразной величине реактивной мощности, передаваемой через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ.

Минимальное число цеховых трансформаторов одинаковой мощности, предназначенных для питания технологически связанных нагрузок, определяется по формуле:

$$N_{\min} = \frac{P_P}{K_3 \cdot S_{HT}} + \Delta N,$$

где K_3 — коэффициент загрузки при преобладании нагрузок;

P_P — активная расчетная нагрузка в сети 0,4 кВ;

ΔN — добавка до ближайшего целого числа.

Экономически оптимальное количество трансформаторов определяется по выражению

$$N_{opt} = N_{min} + m,$$

где m — дополнительно установленные трансформаторы.

Таким образом

$$N_{min} = \frac{P_P}{K_3 \cdot S_{HT}} + \Delta N = \frac{17460,5}{0,71 \cdot 1600} = 15,3 + 0,7 = 16 \text{ шт.}$$

$$N_{opt} = N_{min} + m = 16 + 0 = 16 \text{ шт.},$$

где $m = 0$ определено по кривым, с учетом обобщенных технико-экономических показателей.

Произведем выбор трансформаторов для цеховых сетей. Коэффициент загрузки каждого трансформатора в нормальном режиме - 0,71. Поэтому расчетная мощность одного трансформатора осветительной нагрузки:

$$S_T = \frac{S_P}{2 \cdot 0,7} = \frac{1168,2}{1,4} = 834,4 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

По рассчитанной мощности S_T по справочным данным выбираем трансформаторы типа ТСЗ-1000/10 кВА с техническими характеристиками:

$$U_{BH} = 10 \text{ кВ} ; U_{HH} = 0,4 \text{ кВ} ; P_{XX} = 3 \text{ кВт} ; P_K = 11,2 \text{ кВт} ; U_K = 5,5 \% ; I_X = 1,5 \% .$$

Так как в плавильном цехе преобладают нагрузки второй категории надёжности, электроснабжения принимаем двухтрансформаторные подстанции.

Одним из основных вопросов, решаемых при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий, является вопрос о компенсации реактивной мощности.

Передача значительного количества мощности из энергосистемы к потребителям нерациональна по следующим причинам: возникают дополнительные потери активной мощности и энергии во всех элементах системы электроснабжения, обусловленные загрузкой их реактивной мощностью, и дополнительные потери напряжения в питающих сетях.

Комплектные устройства выбирают для режима наибольшего потребления реактивной мощности в сети проектируемой установки. Тип, мощность, места установки и режим работы КУ должны обеспечивать минимум потерь активной мощности в узле нагрузки при соблюдении технических условий, в частности, уровня напряжения на шинах ГПП и статической устойчивости электроприемников (АД, СД).

Наибольшая реактивная мощность, которую можно передать через 16 трансформаторов в сеть до 1кВ определяется по формуле

$$Q_{\max, m} = \sqrt{(N_{\text{онт}} K_3 S_{HT})^2 - P_p^2}.$$
$$Q_{\max, m} = \sqrt{(16 \cdot 0,71 \cdot 1,6^2) - 17,461^2} = 5,1 \text{ Мвар}.$$

Суммарная мощность конденсаторных батарей на напряжение до 1 кВ составит:

$$Q_{HK1} = Q_p - Q_{\max, m}.$$
$$Q_{HK1} = 13,113 - 5,1 = 8 \text{ Мвар},$$

где $Q_p = 13113,2 \text{ квар}$ — расчетная реактивная нагрузка сети 0,4 кВ.

Дополнительная мощность низковольтных батарей конденсаторов, устанавливаемых в целях оптимального снижения потерь в трансформаторах и в сети напряжением 10 кВ предприятия:

$$Q_{HK2} = Q_P - Q_{HK1} - \gamma \cdot N_{omm} \cdot S_{HT},$$

где γ - расчетный коэффициент, определяемый в зависимости от экономических параметров по кривым. Принимаем $\gamma = 0,55$.

Таким образом

$$Q_{HK2} = Q_P - Q_{HK1} - \gamma \cdot N_{omm} \cdot S_{HT} = 13,113 - 8 - 0,55 \cdot 16 \cdot 1,6 = -9 \text{ Мвар.}$$

В соответствии с указаниями принимаем величину $Q_{HK2} = 0$.

Суммарная мощность НБК цеха составит 8 Мвар. Т.к. распределительная сеть 0,69 кВ выполнена целиком кабельными линиями, то установка НБК рекомендуется непосредственно у шин цеховых ТП.

Предположительная мощность БК составит:

$$Q_{\phi}' = \frac{Q_{HK}}{N}; \quad Q_{\phi}' = \frac{8}{16} = 0,5.$$

Из web-страницы <http://www.polykit.ru> продукции фирмы АВВ выбираем комплектные автоматические установки компенсации реактивной мощности производства CIRCUTOR GRUP.

Серия Superscompact, мощность 450 квар в количестве 16 шт.

Релейные компенсаторы имеют микропроцессорные регуляторы для управления конденсаторными установками.

Таким образом, фактически принятая мощность НБК составит

$$Q_{\phi, НБК} = 16 \cdot 0,45 = 7,2 \text{ Мвар.}$$

С учётом выбранных БК произведем расчет уточнённого K'_3 для выбора оптимального числа КТП по формуле:

$$K'_3 = \frac{\sqrt{(S_n \cdot K_3 \cdot \cos' \phi)^2 + (S_n \cdot \sin' \phi \cdot K_3 - Q_\phi)^2}}{S_n};$$

$$K'_3 = \frac{\sqrt{(1600 \cdot 0,71 \cdot 0,85)^2 + (1600 \cdot 0,53 \cdot 0,71 - 450)^2}}{1600} = 0,61.$$

Минимальное число КТП тогда будет равняться:

$$N_{\min} = \frac{S_n \cdot n \cdot K'_3}{K_3 \cdot S_n} + \Delta n,$$

где Δn – добавочный коэффициент до целого числа.

$$N_{\min} = \frac{1600 \cdot 16 \cdot 0,61}{0,71 \cdot 1600} = 13,5 + 0,5 = 14.$$

Оптимальное число ЦТП определяется по формуле:

$$N_{opt} = N_{\min} + m,$$

где m - разница между N_{\min} и заданным числом ЦТП

$$N_{opt} = 14 + 0 = 14.$$

Фактический коэффициент мощности $\cos \phi$ и коэффициент загрузки $K_{3,\phi}$ с учетом компенсации реактивной мощности на стороне 0,4 кВ конденсаторными батареями определим по формулам:

$$\cos \phi_{\phi} = \frac{S_H \cdot N_{онм} \cdot K_3 \cdot \cos \phi}{\sqrt{(S_H \cdot N_{онм} \cdot K_3 \cdot \cos \phi)^2 + (S_H \cdot N_{онм} \cdot K_3 \cdot \sin \phi - N_{онм} \cdot Q_{\phi})^2}};$$

$$K_{3,\phi} = \frac{\sqrt{(S_H \cdot N_{онм} \cdot K_3^{PII} \cdot \cos \phi_{\phi})^2 + (S_H \cdot N_{онм} \cdot K_3^{PII} \cdot \sin \phi_{\phi} - N_{онм} \cdot Q_{\phi})^2}}{S_H \cdot N_{онм}};$$

$$\cos \phi_{\phi} = \frac{1600 \cdot 14 \cdot 0,71 \cdot 0,85}{\sqrt{(1600 \cdot 14 \cdot 0,71 \cdot 0,85)^2 + (1600 \cdot 14 \cdot 0,71 \cdot 0,53 - 14 \cdot 450)^2}} = 0,97$$

Коэффициент мощности получается завышенным, т.к. мы не учитываем потери в кабельных линиях и трансформаторах ЦТП.

$$K_{3,\phi} = \frac{\sqrt{(1600 \cdot 14 \cdot 0,71 \cdot 0,97)^2 + (1600 \cdot 14 \cdot 0,71 \cdot 0,24 - 14 \cdot 450)^2}}{1600 \cdot 14} = 0,72$$

Суммарную расчетную мощность высоковольтных БК для всего предприятия определяют из условия баланса реактивной мощности

$$Q_{БК} = Q_P - Q_{Э1};$$

$$Q_P = Q_{ВД} + \Delta Q_T + Q_{\max, m};$$

$$Q_{БК} = Q_P - Q_{Э1} = 0,2912 + 1,77 + 5,19 - 11,38 = -4,13 \text{ Мвар},$$

где $Q_{ВД} = 0,2912 \text{ Мвар}$ - суммарная мощность, потребляемая всеми высоковольтными электродвигателями (с учетом генерирования Q от СД);

ΔQ_T - суммарные потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах.

Потери мощности в цеховых трансформаторах, приближенно:

$$\Delta P_{0,4} = 0,02 \cdot S^{III} = 0,02 \cdot 17723 = 354,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{0,4} = 0,1 \cdot S^{III} = 0,1 \cdot 17723 = 1772,3 \text{ квар.}$$

$Q_{\max, m} = 5,19 \text{ МВАр}$ - мощность, передаваемая через цеховые ТП в сеть 0,4 кВ;

$Q_{Э1}$ - экономически оптимальная реактивная мощность, передаваемая в рассматриваемый узел нагрузки от системы.

6. СХЕМА ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Система внешнего электроснабжения включает в себя схему электроснабжения и источники питания предприятия. Основными условиями проектирования рациональной системы внешнего электроснабжения являются надежность, экономичность и качество электроэнергии в сети. Экономичность определяется приведенными затратами на систему электроснабжения. Надежность зависит от категории потребителей электроэнергии и особенностей технологического процесса.

Принимаем для схемы внешнего электроснабжения — двухтрансформаторную подстанцию с разъединителями, выключателями и неавтоматической перемычкой, необходимой для ремонтных и оперативных переключений на стороне высокого напряжения (рис. 6.1.).

Для обеспечения надежности питания потребителей I категории на всех секционных выключателях устанавливаем устройства АВР (автоматический ввод резерва). Распределительное устройство высокого напряжения выполняется закрытым (ЗРУ).

После определения расчетной мощности ГПП и предварительного выбора внешней схемы электроснабжения рассматриваемого цеха, произведем выбор напряжения питающей сети.

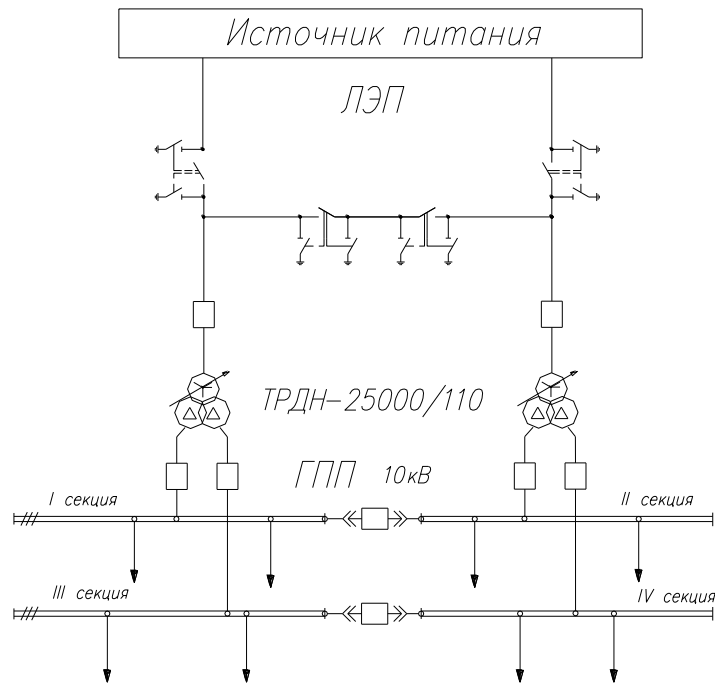


Рис. 6.1. Схема внешнего электроснабжения

Наивыгоднейшее напряжение может быть определено по формуле Г.А. Илларионова:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l} + \frac{2500}{P}}},$$

где l — длина линии от РПП-220 до ГПП. $l = 4$ км.

P — передаваемая мощность. $P = 27,461$ МВт.

Подставляя значения, получим

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{4} + \frac{2500}{27,461}}} = 68 \text{ кВ.}$$

Следовательно, выбираем питающее напряжение 110 кВ.

В плавильном цехе имеются электроприемники I категории в отношении обеспечения надежности электроснабжения, поэтому они должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. В связи с этим ГПП выполняем двух трансформаторную.

Одно-трансформаторные ГПП допустимы только при наличии централизованного резерва трансформаторов и при поэтапном строительстве ГПП. Установка более двух трансформаторов возможна в исключительных случаях: когда требуется выделить резко переменные нагрузки и питать их от отдельного трансформатора, при реконструкции ГПП, если установка третьего трансформатора экономически целесообразна.

Выбор мощности трансформаторов ГПП производится на основании расчетной нагрузки предприятия в нормальном режиме работы с учетом режима энергоснабжающей организации по реактивной мощности. В послеаварийном режиме (при отключении одного трансформатора) для надежного электроснабжения потребителей предусматривается их питание от оставшегося в работе трансформатора. При этом часть неответственных потребителей с целью снижения нагрузки трансформатора может быть отключена.

По полной расчетной нагрузке на шинах 10 кВ ГПП определяем ориентировочную расчетную мощность трансформаторов, исходя из перегрузочной способности трансформаторов:

$$S_{TP} = \frac{S_{ГПП}}{1,4} = \frac{28400}{1,4} = 20,3 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Выбираем трансформаторы типа ТРДН-25000/110.

Таблица 6.2. Технические параметры трансформаторов по вариантам

Вар.	S_H , МВ·А	ΔP_X , кВт	ΔP_K , кВт	U_{KB-H} , %	U_{KC-H} , %	I_X , %	К, тыс. руб.
1	25	25	120	10,5	30,0	0,65	65,5

7. СХЕМА ВНУТРИЗАВОДСКОЙ СЕТИ 6-10 кВ

Выбор сечения питающей ВЛ производим в нормальном режиме работы энергосистемы, а проверку по условиям аварийного и послеаварийного режима, т.е. когда одна из линий отключена и питание всей ГПП осуществляется от одного ввода.

Выбор производим по экономической плотности тока.

Проверку по:

1. нагреву длительно допустимым (рабочим) током;
2. нагреву кратковременным током КЗ;
3. потери напряжения в нормальном и аварийном режимах;
4. механическую прочность;
5. коронированию.

Исходя из реальной полной нагрузки и выбранных значений номинального напряжения, рассчитываем значения рабочего тока для линий высокого напряжения по формуле:

$$I_P = \frac{1,4 \cdot S_{Н.Т}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1,4 \cdot 25000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 87,9 \text{ А},$$

где $S_{Тр}$ – номинальная полная мощность трансформатора ГПП;

K_3 - коэффициент загрузки трансформаторов.

По величине номинального тока и экономической плотности тока определяем сечение проводов линий высокого напряжения.

$$S = I / j_{эж},$$

где $j_{эж} = 1,0 \text{ А/мм}^2$ — экономическая плотность тока для алюминиевых проводов при числе часов использования максимума нагрузки $T_M > 5000$.

$$S = \frac{87,9}{1,0} = 87,9 \text{ мм}^2.$$

По справочным данным выбираем провод АС-70/11; допустимый продолжительный ток $I_{\text{доп}}=265\text{А}$. Проверим данное сечение по длительно допустимому току ($I_{\text{МАХ}} < I_{\text{доп}}$):

При отключении одной из параллельных ветвей:

$$I_{\text{МАХ}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{Н.Т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Н}}} = \frac{1,4 \cdot 25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 175,7 \text{ А};$$

$$I_{\text{МАХ}}=175,7 \text{ А} < I_{\text{доп}}=265 \text{ А}.$$

Проверка сечения по нагреву кратковременным током КЗ осуществляться не будет, т.к. на электродинамическое действие тока КЗ проверяются гибкие шины при $I'' > 20 \text{ кА}$ и провода ВЛ при $i_y > 50 \text{ кА}$, а в нашем случае $i_{\text{уд}}=33,27 \text{ кА}$ (по табл.10.1. для точки K_1), поэтому для ВЛ проверку не производим.

При проверки сечения по потери напряжения, %:

$$\Delta U\% = \frac{S \cdot l}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot (r_0 \cdot \cos\phi + x_0 \cdot \sin\phi) \cdot 100\%,$$

где $S=50 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ – максимальная мощность потребляемая ГПП ($2 \cdot 25 \text{ МВ} \cdot \text{А}$);

$l=4 \text{ км}$ – длинна ВЛ;

$U_{\text{НОМ}}=115 \text{ кВ}$ – номинальное напряжение по высокой стороне;

$r_0=0,42 \text{ Ом/км}$ – удельное активное сопротивление ВЛ (АС-70);

$x_0=0,425 \text{ Ом/км}$ – удельное индуктивное сопротивление ВЛ (АС-70);

$\cos\phi=0,97$ – средневзвешенный коэффициент мощности для ГПП.

$$\Delta U\% = \frac{50 \cdot 4}{115^2} (0,42 \cdot 0,97 + 0,42 \cdot 0,243) \cdot 100\% = 0,8\%$$

Согласно ГОСТ 13109-98* потери напряжения не превышает 10%, что допускается в послеаварийном режиме, поэтому выбранное сечение проходит по данному условию. Согласно нормативным сочетаниям климатических условий для проектирования ВЛ, ВЛ типа АС с сечением 70 мм² будут находиться в нормальных условиях работы (без растяжений и обрывов). По условиям короны для напряжения 110 кВ минимальное сечение составляет 70 мм², поэтому данное сечение по условию короны не проверяется. Таким образом, останавливаемся на первоначально выбранном проводе типа АС-70 сечением 70 мм², с продолжительным допустимым током 265 А.

Произведем выбор ЛЭП-35 кВ для питания ЗРУ, от которого питаются дуговые сталеплавильные электропечи. Расстояние до источника питания 1,5 км.

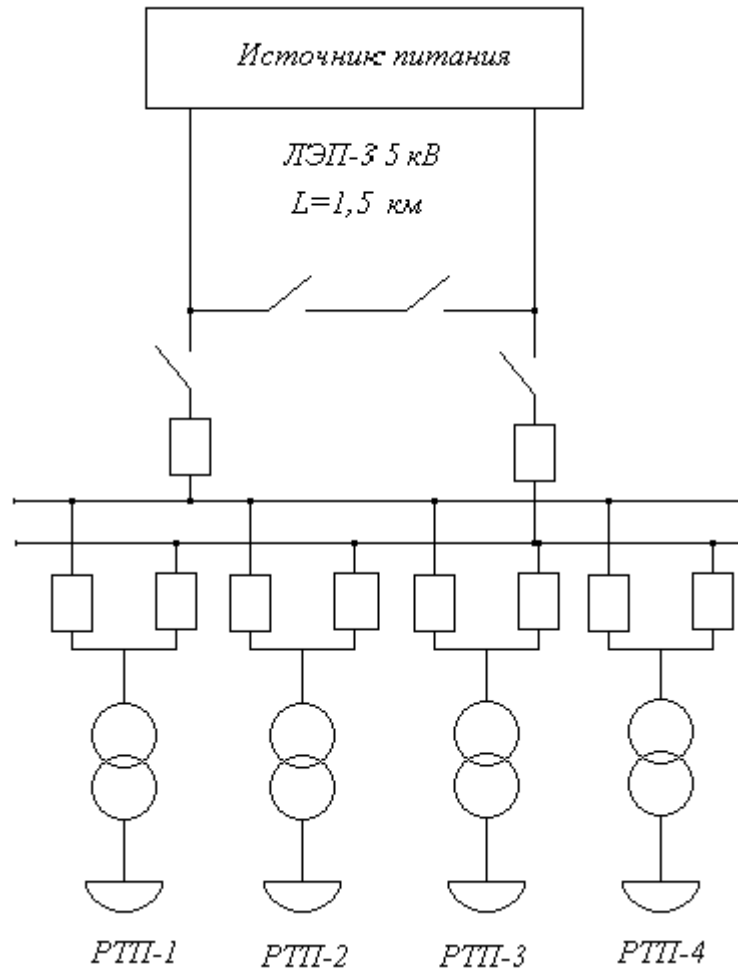


Рис. 7.1. Схема электроснабжения ЗРУ-35 кВ

Рассчитываем значения номинального тока для линий высокого напряжения по формуле:

$$I_P = \frac{4 \cdot S_{H.П.Л}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{4 \cdot 18}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 37} = 561 \text{ A.}$$

По величине номинального тока и экономической плотности тока определяем сечение проводов линий высокого напряжения:

$$S = I / j_{Ээс},$$

где $j_{ЭК} = 1,0 \text{ А / мм}^2$ — экономическая плотность тока для алюминиевых проводов при числе часов использования максимума нагрузки $T_M > 5000$.

$$S = \frac{561}{1,0} = 561 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод АС-600/72; допустимый продолжительный ток $I_{доп} = 1180 \text{ А}$.

Проверим выбранное сечение по нагреву послеаварийными токами, когда одна из линий выйдет из строя и вся расчетная мощность будет передаваться по одной линии. В этом случае условие проверки выглядит следующим образом:

$$I_{MAX} = \frac{4 \cdot S_{Н.П.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{4 \cdot 18}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1123 \text{ А}.$$

$$I_{MAX} = 1123 \text{ А} < I_{доп} = 1180 \text{ А}.$$

Проверка сечения по нагреву кратковременным током КЗ осуществляться не будет, т.к. на электродинамическое действие тока КЗ проверяются гибкие шины при $I^H > 20 \text{ кА}$ и провода ВЛ при $i_y > 50 \text{ кА}$, а в нашем случае $i_{уд} = 24,69 \text{ кА}$ (по табл.5.1. для точки К₁), поэтому для ВЛ проверку не производим.

При проверки сечения по потери напряжения, %:

$$\Delta U\% = \frac{S \cdot l}{U_{НОМ}^2} \cdot (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi) \cdot 100\%,$$

где $S = 72 \text{ МВА}$ – максимальная мощность;

$l=1,5$ км – длина ВЛ;

$U_{НОМ}=37$ кВ – номинальное напряжение по высокой стороне;

$r_0=0,05$ Ом/км – удельное активное сопротивление ВЛ (АС-600);

$x_0=0,4$ Ом/км – удельное индуктивное сопротивление ВЛ (АС-600);

$\cos\varphi=0,9$ – средневзвешенный коэффициент мощности.

$$\Delta U\% = \frac{72 \cdot 1,5}{37^2} (0,05 \cdot 0,9 + 0,4 \cdot 0,44) \cdot 100\% = 1,74\%.$$

Согласно ГОСТ 13109-98* потери напряжения не превышает 10%, что допускается в послеаварийном режиме, поэтому выбранное сечение проходит по данному условию. Климатические условия те же, что рассмотрены выше. Согласно нормативным сочетаниям климатических условий для проектирования ВЛ типа АС с сечением 600 мм² будут находиться в нормальных условиях работы (без растяжений и обрывов). По условиям короны согласно для напряжения 35 кВ минимальное сечение составляет 35 мм², поэтому данное сечение по условию короны не проверяется. Таким образом, останавливаемся на первоначально выбранном проводе типа АС-600 сечением 600 мм², с продолжительным допустимым током 1180 А.

Выбор сечений кабельных линий произведем по экономической плотности тока с проверкой по длительно допустимому нагреву. Согласно ПУЭ, экономически целесообразное сечение жилы кабеля определяется из соотношения:

$$F_{ЭК} = \frac{I_P}{j_{ЭК}},$$

где $j_{ЭК}$ — экономическая плотность тока. Для кабелей при числе часов использования максимума нагрузки более 5000 ч/год $j_{ЭК} = 1,2 \text{ А / мм}^2$;

I_p — расчетный ток в нормальном режиме.

Проверка по потере напряжения произвожу по формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r \cdot \cos \phi + x \cdot \sin \phi),$$

где r и x — активное и индуктивное сопротивления линии.

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_H} \cdot 100\% ,$$

Приведем расчет КЛ для двигателя М422.

$$F_{ЭК} = \frac{I_p}{j_{ЭК}} = \frac{34,37}{1,2} = 28,6 \text{ мм}^2.$$

Выбираем КЛ типа АПвКаП -3×35/16-10.

Проверим КЛ по длительно допустимому току

$$I_{доп} \geq I_{макс.р}$$

$$100 \text{ А} \geq 34,37 \text{ А}.$$

Потери напряжения составят

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 34,37 \cdot 0,2 \cdot (0,868 \cdot 0,8 + 0,116 \cdot 0,6) = 0,106 \text{ \%}.$$

Результаты расчетов сечения кабелей остальных электроприемников приведены в табл.9.1.

Таблица 7.1. Результаты расчёт КЛ электроприемников

Наименование электроприемника	L, км	I_{\max} , А	I_p , А	$F_{\text{эк}}$, мм ²	F, мм ²	$I_{\text{доп}}$, А	r_0 Ом/км	x_0 Ом/км	$\Delta U_{\%}$
Дымосос М422	0,2	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,106
Дымосос М423	0,19	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,101
Дымосос М424	0,18	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,095
Дымосос М1630	0,11	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,058
Дымосос М1631	0,1	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,053
Дымосос М1632	0,09	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,048
ПЭН М770	0,2	103,5	103,5	86,3	3×70	199	0,443	0,103	0,095
ПЭН М771	0,19	103,5	103,5	86,3	3×70	199	0,443	0,103	0,090
ПЭН М772	0,18	103,5	103,5	86,3	3×70	199	0,443	0,103	0,085
ПЭН М773	0,17	103,5	103,5	86,3	3×70	199	0,443	0,103	0,081
Дымосос М496	0,205	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,080
Дымосос М1657	0,1	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,039
Дымосос М487	0,19	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,074
Дымосос М478	0,175	34,37	34,37	28,6	3×35	100	0,868	0,116	0,068
Насос М1868	0,115	40,75	40,75	34	3×35	100	0,868	0,116	0,051
Насос М570	0,16	40,75	40,75	34	3×35	100	0,868	0,116	0,071
ТП-1	0,14	123,2	61,6	51,3	3×50	162	0,641	0,11	0,039
ТП-2	0,125	123,2	61,6	51,3	3×50	162	0,641	0,11	0,034
ТП-3	0,155	123,2	61,6	51,3	3×50	162	0,641	0,11	0,043
ТП-4	0,145	123,2	61,6	51,3	3×50	162	0,641	0,11	0,040
ТП-5	0,16	123,2	61,6	51,3	3×50	162	0,641	0,11	0,044
ТП-6	0,18	123,2	61,6	51,3	3×50	162	0,641	0,11	0,050
ТП-7	0,03	123,2	61,6	51,3	3×50	162	0,641	0,11	0,008
ТП-8	0,02	77	38,5	32,1	3×35	100	0,868	0,116	0,007

8. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ ВЫШЕ 1000 В

Коротким замыканием (КЗ) называется замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима. Замыканием (З) называется всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек электроустановки между собой или землей.

Электрическое соединение фаз на землю в глухо-заземленных сетях напряжением 0,38 - 0,66 кВ, а также 110 кВ и выше обычно называется КЗ на землю. Электрическое соединение одной фазы с землей в сетях с изолированной нейтралью напряжением 6 -10-35 кВ называется замыканием с землей. В месте КЗ обычно возникает электрическая дуга. В ряде случаев переходным сопротивлением дуги можно пренебречь, тогда КЗ называется металлическим или глухим.

При КЗ в СЭС сопротивление электрической цепи уменьшается, что приводит к увеличению токов по сравнению с токами нормального режима. В случае трехфазного КЗ напряжение в точке повреждения равно нулю. Ток короткого замыкания (ТКЗ), отключаемый устройствами релейной защиты, существует в СЭС в течение 0,5 - 5 с.

Чаще всего КЗ возникают при:

- 1) нарушении изоляции токоведущих частей, происходящем в результате старения или износа изоляции, перенапряжений, плохого ухода за оборудованием, механических повреждений;
- 2) создании преднамеренных КЗ на подстанциях с упрощенными схемами при помощи короткозамыкателей;
- 3) неправильных действий обслуживающего персонала. Как правило, до 50 - 70 % всех КЗ возникает по вине обслуживающего персонала.

Наибольшая частота возникновения КЗ приходится на ЛЭП - 47 %, на электрическую часть электростанций - 19 %, цепи собственных нужд электростанций - 26 %, другие элементы системы - около 8 %.

В трехфазной сети различают следующие виды КЗ: трех-, двух-, однофазные и двойные замыкания на землю. Трехфазные КЗ рассчитываются для выбора и проверки параметров электрооборудования, а несимметричные КЗ для расчетов уставок, параметров срабатывания и проверки чувствительности РЗ.

Расчет токов КЗ используется для выбора и проверки электрооборудования по условиям КЗ, выбора установок и возможного

действия релейной защиты и автоматики, определения влияния токов нулевой последовательности воздушных линий (ВЛ) на линии связи, для выбора заземляющих устройств.

При расчетах токов КЗ допускается не учитывать:

1. Сдвиг по фазе ЭДС и изменение частоты вращения роторов синхронных генераторов в системе;
2. Ток намагничивания трансформаторов;
3. Насыщение магнитных систем электрических машин;
4. Поперечную емкость ВЛ-110 кВ;
5. Подпитку от двигателей, если они находятся за ступенью трансформации.

Расчет тока КЗ производится в условиях аварийного режима на подстанции (один трансформатор отключен), в этом случае секционный выключатель включен.

Составим расчетную схему замещения электрической сети (рис. 10.1). При этом выбираем наиболее неблагоприятный режим работы системы, т.е. когда один из трансформаторов отключен.

Расчет токов короткого замыкания в относительных единицах производим в пяти точках: на стороне ВН трансформатора ГПП (К1) - для выбора и проверки коммутационного оборудования на стороне 110 кВ, на сборных шинах 10 кВ ГПП (К2), РП (К3) — для выбора оборудования, на удаленной ЦТП (К4) и у одного из двигателей (К5) - для проверки кабельных линий по термической устойчивости.

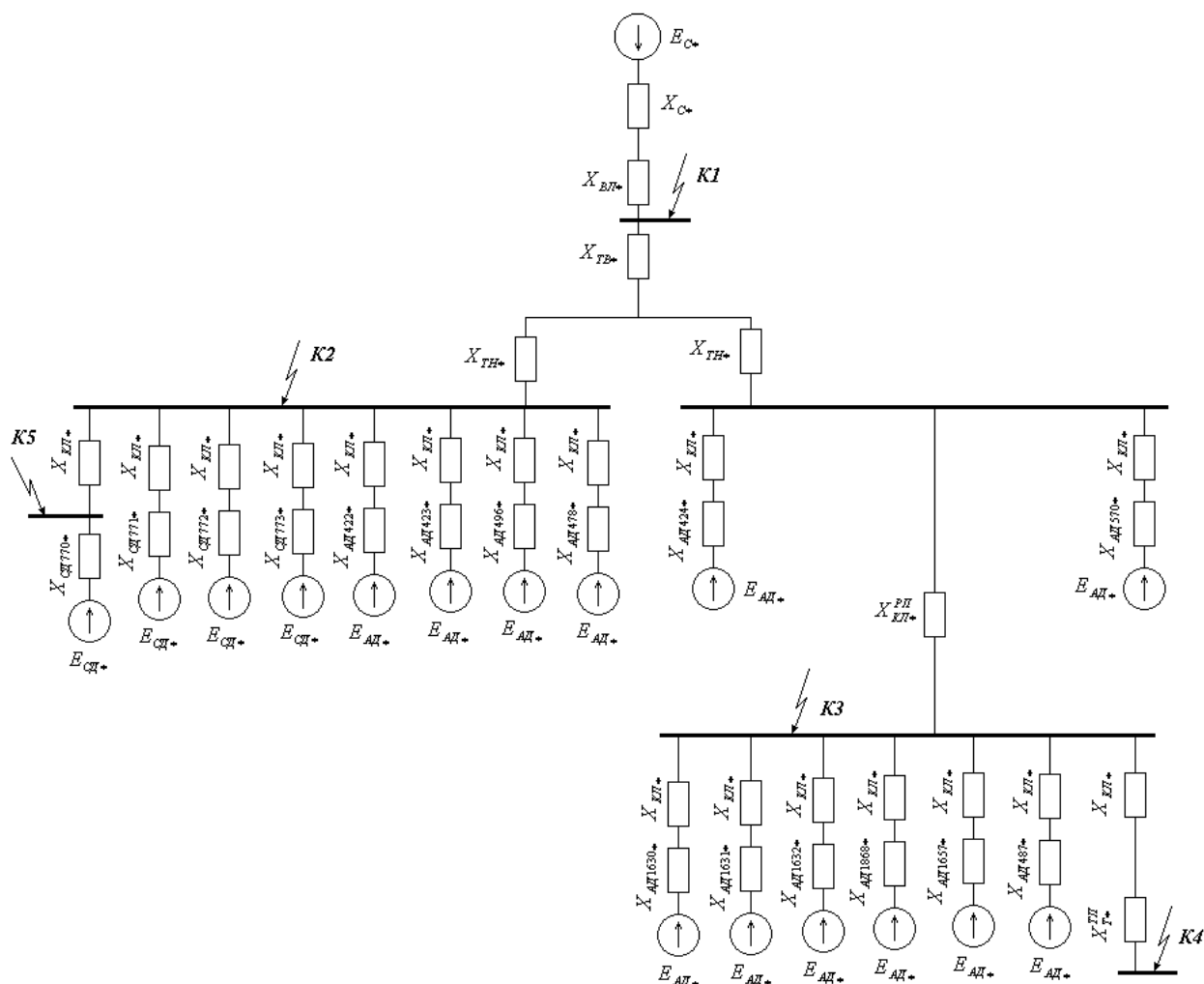


Рис.8.1. Схема замещения электроснабжения ПЦ

Расчёт ТКЗ производится в максимальном и минимальном режимах работы системы. По максимальным значениям ТКЗ ведётся выбор оборудования, а по минимальным – выбор и отстройка элементов релейной защиты и автоматики.

Расчет токов КЗ для точки К₁.

Для расчета ТКЗ зададимся следующими базисными величинами:

Базисная мощность: принимаем $S_B=1000$ МВА,

Мощность короткого замыкания системы (РПП-220):

$$S_{K3max} = 3786,1 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{K3min} = 1042,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Базисное напряжение первой ступени ($U_{ном}=110$ кВ):

$$U_{B1} = 1,05 \cdot U_{НОМ} = 115 \text{ кВ};$$

второй ступени ($U_{НОМ}=10 \text{ кВ}$):

$$U_{B2} = 1,05 \cdot U_{НОМ} = 10,5 \text{ кВ}.$$

$$\text{Базисный ток на стороне ВН: } I_{B1} = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_{ВН}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА};$$

$$\text{на стороне НН: } I_{B2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,99 \text{ кА}.$$

Определим величины сопротивлений схемы замещения.

Для системы:

$$X_{C.MAX*} = \frac{S_B}{S_{КЗ.MAX}} = \frac{1000}{3786,1} = 0,264;$$

$$X_{C.MIN*} = \frac{S_B}{S_{КЗ.MIN}} = \frac{1000}{1042,5} = 0,96.$$

Для трансформатора с расщепленной обмоткой:

$$X_{ТВ*} = \frac{U_{КВН} \cdot S_B}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} \cdot \left(1 - \frac{K_P}{4}\right) = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 25} \cdot \left(1 - \frac{3,5}{4}\right) = 0,53;$$

$$X_{ТН*} = \frac{U_{КВН} \cdot S_B}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} \cdot \frac{K_P}{2} = 7,35,$$

где $K_P=3,5$ – нормальный коэффициент связи трансформатора с несоединенными между собой расщепленными обмотками.

Для ВЛ:

$$X_{ВЛ*} = X_0 l \frac{S_B}{U_{\delta 1}^2} = 0,4 \cdot 4 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,12,$$

где $X_0=0,4$ Ом/км – удельное индуктивное сопротивление ВЛ типа АС-70;

$l=4$ км – длина ВЛ.

Согласно методам преобразования схему замещения приводим (рис.9.2.) к более простому виду, когда ЭДС источника питания отделяется от места КЗ одним эквивалентным сопротивлением.

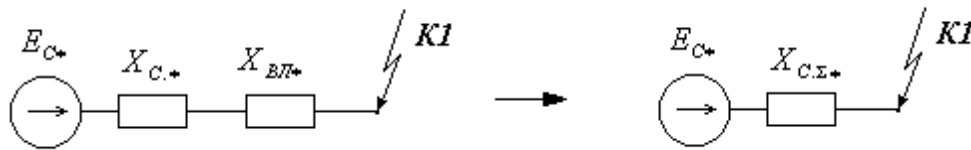


Рис. 9.2. Преобразование схемы замещения для расчета ТКЗ в точке K_1 .

$$X_{C.\Sigma MAX*} = X_{C.MAX} + X_{ВЛ} = 0,264 + 0,12 = 0,384;$$

$$X_{C.\Sigma MIN*} = X_{C.MIN} + X_{ВЛ} = 0,96 + 0,12 = 1,08$$

Начальное значение периодической составляющей ТКЗ определим по формуле

$$I_{K1}'' = \frac{E_{C*}}{X_{C.\Sigma*}} I_{B1};$$

$$I_{C.K2}'' = \frac{E_{C*}}{X'_{C.\Sigma*}} \cdot I_{B2}.$$

$$I_{C.K2(\min)}'' = \frac{1}{8,96} \cdot 54,99 = 6,14 \text{ кА};$$

$$X_{C.\Sigma MIN*} = X_{C.MIN} + X_{ВЛ} = 0,96 + 0,12 = 1,08.$$

$$I_{K1.MAX}'' = \frac{1 \cdot 5,02}{0,384} = 13,07 \text{ кА};$$

$$I_{K1.MIN}'' = \frac{1 \cdot 5,02}{1,08} = 4,65 \text{ кА}.$$

Величина ударного тока

$$i_{V(K1)} = \sqrt{2} K_V I_{K1}''$$

где $K_V = 1,8$ - ударный коэффициент;

$$i_{V(K1)MAX} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 13,07 = 33,27 \text{ кА};$$

$$i_{V(K1)MIN} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,65 = 11,84 \text{ кА}.$$

Действующее значение ТКЗ

$$I_{V(K1)} = I_{K1}'' \sqrt{1 + 2(K_V - 1)^2},$$

$$I_{V(K1)MAX} = 13,07 \sqrt{1 + 2(K_V - 1)^2} = 19,74 \text{ кА};$$

$$I_{V(K1)MIN} = 4,65 \sqrt{1 + 2(K_V - 1)^2} = 7,02 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ

$$S_{K(K1)} = \sqrt{3} U_{B1} I_{K1}''$$

$$S_{K(K1)MAX} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 13,07 = 2604 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{K(K1)MIN} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 4,65 = 926,2 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Т.к. мощность короткого замыкания системы превышает 500 МВА, то принимаем установившийся ток КЗ равным трехфазному ТКЗ, т.е.

$$I_{(жс1)\infty} = I_{K1}''$$

Определение однофазного тока КЗ.

Ток однофазного КЗ определяется в сетях с глухо-заземленной нейтралью, т.е. в сетях напряжением 0,38 – 0,66 кВ и 110 кВ и выше. Значит

однофазный ТКЗ в данной расчетной работе определяется для точки K_1 , а для точки K_2, K_3, K_4 , однофазный ТКЗ определяться не будет т.к. эти точки находятся в сети с изолированной нейтралью.

Составим схему замещения и определим путь циркуляции токов нулевой последовательности (рис. 9.3). Т.к. обмотка ВН трансформатора 110/10 кВ соединена в звезду с заземленной нейтралью, то образуется два контура подпитки точки КЗ токами нулевой последовательности: от системы и от обмотки ВН трансформатора.

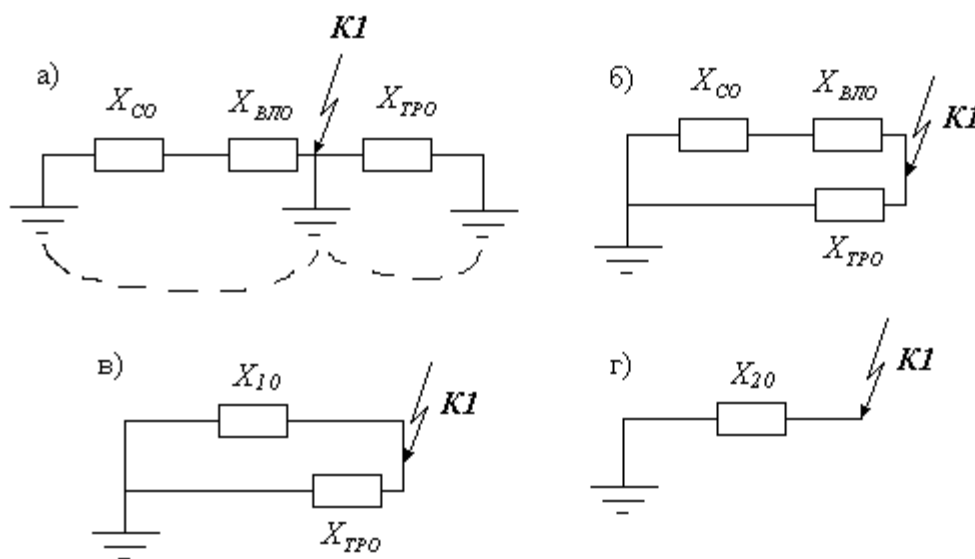


Рис 8.3. Преобразование схемы замещения для расчета тока нулевой последовательности для точки K_1

Сопротивление нулевой последовательности определяется как:

Для ВЛ (двух цепные линии со стальными тросами):

$$X_{ВЛ0} = 4,7 \cdot X_{ВЛ} = 4,7 \cdot 0,12 = 0,56;$$

Для трансформатора: $X_{T0} = X_{ТВН} = 0,53;$

Для системы: $X_{\max C0} = X_{C1} = X_{C2} = 0,264;$

$$X_{\min C0} = X_{C1} = X_{C2} = 0,96.$$

Тогда: $X_{\max 10} = X_{\max C0} + X_{ВЛ0} = 0,264 + 0,56 = 0,824;$

$$X_{\min 10} = X_{\min C0} + X_{ВЛ0} = 0,96 + 0,56 = 1,52.$$

Для нулевой последовательности:

$$X_{\max 20} = X_{\max 10} \parallel X_{\text{ТРО}} = 0,824 \cdot 0,53 / (0,824 + 0,53) = 0,32;$$

$$X_{\min 20} = X_{\min 10} \parallel X_{\text{ТРО}} = 0,96 \cdot 0,53 / (0,96 + 0,53) = 0,34.$$

Сопротивления обратной последовательности для элементов СЭС (системы, ВЛ, трансформаторов) принимают равными сопротивлениям прямой последовательности, тогда:

Для прямой и обратной последовательности:

$$X_{\text{MAX1}} = X_{\text{MAX2}} = \left(X_{\text{MAX CI}} + X_{\text{ВЛ1}} \right) \parallel X_{\text{ТП1}} = \frac{(0,264 + 0,12) \cdot 0,53}{(0,264 + 0,12) + 0,53} = 0,2$$

$$X_{\text{MIN1}} = X_{\text{MIN2}} = \left(X_{\text{MIN CI}} + X_{\text{ВЛ1}} \right) \parallel X_{\text{ТП1}} = \frac{(0,96 + 0,36) \cdot 0,53}{(0,96 + 0,36) + 0,53} = 0,38.$$

Окончательно:

$$I_{\text{MAX}}^{(1)} = \frac{m^{(1)} \cdot E_{C^*}}{2 \cdot X_{\text{MAX1}} + X_{\text{MAX20}}} \cdot I_{\text{Б1}} = \frac{3 \cdot 1}{2 \cdot 0,2 + 0,32} \cdot 5,02 = 20,92 \text{ кА};$$

$$I_{\text{MIN}}^{(1)} = \frac{m^{(1)} \cdot E_{C^*}}{2 \cdot X_{\text{MIN1}} + X_{\text{MIN20}}} \cdot I_{\text{Б1}} = \frac{3 \cdot 1}{2 \cdot 0,38 + 0,34} \cdot 5,02 = 13,69 \text{ кА}.$$

Расчет токов КЗ для точки К₂.

В точке К₂ будем учитывать подпитку от двигателей. Схема замещения представлена на рис. 9.4.

Ток короткого замыкания в точке К₂ в общем случае:

$$I_{(K2)}'' = I_{C.(K2)}'' + I_{K2.ВД}'' \text{ кА}.$$

Ток от системы:

$$I_{C.K2}'' = \frac{E_{C*}}{X'_{C.\Sigma*}} \cdot I_{B2}$$

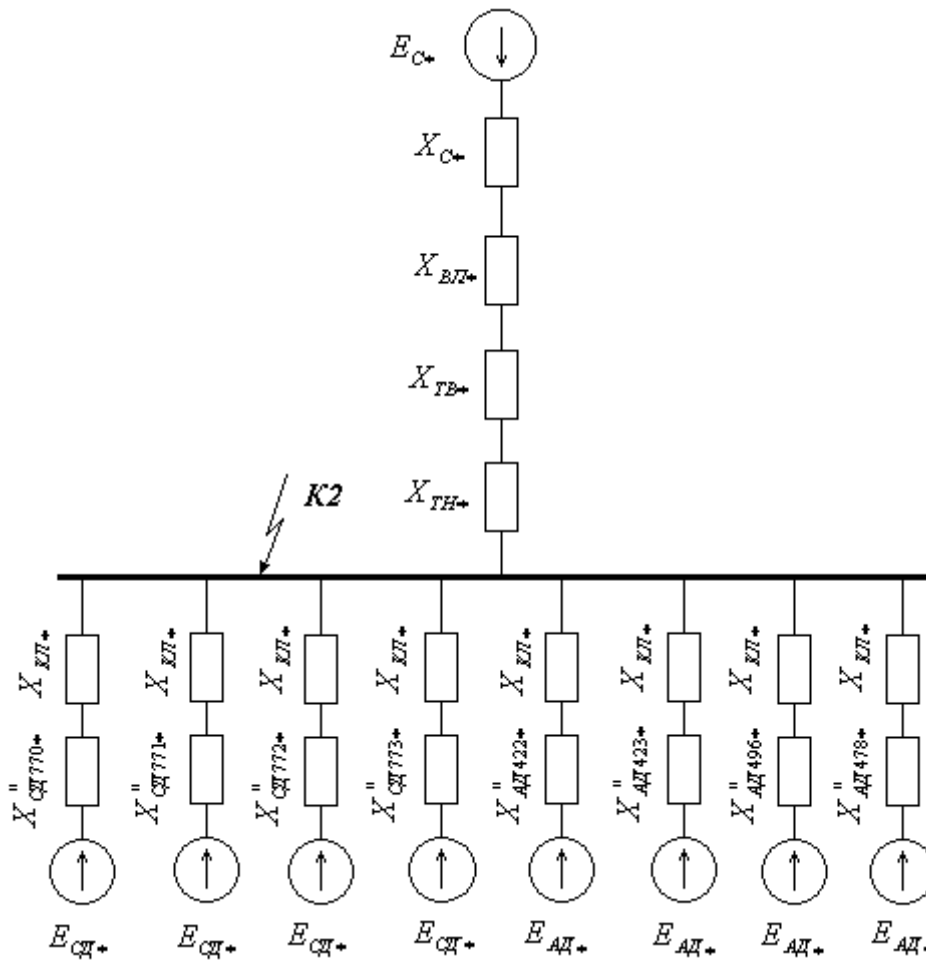


Рис. 8.4. Схемы замещения для расчета ТКЗ в точке К₂

Ток короткого замыкания в точке К₂ в общем случае:

$$I_{(K2)}'' = I_{C.(K2)}'' + I_{K2.ВД}'' \text{ кА.}$$

Ток от системы:

$$I_{C.K2}'' = \frac{E_{C*}}{X'_{C.\Sigma*}} \cdot I_{B2}$$

Расчетное сопротивление системы определим из выражения:

$$X'_{C.\Sigma*} = X_{C*} + X_{BJ*} + X_{TB*} + X_{TH*}$$

$$X'_{C.\Sigma*MAX} = 0,264 + 0,12 + 0,53 + 7,35 = 8,26;$$

$$X'_{C.\Sigma*MIN} = 0,96 + 0,12 + 0,53 + 7,35 = 8,96.$$

ТКЗ от системы

$$I''_{C.K2(max)} = \frac{1}{8,26} \cdot 54,99 = 6,66 \text{ кА};$$

$$I''_{C.K2(min)} = \frac{1}{8,96} \cdot 54,99 = 6,14 \text{ кА};$$

Определим сопротивление каждого двигателя:

$$X''_{D*} = \frac{X''_d}{100} \cdot \frac{S_B \cos \phi}{P_n},$$

где $X''_d = 20\%$ - усредненное сверхпереходное сопротивление двигателя.

Сопротивление КЛ до двигателя:

$$X''_{KL*} = x_0 l \frac{S_B}{U_{B2}^2}.$$

Расчетные данные сведем в табл. 8.1.

Таблица 8.1. Расчет подпитки от двигателей ГПП

Наименование	P, кВт	cosφ	L, км	X''_{KL}	X''_{d*}	$X''_{D.\Sigma*}$	$I''_{K2ВД}$
СД - М770	1600	0,85	0,2	0,145	0,2	106,25	0,569
СД - М771	1600	0,85	0,19	0,138	0,2	106,25	0,569
СД - М772	1600	0,85	0,18	0,131	0,2	106,25	0,569
СД - М773	1600	0,85	0,17	0,123	0,2	106,25	0,569
АД - М496	500	0,8	0,205	0,149	0,2	320,00	0,155
АД - М478	500	0,8	0,175	0,127	0,2	320,00	0,155
АД - М422	500	0,8	0,2	0,145	0,2	320,00	0,155
АД - М423	500	0,8	0,19	0,138	0,2	320,00	0,155
Итого							2,89

Таким образом, начальная периодическая составляющая ТКЗ в точке К2 с учетом подпитки места К3 от системы и двигателей составит:

$$I''_{(K2)max} = I''_{C.(K2)max} + I''_{K2.ВД} = 6,66 + 2,89 = 9,55 \text{ кА};$$

$$I''_{(K2)min} = I''_{C.(K2)min} + I''_{K2.ВД} = 6,14 + 2,89 = 9,03 \text{ кА}.$$

Величина ударного тока

$$i_{V(K2)MAX} = \sqrt{2}K_y I''_{(K2)MAX} = 24,31 \text{ кА};$$

$$i_{V(K2)MIN} = \sqrt{2}K_y I''_{(K2)MIN} = 22,99 \text{ кА};$$

где $K_y = 1,8$ - ударный коэффициент;

Действующее значение ТКЗ

$$I_{V(K2)MAX} = I''_{(K2)MAX} \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = 9,55 \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 14,42 \text{ кА};$$

$$I_{V(K2)MIN} = I''_{(K2)MIN} \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = 9,03 \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 13,64 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ

$$S_{K(K2)MAX} = \sqrt{3}U_{Б2} I''_{(K2)MAX} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 9,55 = 173,7 \text{ МВА};$$

$$S_{K(K2)MIN} = \sqrt{3}U_{Б2} I''_{(K2)MIN} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 9,03 = 164,2 \text{ МВА}.$$

Т.к. мощность короткого замыкания системы превышает 500 МВА, то принимаем установившийся ток КЗ равным трехфазному ТКЗ, т.е. $I_{(K2)\infty} = I''_{K2}$

Расчет токов КЗ для точки К3

Составим общую схему замещения для двух точек: К3 - на шинах РП и К4 - на самой удаленной ЦТП (рис.8.5).

ТКЗ в точке К3 будем считать с учетом подпитки двигателей ГПП и РП. Так как токи от системы и от двигателей М424 и М570 проходят через общее сопротивление кабельной линии ГПП-РП, то воспользуемся методом коэффициентов токораспределения.

Эквивалентное, результирующее, КЛ (ГПП-РП) сопротивление:

$$X_{\mathcal{E}^*} = \frac{1}{\frac{1}{X_1^*} + \frac{1}{X_2^*} + \dots + \frac{1}{X_n^*}} \cdot X_{PE3^*} = X_{\mathcal{E}^*} + X_{KL}^{PI} \cdot X_{KL}^{PI} = x_0 l \frac{S_B}{U_{B2}^2} = 0,138$$

Коэффициент токораспределения, расчетное сопротивление

$$C_i = \frac{X_{\mathcal{E}^*}}{X_i^*} \cdot X_{PE3.i^*} = \frac{X_{PE3^*}}{C_i}$$

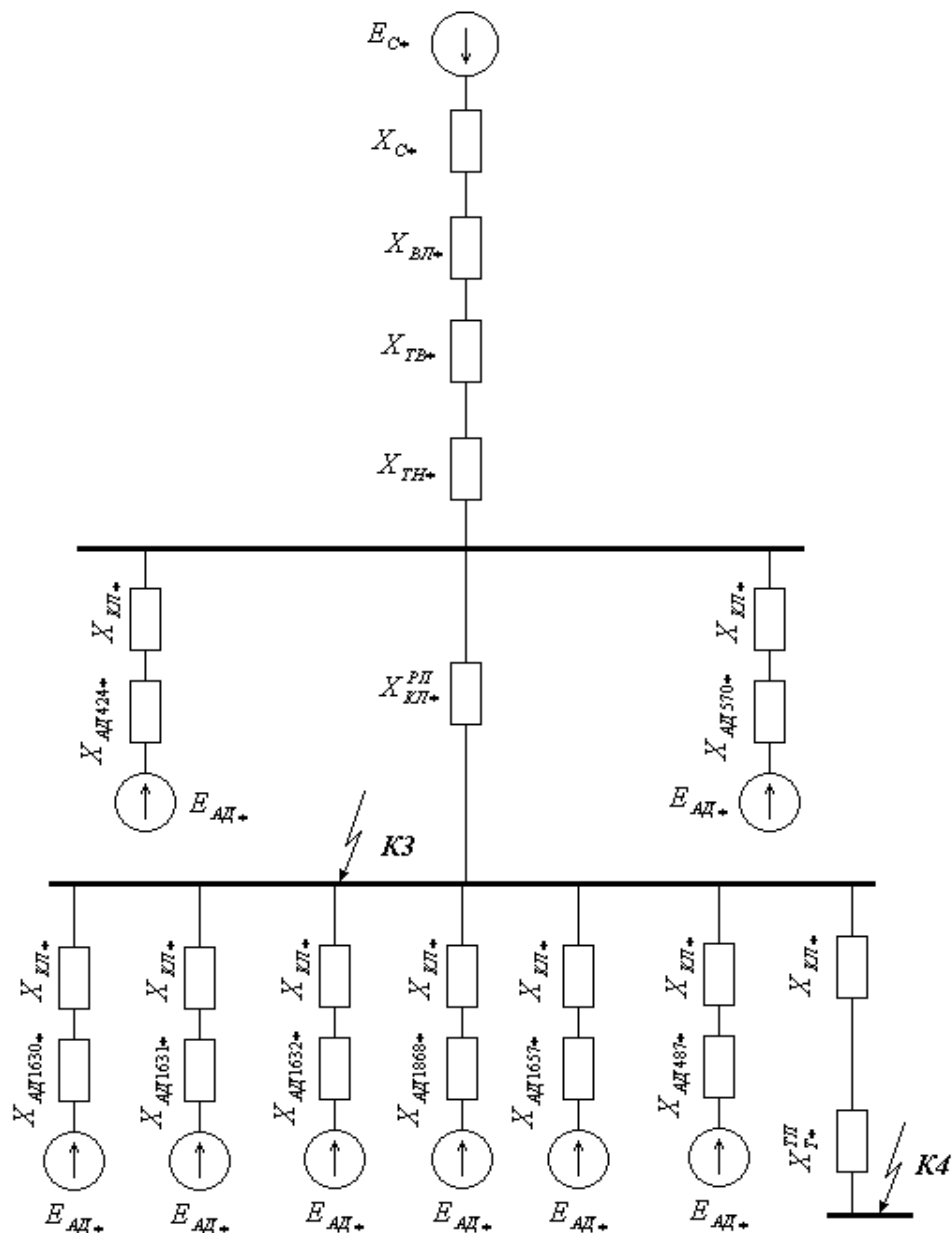


Рис.8.5. Схема замещения для расчета ТКЗ в точке K_3 и K_4

Упрощенная схема для расчета ТКЗ в точке КЗ представлена на рис. 8.6.

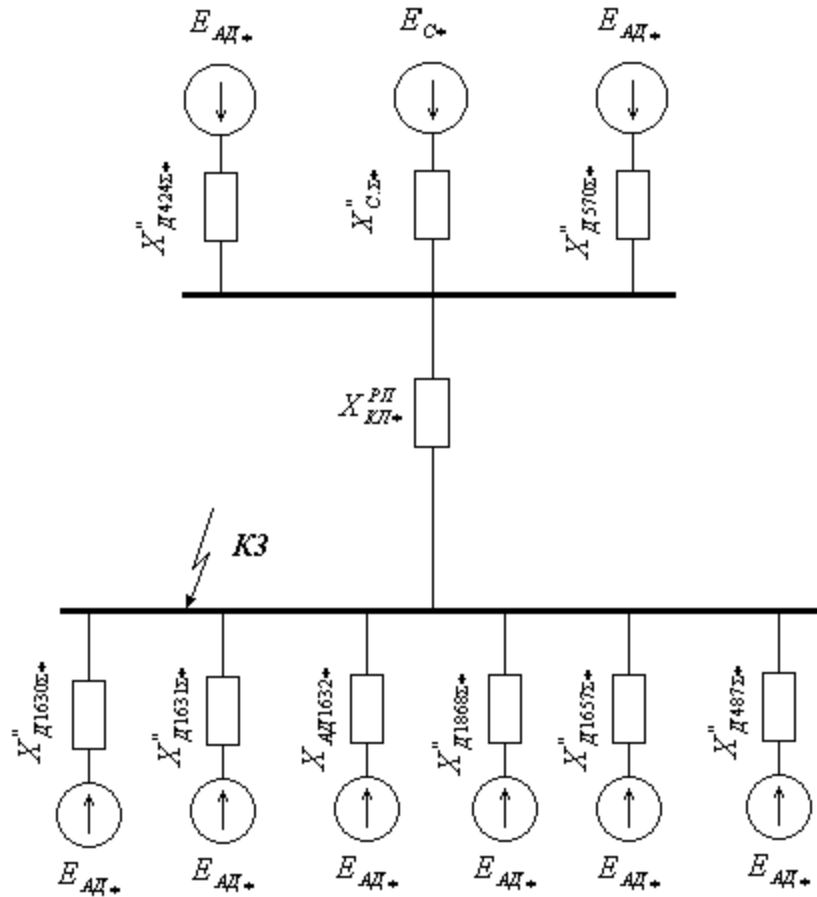


Рис. 8.6. Упрощенная схема для расчета ТКЗ в точке КЗ.

Расчетное сопротивление системы определим из выражения:

$$X'_{C\Sigma*} = X_{C*} + X_{ВЛ*} + X_{ТВ*} + X_{ТН*}.$$

$$X'_{C\Sigma*MAX} = 0,264 + 0,12 + 0,53 + 7,35 = 8,26$$

$$X'_{C\Sigma*MIN} = 0,96 + 0,12 + 0,53 + 7,35 = 8,96$$

Расчеты сведем в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Ток подпитки в КЗ от системы и двигателей ГПП

Наименование	X_{Σ}''	$1/X_{\Sigma}$	X_{Σ}	$C_{MAX.i}$	$C_{MIN.i}$	X_{PE3}	$X_{PE3.i}$	$X_{PE3.i}$	$I_{(K3)\Sigma.MAX}''$	$I_{(K3)\Sigma.MIN}''$
Система max	8,26	0,13	7,94	0,962		8,082	8,40		6,544	
Система min	8,96	0,12	8,59		0,959	8,727		9,10		6,040
АД - М570	382,9			0,0024	0,0224		3400,6	389,0	0,015	0,127
АД - М424	454,1			0,0020	0,0189		4032,6	461,3	0,012	0,107
Итого									6,571	6,275

Таблица 8.3. Ток подпитки в КЗ от двигателей РП

Наименование	Р, кВт	cosφ	L, км	X_{KL}''	X_{D*}''	$X_{D\Sigma*}''$	$I_{K3.D(PIT)}''$
АД-М1630	500	0,8	0,11	0,080	320	320,08	0,155
АД-М1631	500	0,8	0,1	0,073	320	320,07	0,155
АД-М1632	500	0,8	0,09	0,065	320	320,07	0,155
АД-М1657	500	0,8	0,1	0,073	320	320,07	0,155
АД-М487	500	0,8	0,19	0,138	320	320,14	0,155
АД-М1868	630	0,85	0,115	0,083	269,8	269,92	0,183
Итого							0,97

Начальная периодическая составляющая ТКЗ в точке КЗ с учетом подпитки места КЗ от системы и двигателей составит:

$$I_{(K3)max}'' = I_{(K3)\Sigma max}'' + I_{K3.D(PIT)}'' = 6,571 + 0,97 = 7,54 \text{ кА};$$

$$I_{(K3)min}'' = I_{(K3)\Sigma min}'' + I_{K3.D(PIT)}'' = 6,275 + 0,97 = 7,25 \text{ кА}.$$

Величина ударного тока

$$i_{Y(K3)MAX} = \sqrt{2} K_Y I_{(K3)MAX}'' = 19,19 \text{ кА};$$

$$i_{Y(K3)MIN} = \sqrt{2} K_Y I_{(K3)MIN}'' = 18,46 \text{ кА},$$

где $K_Y = 1,8$ - ударный коэффициент;

Действующее значение ТКЗ

$$I_{Y(K3)MAX} = I''_{(K3)MAX} \sqrt{1 + 2(K_Y - 1)^2} = 7,54 \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 11,36 \text{ кА};$$

$$I_{Y(K3)MIN} = I''_{(K3)MIN} \sqrt{1 + 2(K_Y - 1)^2} = 7,25 \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 10,95 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ

$$S_{K(K3)MAX} = \sqrt{3} U_{B2} I''_{(K3)MAX} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 7,54 = 137,1 \text{ МВА};$$

$$S_{K(K3)MIN} = \sqrt{3} U_{B2} I''_{(K3)MIN} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 7,25 = 131,85 \text{ МВА}.$$

Т.к. мощность короткого замыкания системы превышает 500 МВА, то принимаем установившийся ток КЗ равным трехфазному ТКЗ, т.е. $I_{(K3)\infty} = I''_{K3}$

9 ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ И ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

В цеховых сетях могут возникать следующие ненормальные по току режимы работы:

- увеличение тока вследствие перегрузки;
- увеличение тока в момент пуска или самозапуска двигателей;
- увеличение тока вследствие КЗ.

Короткие замыкания могут привести к пожару или даже взрыву, если не принять мер к быстрому отключению поврежденного участка линии, ЭП и т.п. Защита от токов КЗ является обязательной для всех элементов сети, время её действия должно быть минимальным для уменьшения термического и динамического эффектов от тока КЗ и необходимо, чтобы обеспечивалась селективность её действия.

Сечения силовых линий выбираются по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки, по потере напряжения и по условию соответствия выбранному аппарату защиты.

Защита производится автоматическими выключателями

Условия выбора автоматического выключателя:

$$I_{н.тр.} \geq I_{длит};$$
$$I_{э.р} \geq 1,5 \cdot I_{пуск};$$

Пример расчета конвейера:

$$I_H = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$
$$I_H = \frac{14}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,67 \cdot 0,9} = 35,45 \text{ А}$$

Пусковой ток:

$$I_{пуск} = I_H \cdot 5 = 35,45 \cdot 5 = 175 \text{ А}$$

Принимаем к установке автоматический выключатель ВА 51-31

$$I_{н.т.р.} = 40 \text{ А} \geq I_H = 35,45 \text{ А}$$

$$I_{\text{э.р.}} = 40 \cdot 7 = 280 \text{ A} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 264 \text{ A}$$

Выбираем сечение по допустимому нагреву кабельной линии :

$$I_{\text{доп}} = 39 \text{ A} \geq \frac{35,45 \cdot 1}{1 \cdot 1} = 35,45 \text{ A}$$

Принимаем кабель АВВГ(4 × 10) с $I_{\text{доп}} = 39 \text{ A}$

Для группы электроприемников (при числе электроприемников более 5) пиковый ток определим, как:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{р.гр}} - K_{\text{и}} \cdot I_{\text{н}}^{\text{max}}),$$

где $I_{\text{пуск}}^{\text{max}}$ – максимальный пусковой ток из группы эл/пр,

$I_{\text{р.гр}}$ – расчетный ток группы электроприемников,

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования электроприемника с

максимальным пусковым током,

$I_{\text{н}}^{\text{max}}$ – номинальный ток электроприемника с максимальным пусковым током.

Для ПР 1:

$$I_{\text{пик}} = 264 + (104,8 - 0,14 \cdot 56,27) = 378,36 \text{ A},$$

Пиковый ток для группы электроприемников до 5 шт.

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + \sum I_{\text{н}},$$

где $I_{\text{пуск}}^{\text{max}}$ – максимальный пусковой ток электроприемника в ПР,

$I_{\text{н}}$ – номинальный ток этого электроприемника,

Для ПР 10:

$$I_{\text{пик}} = 2813,68 + (337,64 + 562,74) = 3714,06 \text{ A}$$

Выбор вводного автоматического выключателя для ТП выбирается по номинальной мощности трансформатора

Номинальный ток трансформатора, находится по формуле

$$I_{н.тр} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1519,34 \text{ А}$$

Выбираем для КТП 2: ВА 55-43 с $I_H = 1600 \text{ А}$

Далее расчёты аналогичны

Результаты сводим в таблицы 2-5.

Таблица 9.1 – Выбор проводников к электроприемникам

Электроприемник	P_H	Q_H	\cos	$I_p, \text{ А}$	$I_{доп}, \text{ А}$	Марка кабеля	$r_0, \text{ Ом/км}$	$x_0, \text{ Ом/км}$	$L, \text{ м}$
Конвейер	14	18,67	0,6	35,45	39	АВВГ 4x10	3,12	0,073	12
Элеватор	11	12,86	0,65	25,71	29	АВВГ 4x6	5,21	0,09	8
Питатель	2,2	2,24	0,7	4,78	17	АВВГ 4x2.5	12,5	0,104	6
Сушильный агрегат	3	3,06	0,7	6,51	17	АВВГ 4x2.5	12,5	0,104	7
Элеватор	0,75	0,77	0,7	1,63	17	АВВГ 4x2.5	12,5	0,104	8
Таль ПВ=85%	2,5	2,55	0,7	5,43	17	АВВГ 4x2.5	12,5	0,104	10
Кран ПВ=25%	45	45,91	0,7	97,67	55	АВВГ 4x16	1,95	0,0675	5
Кран ПВ=25%	22	29,33	0,6	55,71	25	АВВГ 4x4	7,81	0,095	3
Кран ПВ=25%	75	100,00	0,6	189,92	83	АВВГ 4x35	0,894	0,0637	6
Насос	45	60,00	0,6	113,95	55	АВВГ 4x16	1,95	0,0675	4
Вибратор	75	56,25	0,8	142,44	83	АВВГ 4x35	0,894	0,0637	6
Лебедка	2,2	3,72	0,51	6,57	17	АВВГ 4x2.5	12,5	0,104	7
Вентилятор	20	39,72	0,45	67,57	25	АВВГ 4x4	7,81	0,095	5
Вентилятор	45	133,96	0,32	214,71	55	АВВГ 4x16	1,95	0,0675	5
Бетоносмеситель	90	366,75	0,24	573,75	101	АВВГ 4x50	0,625	0,0625	12
Шнек	7,5	154,53	0,34	16,2	55	АВВГ 4x2,5	12,5	0,104	9

Таблица 9.2 Выбор проводников к щитам

Наименование	$\cos\varphi$	$I_p, \text{ А}$	$I_{доп}, \text{ А}$	Марка кабеля	$r_0, \text{ Ом/км}$	$x_0, \text{ Ом/км}$
линии						
к ПР1	0,612	63,4	69	АВВГ 4x25	1,25	0,0662
к ПР2	0,873	13,2	17	АВВГ 4x2.5	12,5	0,104
к ПР3	0,508	269,0	312,8	2xАВВГ 4x95	0,1645	0,0301
к ПР4	0,295	144,2	156	АВВГ 4x95	0,329	0,0602
к ПР5	0,851	476,0	496	2xАВВГ 4x185	0,0845	0,0298
к ПР7	0,707	200,000	216	АВВГ 4x150	0,208	0,0596

В местах установки ПР 6 и ПР 7 дополнительно устанавливаем КТП.

Таблица 9.3 Результаты выбора автоматических выключателей

Электроприемник	$I_p, \text{ А}$	$I_{ном}$	$I_{расц}$	Эл. Магн	$I_{доп.к.}$	ТИП
Конвейер	35,45	100	40	280	17	ВА51-31
Элеватор	25,71	100	31,5	220,5	17	ВА51-31

Питатель	4,78	25	6,3	44,1	17	BA51-25
Сушильный агрегат	6,51	25	8	56	17	BA51-25
Элеватор	1,63	25	6,3	44,1	17	BA51-25
Таль ПВ=85%	5,43	25	6,3	44,1	17	BA51-25
Кран ПВ=25%	97,67	100	100	700	55	BA51-31
Кран ПВ=25%	55,71	100	63	441	25	BA51-31
Кран ПВ=25%	189,92	400	250	1250	83	BA53-37
Насос	113,95	250	125	875	55	BA51-35
Вибратор	142,44	400	160	800	83	BA53-37
Лебедка	6,57	25	8	56	17	BA51-25
Вентилятор	67,57	100	80	560	25	BA51-31
Вентилятор	214,71	400	250	1250	55	BA53-37
Бетоносмеситель	573,75	630	630	3150	101	BA53-39
Шнек	249,22	100	31,5	220,5	17	BA51-31

Таблица 9.4 Выбора выключателей к распределительным пунктам

	Ip	Iвыкл	Iрасц	Iэл. магн	Тип
к РП1	63,4	100	80	560	BA51-31
к РП2	13,2	25	16	112	BA51-25
к РП3	269,0	400	400	2000	BA53-37
к РП4	144,2	400	160	800	BA53-37
к РП5	476,0	630	630	3150	BA53-39
КТП 2	1237,0	1600	1600	4800	BA55-43
к РП7	200,0	400	250	1250	BA53-37
КТП 3	1659,0	2000	2000	4800	BA55-43

10. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮРЫ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Согласно ПУЭ для силовых сетей отклонение напряжения от номинального должно составлять не более $\pm 5\% U_n$. Для осветительных сетей промышленных предприятий и общественных зданий допускается отклонение напряжения от +5 до -2,5 % U_n , для сетей жилых зданий и наружного освещения $\pm 5\% U_n$.

Расчет цеховой сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонения напряжения выполняется для цепочки линии от шин ГПП до зажимов одного наиболее удаленного от цеховой ТП или наиболее мощного ЭП для режимов максимальных и минимальных нагрузок.

Рассматриваем сети до наиболее удаленного ЭП: элеватор мощностью 11 кВт. Схема для определения отклонения напряжения представлена на рис. 10.1.

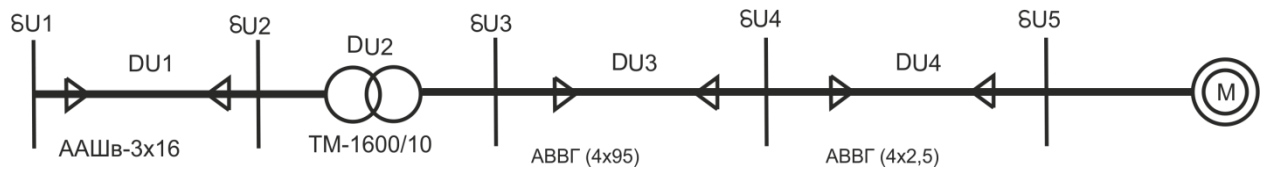


Рис 10.1 Расчетная схема для определения отклонения напряжения в ЕП.

Рассматриваем два наиболее характерных режима: режим максимальных нагрузок и режим минимальных нагрузок. Принимаем, что в первом случае нагрузка цеха равна максимальной расчетной нагрузке S_m , а во втором случае - среднесменная нагрузка $S_{см}$.

Режим максимальных нагрузок

Для режима максимальных нагрузок допускается повышение напряжения источника питания до 5% от номинального.

Определяем потери напряжения для кабеля, питающего КТПГ

$$\Delta U_{кл.п} = \frac{P_m R_0 + Q_m X_0}{U_H^2 \cdot 10} \cdot l = \frac{104,5 \cdot 1,14 + 138,6 \cdot 0,102}{6,3^2 \cdot 10} \cdot 4 = 1,67 \%$$

Отклонение напряжения на первичных зажимах трансформатора:

$$\delta U_2 = \delta U_B - \Delta U_{кл.п} = 5 - 1,67 = 3,33 \%$$

Определяем потери напряжения в трансформаторе:

$$\Delta U_T = \beta (u_a \cos \varphi + u_p \sin \varphi) + \frac{\beta}{200} (u_a \sin \varphi + u_p \cos \varphi)^2$$

β - фактический коэффициент загрузки трансформатора для режима, рассматриваемой u_a , u_p - активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания, %.

$$u_a = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{н.м}} \cdot 100 = \frac{1,79}{1000} \cdot 100 = 0,18 \% ;$$

$$u_p = \sqrt{u_{к}^2 - u_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 0,18^2} = 4,45 \% ;$$

$$\Delta U_T = 0,705 \cdot (0,18 \cdot 0,95 + 4,45 \cdot 0,33) + \frac{0,705}{200} \cdot (0,18 \cdot 0,33 + 4,45 \cdot 0,95)^2 = 1,67 \%$$

В этом случае отклонения напряжения на вторичных зажимах трансформатора равен:

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_T + E_T = 3,33 - 1,67 + 0 = 1,66 \%$$

Определяем потери напряжения в элементах цеховой сети.

Потери напряжения в кабелях, равны:

$$\begin{aligned}\Delta U_{\text{кл2}} &= \frac{\sqrt{3} I_M 1 \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 18 \cdot 0,03 \cdot 100}{380} (5,2 \cdot 0,83 + 0,09 \cdot 0,56) = 0,9 \% \\ \Delta U_{\text{кл3}} &= \frac{\sqrt{3} I_M 1 \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 14,2 \cdot 0,012 \cdot 100}{380} (12,5 \cdot 0,80 + 0,104 \cdot 0,60) = 0,19 \%\end{aligned}$$

Определяем значение отклонения напряжения в других точках сети:

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{\text{кл2}} = 1,66 - 0,9 = 0,76 \%$$

$$\delta U_5 = \delta U_4 - \Delta U_{\text{кл}} = 0,76 - 0,19 = 0,57 \%$$

Таким образом в режиме максимальных нагрузок отклонения напряжения на зажимах потребителя не превышает допустимого.

Режим минимальных нагрузок.

В режиме минимальных нагрузок принимаем значение отклонения напряжения у источника $\Delta U_1 = 0$ Расчет выполняем так же, как и в режиме максимальных нагрузок. Результаты приведены в таблице.

$$\Delta U_{\text{кл.п}} = \frac{P_M R_0 + Q_M X_0}{U_H^2 \cdot 10} \cdot l = \frac{40,5 \cdot 1,14 + 52,6 \cdot 0,102}{6^2 \cdot 10} \cdot 4 = 0,42 \%$$

Отклонение напряжения на первичных зажимах трансформатора:

$$\delta U_2 = \delta U_B - \Delta U_{\text{кл.п}} = 0 - 0,42 = -0,42 \%$$

Определяем потери напряжения в трансформаторе:

$$\Delta U_{\tau} = \beta(u_a \cos \varphi + u_p \sin \varphi) + \frac{\beta}{200}(u_a \sin \varphi + u_p \cos \varphi)^2$$

где β - фактический коэффициент загрузки трансформатора для режима, рассматриваемой u_a , u_p - активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания, %.

$$u_a = \frac{\Delta P_{\kappa 3}}{S_{н.т}} \cdot 100 = \frac{12,2}{1000} \cdot 100 = 1,22 \% ;$$

$$u_p = \sqrt{u_{\kappa}^2 - u_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,22^2} = 5,36 \% ;$$

$$\Delta U_{\tau} = 0,67 \cdot (1,22 \cdot 0,995 + 5,36 \cdot 0,096) + \frac{0,67}{200} \cdot (1,22 \cdot 0,096 + 5,36 \cdot 0,995)^2 = 0,51 \%$$

Определяем добавку напряжения, которое должен обеспечить трансформатор

$$E_{\tau} = \delta U_{3\text{доп}} - \delta U_2 + \Delta U_{\tau}$$

где $\Delta U_{3\text{доп}}$ - допустимое с учетом требований всех ЭП отклонения напряжения на низкой стороне трансформатора. Принимаем $\Delta U_{3\text{доп}} = 0\%$.

$$E_{\tau} = 0 + 0,17 + 0,51 = 0,68\%$$

Принимаем значение добавки напряжения $E_{\tau} = 0\%$. В этом случае отклонения напряжения на вторичных зажимах трансформатора равен:

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{\tau} + E_{\tau} = -0,42 - 0,51 + 0 = -0,93 \%$$

Определяем потери напряжения в элементах цеховой сети.

Потери напряжения в кабелях, равны:

$$\begin{aligned}\Delta U_{\text{кл}2} &= \frac{\sqrt{3} I_M 1 \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 16 \cdot 0,03 \cdot 100}{380} (5,2 \cdot 0,83 + 0,09 \cdot 0,56) = 0,8 \% \\ \Delta U_{\text{кл}3} &= \frac{\sqrt{3} I_M 1 \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 14,2 \cdot 0,012 \cdot 100}{380} (12,5 \cdot 0,80 + 0,104 \cdot 0,60) = 0,19 \%\end{aligned}$$

Определяем значение отклонения напряжения в других точках сети:

$$\begin{aligned}\delta U_4 &= \delta U_3 - \Delta U_{\text{кл}2} = -0,93 - 0,8 = -1,73 \% ; \\ \delta U_5 &= \delta U_4 - \Delta U_{\text{кл}3} = -1,73 - 0,19 = -1,92 \% < \pm 5 \%\end{aligned}$$

Таким образом в режиме минимальных нагрузок отклонения напряжения на зажимах потребителя не превышает допустимого, добавка напряжения, создаваемая трансформатором также составляет 5%.

Окончательно принимаем работу цехового трансформатора на нулевом ответвлении с добавкой напряжения +5%.

Таблица 10.1 – Результаты расчета отклонения напряжения в цеховой сети.

$\delta U_1, \%$	$\Delta U_{\text{кл.п}}, \%$	$\delta U_2, \%$	$\Delta U_{\text{Т}}, \%$	$E_{\text{Т}}, \%$	$\delta U_3, \%$	$\Delta U_{\text{кл}2}, \%$	$\Delta U_{\text{кл}3}, \%$	$\delta U_4, \%$	$\delta U_5, \%$
5	0,83	3.33	1.67	0	1.66	0,9	0,19	0.76	0.57
0	0,42	-0,42	0,51	0	-0,93	0,8	0,19	-1,73	-1,92

По результатам расчета строим диаграмму отклонения напряжения в максимальном (кривая 1) и минимальном (кривая 2) режимах.

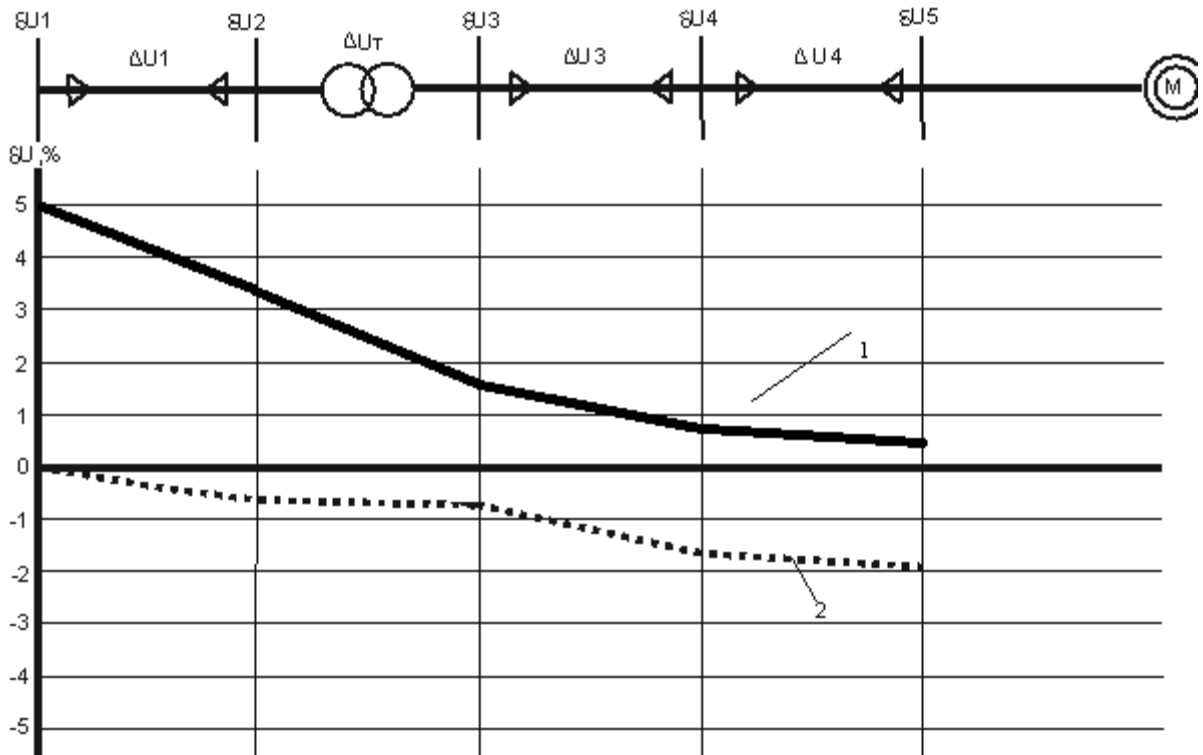


Рисунок 10.2 Диаграмма падения напряжения в сети

11. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ НИЖЕ 1000 В

Сети промышленных предприятий напряжением до 1 кВ характеризуются большой протяженностью и наличием большого количества коммутационно-защитной аппаратуры. При напряжении до 1 кВ даже небольшое сопротивление оказывает существенное влияние на ток КЗ. Поэтому в расчетах учитывают все сопротивления короткозамкнутой цепи, как индуктивные, так и активные. Кроме того, учитывают активные сопротивления всех пере активные сопротивления всех переходных контактов в этой цепи (на шинах, на вводах и выводах аппаратов, разъемные контакты аппаратов и контакт в месте КЗ). При отсутствии достоверных данных о контактах и их переходных сопротивлениях рекомендуется при расчетах токов КЗ в сетях, питаемых трансформаторами мощностью до 1600 кВА, учитывать их сопротивление следующим образом: 0,015 Ом – для распределительных устройств на станциях и подстанциях; 0,02 Ом – для

первичных цеховых РП, а также на зажимах аппаратов, питаемых радиальными линиями от щитов подстанций или главных магистралей; 0,025 Ом – для вторичных цеховых РП, а также на зажимах аппаратов, питаемых от первичных РП; 0,03 Ом – для аппаратуры, установленной непосредственно у приемников электроэнергии, получающих питание от вторичных РП.

Для установок напряжением до 1 кВ при расчетах токов КЗ считают, что мощность питающей системы не ограничена напряжением на стороне КЗ считают, что мощность питающей системы не ограничена напряжением на стороне ВН цехового трансформатора является неизменным. Это условие выполняется, если мощность системы примерно в 50 раз превосходит мощность цехового трансформатора.

Расчет токов КЗ выполняют в именованных единицах. Напряжение на шинах цеховой подстанции принимаем неизменным (10 кВ). Расчет будем производить для самого удаленного ЭП №1.

При расчетах токов КЗ необходимо учесть следующие элементы:

- трансформатор ТМН-1600/10;
- автоматический выключатель QF1: ВА, $I_{НОМ} = 1600$ А;
- автоматический выключатель QF2: ВА, $I_{НОМ} = 100$ А;
- автоматический выключатель QF3: ВА, $I_{НОМ} = 63$ А;
- автоматический выключатель QF4: $I_{НОМ} = 50$ А;
- пускатель магнитный: ПМА-3202, $I_{НОМ} = 40$ А;
- W1: ШМА4-1250-У3, $I_{НОМ} = 1250$ А; $l_{W1} = 19$ м;
- W2: АВВГ 4×95, $l_{W2} = 2$ м; W3:
- W4: АВВГ 4×2,5, $l_{W4} = 6$ м; W5:

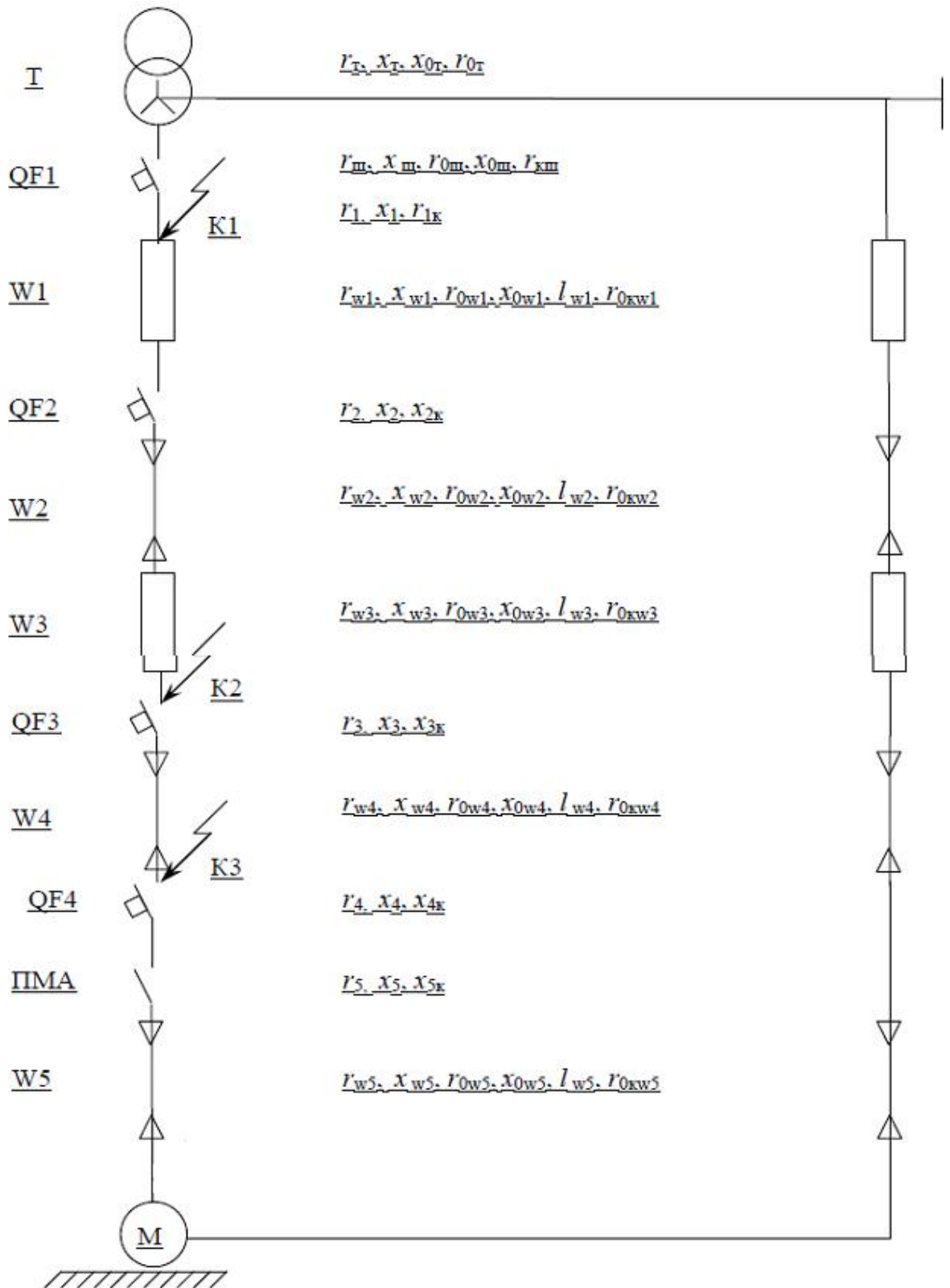


Рисунок 11.1 – Схема для расчета токов КЗ в сети напряжением до 1кВ.

Таблица 11.1 – Сопротивления элементов сети

Наименование элемента	r , Ом	x , Ом	r_0 , Ом	x_0 , Ом	r_k , Ом	r_{0k} , Ом	z , Ом	z_0 , Ом
Т	0.0031	0.0136	0.0302	0.0958	-	-	0.0139	0.1
Ш	0.000035	0.000133	0.00035	0.00113	0.01	0.01	0.0154	0.01
QF1	0.00025	0.0001	-	-	0.0001	-	0.0003	-
QF2	0.0013	0.0007	-	-	0.0005	-	0.0019	-
QF3	0.0035	0.002	-	-	0.0007	-	0.0046	-
ПМА	0.007	0.0045	-	-	0.0023	-	0.01	-
W1	0.000646	0.000304	0.002394	0.001862	0.027	0.029	0.0276	0.0314
W2	0.0025	0.000124	0.00396	0.000135	0.056	0.056	0.081	0.0599
W3	0.0084	0.0084	0.0168	0.0168	0.00085	0.0011	0.0124	0.0245

Выбираем характерные расчётные точки КЗ на расчётной схеме. Рассчитываем токи КЗ в точках K_1, K_2, K_3 . Расчётная формула для расчёта однофазного тока КЗ:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{U_{\text{ср.ном}} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}};$$

где $U_{\text{ср.ном}}$ - среднее номинальное напряжение сети, В; $r_{1\Sigma}, x_{1\Sigma}$ - суммарные активные и индуктивные сопротивления (соответственно), схемы замещения прямой последовательности относительно точки КЗ; $r_{0\Sigma}, x_{0\Sigma}$ - то же, нулевой последовательности.

Рассчитаем ток КЗ в точке К1:

$$r_{1\Sigma} = r_T + r_1 + r_{1k} = 0.0031 + 0.00025 + 0.0001 = 0.00345 \text{ Ом};$$

$$x_{1\Sigma} = x_T + x_1 = 0.0136 + 0.0001 = 0.0137 \text{ Ом};$$

$$r_{01\Sigma} = r_{0T} = 0.0302 \text{ Ом};$$

$$x_{01\Sigma} = x_{0T} = 0.0958 \text{ Ом}.$$

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 0.00345 + 0.0302)^2 + (2 \cdot 0.0137 + 0.0958)^2}} = 5380 \text{ A.}$$

Произведём расчет токов КЗ в точке К2:

$$r_{2\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{\text{III}} + r_{\text{IIIK}} + r_{w1} + r_{kw1} + r_{w2} + r_{kw2} + r_{w3} + r_{kw3} = 0.028063 \text{ Ом};$$

$$x_{2\Sigma} = x_{1\Sigma} + x_{\text{III}} + x_{\text{IIIK}} + x_{w1} + x_{w2} + x_{w3} = 0.024997 \text{ Ом};$$

$$r_{02\Sigma} = r_{01\Sigma} + r_{0\text{III}} + r_{0w1} + r_{0kw1} + r_{0w2} + r_{0kw2} + r_{0w3} + r_{0kw3} = 0.0565 \text{ Ом};$$

$$x_{02\Sigma} = x_{01\Sigma} + x_{0\text{III}} + x_{0w1} + x_{0w2} + x_{0w3} = 0.119861 \text{ Ом.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 0.028063 + 0.0565)^2 + (2 \cdot 0.024997 + 0.119861)^2}} = 3395 \text{ A.}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К3:

$$r_{3\Sigma} = r_{2\Sigma} + r_3 + r_{3K} + r_{w4} + r_{kw4} = 0.044813 \text{ Ом};$$

$$x_{3\Sigma} = x_{2\Sigma} + x_3 + x_{w4} = 0.027402 \text{ Ом};$$

$$r_{03\Sigma} = r_{02\Sigma} + r_{0w4} + r_{0kw4} = 0.07632 \text{ Ом};$$

$$x_{03\Sigma} = x_{02\Sigma} + x_{0w4} = 0.120299 \text{ Ом.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 0.044813 + 0.07632)^2 + (2 \cdot 0.027402 + 0.120299)^2}} = 2860 \text{ A.}$$

Рассчитаем ударный ток КЗ:

$$i_{y\partial} = k_y \sqrt{2} I_{\kappa}^{(1)};$$

где k_y – ударный коэффициент определяемый по прямой $k_y = f(x/r)$.

$I_{\kappa}^{(1)}$ – однофазный ток короткого замыкания.

Точка К1: $k_y = 1,4$; $i_{y\partial K1} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,38 = 10,6 \text{ кА}$.

Точка К2: $k_y = 1,05$; $i_{y\partial K2} = 1,05 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,395 = 5,026 \text{ кА}$.

Точка К3: $k_y = 1,01$; $i_{y\partial K3} = 1,01 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,86 = 4,07 \text{ кА}$.

Для расчёта уставок релейной защиты определим трёхфазный ток КЗ в точке К1 по формуле:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{cp.ном}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}} = \frac{400}{1,73 \cdot \sqrt{3,45^2 + 13,7^2}} = 16,36 \text{ кА}.$$

При выборе аппаратов, шинопроводов, кабельных линий проверяем выбранные сети с учётом токов КЗ и ударных токов.

Для шинопроводов: $i_{y\partial} \leq i_{y\partial.доп.}$, где $i_{y\partial.доп.}$ - допустимый ударный ток для данного шинопровода.

Для автоматических выключателей: $I_{K3}^{(1)} \geq 3I_{з.р.} (I_{з.р.р.})$, где $I_{з.р.}$ - ток срабатывания зависимого расцепителя с нерегулируемой обратно - зависимой характеристикой от тока; $I_{з.р.р.}$ - ток срабатывания зависимого расцепителя с регулируемой характеристикой от тока.

$$I_{K3}^{(1)} \geq 1,4I_{н.р.} (I_{н.р.р.}), \text{ с } I_{ном} \leq 100 \text{ А};$$

где $I_{н.р.}$ - ток срабатывания независимого расцепителя; $I_{н.р.р.}$ - ток срабатывания независимого расцепителя у автоматов у которых только отсечка по току.

$$I_{K3}^{(1)} \geq 1,25I_{н.р.} (I_{н.р.р.}), \text{ с } I_{ном} > 100 \text{ А}.$$

Составим таблицу селективности .

Все элементы сети должны иметь защиту от токов КЗ с наименьшим временем отключения и обеспечением селективности последовательно включенных аппаратов.

Таблица 11.3 – Результаты расчета ТКЗ

Точка КЗ	$I_{к3},$ кА	$I_{к2},$	$I_{к1},$	$i_{вл},$
		кА	кА	кА
К1	16,36	11,2	5,38	10,6
К2	6,15	5,11	3,39	5,03
К3	4,4	3,17	2,86	4,07

12. ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ СЕЛЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТ

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

- 1) Номинальный и пусковой токи электроприемника;
- 2) Расчетный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- 3) Расчетный и пиковый ток подстанции;
- 4) Защитные характеристики защитных аппаратов (автоматических выключателей)
- 5) Значения токов КЗ в сети 0,4 кВ
- 6) Перед построением карты селективности строят цепочку защит, начиная с вводного автомата на ТП до какого-либо ЭП, чаще всего до наиболее удаленного и мощного. На цепочке указываются все необходимые данные о токах на каждом участке в нормальном режиме и при КЗ, данные аппаратов защиты в этой цепочке и уставки их срабатывания, рис.9.8.

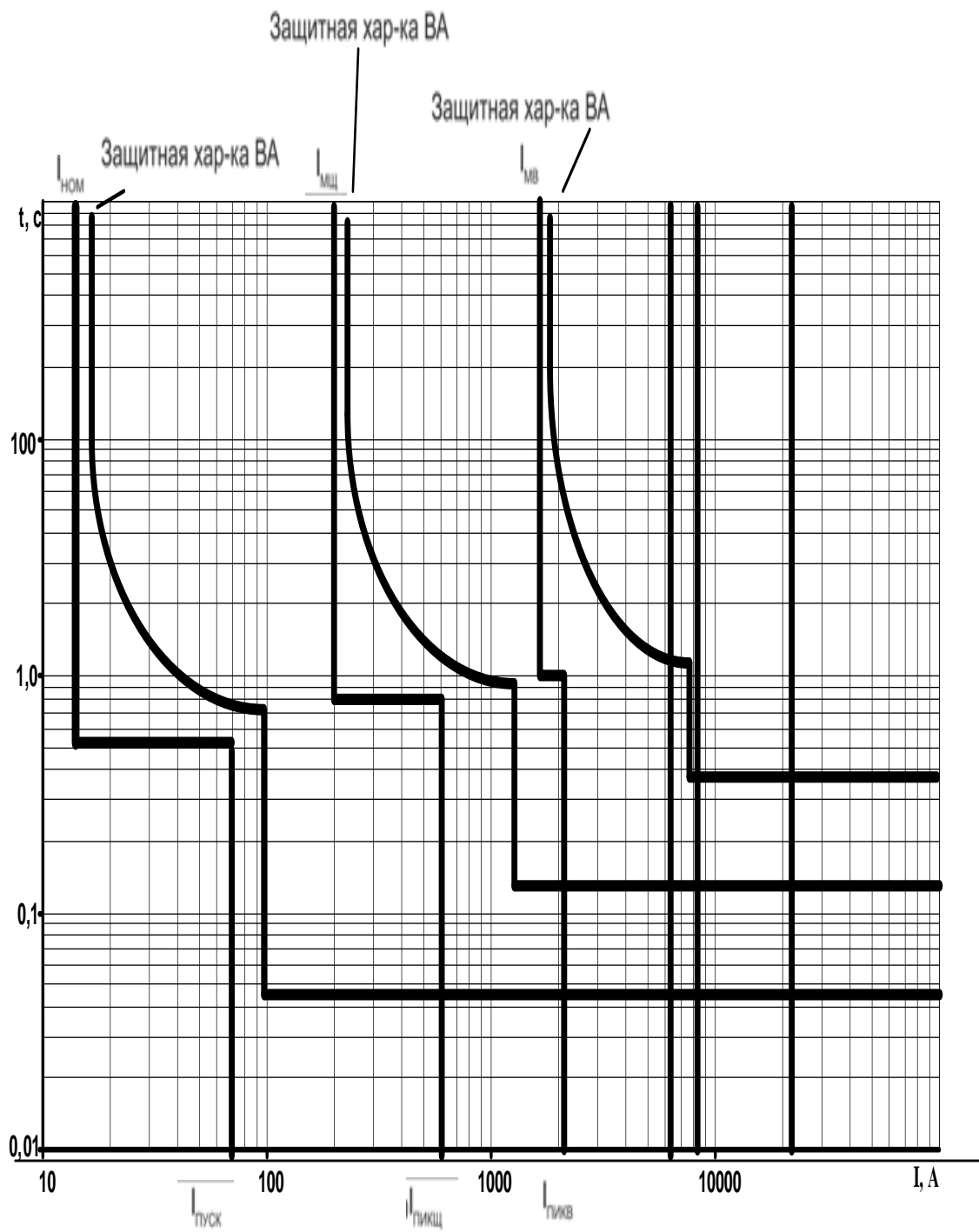


Рис. 12.1 Карта селективности срабатывания защит

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3Д1	Ротару Евгений Александрович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	...
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам 30% от ФОТ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	- Планирование выполнения работ по проекту - Расчет бюджета затрат на проектирование.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Оценка научно-технического уровня следования. - Оценка рисков.

Перечень графического материала

1. Календарный план-график проведения РИП по теме.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д1	Ротару Евгений Александрович		

13. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

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.
- 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:

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

где E_n - норма доходности инвестиций;

U – эксплуатационные затраты с учетом потерь и обеспечения надежности.

Таблица 13.1 - 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				

13.1. Планирование расчета и проектирования электроснабжения промышленного предприятия

Структура работ в рамках расчета и проектирования

Планирование комплекса работ осуществляется:

- определение структуры работ в рамках расчета и проектирования;
- 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 инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. 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, приведен в таблице 13.2.

Таблица 13.2-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

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев 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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

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

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

t_{maxi} – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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 10.3 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

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.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 13.3.

Таблица 13.3-Временные показатели проведения расчета и проектирования.

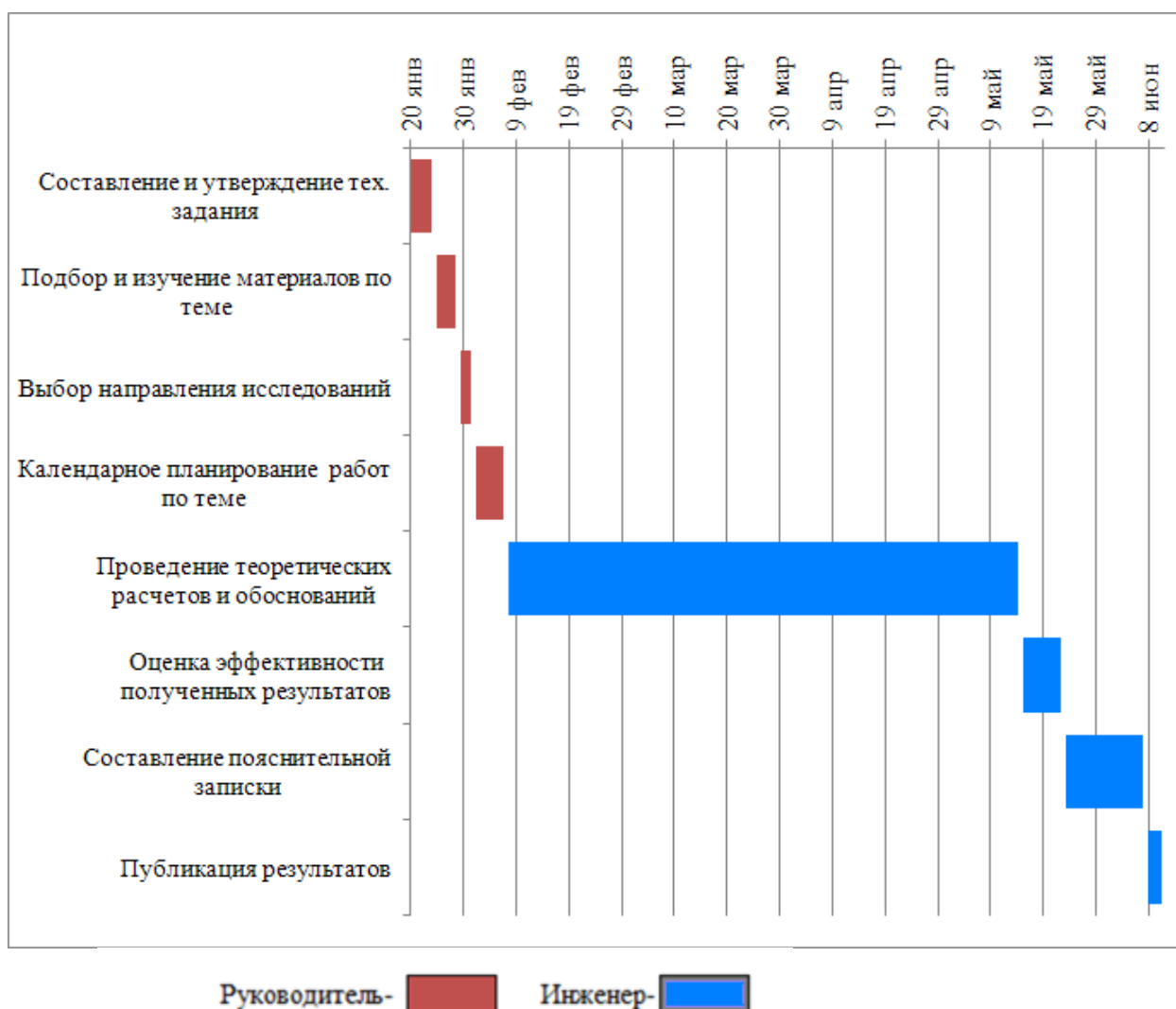
Название работ	Трудоёмкость работ									Исполнители			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}			
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожі}$ чел-дни												
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Составление и утверждение тех. задания	1	5	2	4	10	5	2,2	7	3,2	Руковод.	Руковод.	Инженер	Руковод.	2,2	3,5	3,2	2,68	4,27	3,9
Подбор и изучение материалов по теме	3	5	2	6	9	4	4,2	6,6	2,8	Руковод.	Руковод.	Инженер	Руковод.	4,2	3,3	2,8	5,12	4,03	3,42
Выбор направления исследований	2	5	1	4	8	3	2,8	6,2	1,8	Руковод.	Руковод.	Инженер	Руковод.	2,8	3,1	1,8	3,42	3,78	2,2
Календарное планирование работ по теме	3	5	3	4	10	6	3,4	7	4,2	Руковод.	Руковод.	Руковод.	1,4	3,4	7	4,2	4,15	8,54	
Проведение теоретических расчетов и обоснований	66	70	72	84	93	90	73,2	79,2	79,2	Инженер	Руковод.	Инженер	Инженер	73,2	39,6	79,2	89,3	48,3	96,6
Оценка эффективности полученных результатов	3	7	5	5	10	7	3,8	8,2	5,8	Инженер	Инженер	Инженер	2,4	3,8	8,2	5,8	4,64	10	
Составление пояснительной записки	15	16	10	19	22	15	16,6	18,4	12	Инженер	Инженер	Инженер	13	16,6	18,4	12	20,3	22,4	
Публикация результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Инженер	Инженер	Инженер	2,6	2,2	2,2	2,2	2,68	2,68	
итого																	132	104	136

Итого длительность работ в календарных днях при использовании

- Первого варианта- 132 календарных дней.
- Второго варианта- 104 календарных дней.
- Третьего варианта- 136 календарных дней.

На основе таблицы 13.3 строим календарный план-график. Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 10.4.

Таблица 10.4 - Календарный план-график проведения РИП по теме.



Расчет материальных затрат НИР

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 13.5.

Таблица 13.5-Материальные затраты.

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
бумага	упаковка	2	2	2	190	190	190	456	456	456
ручка	штука	2	1	2	33	33	33	79,2	39,6	79,2
папка	штука	1	2	2	70	70	70	84	168	168
карандаш	штука	2	1	2	14	14	14	33,6	16,8	33,6
линейка	штука	1	1	1	37	37	37	44,4	44,4	44,4
Итого								626,4	685,2	415,2

В статью основная заработная плата включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме.. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 13.6.

Таблица 13.6 - 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	2,2	7	3,2	1529,50	1529,50	1529,50	3364,89	10706,47	4894,39
			инженер						1026,32			7184,21	
2	Подбор и изучение материалов по теме	руковод	руковод	руковод	4,2	6,6	2,8	1529,50	1529,50	1529,50	6423,88	10094,67	4282,59
			инженер						1026,32			6773,68	
3	Выбор направления исследований	руковод	руковод	руковод	2,8	6,2	1,8	1529,50	1529,50	1529,50	4282,59	9482,87	2753,09
			инженер						1026,32			6363,16	
4	Календарное планирование работ по теме	руковод	руковод	руковод	3,4	7	4,2	1529,50	1529,50	1529,50	5200,29	10706,47	6423,88
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	инженер	руковод	инженер	73,2	79,2	79,2	1026,32	1529,50	1026,32	75126,32	121136,05	81284,21
			инженер						1026,32			81284,21	
6	Оценка эффективности полученных результатов	инженер	инженер	инженер	3,8	8,2	5,8	1026,32	1026,32	1026,32	3900,00	8415,79	5952,63
7	Составление пояснительной записки	инженер	инженер	инженер	16,6	18,4	12	1026,32	1026,32	1026,32	17036,84	18884,21	12315,79
8	Публикация полученных результатов	инженер	инженер	инженер	2,2	2,2	2,2	1026,32	1026,32	1026,32	2257,89	2257,89	2257,89
	итого										117592,70	293289,69	120164,47

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 13.7.

Таблица 13.7 - 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 $T_{ci} = 700$ 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 13.8

Таблица 13.8 -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	18500	0,3	0,15	1,3	34872,5	1529,50	11,8	91,2	10,2	18048,05	1076,16	930,24
Инженер	10000	0,3	0,5	1,3	23400	1026,32	103	109,6	106,2	105710,53	11288,8	11639,52
Итого $Z_{осн}$:										123758,57	12364,96	12569,76

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.

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 10.9.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлено в таблице 13.9

Таблица 13.9 -Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	19271,64	162126,54	18353,95	2890,75	24318,98	2753,09
Инженер	98321,05	131163,16	101810,53	14748,16	19674,47	15271,58
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	36647,76					
Исполнение 2	91403,73					
Исполнение 3	37449,26					

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%.

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.13.10.

Таблица 13.10 -Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НИИ	652,8	680,4	736,8
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	117592,70	293289,69	120164,47
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	17638,90	43993,45	18024,67
4. Отчисления во внебюджетные фонды	36647,76	91403,73	37449,26
5. Накладные расходы	34048,09	88531,35	35733,71
6. Бюджет затрат НИИ	27605,15	68698,76	28220,03

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;

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{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 размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля). Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 13.12

Таблица 13.12 - Интегральный финансовый показатель

	$I_{\text{финр}}^{\text{исп. } i}$
Исполнение 1	0,402
Исполнение 2	1,000
Исполнение 3	0,411

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 – балльная 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 13.13.

Таблица 13.13 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 13.14

Таблица 13.14 - Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

	I_{pi}
Исполнение 1	4,15
Исполнение 2	3,85
Исполнение 3	4,8

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

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

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 13.15 - 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		0,402		1		0,411
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности и разработки		4,15		3,85		4,8
3	Интегральный показатель эффективности		10,33		3,85		11,69
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,489	1,022	0,402	0,411	0,978	2,434

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:

Группа	ФИО
3-5А3Д1	Ротару Евгений Александрович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Система электроснабжения плавильного цеха Норильского никелевого завода.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) 	<p>1. Анализ следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> -повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - повышенная или пониженная влажности и скорости движения воздуха; -повышенные уровни шума и вибрации, электромагнитные излучение; -повышенный уровень статического электричества; -недостаточное или нерациональное освещение; -повышенная запыленность или загазованность воздуха рабочей зоны. <p>2. Анализ следующих опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Механические травмы; движущиеся машины и механизмы, различные подъемно-транспортные устройства и перемещаемые грузы, подвижные элементы производственного оборудования приводные и передаточные механизмы, режущие инструменты, вращающиеся приспособления и др, а также системы, находящиеся под давлением средства защиты механической опасности средства защиты термической опасности - Поражение электрическим током;
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 	<ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). - защита селитебной зоны (установка СЗЗ)

– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте: пожар; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности в рабочей зоне для электротехнического персонала

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д1	Ротару Евгений Александрович		

14. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

14.1 Производственная безопасность

Анализ вредных производственных факторов

Возникновение профессиональных заболеваний возможно вследствие воздействия таких физически опасных и вредных для здоровья человека факторов, как:

- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- влажность и скорость движения воздуха;
- повышенные уровни шума и вибрации, электромагнитных и ионизирующих излучений;
- повышенный уровень статического электричества;
- недостаточное или нерациональное освещение;
- повышенная запыленность или загазованность воздуха рабочей зоны.

К группе вредных производственных факторов, которые могут проникать в организм человека через органы дыхания, пищеварения и кожу, относятся:

- токсические (ядовитые);
- раздражающие;
- сенсибилирующие (повышающие чувствительность организма к воздействию каких-либо веществ, например, аллергенов);
- канцерогенные (способствующие возникновению злокачественных опухолей);
- мутагенные (вызывающие изменения наследственности), а также факторы, влияющие на репродуктивную функцию (то есть на способность воспроизводства потомства).

Основными источниками образования вредных веществ являются:

- 1) вагранки, электродуговые и индукционные печи,
- 2) участки складирования и переработки шихты и формовочных материалов,
- 3) участки выбивки и очистки литья.

Анализ опасных производственных факторов

К группе основных физических факторов, существующих в строительной отрасли, относятся движущиеся машины и механизмы, различные подъемно-транспортные устройства и перемещаемые грузы, подвижные элементы производственного оборудования (приводные и передаточные механизмы, режущие инструменты, вращающиеся приспособления и др.), а также системы, находящиеся под давлением.

При выполнении литейных работ могут быть случаи травматизма из-за нарушения правил техники безопасности.

Наличие на предприятии большого количества электрооборудования потенциально опасно для человека, так как может привести к поражению его электрическим током. При падении с высоты, переноске тяжестей, складировании изделий, нерациональном размещении материалов и оборудования рабочий тоже может получить травмы.

По взрывопожарной и пожарной опасности рассматриваемое здание и помещения относятся к категории Д, и является негорючим.

Средства коллективной защиты

К средствам коллективной защиты относятся:

- нормализация воздушной среды производственных помещений рабочих мест: повышенная загрязненность воздуха цементной пылью обусловлена не герметичностью систем пневмотранспорта шнековых конвейеров, мест перегрузки и смесительных устройств.

- нормализация освещения производственных помещений, рабочих мест:

основной задачей производственного освещения является поддержание на рабочем месте освещенности, соответствующей характеру зрительной работы. При организации производственного освещения необходимо обеспечить равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и окружающих предметах, отсутствие в поле зрения работающего резких

тений. Осветительные установки должны быть удобны и просты в эксплуатации, долговечны, отвечать требованиям эстетики, электробезопасности, а также не должно быть причиной возникновения взрыва или пожара. Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное психофизическое воздействие на работающих, способствует повышению эффективности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

- защита от шума: звукоизоляция (ограждения, кабины, экраны), звукопоглощающие глушители шума;

- защита от вибрации (ограждения, виброгасящие и вибропоглощающие устройства). При обслуживании вибрационных устройств особое внимание следует уделять защите обслуживающего персонала от вибрации. Вибрация машин и механизмов в зависимости от частоты и амплитуды оказывает различное физическое воздействие на организм человека. При определенных величинах частоты и амплитуды колебаний в организме могут возникнуть серьезные нарушения, приводящие к заболеванию, называемому виброболезнью.

- защита от поражения электрическим током: к основным техническим мероприятиям и средствам защиты от поражения электрическим током при прикосновении к токоведущим частям электроустановок на предприятии относятся:

- использование электрооборудования соответствующего исполнения;
- применение малых напряжений;
- применение соответствующей изоляции, ограждения, блокировка, сигнализации, изолирующих электрозщитных устройств.

Средства индивидуальной защиты

Проведение технических мероприятий не всегда способствует устранению опасных и вредных производственных факторов. В таких

случаях рабочими и служащими, занятыми на работах с вредными и опасными условиями труда, а также на работах, производимых в неблагоприятных температурных условиях или связанных с загрязнением производственной среды, применяются средства индивидуальной защиты (СИЗ). В соответствии с ГОСТ 12.4.011-89 "Классификация средств индивидуальной защиты по назначению" для защиты от пыли, грязи, мелких травм (порезов, ссадин и т.д.) используют комбинезоны из хлопчатобумажных тканей;

для защиты ног от механических воздействий, влаги, масел и охлаждения - специальную обувь;

для защиты головы от механических повреждений, воды и поражения электрическим током - каски;

для предохранения рук во время работы от механических повреждений (порезов, ушибов, ссадин и т.п.), от воды, попадания на кожу различных растворителей, смол, масел - рукавицы и перчатки;

для защиты кожи рук от воздействия раздражающих и обезжиривающих соединений - защитные мази, кремы и пасты (которые также облегчают очистку кожи);

для защиты глаз и лица от пыли, твердых осколков, брызг расплавленного металла и вредных излучений от электросварки или лазерной установки - защитные очки, щитки, полумаски и маски;

для защиты органов слуха от производственных шумов - противошумные наушники, шлемы и вкладыши.

Типы средств индивидуальной защиты органов дыхания (противогазов, респираторов, пневмо-шлемов, пневмо-масок и само-спасателей) должны назначаться в зависимости от видов физико-химических свойств и концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны с учетом особенностей технологического и трудового процессов (температуры и влажности окружающей среды, времени работы в неблагоприятных условиях и т.д.).

По принципу действия СИЗ бывают фильтрующие и изолирующие. К фильтрующим СИЗ органов дыхания (ОД) относятся противо-аэрозольные, противогазовые и универсальные респираторы и противогазы. Для защиты органов дыхания от аэрозолей и паров радиоактивных веществ (йода и др.) служит противо-аэрозольный респиратор РМ-2. При работе в атмосфере, содержащей вредные пары и газообразные вещества в концентрациях, которые не превышают 10-15 величин ПДК, используют универсальные противогазовые респираторы РПГ-67-В и РУ-60М-В. Для защиты органов дыхания, глаз и лица от газо- и парообразных вредных примесей применяют противогаз ППФМ-92, соответствующий требованиям ГОСТ 12.4.041-89 "Респираторы фильтрующие. Общие технические требования" и имеющий гигиенический сертификат № 824 и сертификат соответствия.

При наличии в воздухе неизвестных веществ, большого содержания вредных веществ (более 0,5 % по объему) и небольшого содержания кислорода (менее 18 % при норме 21 %) фильтрующие СИЗ ОД нельзя использовать. В этих случаях нужно применять изолирующие СИЗ ОД.

14.2 Экологическая безопасность

-Санитарно-защитная зона

Промышленные предприятия с производственными процессами, являющимися источниками выделения в окружающую среду вредных веществ, а также источниками повышенных уровней шума, вибрации, ультразвука, электромагнитных волн радиочастот, статического электричества и ионизирующих излучений, должны отделяться от жилой застройки санитарно-защитными зонами. Все промышленные предприятия в зависимости от характера и мощности строительного производства подразделяют на пять санитарных классов. В соответствии с этими классами выбираем класс IV, ширину санитарно-защитной зоны – не менее 300м.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»

В санитарно-защитной зоне допускается размещать:

- предприятия, их отдельные здания и сооружения с производствами меньшего класса вредности, чем производство, для которого установлена санитарно-защитная зона аналогичного характера вредности;

- пожарные депо, бани, прачечные, гаражи, склады (кроме общественных и специализированных производственных зданий и сооружений), здания управлений, конструкторских бюро, учебных заведений, магазинов, предприятий общественного питания, поликлиник, а также научно-исследовательских лабораторий, связанных с обслуживанием какого-либо предприятия;

- помещения для дежурного персонала и охраны предприятий по установленному списочному составу, стоянки для общественного и индивидуального транспорта, местные и транзитные коммуникации, линий электропередач (ЛЭП), электростанции, нефте- и газопроводы, артезианские скважины для технического водоснабжения, водоохлаждающие сооружения, сооружения для подготовки технической воды и сооружения оборотного водоснабжения, водопроводные и канализационные насосные станции, подземные резервуары, питомники растений для озеленения предприятий и санитарно-защитной зоны.

Территорию санитарно-защитной зоны, которая составляет не менее 15 % всей площади предприятия, благоустраивают и озеленяют. Со стороны селитебной территории надлежит предусмотреть полосу древесно-кустарниковых насаждений шириной не менее 50 м, а при ширине зоны до 100 м - не менее 20 м.

-Защита атмосферы

В арматурных цехах выделяется пыль окалины, ржавчины, а также металлическая пыль. При точечной сварке и особенно при ручной электрической сварке выделяется комплекс вредных ингредиентов в виде

аэрозоля, окислов азота, углерода и марганца. Из указанных вредностей особую опасность представляет окись марганца, ПДК(для рабочей зоны) которого 0,1 мг/м³. Содержание в сварочной пыли окислов марганца зависит от марки применяемых электродов. Наименьший процент окислов марганца содержится в аэрозолях, полученных при сжигании электродов с фтористо-кальциевым и рутиновым покрытием, а наибольший - в аэрозолях марганцевых электродов.

Цель защиты атмосферы от вредных выбросов и выделений сводится к обеспечению концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны и приземном слое атмосферы равным или менее ПДК.

Цель достигается применением следующих методов и средств: рациональным размещением источников вредных выбросов по отношению к населенным зонам и рабочим местам; рассеиванием вредных веществ в атмосфере для снижения концентраций в ее приземном слое, удалением вредных выделений от источника образования посредством местной или общеобменной вытяжной вентиляции; применением средств очистки воздуха от вредных веществ; применением СИЗ

Рациональное размещение предусматривает максимально возможное удаление промышленных объектов-загрязнителей воздуха от населенных зон, создание вокруг них санитарно-защитных зон; учет рельефа местности и преобладающего направления ветра при размещении источников загрязнений и жилых зон по отношению друг к другу.

14.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

ЧС подразделяются:

- по масштабу: на общегосударственные, региональные, местные, объектовые, прочие;
- по типу: на технические, медико-биологические, природные, криминогенные, экологические, прочие;

- по виду: много видов, например: транспортные аварии, пожары и взрывы, аварии с выбросом сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ), радиоактивных веществ (РВ), биологически опасных веществ (БОВ), внезапное разрушение сооружений и т.д; бытовой смертельный травматизм – по отдельной форме.

Изложим характеристику стихийных бедствий, аварий и катастроф

В результате аварий и катастроф на предприятиях, на транспорте (без использования опасных веществ и технологий); аварий и катастроф на объектах, использующих опасные вещества и технологии (ядовитые вещества, нефтепродукты, взрывчатые вещества, радиоактивные вещества, нефтегазопродукты) могут возникнуть техногенные ЧС.

Стихийные бедствия — явления природы, которые могут вызвать ЧС.

Наиболее важные из них: землетрясения; наводнения; селевые потоки, оползни; снежные лавины; бури, ураганы; большие пожары.

Для рассматриваемого предприятия выберем и рассмотрим наиболее типичное ЧС - это пожар.

Пожарная безопасность промышленного предприятия, технологического процесса, оборудования обеспечивается мероприятиями пожарной профилактики. Под пожарной профилактикой понимается комплекс технических и организационных мероприятий, направленных на предотвращение взрывов и пожаров, на их локализацию и создание условий для успешного тушения пожаров.

Пожарная профилактика достигается путем комплекса мероприятий системы предотвращения пожара, системы противопожарной защиты и комплекса организационно-технических мероприятий.

Систему предотвращения пожара составляет комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на исключение возможности возникновения пожара. Предотвращение пожара достигается устранением образования горючей среды; устранением образования в горючей среде (или внесения в нее) источника зажигания;

поддержанием температуры горючей среды ниже максимально допустимой; поддержание в горючей среде давления ниже максимально допустимого и другими мерами.

Систему противопожарной защиты составляет комплекс организационных и технических средств, направленных на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничение материального ущерба от него. Противопожарная защита обеспечивается максимально возможным применением негорючих и трудно-горючих веществ и материалов вместо пожароопасных; ограничением количества горючих веществ и их размещения; изоляцией горючей среды; предотвращением распространения пожара за пределы очага; применением средств пожаротушения; применением конструкции объектов регламентированными пределами огнестойкости и горючестью; эвакуацией людей; системами противодымной защиты; применением средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре; организацией пожарной охраны промышленных объектов. Ограничение горючих веществ и их размещения достигается регламентацией: количества (массы, объема) горючих веществ и материалов, находящихся одновременно в помещении; наличия аварийного слива пожароопасных жидкостей и аварийного стравливания горючих газов из оборудования; противопожарных разрывов и защитных зон; периодичности очистки помещений, коммуникаций, оборудования от горючих отходов, отложений пыли; числа рабочих мест, на которых используются пожароопасные вещества; выноса пожароопасного оборудования в отдельные помещения и на открытые площадки, а также наличия системы аспирации отходов производства.

14.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

В случаях, когда уровень опасных и вредных производственных факторов не превышает предельно допустимых величин, предлагаются мероприятия по дальнейшему улучшению условий труда. При разработке учитывают:

- расположение зданий и сооружений на генеральном плане

При разработке генерального плана промышленных предприятий наряду с обеспечением наиболее благоприятных условий для производственного процесса и труда, а также рационального использования земельных участков и наибольшей эффективности капиталовложений необходимо:

- обеспечить безопасные расстояния от границ промышленных предприятий до жилых и общественных зданий;

- выдержать, согласно нормам, противопожарные разрывы между производственными зданиями и сооружениями, и вспомогательными зданиями;

- расположить здания с учетом рельефа местности и направления господствующих ветров;

- сгруппировать в отдельные комплексы (зоны) родственные по функциональному назначению или признаку взрывопожароопасности производственные здания и сооружения;

- обеспечить территорию промышленных предприятий дорогами и необходимым количеством въездов.

Площадку для строительства предприятия, места водозабора и спуска сточных вод выбирают в соответствии со строительными нормами и правилами СНиП 11-89-80

- устройство дорог, проездов и проходов

Проектирование дорог и подъездных путей на генеральном плане производится, исходя из условий обеспечения свободного подъезда 27 транспортных средств ко всем производственным зданиям и складам промышленных предприятий, а также с учетом минимального загрязнения атмосферного воздуха выхлопными газами от автотранспорта и дорожной пыли.

Наиболее распространенными схемами автомобильных дорог являются кольцевая и сквозная, которые позволяют избегать столкновения и скопления автотранспорта, а также обеспечивают нормальный обзор участков дороги. Смешанные схемы дорог включают кольцевую магистраль со вспомогательными дорогами и погрузочно-разгрузочными устройствами, а также подъездную автодорогу, связывающую предприятие с внешними дорогами общего пользования. При устройстве тупиковых дорог предусматривают кольцевые объезды или площадки размером не менее 12*12 м для разворота автомобилей.

- складирование готовой продукции, металла и арматурной стали

Поверхности производственных площадок для складирования следует проектировать ровными, без выбоин и с уклоном не более 5°. Подъездные пути к складам и площадкам для складирования должны иметь твердое покрытие. Как исключение, допускаются улучшенные естественные подъездные пути, обеспечивающие безопасность движения.

Бухты арматурной стали, рассортированные по наименованию проката, маркам и диаметру, хранят в штабелях. Высота штабелей не должна превышать 1,5 м. Ширину прохода между ними следует устанавливать не менее 1 м. Бухты арматурной стали допускается хранить в приямках, оборудованных ограждениями. Листовую сталь и разновидности проката черного металла рассортировывают по наименованиям проката, маркам, диаметру и хранят в штабелях и на стеллажах. Высота штабелей листовой

стали не должны превышать 1,5 м. Для исключения их послойного смещения устанавливают ограничители. Готовые арматурные изделия (сварные сетки, каркасы, петли, закладные детали и т.п.) хранят на специализированных стеллажах или в контейнерах.

- размещение производственного оборудования

При разработке и организации производственных процессов необходима четкая планировка помещений. Стационарное производственное и вспомогательное оборудование, машины и механизмы устанавливают согласно утвержденному проекту на прочные фундаменты, исключающие передачу повышенных параметров вибрации на грунт, рабочие места и конструкцию зданий. Размещение оборудования должно соответствовать очередности операций, прочности технологического процесса и действующим строительным нормам и правилам.

При установке оборудования, машин и механизмов в цехах предусматривают проходы для людей, а также проезды для внутрицехового транспорта, обеспечивающие безопасность работающих. Ширина проходов в основных цехах не должна быть менее 1,5 м, между оборудованием - 1,2 м, строительными конструкциями зданий и оборудованием - 1,0 м, перилами ограждений и оборудованием или стенами зданий - 0,2 м.

Ширина проходов у рабочих мест должна быть увеличена не менее чем на 0,75 при одностороннем расположении рабочих мест от проходов и проездов и не менее чем на 1,5 м при расположении рабочих мест по обе стороны от проходов и проездов. При расположении рабочих мест в проходах и проездах ширину последних увеличивают на ширину рабочего места, но не менее чем на 0,8 м; при расположении же рабочих мест с одной стороны проходов и проездов \square не менее чем на 0,8 м, а при расположении рабочих мест по обе стороны проходов и проездов \square не менее чем на 1,5 м. Ширина проходов к оборудованию для его обслуживания и ремонта должна быть 0,7 м. Площадки обслуживания производственного оборудования, камеры пропаривания, расположенные на высоте 1,0 м над уровнем пола,

ограждают перилами высотой не менее 1,0 м со сплошной металлической облицовкой по низу перил.

Ширину проездов для цехового транспорта предусматривают такой, чтобы оставался свободный проход не менее 1 м между максимальными габаритами груженых транспортных средств и установленным оборудованием. Оборудование, при работе которого создается шум, а также выделяются газы или пыль, устанавливают в помещении, изолированном глухими пыле-, газо- и звукопоглощающими перегородками, с общей приточной вентиляцией и аспирацией от каждого пылящего щита. Оборудование для обработки и транспортирования пылящих материалов, находящихся в общих производственных помещениях, герметизируют и оборудуют аспирационными установками. Нагретые поверхности технологического оборудования должны быть теплоизолированы или экранированы с тем, чтобы на их наружной поверхности температура не превышала 45° С.

- ограждения опасных зон;

При размещении рабочих мест, проездов транспортных средств, проходов для людей следует установить опасные зоны, в пределах которых постоянно действуют или потенциально могут действовать опасные производственные факторы. К зонам постоянно действующих опасных производственных факторов относятся:

- полоса шириной до 2 м по периметру от неогражденных перепадов по высоте от 1,3 м и более;

- места перемещения машин и оборудования или их рабочих органов и открытых движущихся или вращающихся частей;

- места, над которыми происходит перемещение грузов грузоподъемными кранами;

- места, где уровни шума, вибрации или загрязнение воздуха превышают гигиенические нормы;

- пространства вблизи открытых незащищенных токоведущих частей электроустановок и линий электропередач.

Зоны, постоянно действующих опасных производственных факторов во избежание доступа посторонних лиц ограждают. Так, зоны, потенциально действующих опасных производственных факторов выделяются сигнальными ограждениями.

Граница опасной зоны вблизи движущихся частей и рабочих органов достигает 5 м. Граница же опасной зоны работы вертикального подъемника охватывает пространство возможного падения поднимаемого груза: для зданий высотой до 20 м - не менее 5 м от конструкции подъемника, а для зданий большей высоты - $0,25h$ (где h - высота здания в м).

Граница опасной зоны, связанной с повышенными уровнями шума, вибрации, загрязнением воздуха рабочей зоны выбросами вредных веществ (аэрозолей, дыма, пыли, пара и газа), простирается на такие расстояния от их источников, за пределами которых в силу естественного рассеивания энергии (шума, вибрации) или массы вредных выбросов наблюдается снижение интенсивности этих вредных выбросов до уровня гигиенической нормы.

- защитные и предохранительные устройства

Станки и другие механизмы снабжают различными предохранительными устройствами и блокировками, которые в опасный момент отключают оборудование и нормализуют его работу. К предохранительным устройствам относятся:

- концевые выключатели;
- предохранительные и обратные клапаны;
- манометры;
- электрические и электромеханические блокировки;
- улавливатели;
- предохранительные козырьки;
- двуручные выключатели;
- фотоэлектрические устройства и т.п.

- транспортные и погрузочно-разгрузочные работы

Для обеспечения безопасности подъемно-транспортных операций предусматривают соответствующее оборудование (электротележки, автопогрузчики, конвейеры, элеваторы, скиповые подъемники, краны и т.п.) и разрабатывают основные мероприятия технического характера по его безопасной эксплуатации.

Погрузочно-разгрузочные работы на предприятиях должны осуществляться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.009-86 " Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности", технологических карт, проектов производства работ, технологических инструкций, а также других нормативных документов, содержащих требования безопасности при производстве этих работ.

- обеспечение безопасности производственных процессов (арматурные работы)

Все операции по транспортированию, заготовке и обработке должны быть механизированы. Обязательным является устройство ограждений движущихся деталей механизмов (независимо от скорости их движения и высоты расположения). Корпуса станков для обработки арматуры и трансформаторов необходимо заземлять, причем сопротивление заземлений не должно превышать 4 Ом. Расстояние между станками - не менее 0,8 м с учетом их выступающих частей и максимальных размеров обрабатываемых изделий.

В процессе обработки сталь проходит ряд последовательных операций: резка и правка; гнутье; электросварка; транспортирование; сборка отдельных сеток и стержней в законченный арматурный каркас, подлежащий бетонированию в форме. Правку и резку арматуры производят на правильно-отрезных станках, которые анкерными болтами крепятся к отдельным фундаментам. Тянущие ролики, шестерни и правильные барабаны станков закрывают глухими кожухами и щитками. (Рекомендуется устраивать электрическую блокировку электродвигателя и предохранительных щитков).

Бухтодержатели должны быть ограждены, при этом ограждение должно быть сетчатое металлическое высотой не менее 1,8 м и с дверью шириной не менее 0,7 м, заблокированной с приводом станка так, чтобы при открытой или неплотно закрытой двери привод автоматически отключался. Бухтодержатели располагают на расстоянии не менее 1,5 м от машин (правильные барабаны, катушки перемоточных станков, сварочное и другое оборудование).

Правильные устройства станков закрывают сплошным или сетчатым металлическим кожухом, заблокированным с приводом станка так, чтобы при снятом или неправильно установленном кожухе привод станка автоматически отключался.

Установку для перемотки проволоки ограждают по периметру сетчатыми металлическими ограждениями высотой не менее 1,8 м.

При изготовлении арматурных изделий и выполнении сварочных работ должно быть обеспечено удаление отходов производства, являющихся источником экологической опасности. Так, вредные вещества и аэрозоли, используемые при сварке, удаляют из воздуха рабочих зон вентилярованием. Расчетные параметры вентиляционных систем принимают, исходя из предельно допустимой концентрации наиболее вредных веществ (при плавных флюсах - фтористого водорода и марганца; при керамических флюсах - окиси углерода, марганца, фтористого водорода).

Для сбора и удаления пыли и окалины станки для изготовления арматурных изделий должны быть присоединены к аспирационной системе, исключающей выделение запыленного воздуха в производственное помещение.

- обеспечение электробезопасности

Электробезопасность обеспечивают в соответствии с правилами устройства электроустановок.

Для правильного выбора способа защиты от поражения электрическим током при замыкании на корпус необходимо знать, какая электрическая сеть подведена к оборудованию. В зависимости от режима нейтрали электрической сети применяют: защитное заземление, зануление, защитное отключение.

В рассматриваемом предприятии (цехе) выбрана глухозаземленная нейтраль и выше был произведен расчет заземляющего устройства.

Санитарно-гигиенические мероприятия

- Микроклимат производственных помещений

На состояние здоровья и работоспособность человека могут отрицательно действовать различные вредные производственные факторы. В связи с этим необходимо предусматривать санитарно-технические мероприятия по предотвращению их воздействия на обслуживающий персонал.

Мероприятия по созданию микроклимата в производственных помещениях способствуют созданию необходимых условий труда.

К показателям, характеризующим микроклимат производственных помещений, относятся:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Микроклимат зависит от периода года, категории физических работ и интенсивности теплового излучения согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны". Различают два периода года: теплый и холодный. Теплый период года характеризуется среднесуточной температурой воздуха +10 °С и выше, а холодный - ниже +10°С.

Заключение

В результате выполнения дипломной работы были рассчитаны нагрузки плавильного цеха и Никелевого завода в целом. Расчет нагрузок позволил установить, что рациональная мощность трансформаторов равна 1600 кВА. Для обеспечения всей нагрузки завода необходимо 16 трансформаторных подстанции: 8 2хКТП 1600.

При выборе необходимой мощности трансформаторов ГПП также были рассчитаны нагрузки 10 кВ цехов. Для надежного питания завода были выбраны трансформаторы ТРДН-25000/110 в количестве 2 шт.

Для повышения пропускной способности электрических сетей всех напряжений, а также снижения потерь электрической энергии были выбраны компенсирующие конденсаторы. Конденсаторы выполняются регулируемые для поддержки косинуса на определенном уровне постоянно.

Проектирование систем электроснабжения плавильного цеха было рассмотрено более подробно. Выбраны коммутационные аппараты серии ВА для защиты магистральных сетей и сете присоединений. Все кабельные линии напряжением 0,4 кВ выполнен проводом АВВГ проложенном в трубах в полу либо на металлоконструкциях

Список литературы

1. А.И. Гаврилин, С.Г. Обухов, А.И. Озга. Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению выпускной работы бакалавра. – Томск: ТПУ, 2001 – 93 с.
2. . Мельников М. А. Внутрицеховое электроснабжение: Учеб.пособие. – Томск:Изд. ТПУ, 2002. – 143 с.
3. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб.пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005. – 168 с.
4. Г.Н.Климова.,А.В.Кабышев. Спецвопрос электроснабжения промышленных предприятий / Том. Политехн. Ун-т. – Томск,2007-121с
5. Мельников М. А. Внутривзаводское электроснабжение: Учеб.пособие. – Томск:Изд. ТПУ, 2004. – 180 с.
6. А.В. Кабышев Электроснабжение объектов Ч.1 Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования. Учеб.пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2007. – 185 с.
7. Справочник по проектированию электроэнергетических систем /под ред. С.С. Рокотяна и др. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
8. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебник для СУЗов. - М.: Высшая школа, 1990