

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Энергосбережение и энергоаудит
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Повышение энергетической эффективности медеплавильного комбината

Обучающийся

Н.А. Давлатова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

Консультант

к.п.н доцент А.В. Кириллова

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

Тольятти 2022

Аннотация

Название бакалаврской работы: «Повышение энергетической эффективности медеплавильного комбината».

Выпускная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, таблиц, списка литературы, включая зарубежные источники, и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом выпускной работы является разработка системы электроснабжения медеплавильного комбината; изучение общих сведений об объекте; анализ существующей системы электроснабжения объекта и формулировка задач ее реконструкции; расчет электрических нагрузок; выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций; выбор напряжения, схемы внешнего электроснабжения; технико-экономическое обоснование схем электроснабжения; расчет токов короткого замыкания; расчет и выбор электрооборудования; рассмотрение вопросов безопасности жизнедеятельности на главной понизительной подстанции; электробезопасность на объекте; вопросы молниезащиты объекта; калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание; планирование сметы текущих затрат на энергетическое обслуживание.

Целью бакалаврской работы является разработка энергоэффективной системы электроснабжения медеплавильного комбината.

Выпускная работа может быть разделена на следующие логически взаимосвязанные части: введение, обоснование целей, задач и объема реконструкции; расчет и выбор элементов проектируемой системы электроснабжения; разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда; проведение экономического анализа проекта.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна не только для медеплавильного комбината, но и других промышленных предприятий.

Abstract

The title of the bachelor's work: "Improving the energy efficiency of a copper smelter."

The final work consists of an introduction, 4 sections, conclusions, tables, a list of references, including foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The key issue of the final work is the development of a power supply system for the smelter; calculation of power and lighting electrical loads; selection of rated values of voltages, number and power of power transformers and their testing for the effect of short-circuit currents; calculation of reactive power compensation; selection of the location of the main step-down substation; calculation and selection of cables and wires; selection of electrical equipment, protective and switching equipment; calculation of electrical parameters of an induction crucible furnace; determination of the amount of capital investment and drawing up an estimate of operating costs.

The aim of the bachelor's work is to develop a power supply system for a smelter.

The final work can be divided into the following logically interrelated parts: introduction, determination of the parameters of power supply for workshops, calculation and selection of electrical equipment, calculation of electrical parameters of an induction melting furnace, economic section.

Summing up, we would like to emphasize that this work is relevant not only for the smelter, but also for other industrial enterprises.

Содержание

Введение.....	5
1 Обоснование целей, задач и объема реконструкции.....	7
1.1 Общие сведения об объекте.....	7
1.2 Анализ существующей системы электроснабжения объекта и формулировка задач ее реконструкции.....	10
2 Расчет и выбор элементов проектируемой системы электроснабжения.....	13
2.1 Расчет электрических нагрузок.....	13
2.2 Выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховых ТП.....	16
2.3 Выбор напряжения, схемы внешнего электроснабжения.....	24
2.4 Техничко-экономическое обоснование схем электроснабжения.....	26
2.5 Расчет токов короткого замыкания.....	33
2.6 Расчет и выбор электрооборудования.....	34
3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда.....	42
3.1 Безопасность жизнедеятельности на ГПП.....	43
3.2 Электробезопасность.....	43
3.3 Молниезащита.....	45
4 Экономический анализ проекта.....	51
4.1 Калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание.....	51
4.2 Планирование сметы текущих затрат на энергетическое обслуживание.....	53
Заключение.....	54
Список используемых источников.....	55

Введение

Электрическая энергия обладает некоторыми уникальными физическими свойствами, допускающими ее использование в конкретных промышленных применениях, т.е. свойства, для которых другие формы энергии являются в лучшем случае весьма несовершенными заменителями.

Источники и эффективность использования энергии в промышленности и обществе являются фундаментальными и наиболее важными, определяющими их вектор развития. Конкурентоспособность производства, экономический рост, внешняя и внутренняя политика, экологическая политика – это лишь некоторые из аспектов, на которые непосредственно влияют энергетические решения. С наступлением нового века энергетический сектор в целом и электроэнергетика в частности подверглись быстрым техническим изменениям и оказали большое влияние на общественное развитие. Например, в период с 2005 по 2010 год использование природного газа резко увеличилось, потому что влияние более дешевого сланцевого природного газа ощущалось во всей экономике в таких областях, как химия, производство, отопление и электроэнергия. Нет никаких сомнений в том, что широко обсуждаемая в то время «война с углем» была сосредоточена больше на снижении цен на природный газ за счет гидроразрыва пласта, чем на четкой политике регулирования в отношении угля.

Электроэнергетическая отрасль также находится в авангарде технической революции в способах производства и потребления электроэнергии. Два направления развития вызывают изменения в этой области. Во-первых, это технология производства электроэнергии для возобновляемых источников энергии, в основном цены на солнечную энергию и энергию ветра, которые резко падают, при этом чистый спрос на энергию из центральной сети падает после исчезновения солнечной энергии, а затем резко растет [14]. Другим влияющим фактором является резкое

снижение стоимости информационных и компьютерных технологий, которые, как видно, делают спрос на электроэнергию гораздо более чувствительным к ценам и другим управляющим факторам. Фактически, после более чем 100-летней практики увеличения поставок, которые могут быть отправлены для удовлетворения спроса, ожидается вступление в эпоху, когда мощность электропотребления является случайной величиной, которая решается путем корректировки спроса в соответствии с предложением. Или, что более реалистично, мы вступаем в эпоху смарт-технологий, когда речь идет о предоставлении надежных электрических услуг с правдоподобными и поддающимися проверке параметрами, как в спросе, так и в предложении.

Целью бакалаврской работы является проектирование системы надежного электроснабжения медеплавильного комбината.

1 Обоснование целей, задач и объема реконструкции

1.1 Общие сведения об объекте

Медеплавильный комбинат «обычно является подразделением горно-металлургического комбината, основным товарным цехом, выпускающим рафинированную медь в виде катодов, аффинированные слитки золота и серебра (при наличии соответствующего сырья), селен и теллур технические, серную кислоту, медный купорос, перренат аммония, промпродукт молибденовый обожженный, провод медный голый и провод медный в эмалевой изоляции» [31].

В состав медеплавильного комбината входят следующие основные цеха:

- металлургический;
- цех электролиза меди;
- купоросный цех;
- цех аффинажа золота и серебра;
- сернокислотный;
- цех по производству редких металлов;
- цех волочения и производства эмальпровода;
- цех электропечей.

Также в состав медеплавильного комбината входят следующие вспомогательные цеха:

- цех КИПиА;
- ремонтно-механический цех (РМЦ);
- специализированный ремонтно-монтажный цех;
- энергоцех;
- центральная заводская лаборатория;
- электроцех;
- кислородная станция;

- компрессорная;
- сушильный цех.

Кроме этого на «территории комбината находится заводоуправление, столовая, учебные мастерские, склад оборудования, пожарное депо» [24].

Металлургический цех включает в себя плавильное и конвертерно-анодное отделения.

Плавильное отделение предназначено для переработки сульфидных медных концентратов и золотосодержащих флюсов. В результате плавки получают «медный штейн, отвальный шлак и технологические газы для производства серной кислоты» [24].

«В конвертерно-анодном отделении медный штейн преобразуется с получением черновой меди, конвертерного шлака и технологических газов для производства серной кислоты. Огневое рафинирование черновой меди производится в анодных печах, результат плавки - анодная медь, являющаяся сырьём для производства катодов и анодный шлак – оборотный продукт, который возвращается в техпроцесс получения черновой меди. Печь грануляции меди используется для отливки гранул, необходимых для получения медного купороса» [31].

Назначение цеха электролиза меди заключается в производстве меди высокого качества, обладающей низким электрическим сопротивлением и пластичностью. Извлечение меди производится в специализированных ваннах данного цеха для получения товарного материала.

Купоросный цех предусмотрен для выведения из технологического процесса отработанного электролита, с большим количеством примесей.

Цех аффинажа золота и серебра состоит из 3-х отделений:

- участок переработки шламов. Товаром после переработки является медеэлектролитный шлак. Основные требования, предъявляемые к процессу переработки шламов – это максимально возможное извлечение из шлама золота, серебра, селена и теллура;

- участок аффинажа золота, в котором производятся аффинированные слитки золота и серебра;

- участок приёмной плавки. Используется для приёма и переработки лома и отходов драгметаллов, приходящих от других комбинатов.

Сернокислотный цех включает в себя два отделения:

- производство серной кислоты;

- производство сульфит-бисульфит аммония.

«Исходным сырьём для производства огарка промпродукта молибденового и перрената аммония служит промпродукт молибденовый, поступающий с медной обогатительной фабрики. Производство обожженного промпродукта молибденового производится путем обжига молибденового промпродукта в горизонтальных вращающихся печах. Производство перрената аммония производится путем обжига молибденового промпродукта в горизонтальных вращающихся печах и улавливания возгонов горения из отходящих газов в системе мокрого газопылеулавливания» [31].

Цель процесса волочения – это производство проволоки медной диаметром $\text{Ø } 1,0 \div 4,5$ мм из сырьевой катанки на специализированном станке М-85. Волочильный участок используется для обеспечения проволокой медного участка по производству эмальпровода, а также является выпускающей продукцией комбината. Назначение процесса эмалирования – это получение эмалированного медного провода. Материалом для производства эмалированного медного провода служит проволока медная диаметром $\text{Ø } 1,0 \div 4,5$ мм.

Цех КИПиА служит для ТО и ремонта приборов контроля технологического оборудования, устройства технологического предупреждения об аварийных процессах, устройства авторегулирования и управления технологическими операциями, устройства дистанционного воздействия на регулирующую и запорную арматуру.

Ремонтно-механический цех предназначен для изготовления запасных комплектующих и деталей для проведения ремонтов производственного оборудования. Специализированный ремонтно-монтажный цех предназначен для проведения внеплановых и капитальных ремонтов технологического оборудования.

Цех разделения воздуха используется для производства кислорода газообразного технологического, используемого для ведения производственных технологических процессов.

Энергоцех служит для снабжения цехов медеплавильного комбината электроэнергией, газом, паром и водой. Таким образом, медеплавильный комбинат представляет собой производственное предприятие с современной технологией и полным циклом получения товарной продукции, содержащихся в исходном сырье.

1.2 Анализ существующей системы электроснабжения объекта и формулировка задач ее реконструкции

Разделение потребителей медеплавильного комбината по категориям надежности электроприемников показано в таблице 1, заводские основные электрические параметры в таблице 2.

Таблица 1 - Разделение потребителей медеплавильного комбината по категориям надежности электроприемников

Категория надежности	Наименование электроприемника
I	Цех электролиза меди, кислородная станция, энергоцех, сернокислотный цех, цех электропечей, цех по производству редких металлов, цех волочения и производства эмальпровода, компрессорная, цех аффинажа золота и серебра, купоросный цех, сушильный цех, металлургический цех.
II	ЦЗЛ, энергоцех, РМЦ, заводоуправление, специализированный ремонтно-монтажный цех, цех КИПиА, пожарное депо
III	Столовая, учебные мастерские, склад оборудования

Таблица 2 - Заводские основные электрические параметры

Электрический параметр	Единицы измерения	Величина
1	2	3
Общая потребляемая мощность нагрузки до 1 кВ	кВт	25412
Общая потребляемая мощность нагрузки выше 1 кВ	кВт	8920
Общая передаваемая мощность через ГПП	кВт	17474
Расчетный tgφ	-	0,308
Номинальный tgφ	-	0,310
Естественный tgφ	-	0,315
Уровень внешнего напряжения	кВ	110
Уровень внутреннего напряжения высокого уровня	кВ	10
Уровень внутреннего напряжения низкого уровня	кВ	0,4
Применяемые трансформаторы: - ГПП - ЦТП	- -	ТДН-16000/110 ТМЗ
Мощность короткого замыкания	МВ·А	3000
Высоковольтная линия	-	АС 70/11
Тип кабелей внутризаводского электроснабжения	-	ААП2л
Расстояние между ГПП и энергосистемой	км	3
Ячейки РУ ГПП	-	К-104М

Выводы.

Медеплавильный комбинат – это современное высокотехнологическое предприятие с высоким уровнем электропотребления, причем большинство наиболее мощных электроприемников относится к первой категории надежности электроснабжения, что обуславливает высокие требования по качеству и надежности поставляемой электроэнергии.

2 Расчет и выбор элементов проектируемой системы электроснабжения

2.1 Расчет электрических нагрузок

Электрические нагрузки всего медеплавильного комбината сведены в таблицу 3. Расчет по РТН.36.18.32.4 – 92 [24]

Таблица 3 - Электрические нагрузки медеплавильного комбината

Название электроприемника	P_H , кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар
1) Металлургический	6318,6	0,62	0,75	0,88	3917	3447
2) ЦЗЛ	55,8	0,35	0,65	1,17	19,5	22,8
3) Склад оборудования	21,8	0,25	0,65	1,17	5,5	6,4
4) Электроцех	424,6	0,35	0,65	1,17	149	174
5) Компрессорная	171,6	0,73	0,8	0,75	125	94
6) РМЦ	189,3	0,35	0,65	1,17	66,2	77,5
7) Заводоуправление	68,0	0,5	0,7	1,02	34	34,7
8) Цех аффинажа золота и серебра	2351,8	0,65	0,75	0,88	1529	1345
9) Цех электролиза меди	788,3	0,87	0,87	0,57	692,6	394,7
10) Цех по производству редких металлов	2174,6	0,65	0,75	0,88	1413	1244
11) Кислородная станция	137,4	0,56	0,8	0,75	76,9	57,7
12) Энергоцех	956,1	0,4	0,8	0,75	382,4	286,8
13) Сушильный цех	555,2	0,7	0,8	0,75	388	292
11) Столовая	150,0	0,5	0,7	1,02	75	76,5
12) Специализированный ремонтно-монтажный цех	411,2	0,35	0,65	1,17	144	168
13) Цех КИПиА	233,0	0,35	0,7	1,02	81,5	83,2
14) Сернокислотный цех	1407,0	0,5	0,65	1,17	703,5	823,1
15) Цех волочения и производства эмалипровода	518,9	0,6	0,75	0,88	311,3	274
16) Цех электропечей	947,4	0,7	0,8	0,75	663,2	497,4
17) Купоросный цех	611,2	0,5	0,75	0,75	305,6	229,2
18) Учебные мастерские	124,9	0,5	0,7	1,02	62,5	63,7
19) Пожарное депо	23,8	0,25	0,75	0,75	5,9	4,5
Итого	18480,6	-	-	-	10908	9697,5

Подробно рассмотрим один из цехов медеплавильного комбината – цех электролиза меди.

Порядок расчета [3]:

- составляем перечень электроприемников с указанием номинальной активной нагрузки (см. таблицу 4);
- задаемся уровнем напряжения. Все электроприемники в цехе электролиза на 380В;
- по справочным и нормативным документам задаемся для каждого электроприемника коэффициентом использования $K_{и}$ и мощности $\cos\varphi$. При отсутствии данных принимаем из диапазонов: $K_{и} = 0,2 \dots 0,9$, $\cos\varphi = 0,5 \dots 0,9$;
- по формула (1) и (2) определяются средняя сменная P_c и Q_c нагрузки;
- по таблицам [4] находится расчетный коэффициент $K_p = f(K_{и}; n_{э})$;
- по формула (3), (4) и (5) определяются P_p и Q_p нагрузки;
- по формуле (6) определяется расчетная полная S_p нагрузка.

$$P_c = K_{и} \cdot P_{н}; \quad (1)$$

$$Q_c = K_{и} \cdot P_{н} \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (2)$$

$$P_p = K_p \cdot P_c; \quad (3)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c \text{ при } n_{э} \leq 10; \quad (4)$$

$$Q_p = Q_c \text{ при } n_{э} > 10; \quad (5)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

После суммирования, дальнейший расчет ведется по обобщенным значениям. $K_{и}$ и $\operatorname{tg} \varphi$ по формулам (7) и (8):

$$K_{и} = \frac{\sum P_c}{\sum P_{н}}; \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c}. \quad (8)$$

Суммарная полная мощность:

$$\Sigma S_p = \sqrt{\Sigma P_p^2 + \Sigma Q_p^2}. \quad (9)$$

Суммарный ток:

$$I_{\Sigma} = \frac{\Sigma S_p}{\sqrt{3}U_{л}}, \text{ A}, \quad (10)$$

$$I_{\Sigma} = \frac{753,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1087,7 \text{ A}.$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 4. Результаты расчетов по другим цехам сводим в таблицу 3.

Таблица 4 – Результаты расчета нагрузок по цеху электролиза

Название электроприемника	P_H , кВт	n_{Σ}	ΣP_H , кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_P / K_O	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
Электролизер	34	3	102	0,9	0,9 5	0,33	91,8	30,3	1,0 / -	91,8	33,3	-
Циркуляционный насос	7,5	4	30	0,9	0,8	0,75	27	20,3	1,0 / -	27	22,3	-
Электронный нагреватель	120	4	480	0,9	0,9 5	0,43	432	142,6	1,0 / -	432	256,8	-
Шкаф управления (собственное потребление)	16,5	2	33	0,9	0,9	0,48	29,7	14,3	1,0 / -	29,7	15,7	-
Компрессор	6,6	2	13,2	0,4	0,8	0,75	5,3	3,96	1,52 / -	8,1	4,4	-

Продолжение таблицы 4

Название электроприемника	$P_{Н}$, кВт	$n_{Э}$	$\sum P_{Н}$, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{С}$, кВт	$Q_{С}$, квар	K_{P} / K_{O}	P_{P} , кВт	Q_{P} , квар	S_{P} , кВА
Выпрямитель (собственное потребление)	18	3	54	0,9	0,9	0,48	48,6	23,3	1,0 / -	48,6	25,7	-
Водяной насос	6,5	4	26	0,7 5	0,8	0,75	19,5	14,6	1,0 / -	19,5	16,1	-
Магнитный насос	6	2	12	0,9	0,7 5	0,88	10,8	8,1	1,0 / -	10,8	8,9	-
Итого по установке электролиза	215,1	24	750	0,8 8	-	0,39	664,7	257,5	-	667,5	383,2	-
Вентиляция местная	5,7	3	17,1	0,5	0,8	0,75	8,55	6,4	1,14 / -	9,7	4,9	-
Вентиляция общая	15,2	1	15,2	0,4	0,8	0,75	6,1	4,6	2,0 / -	12,2	5,0	-
Освещение светодиодное (суммарно)	-	18	6	0,6	0,9 2	0,43	3,6	1,6	0,9 / -	3,2	1,6	-
ИТОГО по цеху	236	46	788,3	0,8 6	-	0,39	682,95	270,1	-	692,6	394,7	753,5

2.2 Выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховых ТП

На выбор количества ЦТП влияют многочисленные факторы, главными из которых являются:

- категория надежности эксплуатируемого электрооборудования;
- суммарная нагрузка;
- габаритные размеры цеха.

Данные факторы учтены в обобщающем показателе:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{об}}, \quad (11)$$

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

$F_{об}$ – площадь цеха электролиза, м².

Например, рассчитаем плотность электрической нагрузки цеха электролиза. Его площадь 720 м². Тогда

$$\sigma_{ц,эл} = \frac{753,5}{720} = 1,04 \text{ кВА/м}^2$$

Для рассчитанной плотности электрической нагрузки $\sigma = 1,04 \text{ кВА/м}^2$ рекомендуется использовать экономически целесообразную мощность одного трансформатора не более 1000 кВА [8].

Рассчитываем мощность силовых трансформаторов на подстанции:

$$S_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T} \quad (12)$$

где S_T – полная мощность одного трансформатора, кВА;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора. Для I категории надежности $K_3 = 0,7$ [9];

N_T – количество трансформаторов на подстанции (ПС). Принимаем $N_T = 2$.

$$S_T \geq \frac{753,5}{0,7 \cdot 2} = 538 \text{ кВА}$$

По ГОСТ 12965 – 85 [28] округляем в большую сторону. Выбираем трансформатор мощностью 630 кВА.

Данные трансформаторов можно взять с сайта производителя или из справочника [5]. Технические параметры силового трансформатора ТМГ 630/10/0,4 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Трансформатор ТМГ 630/6/0,4

Тип	$S_{\text{ном.Т}}$ кВА	Каталожные данные				
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		u_k , %	P_k , кВт	P_x , кВт
		ВН	НН			
ТМГ 630/10/0,4	630	10	0,4	6,5	7,6	1,05

Результаты расчета по всему комбинату сведены в таблицу 6.

Таблица 6 - Цеховые трансформаторные подстанции

Трансформаторная подстанция	$S_{\text{тн}}$, кВА	$Q_{1,i}$, квар	$\Delta Q_{\text{т.и}}$, квар	$R_{\text{т.и}}$, Ом	$R_{\text{л.и}}$, Ом
ТП1	800	402,1	29,44	1,22	0,098
ТП2	1000	377,66	50,11	0,99	0,133
ТП3	400	88,24	24,33	4,11	0,098
ТП4	630	241,8	40,01	0,96	0,193
ТП5	800	250,6	33,44	0,99	0,166
ТП6	400	130,07	19,77	4,11	0,101
ТП7	400	130,07	19,77	4,11	0,049
ТП8	800	459,55	28,88	0,96	0,058
ТП9	400	190,22	28,88	4,11	0,188
ТП10	800	199,77	34,44	0,96	0,071
ТП11	800	199,77	34,44	0,96	0,133
ТП12	800	430,33	29,97	0,96	0,041
ТП13	400	249,97	19,89	4,11	0,098
ТП14	400	160,11	19,91	4,11	0,071
ТП15	400	122,31	15,55	4,11	0,155
ИТОГО		3619,9	436,75		

Рассчитаем картограмму активных нагрузок. Задаемся масштабом построения $m=0.28$ кВт/мм² [1]. Нагрузки изображаются в виде окружностей с определенным масштабом. Внутри окружности отображается (штрихуется) сектор осветительной нагрузки $\alpha_{o,i}$ (формула 14) и высоковольтной нагрузки $\alpha_{в,i}$ (формула 15) (при ее наличии).

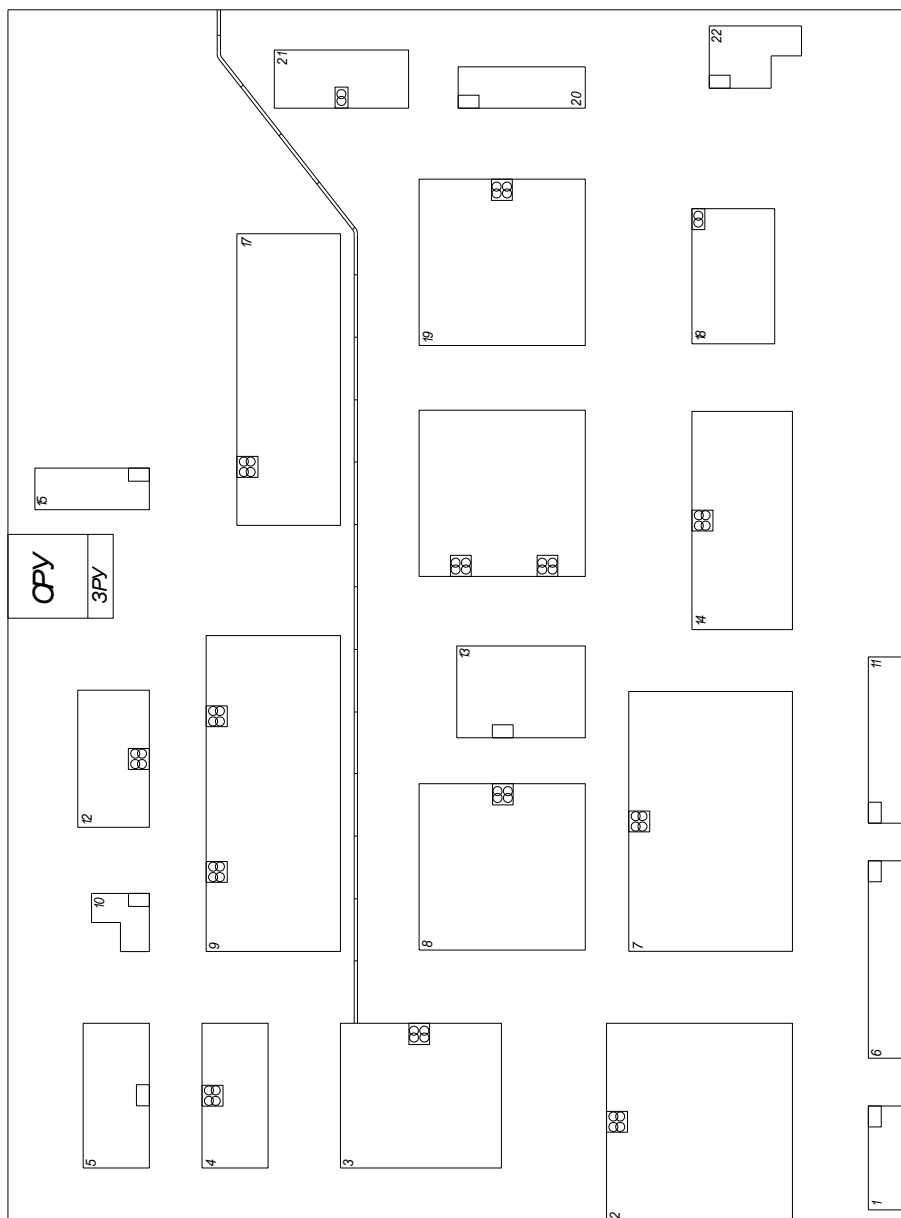


Рисунок 1 - Генплан с размещением ТП

Незаштрихованная область окружности соответствует низковольтной силовой нагрузке $\alpha_{н.і}$ (формула 16). Радиус окружности

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (13)$$

$$\alpha_{Hi} = 360 \cdot \frac{P_{pHi}}{P_{pi}}, \quad (14)$$

$$\alpha_{Bi} = 360 \cdot \frac{P_{pBi}}{P_{pi}}, \quad (15)$$

$$\alpha_{Ci} = 360 \cdot \frac{P_{pCi}}{P_{pi}}. \quad (16)$$

Координаты центров нагрузки:

$$x_0 = \frac{\sum_1^n P_{pi} \cdot X_i}{\sum_1^n P_{pi}}, \quad (17)$$

$$y_0 = \frac{\sum_1^n P_{pi} \cdot Y_i}{\sum_1^n P_{pi}}. \quad (18)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 7 и представлены в графической части проекта.

Таблица 7 – Картограмма электрических нагрузок предприятия

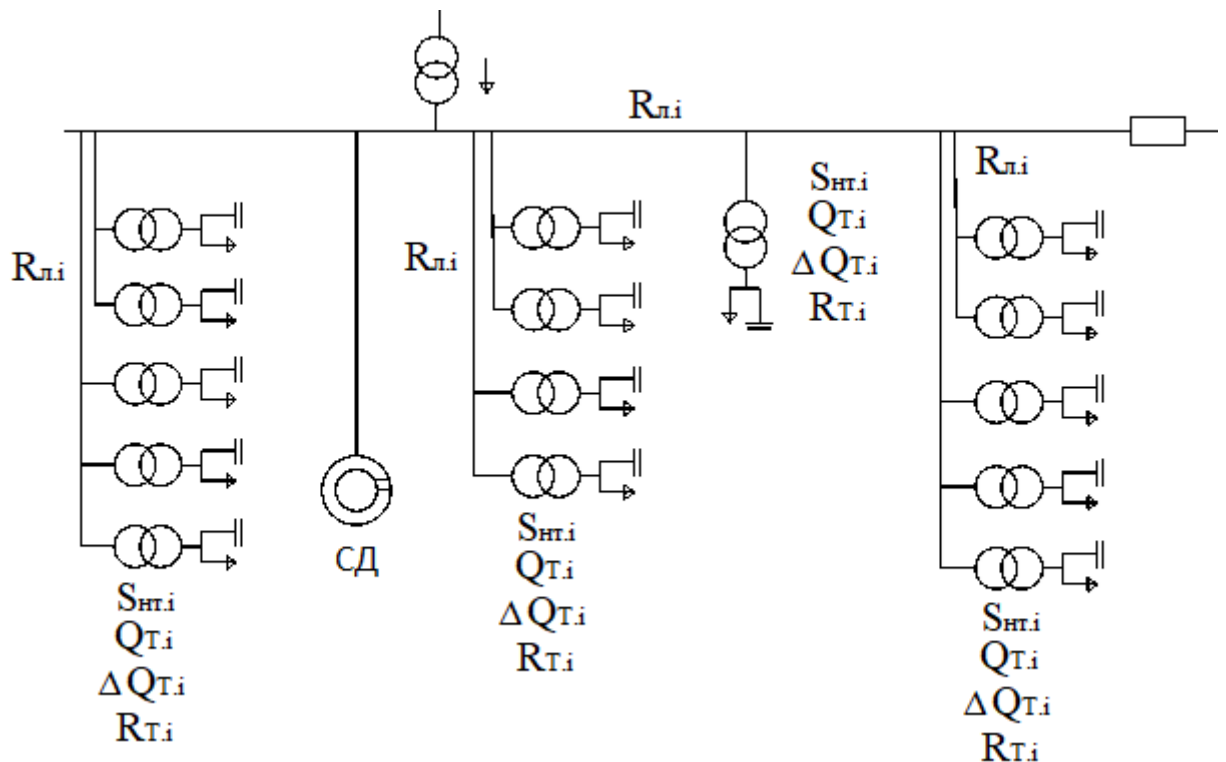
Наименование цехов	P_{pi} , кВт	$P_{p.нi}$, кВт	$P_{p.вi}$, кВт	$P_{p.oi}$, кВт	X_i , м	Y_i , м	R_i , мм	α_{Hi}	α_{Bi}	α_{Oi}
1) ЦЗЛ	55,8	33,0	0	22,8	30	10	8	213	0	147
2) Энергоцех	956,1	854,4	0	101,7	47	101	33	322	0	38
3) Сернокислотный цех	1407,0	1349,0	0	58,1	60	244	40	345	0	15
4) Электроцех	424,6	397,3	0	27,3	60	327	22	337	0	23
5) РМЦ	189,3	162,0	0	27,3	60	385	15	308	0	52
6) Заводоуправление	68,0	30,0	0	38,0	126	10	9	159	0	201
7) Цех электролиза меди	788,3	579,2	0	111,2	192	97	55	120	224	15
8) Цех электропечей	947,4	872,1	0	75,3	170	197	33	331	0	29

Продолжение таблицы 7

Наименование цехов	$P_{pi},$ кВт	$P_{p.ni},$ кВт	$P_{p.vi},$ кВт	$P_{p.oi},$ кВт	$X_i,$ м	$Y_i,$ м	$R_i,$ мм	α_{ni}	α_{vi}	α_{oi}
9) Цех по производству редких металлов	2174,6	1065,6	0	109,0	205	312	37	327	0	33
10) Кислородная станция	137,4	132,0	0	5,4	147	379	13	346	0	14
11) Столовая	150,0	112,0	0	38,0	231	10	13	269	0	91
12) Специализированный ремонтно-монтажный цех	411,2	385,4	0	25,8	222	388	22	337	0	23
13) Цех КИПиА	233,0	201,5	0	31,6	255	187	16	311	0	49
14) Цех волочения и производства эмалипровода	518,9	456,0	0	62,9	337	80	24	316	0	44
15) Компрессорная	171,6	160,0	0	11,7	344	398	14	336	0	24
16) Цех аффинажа золота и серебра	2351,8	2287,2	0	64,6	351	193	52	350	0	10
17) Купоросный цех	611,2	544,5	0	66,7	405	300	26	321	0	39
18) Учебные мастерские	124,9	94,5	0	30,4	455	86	12	272	0	88
19) Сушильный цех	555,2	494,2	0	61,0	461	198	25	320	0	40
20) Склад оборудования	21,8	10,8	0	11,0	545	187	5	178	0	182
21) Металлургический	6318,6	178,6	6120	20,1	549	275	78	12	347	1
22) Пожарное депо	23,8	16,5	0	7,3	562	80	5	249	0	111
Итого	18480,6	10715,5	6758	1007	316,7	219,4	-	-	-	-

В результате расчетов определили координаты центра нагрузок ($x_0 = 316,7$ м, $y_0 = 219,4$ м) и ГПП ($x_{гпп} = 300$ м, $y_{гпп} = 386$ мм/м).

На комбинате большое количество электроприемников технологического оборудования содержат реактивные элементы, из-за которых в электросети появляется реактивная энергия. Расчет выполним по [2]. Схема замещения для расчета реактивной мощности показана на рисунке 2. Результат расчета в таблице 6.



$S_{нт.i}$ – мощность, передаваемая через i -ю ТП; $Q_{т.i}$ – реактивная мощность, передаваемая через i -ю ТП; $\Delta Q_{т.i}$ – потери реактивной мощности на ТП; $R_{т.и}$ – приведенное к 10 кВ омическое сопротивление Tr ТП; $R_{ли}$ – омическое сопротивление i -ой цепи; СД- синхронные двигатели

Рисунок 2 – Схема замещения расчета реактивной мощности

На медеплавильном комбинате используются два высоковольтных синхронных двигателя (СД) типа СТД мощностью 1600 кВт, реактивная мощность которых 705 квар, активные потери в обмотках двигателя 4,25 кВт. Коэффициент предельной реактивной перегрузочной способности СД $\alpha_{м.i} = 0.55$. Тогда располагаемая реактивная мощность СД:

$$Q_{сд.ми} = \alpha_{ми} \cdot N_i \cdot \sqrt{P_{сд,н}^2 + Q_{сд,н}^2}, \quad (19)$$

$$Q_{сд.м.i} = 0.55 \cdot 2 \cdot \sqrt{1600^2 + 705^2} = 1923 \text{ кВА.}$$

Экономическая составляющая от реактивных потерь:

$$C_0 = \delta \cdot (\alpha \cdot K_M + \beta \cdot \tau), \text{ руб/кВт}, \quad (20)$$

где δ – поправочный коэффициент, принимаем $\delta=1,03$;

α – базовая тарифная ставка. Принимаем 12275 руб/кВт·год [4];

β – цена за 1 кВт·ч. Принимаем 5,58 руб/кВт [4];

$K_M = 0,81$ – коэффициент максимума, показывающий разницу между максимальной активной нагрузкой и потерями электроэнергии, соответствующими данной нагрузке;

τ – базовый годовой расход электроэнергии. Принимаем 10995 кВт·год [4];

$$C_0 = 1,03(12275 \cdot 0,81 + 5,58 \cdot 10995) = 73433,7 \text{ руб/кВт}$$

Экономическая составляющая затрат на генерацию реактивной мощности синхродвигателями:

$$Z_{г.сд} = C_0 \cdot \frac{D_r}{Q_{сд,н}}, \text{ руб/кВт}, \quad (21)$$

$$Z_{г.сд} = 73433,7 \cdot \frac{4,25}{705} = 443 \text{ руб/кВт}$$

Эквивалентное активное сопротивление СД:

$$R_{э.сд} = \frac{R_{л.сд}}{N_i} + \frac{Z_{г.сд}}{a \cdot C_0}, \text{ Ом}, \quad (22)$$

где $R_{л.сд} = 3,5$ Ом – активное сопротивление кабеля между ОРУ и СД;

a – удельный коэффициент приведения напряжения (23).

$$a = \frac{1000}{U_H^2}, \quad (23)$$

$$a = \frac{1000}{10^2} = 10 \text{ кВ},$$

$$R_{э.сд} = \frac{3,5}{2} + \frac{443}{10 \cdot 73433,7} = 1,75 \text{ Ом}.$$

Результаты расчета номинальных значений конденсаторных батарей сведены в таблицу 9.

Таблица 9 - Номинальные значения конденсаторных батарей

Место установки БК	R _{эi} , Ом	Q _{сi} , Мвар		Q _{кi} , квар	Q _{кi} + Q _{сi} , квар	Тип принятой стандартной БК	Q _{сгi} , квар
		Расчетное	Принятое				
ТП1	1,780	-0,060	0	23,45	23,45	-	-
ТП2	1,450	-0,167	0	154,03	154,03	УКЛН-0,38-150-50-У3	150
ТП3	3,824	-0,112	0	291,44	291,44	УКЛН-0,38-300-150 У3	300
ТП4	1,490	-0,304	0	243,20	243,20	УКБН-0,38-200-50У3 УК2-0,38-50 У3	250
ТП5	1,346	-0,361	0	151,71	151,71	УКЛН-0,38-150-50-У3	150
ТП6	4,010	-0,065	0	99,90	99,90	УК4-0,38-100 У3	100
ТП7	3,670	-0,085	0	99,90	99,90	УК4-0,38-100 У3	100
ТП8	1,227	-0,214	0	0	0	-	-
ТП9	3,846	-0,010	0	15,16	15,16	-	-
ТП10	1,517	-0,333	0	0	0	-	-
ТП11	1,435	-0,366	0	0	0	-	-
ТП12	1,250	-0,233	0	0	0	-	-
ТП13	3,965	0,057	0,057	0	56,79	УК2-0,38-50 У3	50
ТП14	3,997	-0,036	0	200,73	200,73	УКБН-0,38-200-50У3	200
ТП15	3,918	-0,092	0	0,00	0,00	-	-
ГПП	0	1,742	1,742	-	-	УКЛ-10,5-1800 У1	1800
ИТОГО	-	-	-	1279,526	1336,315	-	3100

2.3 Выбор напряжения, схемы внешнего электроснабжения

Суммарная P_{рп} на НН ГПП:

$$P_{рп} = 0.9 \cdot (P_{рн} + \Delta P_{\tau}) + 1 \cdot (P_{росв.н} + P_{росв.тер} + P_{рв}), \quad (24)$$

$$P_{рп} = 0,9 \cdot (10715,5 + 213,6) + 1 \cdot (1007 + 652,3 + 6758) = 17578 \text{ кВт.}$$

По формуле Стилла приближенно определим наиболее рациональный уровень напряжения:

$$U_{\text{рац}} = 4,34 \cdot \sqrt{L_i + 0,016 \frac{P_{\text{рп}}}{2}}, \quad (25)$$

где $L_i = 2,8$ км – расстояние между ГПП и энергосистемой

$$U_{\text{рац}} = 4,34 \sqrt{2,8 + 0,016 \frac{17578}{2}} = 51,97 \text{ кВ}$$

Принимаем к дальнейшему сравнению два варианта высокого напряжения – 35 и 110 кВ (см. рисунок 3). По [5] задаемся $tg\varphi_{35\text{кВ}} = 0,27$ и $tg\varphi_{110\text{кВ}} = 0,31$. Активную мощность $P_{\text{рп}} = 10908$ кВт принимаем по таблице 3.

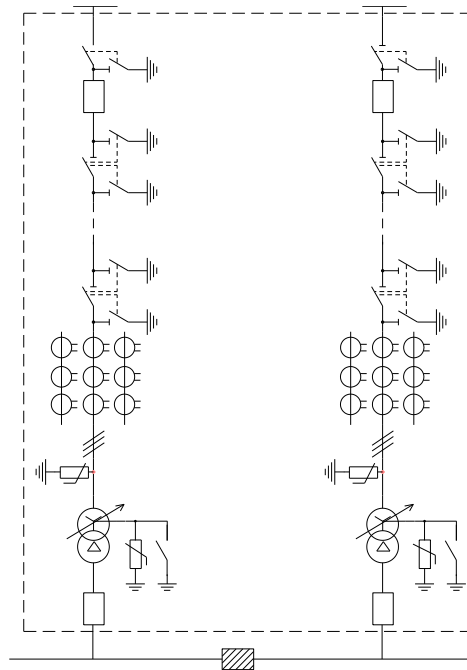


Рисунок 3 - Схема электроснабжения ГПП

Тогда реактивная мощность для каждой энергосистемы:

$$Q_{\text{ЭС.35кВ}} = P_{\text{рп}} \cdot tg\varphi_{35\text{кВ}}, \quad Q_{\text{ЭС.110кВ}} = P_{\text{рп}} \cdot tg\varphi_{110\text{кВ}}. \quad (26)$$

Полная мощность для каждой энергосистемы:

$$S_{\text{рп.35кВ}} = \sqrt{P_{\text{рп.35кВ}}^2 + Q_{\text{рп.35кВ}}^2}, S_{\text{рп.110кВ}} = \sqrt{P_{\text{рп.110кВ}}^2 + Q_{\text{рп.110кВ}}^2}. \quad (27)$$

«Потери на ГПП принимаем в процентном отношении от полной мощности – 7%» [11]. Данные расчета сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Полная нагрузка

Электросеть, кВ	$tg\varphi$	$Q_{\text{ЭС}}$, квар	$\Delta Q_{\text{ЭС.ГПП}}$, квар	$S_{\text{рп}}$, кВА
35 кВ	0,27	3011	1311	12311
110 кВ	0,31	3499	1314	12409

К установке на ГПП приняты два трансформатора $N_T=2$. Мощность одного из них:

$$S_T \geq \frac{S_{\text{рп}}}{N_T \cdot K_{\text{з,доп}}}, \quad (28)$$

где $K_{\text{з,доп}} = 0,7$ - нормируемый коэффициент нагрузки [14]

$$S_{T.35} = \frac{12311}{2 \cdot 0.7} = 8793 \text{ кВА}$$

$$S_{T.110} = \frac{12409}{2 \cdot 0.7} = 8864 \text{ кВА}$$

2.4 Техничко-экономическое обоснование схем электроснабжения

Сравнение проведено по таким показателям для каждого уровня напряжения как потери электроэнергии в обмотках трансформаторов ГПП, в электролиниях между ГПП и энергосетью, стоимости защитной аппаратуры [25].

Задаемся по [10] пиковой получасовой нагрузкой и временем работы комбината в году (непрерывный цикл производства). Определим время работы комбината, на которое приходится наибольшее количество потерь:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_M}{10^4})^2 \cdot T_{\Gamma}, \quad (29)$$

$$\tau = (0,124 + \frac{3770}{100000})^2 \cdot 8760 = 229 \text{ ч}$$

Активные потери в трансформаторе для каждой энергосистемы:

$$\Delta A_{\tau,i} = N \cdot (P_{xx} \cdot T_{\Gamma} + K_{кз}^2 \cdot P_{кз} \cdot \tau), \quad (30)$$

где P_{xx} – потери ХХ трансформатора. Принимаем по [8]

$$P_{\text{ХХ.ТДНС-16000/35}} = 17 \text{ кВт}, P_{\text{ХХ.ТДНС-16000/110}} = 18 \text{ кВт},$$

$P_{кз}$ – потери КЗ трансформатора. Принимаем по [8]

$$P_{\text{КЗ.ТДНС-16000/35}} = 85 \text{ кВт}, P_{\text{КЗ.ТДНС-16000/110}} = 85 \text{ кВт},$$

$$\Delta A_{\text{ТДНС-16000/35}} = 2 \cdot (17 \cdot 8760 + 0,7^2 \cdot 85 \cdot 229) = 316915 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta A_{\text{ТДНС-16000/110}} = 2 \cdot (18 \cdot 8760 + 0,7^2 \cdot 85 \cdot 229) = 334436 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Электролинии напряжением 35 кВ между ГПП и энергосистемой предположительно должны быть выполнены проводом АС-120/27, а напряжением 110 кВ – проводом АС-70/11. Годовые активные потери в линиях:

$$\Delta A_{л} = N \cdot (3 \cdot I_{\text{рл}}^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot \tau), \quad (31)$$

где r_0 , Ом/км – удельное активное сопротивление провода. Принимаем

$$\text{по [19]} r_{0,35\text{кВ}} = 0,253 \text{ Ом/км}, r_{0,110\text{кВ}} = 0,429 \text{ Ом/км};$$

$I_{\text{рл}}$ – ток, протекающий по проводам соответствующей линии (32)

$$I_{\text{рл}} = \frac{S_{\text{рл}}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{Н}}}, \quad (32)$$

где $S_{рл}$ – нагрузка в начале провода, кВА (33)

$$S_{рп.i} = \sqrt{(P_{рп} + \Delta P_T)^2 + Q_K^2}, \quad (33)$$

$$S_{рп.35кВ} = \sqrt{(10715,5 + 213,6)^2 + 4746^2} = 11914 \text{ кВА},$$

$$S_{рп.110кВ} = \sqrt{(10715,5 + 213,6)^2 + 5449^2} = 12211 \text{ кВА},$$

$$I_{рп.35кВ} = \frac{11914}{\sqrt{3} \cdot 3 \cdot 35} = 65,5 \text{ А},$$

$$I_{рп.110кВ} = \frac{12211}{\sqrt{3} \cdot 3 \cdot 110} = 21,3 \text{ А},$$

$$\Delta A_{Л.35кВ} = 2 \cdot (3 \cdot 65,5^2 \cdot 0,253 \cdot 2,8 \cdot 229) = 4175878 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta A_{Л.110кВ} = 2 \cdot (3 \cdot 21,3^2 \cdot 0,429 \cdot 2,8 \cdot 229) = 748792 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Определение потерь между районной подстанцией и ГПП комбината.

Начальная передаваемая мощность:

$$S_{рп} = \sqrt{(P_{рп} + \Delta P_T)^2 + Q_{эс}^2}. \quad (34)$$

Соответствующий передаваемой мощности ток:

$$I_{рп} = \frac{S_{рп}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_H}. \quad (35)$$

Аварийной ток через одну линию:

$$I_{п} = 2 \cdot I_{рп}. \quad (36)$$

Задаемся экономической плотностью тока $j_s = 1,1 \text{ А/мм}^2$ и определяем сечения проводов. Результат расчета заносим в таблицу 12. Годовые потери активной энергии находим по формуле (37)

$$\Delta A_{\text{рл}} = N \cdot (3 \cdot I_{\text{рл}}^2 \cdot r_0 \cdot l_{\text{л}} \cdot \tau). \quad (37)$$

Таблица 12 – Потери между ГПП и районной РП

Напряжение, кВ	35	110
Срл, кВА	14328	14127
Ірл, А	138	39
Іп, А	286	87
јэ, А/мм ²	1,1	1,1
Fэ, мм ²	118,1	39,98
Марка провода	АС - 120/27	АС - 70/11
Ід, А	375	265
го, Ом/км	0,253	0,429
хо, Ом/км	0,391	0,444
L, км	3	3
ΔАл, кВт·ч	119541	39325

Выбор коммутационного высоковольтного оборудования осуществляем по [2]. Выбранные аппараты должны удовлетворять требованиям по электродинамической и термической стойкости и должны быть выбраны с учетом номинальных и рабочих значений токов и напряжений. Для ВН 35 кВ в качестве высоковольтного выключателя используем элегазовый выключатель серии ВГБЭ-35-630/12,5, производства «Пан-Энерго» г. Екатеринбург (см. таблицу 13, рисунок 4) [8]

Для ВН 110 кВ в качестве высоковольтного выключателя используем элегазовый выключатель серии 100-SFMT-40E, разработка Mitsubishi Electric, производства КНР (см. таблицу 14, рисунок 5) [9].

Защиту от перенапряжения в сети 35 кВ осуществим ограничителем перенапряжения ОПНп-35/550/(37-40,5)-10-III-УХЛ1 (см. рисунок 6), в сети 110 кВ ограничителем напряжения ОПНп-110/73/10/550-УХЛ1. Технические параметры обоих ограничителей сведены в таблицу 15.



Рисунок 4 - Элегазовый выключатель серии ВГБЭ-35-630/12,5, производства «Пан-Энерго» г. Екатеринбург

Таблица 13 – Основные параметры ВГБЭ-35-630/12,5

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Величина
Номинальный ток	$I_{\text{НОМ}}$	А	630
Номинальная мощность	$S_{\text{НОМ}}$	МВА	750
Ток разъединения номинальный	$I_{\text{ОТКЛ}}$	кА	12,5
Ток разъединения предельно допустимый	I_m	кА	32
Время отключения	$t_{\text{ОТКЛ}}$	с	0.04
Время включения	$t_{\text{ВКЛ}}$	с	0.1

После выбора основного (наиболее дорогостоящего) электротехнического оборудования выполним сравнение технико-экономических показателей СЭС на 35 и 110 кВ по удельной стоимости потерь электроэнергии:

$$C_0 = \delta \cdot \left(\frac{\alpha \cdot K_M}{\tau} + \beta \right), \text{ руб}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}), \quad (38)$$

где α – основная тарифная ставка для данного комбината. Принимаем $\alpha_{35} = 2455$ руб/(кВт·ч), $\alpha_{110} = 2380$ руб/(кВт·ч) [23];
 K_M – коэффициент максимума. Принимаем по справочной литературе для металлургического предприятия $K_M = 0,79$ [16];
 τ - время работы трансформатора в году с максимальными потерями. Принимаем для трансформатора ТДНС-16000/35 и ТДНС-16000/110 $\tau = 2199$ ч [16];
 δ - поправочный коэффициент. По [4] принимаем $\delta = 1,03$;
 β - дополнительная ставка тарифа на электроэнергию. Принимаем по данным комбината $\beta_{35} = 1,71$ руб/(кВт·ч), $\alpha_{110} = 1,13$ руб/(кВт·ч) [23].

$$C_{0.35} = 1,03 \cdot \left(\frac{2455 \cdot 0,79}{2199} + 1,71 \right) = 2,67 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$$

$$C_{0.110} = 1,03 \cdot \left(\frac{2380 \cdot 0,79}{2199} + 1,13 \right) = 2,04 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$$



Рисунок 5 - Элегазовый выключатель серии 100-SFMT-40E, разработка Mitsubishi Electric, производства КНР

Таблица 14 – Основные параметры 100-SFMT-40E

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Величина
Номинальный ток	$I_{\text{ном}}$	А	120
Номинальная мощность	$S_{\text{ном}}$	МВА	13,5
Ток разъединения номинальный	$I_{\text{откл}}$	кА	40
Ток разъединения предельно допустимый	I_m	кА	43
Время отключения	$t_{\text{откл}}$	с	0.06
Время включения	$t_{\text{вкл}}$	с	0.15



Рисунок 6 – Ограничитель напряжения ОПНп-35/550/(37-40,5)-10-III-УХЛ1

Таблица 15 – Основные параметры ограничителей напряжения

Параметр	Модель ограничителя напряжения	
	ОПНп-35/550/(37-40,5)-10-III-УХЛ1	ОПНп-110/73/10/550-УХЛ1
Номинальное напряжение, кВ	35	110
Действующее значение длительно допустимого напряжения, кВ	37	73
Ток разряда номинальный, кА	10000	10000
Классификационное напряжение ограничителя при $I_{\text{кл}}=2\text{мА}$, кВ, не менее	49,3	95
Способность к рассеиванию энергии расчетного прямоугольного импульса 2000 мкс, кДж, не менее	120	177

Пропускная способность ОПН (2000 мкс), А	550	550
--	-----	-----

Стоимость потерь по СЭС 110 кВ меньше, чем при уровне электроснабжения 35 кВ на 23%. Кроме этого, есть рекомендация ПУЭ принимать к проекту более высокое напряжение, даже если их технико-экономические показатели незначительно (10...15%) хуже. Поэтому принимаем уровень высокого напряжения 110 кВ.

2.5 Расчет токов короткого замыкания

Рассчитаем токи КЗ при замыкании на входе ВЛ в ГПП (точка К2) и на районной подстанции центральной энергосистемы (точка К1) (см. рисунок 7). Принимаем к расчету величину базисного напряжения $U_6 = 115 \text{ кВ}$ ($U_n = 110 \text{ кВ}$), а базисную мощность КЗ $S_6 = 1000 \text{ МВА}$. Расчет выполним в табличном виде (см. таблицу 16).

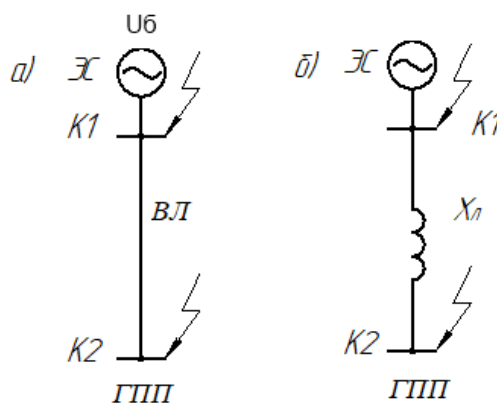


Рисунок 7 – СЭС: а) электрическая схема; б) схема замещения

Таблица 16 – Расчет тока КЗ

Параметр КЗ [11]	Расчетная формула	Единицы измерения	Величина
S_6	Принято к расчету	МВА	1000
S_c	Данные по комбинату	МВА	3000

U_6	Принято к расчету	кВ	115
-------	-------------------	----	-----

Продолжение таблицы 16

Параметр КЗ [11]	Расчетная формула	Единицы измерения	Величина
x_c	$x_c = \frac{S_6}{S_c}$	о.е	0,33
$x_{л}$	$x_{л} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_6^2}$	о.е	0,1
$x_{к1}$	$x_{к1} = x_c$	о.е	0,33
$I_{к1}$	$I_{к1} = I_{пт} = I_{по} \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6 \cdot x_{к1}}$	кА	15,06
K_y	-	-	1,72
$i_{уд}$	$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{к1}$	кА	36,64
$t_{с3}$	-	с	0,01
$t_{св}$	-	с	0,08
t	$t = t_{с3} + t_{св}$	с	0,09
T_a	-	с	0,05
$I_{ат}$	$I_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$	кА	3,52
$S_{к.ст}$	$S_{к.ст} = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot I_{к1}$	МВА	3000
$x_{к2}$	$x_{к2} = x_c + x_{л}$	о.е	0,43
$I_{к2}$	$I_{к2} = I_{по} \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6 \cdot x_{к2}}$	кА	11,57
K_y	-	-	1,80
$i_{уд}$	$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{к2} \cdot k_y$	кА	29,44
$t_{с3}$	-	с	0,01
$t_{св}$	-	с	0,08
t	$t = t_{с3} + t_{св}$	с	0,09
T_a	-	с	0,05
$I_{ат}$	$I_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{к2} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$	кА	2,7
$S_{к.ст}$	$S_{к.ст} = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot I_{к2}$	МВА	2303,87

2.6 Расчет и выбор электрооборудования

Определим мощность трансформатора для собственных нужд ГПП

$$S_{\text{ТСН}} = S_{\text{НТ}} \cdot 0,5\%, \quad (39)$$
$$S_{\text{ТСН}} = 16000 \cdot 0,005 = 80 \text{ кВА}$$

Принимаем ближайший стандартный больший номинал и марку трансформатора: ТМ-100/10. Для его защиты применяем предохранитель ПКТ-101-10-10-31,5 УЗ с номинальным током $I_{\text{п}}$, А, определяемым по формуле:

$$I_{\text{п}} = \frac{S_{\text{ТСН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (40)$$
$$I_{\text{п}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,77 \text{ А}$$

Для выбора РУ 10 кВ необходимо определить два тока: номинальный через ГПП (формула 41) и максимальный через ГПП (формула 42).

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{НТ}} \cdot K_{\text{зн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (41)$$
$$I_{\text{н}} = \frac{16000 \cdot 0,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 616,1 \text{ А}$$

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{НТ}} \cdot K_{\text{зна}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (42)$$
$$I_{\text{м}} = \frac{16000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1229,3 \text{ А}$$

По рассчитанным токам принимаем комплектное РУ 10 кВ типа К-104М включающее в себя:

- «выключатели серии VF-12 (VF-12.12.16);
- разъединитель штепсельный РВР-10;
- трансформаторы тока ТЛК-10, ТЛШ-10 (ТЛК-1-10-1500-0,5/10Р);

- трансформаторы напряжения ЗНОЛ.06-10, НОЛ.09-10, НАМИ-10;
- трансформатор тока нулевой последовательности ТЗЛМ;
- предохранители для защиты трансформаторов измерительных типа ПКТ» [6];

Проверим выбранный автоматический выключатель VF-12.12.16 на соответствие параметрам:

$$\begin{aligned}
 U_{уст} &\leq U_{ном}; \\
 12 \text{ кВ} &\leq 10 \text{ кВ}; \\
 I_{max} &< I_{ном}; \\
 1229.3 \text{ А} &< 1250 \text{ А}; \\
 I_{по} &< I_{дин}; \\
 10.9 \text{ кА} &< 16 \text{ кА}; \\
 I_{уд} &< i_{дин}; \\
 25.6 \text{ кА} &< 40 \text{ кА}; \\
 I_{a,\tau} &< i_{a.ном}; \\
 i_{a.ном} &= \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} \cdot \beta, \tag{43}
 \end{aligned}$$

где $I_{отк.н} = 16 \text{ кА}$ – ток отключения автомата (по datasheet);

$\beta = 20\%$ - влияние апериодической составляющей на ток КЗ;

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot 16 \cdot 0,2 = 4,53 \text{ кА};$$

$$4,36 \text{ кА} < 4,53 \text{ кА};$$

$$B_K < I_{тер}^2 t_{тер};$$

$$14,1 \text{ кА}^2\text{с} < 768 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Автоматический выключатель VF-12.12.16 выполняет все критерии и может быть применим в РУ 10 кВ.

Аналогично проверим выбранный трансформатор тока (ТТ) ТЛК-1-10-1500-0,5/10Р на соответствие параметрам:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

$$I_{max} < I_{ном};$$

$$1229.3 \text{ А} < 1500 \text{ А};$$

$$I_{уд} < i_{дин};$$

$$25.6 \text{ кА} < 81 \text{ кА};$$

$$B_K < I_{тер}^2 t_{тер};$$

$$14,1 \text{ кА}^2\text{с} < 2976 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Трансформатор тока ТЛК-1-10-1500-0,5/10Р выполняет все критерии по первичной цепи и может быть применим в РУ 10 кВ. Для получения достоверной измерительной информации необходимо проверить его вторичную цепь по нагрузке. Согласно рисунку 8, нагрузкой ТТ является электросчетчик ЦЭ-2727 с потребляемой мощностью собственной измерительной системой приблизительно 2,5 ВА и амперметр Э-335 с аналогичной мощностью 0,5 ВА. То есть суммарная нагрузка для ТТ $S_{сум} = 3,0 \text{ ВА}$. Вторичный ток прибора 5А.

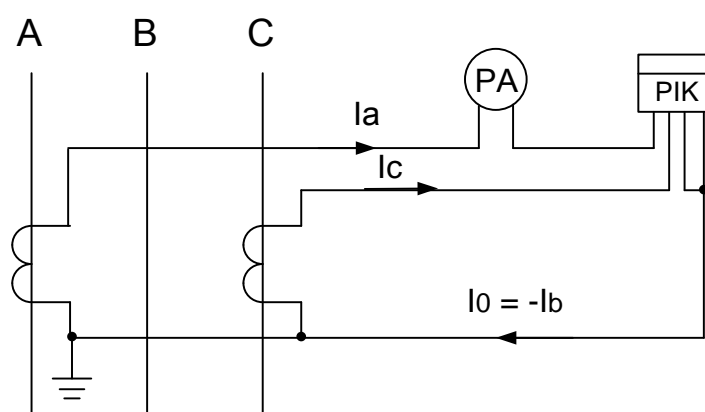


Рисунок 8 – Нагрузка ТТ ТЛК-1-10-1500-0,5/10Р

Определим сопротивление ТТ:

$$r_{TT} = \frac{S_{\text{сум}}}{I_2^2}, \quad (44)$$

$$r_{TT} = \frac{3}{5^2} = 0,12 \text{ Ом}$$

Принимаем по справочным данным:

- сопротивление контактов $r_k = 0,05 \text{ Ом}$ [27];

- полное сопротивление вторичной цепи $Z_{2.\text{ном}} = 0,4 \text{ Ом}$ [27].

Определяем сопротивление соединительных проводов между ТТ и измерительными приборами:

$$r_{\text{пров}} = Z_{2.\text{ном}} - r_{TT} - r_k, \text{ Ом}, \quad (45)$$

$$r_{\text{пров}} = 0,4 - 0,12 - 0,05 = 0,23 \text{ Ом}.$$

Так как для присоединения измерительной аппаратуры рекомендуется использовать медные многожильные провода, то выбираем контрольный кабель КРВГ с удельным сопротивлением жилы $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Расстояние от ТТ до шкафа $l_{\text{T-П}}$ со счетчиком и амперметром обычно в ТП равно 6 метров. Длину провода $l_{\text{расч}}$ принимают с запасом в $\sqrt{3}$ раз:

$$l_{\text{расч}} = l_{\text{T-П}} \cdot \sqrt{3}, \quad (46)$$

$$l_{\text{расч}} = 6 \cdot \sqrt{3} = 10,39 \text{ м}$$

Сечение провода КРВГ:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров}}}; \quad (47)$$

$$q = \frac{0,0175 \cdot 10,39}{0,23} = 0,79 \text{ мм}^2$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение 1,0 мм².

«Для защиты от замыкания на землю отдельных жил трехфазного кабеля применим трансформаторы тока нулевой последовательности типа ТЗЛМ-1 с диапазоном рабочего напряжения 3-110 кВ» [12].

Выбираем трансформатор напряжения (ТН) для стороны 10 кВ. Схема подключения на рисунке 9. Выбор производится по величине номинального напряжения (10 кВ) и типа ячеек КРУ (К-104М).

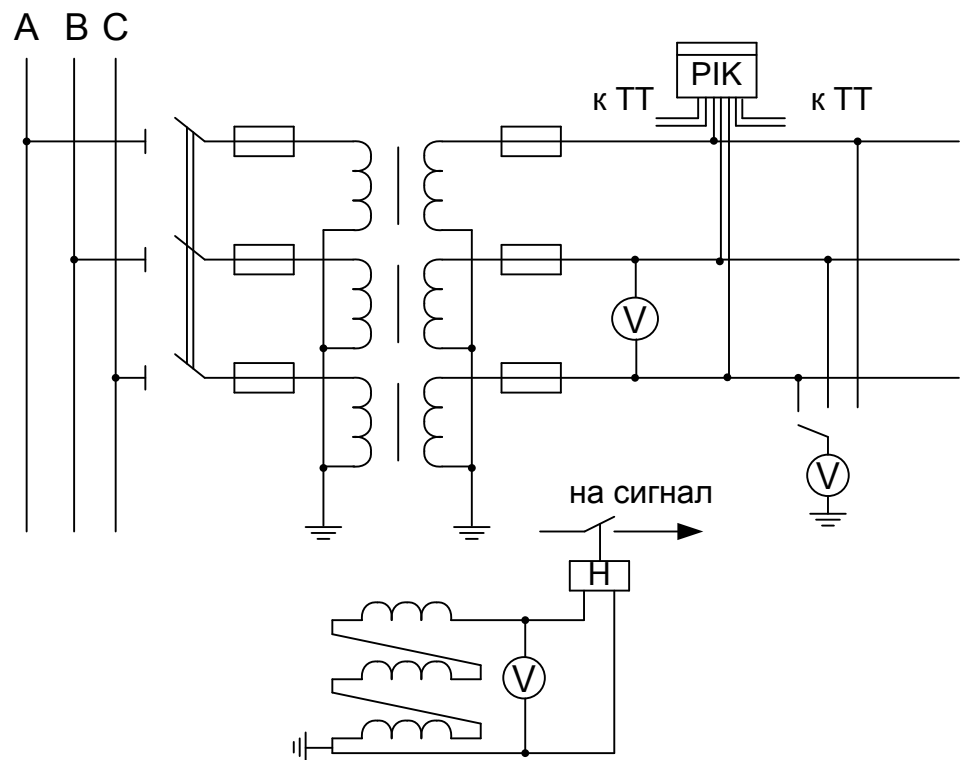


Рисунок 9 - Схема подключения трансформатора напряжения

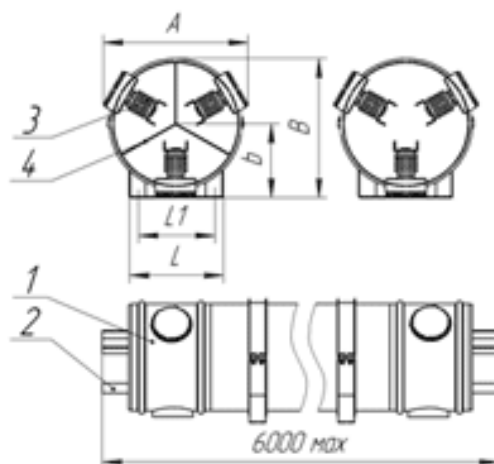
Выбираем ТН типа ЗНОЛ.09-10.02 УЗ. Проверяем соответствие мощности вторичных цепей ТН подключаемой нагрузке: $S_{нагр} \leq S_{2ном}$. Определим мощность нагрузки, подключаемой к ТН – это три вольтметра Э-335 ($P_H=6$ Ом, $Q_H=0$ вар) и тринадцать электросчетчиков ЦЭ-2727 ($P_H=5,85$ Ом, $Q_H=14,66$ вар) в количестве трех штук. Их суммарная активная

мощность измерительной системы $P=82$ Ома, реактивная мощность – 190,6 вар.

Согласно паспортным данным [2] $S_{2ном} = 75$ ВА. Так как фаз три, суммарная мощность вторичных цепей в три раза выше – 225 ВА. Тогда полная мощность нагрузки ТН:

$$S_{нагр} = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (48)$$
$$S_{нагр} = \sqrt{82^2 + 190,6^2} = 206,8 \text{ ВА}$$

Выбор токопроводов для подключения нагрузки 10 кВ проводится по номинальному напряжению ($U_n=10$ кВ) и току нагрузки ($I_n=2000$ А). Выбираем токопроводы ТЗК-10-2000-50 (см. рисунок 10): «токопроводы поставляются на монтаж отдельными секциями длиной не более 6 м. Все секции на месте монтажа стыкуются и свариваются между собой электросваркой в среде защитных газов» [22].



1 – оболочка; 2 – шина токоведущая; 3 – изолятор; 4 – разделительная перегородка

Рисунок 10 – Токопровод ТЗК напряжением 10 кВ на ток 2000А

Защитная аппаратура 10 кВ представлена выключателями типа VF-12-40

М-10-20-А-630-02.04 У3 (см. рисунок 11): вакуумного типа, выкатного исполнения, рабочий ток 630А, пружинный привод независимого действия, скорость перемещения контактов при размыкании 0,6 м/с.

Определим минимальное сечение кабеля 10 кВ:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (49)$$

где C – металлический коэффициент. Принимаем для меди $C=100$;

B_K – «тепловой импульс квадратичного тока КЗ» [18]:

$$B_K = I_{п.о}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (50)$$

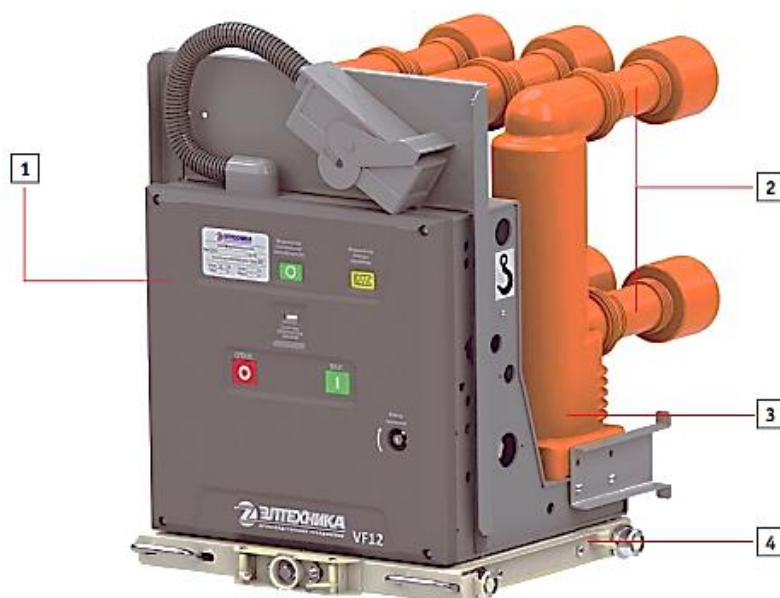
где $I_{п.о}$ – ток КЗ (см. таблицу 16);

$t_{откл}$ – полное время отключения, с;

T_a – собственное время срабатывания, с

$$B_K = 15,06^2 \cdot (0,06 + 0,055) = 34,02 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{34,02}}{100} = 58,3 \text{ мм}^2$$



1 – корпус с приводом; 2 – контактная система; 3 – полюс с вакуумной дугогасительной камерой; 4 – тележка аппаратная

Рисунок 11 – Вакуумный выключатель 10 кВ серии VF

Принимаем кабель марки ААП2л 2×(3×70). Если расчетное сечение отдельных ТП будет меньше 58,3 мм², то принимается кабель сечением 70 мм². В цеховых ТП применяем «комплектные трансформаторные подстанции (КТП). КТП-400, КТП-800 и КТП-1000 комплектуются выключателями нагрузки типа ВНПу-10/100-16 с пружинным приводом со встроенными предохранителями ПКТ» [15]. Для РПН1...9 выбрали автоматические выключатели АВМ4С; $I_{ном} = 400$ А; $I_о = 20$ кА.

Выводы.

Выбранное электрооборудование для снабжения электрической энергией электроприемников медеплавильного комбината проверено по критериям качества, соответствуют электрическим показателям, и обеспечивает высокую надёжность проектируемой системы электроснабжения.

3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда

3.1 Безопасность жизнедеятельности на ГПП

ГПП является местом повышенной опасности, поэтому при ее строительстве необходимо строго выполнять требования ПУЭ и СНиП.

РУ 10 кВ – комплектное. Основное здание ЗРУ - железобетонное.

Для удовлетворения требований ПУЭ п.п.4.2 приняты «следующие меры безопасности:

- территория ГПП и заходы на нее расположены на незаселенной местности;
- территория подстанции имеет небольшой уклон (от 1 до 3%) для удаления дождевых стоков. Уклон не более 3%;
- для ограничения доступа на территорию ГПП она огорожена забором высотой два метра;
- предусмотрена по соседству свободная территория для возможного увеличения площади территории» [21].

Для обеспечения транспортной доступности на территории имеются проезды шириной 3,5 м.

3.2 Электробезопасность

Основным мероприятием, обеспечивающим электробезопасность на объекте, является выполнение всех норм безопасности. «Все токоведущие части, доступные случайному прикосновению, ограждены металлической сеткой с окном 25×25 мм; на всем электрооборудовании ОРУ и ЗРУ выполнены надписи и мнемосхемы, поясняющие назначение электрооборудования, а также вывешены предупреждающие плакаты» [7].

«В помещении закрытого распределительного устройства ячейки КРУ установлены в два ряда с центральным проходом между ними два метра,

расстояние от стены до ячейки – один метр. Мобильные элементы КРУ снабжены механической блокировкой, что позволяет ограничить доступ к токоведущим частям – проем закрывается металлическими дверцами при выкате элемента. ЗРУ имеет несколько дверей для доступа, которые открываются на себя и имеют автоматические замки» [8]. В помещении ЗРУ нет окон.

Для большей информативности обслуживающего персонала в ЗРУ используется дополнительная цветовая сигнализация: токопроводящие элементы фаз А, В, С окрашиваются соответственно в желтый, зеленый и красный цвета. Все что относится к заземлению имеет черный цвет краски. Для обеспечения безопасности выполняемых работ на ГПП применяется специализированные средства защиты и инструмент, согласно таблицы 17.

Таблица 17 - Специализированные средства защиты и инструмент, применяемый на ГПП

Наименование	Диапазон рабочего напряжения, кВ	Тип, модель	Количество, ед
Плакаты с предупредительными знаками и надписями	-	«Стой! Напряжение», «Не влезай, убьет!», «Осторожно. Опасная зона!» и др.	8
Элементы переносных ограждений	-	Ограждение защитное. ГОСТ Р 57278-2016	2
Медицинская аптечка	-	Аптечка первой помощи «Мицар»	1
Диэлектрический коврик	1	750x750x6 мм ГОСТ 4997-75	2
Диэлектрические перчатки	1	Пятипалые латексные ГОСТ 12.4.307-2016	2
Диэлектрические калоши	10	Боты, резиновые ГОСТ 13385-78	1
Защитные очки	-	Соответствуют EN 166	2
Переносные заземления	110	ЗПП-110 кВ	2
Переносные заземления	10	ЗПЛ-10-3	2
Переносные заземления	0,4	ПК 0,4-10Н	2
Указатель напряжения	110	УВН-90	1
Противогаз	-	ГП-5	2

Продолжение таблицы 17

Наименование	Диапазон рабочего напряжения, кВ	Тип, модель	Количество, ед
Указатель напряжения	10	УВН-80	1
Указатель напряжения	0,4	МИН-1	1
Изолирующая штанга	110	ШИ-110	1
Изолирующая штанга	10	ШИ-10	1
Изолирующие клещи	10	КИ-10	1
Изолирующие клещи	0,4	КИ-1000	1

3.3 Молниезащита и заземление

Заземление обязательно во всех электроустановках при напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока, а в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках – при напряжении 42 В и выше переменного тока, 110 В и выше постоянного тока.

В электрических установках заземляются корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, вторичные обмотки измерительных трансформаторов, приводы электрических аппаратов, каркасы распределительных щитов, пультов, шкафов, металлические конструкции распределительных устройств, металлические корпуса кабельных муфт, металлические оболочки и броня кабелей, проводов.

«В качестве искусственных заземлителей применяют прутковую круглую сталь диаметром не менее 10 мм (неоцинкованная) и 6 мм (оцинкованная), полосовую сталь толщиной не менее 4 мм и сечением не менее 48 мм².

Количество заземлителей (уголков, стержней) определяется расчетом в зависимости от необходимого сопротивления заземляющего устройства или допустимого напряжения прикосновения. Размещение искусственных заземлителей производится таким образом, чтобы достичь равномерного

распределения электрического потенциала на площади, занятой электрооборудованием. Для этой цели на территории ОРУ прокладывают заземляющие полосы на глубине 0,5 – 0,7 м вдоль рядов оборудования и в поперечном направлении, т.е. образуется заземляющая сетка, к которой присоединяется заземляемое оборудование» [21].

Грунт на территории ГПП имеет разную структуру. На глубину до 1500 мм идет смесь чернозема, песка и перегноя.

«Длительность воздействия напряжения прикосновения человека определим по формуле (51)» [20]:

$$\tau_B = t_{p.z} + t_{отк.в}, \quad (51)$$

$$\tau_B = 0,015 + 0,05 = 0,065 \text{ с}$$

Для $\tau_B = 0,065 \text{ с}$ находим $U_{пр.доп.} = 400 \text{ В}$ [13].

«Коэффициент поражения прикосновением определим по формуле (52)» [29]:

$$k_{п} = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_{вер} \cdot L_{г}}{a \cdot \sqrt{S}}\right)^{0,45}}, \quad (52)$$

$$k_{п} = \frac{0,75 \cdot 0,93}{\left(\frac{5 \cdot 890}{5 \cdot \sqrt{40 \cdot 50}}\right)^{0,45}} = 0,18$$

где $M = 0,75$, если $\rho_1/\rho_2 = 50/10 = 5$ [13];

« β - коэффициент, определяющий уровень сопротивления стекания зарядов на землю (формула 53);

$L_{г}$ – общая длина горизонтальных заземлителей по плану.

Предварительно задаемся $L_{г} = 1000 \text{ м}$;

$l_{вер}$ – длина вертикального заземлителя. Принимаем предварительно $l_{вер} = 5000 \text{ мм}$;

a – горизонтальное расстояние между вертикальными заземлителями. Задаем $a=5000$ мм;

S – площадь, ограниченная заземлителями (формула 54)» [13].

$$\beta = \frac{1000}{1000+1,5 \cdot \rho}, \quad (53)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 50} = 0,93.$$

«Составим план заземления в виде расчетной квадратной схемы замещения (см. рисунок 11) при условии сходимости их площадей и найдем сторону квадратной модели \sqrt{S} по формуле (20)» [30]

$$\sqrt{S} = h \cdot w, \quad (54)$$

$$\sqrt{S} = 50 \cdot 40 = 2000 \text{ м}^2$$

Количество ячеек вдоль одной стороны защитной зоны:

$$m = \frac{L_{\Gamma}}{2\sqrt{S}}, \quad (55)$$

$$m = \frac{890}{2\sqrt{50 \cdot 40}} = 9,95 \approx 10 \text{ ячеек.}$$

Длина стороны ячейки (см. рисунок 12):

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \quad (56)$$

$$b = \frac{\sqrt{50 \cdot 40}}{10} = 4.47 \text{ м}$$

Приняв длину вертикального заземлителя $l_{\text{в}} = 5$ м определим общее количество вертикальных заземлителей по периметру контура

$$n_B = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{l_B}, \quad (57)$$

$$n_B = \frac{\sqrt{40 \cdot 50} \cdot 4}{5} = 35,8 \approx 36 \text{ штук}$$

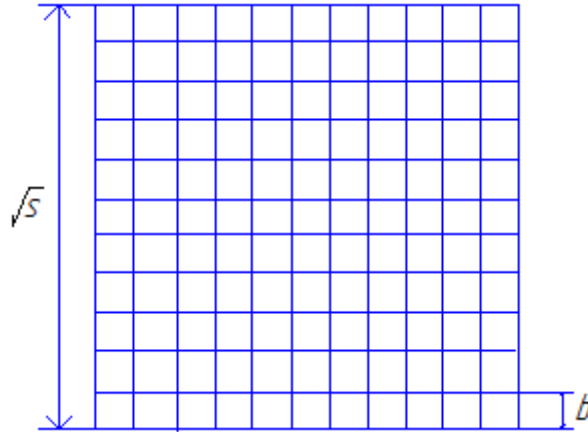


Рисунок 12 - План расположения заземления

Принимаем $n_B = 36$. Задаемся по [17] коэффициентом растекания зарядов $A=0,35$ и эквивалентным удельным сопротивлением $\rho_3=12,2$ Ом·м.

Тогда общее сопротивление заземлителя:

$$R_3 = A \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{l'_Г + l_B}, \quad (58)$$

$$R_3 = 0,35 \frac{12,2}{\sqrt{40 \cdot 50}} + \frac{12,2}{890 + 5} = 0,11 \text{ Ом}$$

Таким образом $R_3 = 0,11 \text{ Ом} < R_{3, \text{доп}} = 4 \text{ Ом}$.

Молниезащита.

Открытые распределительные устройства и подстанции 20-500 кВ должны быть защищены от прямых ударов молнии.

Защита зданий ЗРУ, имеющих металлические покрытия кровли или железобетонные несущие конструкции, выполняется заземлением этих покрытий (конструкций).

Определим приблизительно возможное количество попаданий молний в сооружения ГПП:

$$N = (h + h_x \cdot 6)(l + h_x \cdot 6) \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (59)$$

где h, l, h_x – габаритные размеры объемной фигуры, занимаемой ГПП:

$h = 40$ м – ширина, $l = 50$ м – длина, $h_x = 13,5$ м – высота;

$n = 6$ раз - среднее число поражений 1 км земной поверхности в год.

$$N = (40 + 13.5 \cdot 6)(50 + 13.5 \cdot 6) \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 0.095$$

«Для числа попаданий менее 1 раза в год, принимаем зона защиты – Б, категория устройств молниезащиты – 2» [26].

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h представляет собой круговой конус, вершина которого находится на высоте $h_0 < h_M$.

На уровне земли зона защиты образует круг радиусом r_0 . Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого объекта h_x представляет собой круг радиусом r_x .

Высота молниеотвода:

$$h_M \geq \frac{D+8 \cdot h_x}{8}, \quad (60)$$
$$h_M \geq \frac{46,1 + 8 \cdot 13,5}{8} = 19,26 \text{ м}$$

где D – максимальное расстояние между молниеотводами, м [7]

Используем схему с четырьмя стержневыми молниеотводами (см. рисунок 13).

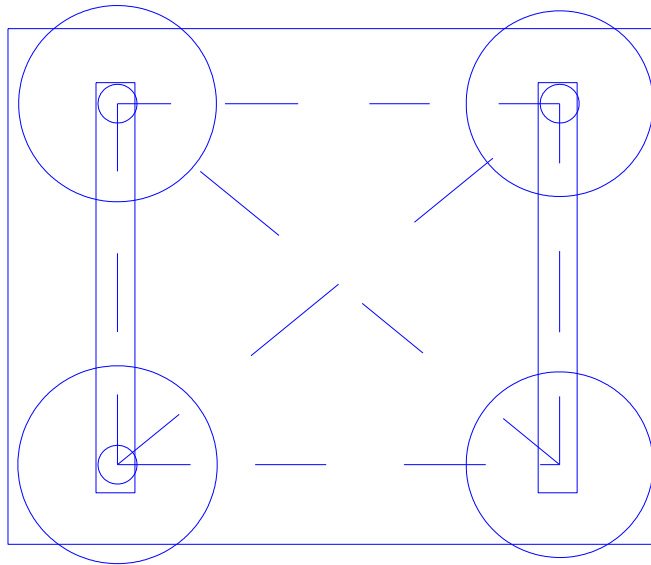


Рисунок 13 - Молниезащита ГПП

Выводы.

Выполнение норм охраны труда и техники безопасности позволяет снизить риски техногенных катастроф, уменьшить травматизм обслуживающего персонала, повысить безопасность проведения работ по обслуживанию и ремонту оборудования.

4 Экономический анализ проекта

4.1 Калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание

Объем потребленной электроэнергии для нужд основного производства:

$$W_{\Pi} = P_c \cdot n \cdot F_H + 0.15 \cdot P_c \cdot n_B \cdot F_B + 0.15 \cdot P_c \cdot n_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}}, \quad (61)$$

где « P_c – средняя суммарная нагрузка предприятия за первую смену, кВт;

$n = 3$ – количество смен;

$n_B = n_{\text{пр}}$ – количество смен в выходные и праздничные дни;

$F_H = 2016$ часов – номинальный фонд рабочего времени;

$F_B = 840$ часов – время работы оборудования в выходные дни;

$F_{\text{пр}} = 64$ ч – время работы оборудования в праздничные дни» [25];

$$\begin{aligned} W_{\Pi} &= 16301.5 \cdot 3 \cdot 2016 + 0.015 \cdot 1631.5 \cdot 2 + 0.015 \cdot 2 \cdot (840 + 64) \\ &= 99034 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год} \end{aligned}$$

Объем потребленной электроэнергии на освещение:

$$W_0 = P_{\text{мо}} \cdot T_{\text{max}}, \quad (62)$$

где « $P_{\text{мо}}$ – пиковое потребление системы освещения, кВт;

T_{max} – число часов использования максимума нагрузки осветительных установок (при трехсменной работе $T_0 = 4100$ ч/год)» [10]

$$W_0 = 1087 \cdot 4100 = 4457 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

«Объем коммерческих потерь во внутренней СЭС за год $\Delta W = 648 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$ » [7]. Общий годовой объем электропотребления по комбинату:

$$W_{\Gamma} = W_{\Pi} + W_0 + \Delta W, \quad (63)$$

$$W_{\Gamma} = 99034 + 4457 + 648 = 104140 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

Калькуляция текущих затрат представлена в таблице 18.

Таблица 18 - Калькуляция текущих затрат на электроэнергетическое обслуживание

Показатели и статьи затрат	Величина	Единица измерения
1. Электроэнергия для технологических целей	104140000	кВт·ч/год
2. Заявленный максимум нагрузки	18259	кВт
3. Основная ставка тарифа	2379,72	руб./кВт год
4. Дополнительная ставка тарифа	1,144	руб./ кВт·ч
5. Плата за электроэнергию по тарифу	194115,58	тыс.руб./год
6. Фактическое и заданное значения потребления реактивной мощности	0,308/ 0,31	
7. Процент надбавки к плате за повышенное потребление реактивной мощности	-	%
8. Плата за электроэнергию с учетом надбавки	197997,9	тыс.руб./год
9. Основная и дополнительная заработная плата эксплуатационного персонала	3042,34	тыс.руб./год
10. Отчисления на социальные нужды (39%)	1186,51	тыс.руб./год
11. Расходы на содержание и эксплуатацию электрооборудования, в том числе:		
а) содержание оборудования в части материалов и запчастей для ремонта (1% от КЭ)	208,5	тыс.руб./год
б) амортизация оборудования (8% от КЭ)	2152	тыс.руб./год
в) основная и дополнительная заработная плата ремонтного персонала с отчислениями на социальные нужды (39%)	2658,82	тыс.руб./год
12. Цеховые расходы, в том числе:		
а) заработная плата персонала управления электросилового цеха и служащих	774	тыс.руб./год
б) содержание и текущий ремонт цеховых сооружений (0,25% от КЭ)	8,72	тыс.руб./год
13. Итого цеховых затрат	782,72	тыс.руб./год
14. Общезаводские расходы в части зарплаты персонала ОГЭ	408	тыс.руб./год
15. Прочие производственные расходы (1% от суммы зарплаты всего персонала)	80,7	тыс.руб./год

Продолжение таблицы 18

Показатели и статьи затрат	Величина	Единица измерения
16. Итого производственных затрат	208517,48	тыс.руб./год
17. Полезно используемая электроэнергия	103420000	кВт·ч /год
18. Полные затраты по функции электроснабжения на единицу потребляемой электроэнергии	2,02	руб./ кВт·ч

4.2 Планирование сметы текущих затрат на энергетическое обслуживание

«Состав экономических элементов затрат, входящих в смету, постоянен. Они включают в себя однородные по характеру расходы на энергетическое обслуживание независимо от их цели и места образования» [14]. Смета представлена в таблице 19.

Таблица 19 – Смета текущих затрат на электроэнергетическое обслуживание

Элементы затрат	Сумма, тыс.руб.	Процент к итогу
1. Вспомогательные материалы (1,25% от К _э)	336,25	0,16
2. Электроэнергия от энергосистемы	197997,89	93,93
3. Амортизация основных фондов (10% от К _э)	2690	1,28
4. Заработная плата основная и дополнительная всех категорий промышленно-производственного персонала	6137,16	2,91
5. Отчисления на социальные нужды (39%)	2393,49	1,14
6. Прочие расходы (20% от зарплаты)	1227,43	0,58
Итого:	210782,225	100

Выводы.

Итог суммы по таблице 19 отличается от полных затрат по таблице 18 на -1,1%, что допустимо.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан проект системы электроснабжения медеплавильного комбината, отличающийся от прежнего большей энергоэффективностью.

Произведен расчет электрических нагрузок предприятия в целом и подробный расчет электрических нагрузок цеха электролиза меди. Суммарная активная нагрузка по комбинату составили 18480,6 кВт; по цеху электролиза 788,3 кВт; расчетная нагрузка – 10908 и 692,6 кВт соответственно; расчетная реактивная нагрузка по комбинату 9697,5 квар, по цеху электролиза 394,7 квар. Определена марка и полные мощности цеховых трансформаторов – серия ТМГ на 400, 630, 800 и 1000 кВА. Определены координаты центра нагрузок ($x_0 = 316,7$ м; $y_0 = 219,4$ м) и ГПП ($x_{гпп} = 300$ м; $y_{гпп} = 386$ м). Для каждой цеховой ТП определены номинальные значения конденсаторных батарей для компенсации реактивной мощности.

Для решения вопроса о схеме внешнего электроснабжения было произведено технико-экономическое сравнение вариантов схем внешнего электроснабжения предприятия. Выбрано электроснабжение 110 кВ. Произведен выбор электрооборудования для внешнего и внутреннего электроснабжения.

Приведены основные положения по безопасности жизнедеятельности в отношении действующих электроустановок, произведен расчет защитного заземления и молниезащиты ОРУ ГПП, а также выбор средств освещения данного ОРУ.

В результате проведенных расчетов была разработана система электроснабжения медеплавильного комбината, отвечающая всем необходимым требованиям по бесперебойности и надежности электроснабжения с минимальными потерями электроэнергии.

Список используемых источников

1. Выбор местоположений ГПП или ГРП, а также цеховых трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Energy.ru». URL: <https://elenergi.ru/vybor-mestopolozeniya-gpp-ili-grp-a-takzhe-cexovyx-transformatornyx-podstancij.html> (дата обращения 28.01.2022)

2. ГОСТ 12965–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ. Технические условия. [Электронный ресурс] : URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012412> (дата обращения 10.02.2022)

3. Единая энергетическая система России [Электронный ресурс] : Официальный сайт Системного оператора единой энергетической системы URL: <https://so-ups.ru/index.php?id=ees> (дата обращения 01.03.2022)

4. Жугарев Г.О. Проектирование системы освещения промышленного предприятия – Нижневартовск: филиал ЮУрГУ, Информатика: 2019, 66 с.. URL: https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/19277/2017_431_zhugarevgo.pdf?sequence=1 (дата обращения 22.02.2022)

5. Конденсаторы типов ЭСВ, ЭСВП, ЭЭВ и ЭЭВП [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Машинформ.Ру». URL: <https://electro.mashinform.ru/kondensatory-dlya-ehlektrotermicheskikh-ustanovok/kondensatory-tipov-jesv-jesvp-jejev-i-jejevp-obj3148.html> (дата обращения 18.02.2022)

6. Конденсаторы для компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «ZPUE» URL: <https://zpue.com/ru/konteynernaya-transformatornaya-podstantsiya/podstantsiya-dlya-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti/> (дата обращения 02.02.2022)

7. Красник В.В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств [Электронный ресурс] : произв.-практ. пособие / В. В. Красник. - Москва : ЭНАС, 2018. - 319 с.

8. Молодежь. Наука. Общество [Электронный ресурс] : Всерос. науч.-практ. междисциплинар. конференция : Тольятти, 5 дек. 2018 г. : сб. студенческих работ / [отв. за вып. С. Х. Петерайтис]. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2018. - 893 с.

9. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Е. Немировский, И. Ю. Сергиевская, Л. Ю. Крепышева. - 2-е изд. - Москва : Инфра-Инженерия, 2018. - 148 с.

10. Оборудование трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Школа для электрика» URL: <http://electricalschool.info/elstipod/1663-oborudovanie-transformatornykh.html> (дата обращения 02.03.2022)

11. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем : учебник для вузов / Н.И. Овчаренко. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. - 475 с.

12. Пискунов В.М. Общая энергетика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. М. Пискунов ; Нац. минерально-сырьевой ун-т. - Санкт-Петербург, 2018. - 135 с.

13. Понижающие подстанции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Большая Энциклопедия Нефти и Газа» URL: <https://www.ngpedia.ru/id275920p1.html> (дата обращения 02.03.2022)

14. Потери энергии в электрических сетях и установках [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. В. Маслакова [и др.]. - Липецк : Липец. гос. техн. ун-т : ЭБС АСВ, 2018. - 79 с.

15. Расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Energy-systems». URL: <https://energy-systems.ru/main-articles/proektirovanie-elektriki/1836-raschet-jelektricheskikh-nagruzok-metodom-uporjadochennyh-diagramm> (дата обращения 10.02.2022)

16. Расчет режимов распределительных электрических сетей [Электронный ресурс] : учеб. пособие для магистров / П. О. Гуков [и

др.] ; Воронеж. гос. аграр. ун-т им. Императора Петра I. - Воронеж : ВГАУ им. Петра I, 2018. - 105 с.

17. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов КЗ [Электронный ресурс] / Офиц. изд. URL: <https://www.rts-tender.ru/poisk/rukovodjajiw-dokument/153-34-0-20-527-98> (дата обращения 11.03.2022)

18. РТН.36.18.32.4-92 «Указания по расчету электрических нагрузок» [Электронный ресурс] : URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения 10.02.2022)

19. Сивков А.А. Основы электроснабжения: учебное пособие / А.А. Сивков, А.С. Сайгаш, Д.Ю. Герасимов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – 184 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SIVKOV/uchebnrab/Tab1/Power-supply-IDO.pdf> (дата обращения 06.02.2022).

20. Томашевский Р.В. Методы измерения потерь мощности в поддерживающих конструкциях генераторных токопроводов. Актуальные проблемы энергетики, №52, 2019.

21. Холянов В.С. Основы электроэнергетики : учеб.-метод. комплекс / В. С. Холянов, О. М. Холянова. - Москва : Проспект, 2018. - 190 с.

22. Эрнст А.Д. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах: Учеб. пособие. — Нижневартовск: Изд-во НГГУ, 2018. — 86 с. URL: <https://nvsu.ru/ru/Intellekt/1134/Ernst%20A.D.%20Raschet%20tokov%20korotkogo%20zamikaniya%20-%20Uch.%20posobie%20-%202012.pdf> (дата обращения 17.03.2022)

23. Электрооборудование цеховых подстанций [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Школа для электрика». URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/368-transformatornye-podstancii-v-sistemakh.html> (дата обращения 15.03.2022)

24. Электрооборудование литейного корпуса [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Studbooks.net». URL:

https://studbooks.net/756853/matematika_himiya_fizika/tehnologicheskiiy_protse_s_gomelskogo_sisteme_elektrosnabzheniya (дата обращения 16.03.2022)

25. Электроснабжение промышленного предприятия [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Window.Edu». URL: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/109/57109/27553> (дата обращения 20.03.2022)

26. Электроснабжение медеплавильного комбината [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Studfile.Net». URL: <https://studfile.net/preview/6761273/page:11/> (дата обращения 22.03.2022)

27. Analysis of a large industrial enterprise power [electronic resource]: URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/69/e3sconf_energy-212020_06005.pdf (date of the application 20.03.2022)

28. Energy sources selection for industrial enterprise combined power supply system [electronic resource]: 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8764188> (date of the application 22.03.2022)

29. Electrical equipment for melting metals [electronic resource]: Internet portal «Dy-Kast» URL: <https://www.dykast.com/products/melting-equipment/2722> (date of the application 02.04.2022)

30. Optimization model of power supply system of industrial enterprise [electronic resource]: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2018. — T. 450 (№ 7) URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/128987> (date of the application 19.03.2022)

31. Scheme of power supply of industrial enterprises [electronic resource]: Internet portal «ResearchGate» URL: https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-power-supply-of-industrial-enterprises_fig1_317901271 (date of the application 02.04.2022)