

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический
Кафедра Энергетики
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ Н.В. Савина
« _____ » _____ 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование системы электроснабжения напряжением 6 кВ участка Промежуточный горно-гидрометаллургического комбината «Пионер» в Амурской области

Исполнитель
студент группы 942-узб

подпись, дата

Д.А. Макау

Руководитель
профессор, канд.техн.наук

подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

Консультант по
безопасности и
экологичности
доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
ст. преподаватель

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина
« _____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Д.А. Макау

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование системы электроснабжения напряжением 6 кВ участка Промежуточный горно-гидрометаллургического комбината «Пионер» в Амурской области

(утверждена приказом от 03.04.2023г. №794)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 23.06.2023

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: годовой отчет ГК Петропавловск и прогнозы добычи на период до 2025 года, карты климатического районирования Амурской области, однолинейная схема существующих сетей 6 кВ ГТМК Пионер, однолинейная схема ПС Пионер-2, однолинейная схема сетей 110-35 кВ Амурских электрических сетей АО ДРСК.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Характеристика объекта проектирования, электроснабжение участка карьера, технико-экономическое сравнение вариантов сети 6 кВ карьера, расчёт токов короткого замыкания в сети 6 кВ карьера, выбор аппаратов сети участка карьера, определение величины емкостных токов замыкания на землю, релейная защита и автоматика, молниезащита и заземление

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план и разрезы по РУ-6 кВ ПС Пионер-2, электроснабжение участка карьера на напряжении 6 кВ, однолинейная схема электроснабжения карьера 6 кВ, молниезащита РУ-35 кВ ПС Пионер-2, однолинейная схема РУ 35-6 кВ ПС пионер-2, микропроцессорная защита воздушной линии карьера 6 кВ

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): Безопасность и экологичность – Булгаков А.Б.

7. Дата выдачи задания 19.04.2023

Руководитель выпускной квалификационной работы: Мясоедов Ю.В.

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 19.04.2023 Макау Д.А.

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 104 с, 29 таблиц, 9 рисунков, 34 источника, 1 приложение.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ КАРЬЕРА, ПРОЖЕКТОР, КОЭФФИЦИЕНТ СПРОСА, КОЭФФИЦИЕНТ ЗАГРУЗКИ, СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ГРУППА ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКОВ, ПЕРЕДВИЖНАЯ КОМПЛЕКТНАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, ЭКСКАВАТОР, ПРИКЛЮЧАТЕЛЬНЫЙ ПУНКТ, МАГИСТРАЛЬ ПИТАНИЯ, ДРОБИЛЬНАЯ МАШИНА, СТАЦИОНАРНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ЗАЩИТА, МОЛНИЕЗАЩИТА.

Развитие месторождения «Пионер» группы компаний «Петропавловск» предусматривает разработку открытых участков месторождения, при этом планы по увеличению добычи золотоносной руды начиная с 2018 года наращиваются, для чего необходимо разрабатывать соответствующую систему электрообеспечения карьеров. Для обеспечения ожидаемых объёмов добычи золота, необходимо подключение дополнительной силовой нагрузки (экскаваторы, дробильные машины, насосы, прожекторы). Цель выпускной квалификационной работы - проектировка системы электрообеспечения 6 кВ участка карьера Промежуточный. При написании работы последовательно выполнены расчёты нагрузок, сечения и протяженности проводников, данных по применяемым электрическим аппаратам, токов срабатывания защит, зоны защиты молниеотводов и заземления питающей подстанции Пионер-2.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика объекта проектирования	9
1.1 Производственные мощности	9
1.2 Климатическая характеристика	10
1.3 Характеристика перспектив развития	11
2 Электроснабжение участка карьера	13
2.1 Предварительный расчет освещения карьера	13
2.2 Окончательный расчет освещения карьера	15
2.3 Нагрузки силовых потребителей карьера	17
2.4 Выбор трансформаторов 6/0,4 кВ	19
2.5 Расчёт сети 6 кВ участка карьера	23
3 Техничко-экономическое сравнение вариантов сети 6 кВ карьера	31
4 Расчёт токов короткого замыкания в сети 6 кВ карьера	35
5 Выбор аппаратов сети участка карьера	41
5.1 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ	41
5.2 Выбор предохранителей 6 кВ	42
5.3 Выбор выключателей нагрузки 6 кВ	43
5.4 Выбор трансформаторов тока 6 кВ	44
5.5 Выбор выключателей 6 кВ	53
5.6 Выбор трансформаторов напряжения 6 кВ	59
5.7 Выбор КРУ 6 кВ	60
5.8 Выбор и проверка предохранителей для защиты ТН	64
5.9 Выбор и проверка изоляторов	65
5.10 Выбор и проверка токоведущих частей КРУ	66
5.11 Выбор и проверка ограничителей перенапряжения 6 кВ	69
6 Определение величины емкостных токов замыкания на землю	71
7 Релейная защита и автоматика	72

7.1	Токовая отсечка без выдержки времени	72
7.2	Максимальная токовая защита линий	74
7.3	Защита от однофазных замыканий на землю	76
7.4	Автоматический ввод резерва	77
8	Молниезащита и заземление	78
8.1	Расчет заземления	78
8.2	Молниезащита ОРУ ПС	83
9	Безопасность и экологичность	86
9.1	Безопасность	86
9.2	Экологичность	90
9.3	Чрезвычайные ситуации	94
	Заключение	99
	Библиографический список	100
	Приложение А. Расчёт потерь в сети 6 кВ	105

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

БК – батарея конденсаторов;

ВЛ – воздушная линия;

ВН – высокое напряжение;

ГК – группа компаний;

КЗ – короткое замыкание;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

ПКТП – передвижная комплектная трансформаторная подстанция;

ПП – приключательный пункт;

ПС - подстанция;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

СЭС – система электроснабжения;

ТП - трансформаторная подстанция;

ВВЕДЕНИЕ

Одним из крупных промышленных предприятий в сфере золотодобычи на территории Амурской области является группа компаний «Петропавловск». Среди разрабатываемых месторождений на территории Магдагачинского района Амурской области имеется горно-гидрометаллургический комбинат (ГГМК) «Пионер». С 2020 года комбинат «Пионер» начал плановый период производства с учётом работы флотационных линий [1].

В планах по расширению производства выделены для ближайшей перспективы разработки открытым способом участки «Промежуточный», «Восточный», «Южный», «Бахмут». В данной выпускной квалификационной работе целесообразность темы отражается в организации системы электроснабжения участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер», как наиболее развитого по результатам геологоразведочных работ [2].

Основанием для разработки темы выпускной квалификационной работы выступают планировочные материалы ГК «Петропавловск» на развитие добычи и создание мощностей для первичной переработки золотосодержащей руды на месторождении «Пионер» на территории Зейского и Магдагачинского районов Амурской области.

Намеченные сроки реализации проектов разработки новых участков ГГМК «Пионер» до 2037 года, за это время ожидаемая величина добычи золота составляет 6-7 тонн золота в слитках засчёт развития линий флотации упорных золотосодержащих руд хорошего качества. На совместный с открытым способом добычи руды подземный способ также существуют планы расширения производства.

Актуальность выпускной квалификационной работы подходит под планы расширения добычи руды ГГМК «Пионер», при реализации которых будет образовано более 3,1 тысячи рабочих мест на этапе строительства и более 1,3 тысячи рабочих мест на этапе эксплуатации месторождений. Кроме того, финансовый результат деятельности ГК «Петропавловск» позволит обеспечить в

бюджет Амурской области налоговых отчислений, лицензионных оплат на добычу ископаемых.

Новизна выпускной квалификационной работы в отношении предложенных расчётных параметров системы электроснабжения участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» показывается подходом к проектированию с использованием современных аппаратов и устройств защиты, с внедрением которых возможно эффективно и надёжно эксплуатировать систему электроснабжения 6 кВ ГГМК «Пионер».

Практическая значимость выпускной квалификационной работы в отношении объёма прорабатываемых вопросов показывает полноту и качество выполненных расчётов с точки зрения их применимости, что способствует подготовке техно-рабочих изысканий и документации.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения силовой нагрузки участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» для обеспечения требуемых объёмов золотодобычи.

По результатам расчётов в выпускной квалификационной работе необходимо рассмотреть возможность подключения проектируемой нагрузки к шинам 6 кВ ПС 110/35/6 «Пионер-2».

Поставленные и решенные задачи при проектировании:

1. определение нагрузок подключаемого оборудования карьера на напряжении 6 кВ;
2. выбор и проверка силового и защитного оборудования ПКТП, ЯКНО и КРУН ПС «Пионер-2» напряжением 6 кВ;
3. организация безопасности при проведении электромонтажных работ, расчёт показателей экологичности работы.

Результаты расчётов оформлены в виде пояснительной записки с помощью Microsoft Office Word 2017, файлы с расширением docx, pdf, rtf, графической части в виде листов формата А1 с помощью Microsoft Office Visio 2017, файлы с расширением vsd. Расчёты выполнены в Microsoft Office Excel, Mathsoft Mathcad 2017.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1 Характеристика производства

На территории Амурской области пионерное рудное поле административно относится к Зейскому (восточная часть площади) и Магдагачинскому (западная часть) районам. Рудное поле включает рудные зоны Южная, Промежуточная, Бахмут, Андреевская, Звездочка, Восточная, Западная, Приконтактная, Николаевская и Бабаевская, рисунок 1 [1].

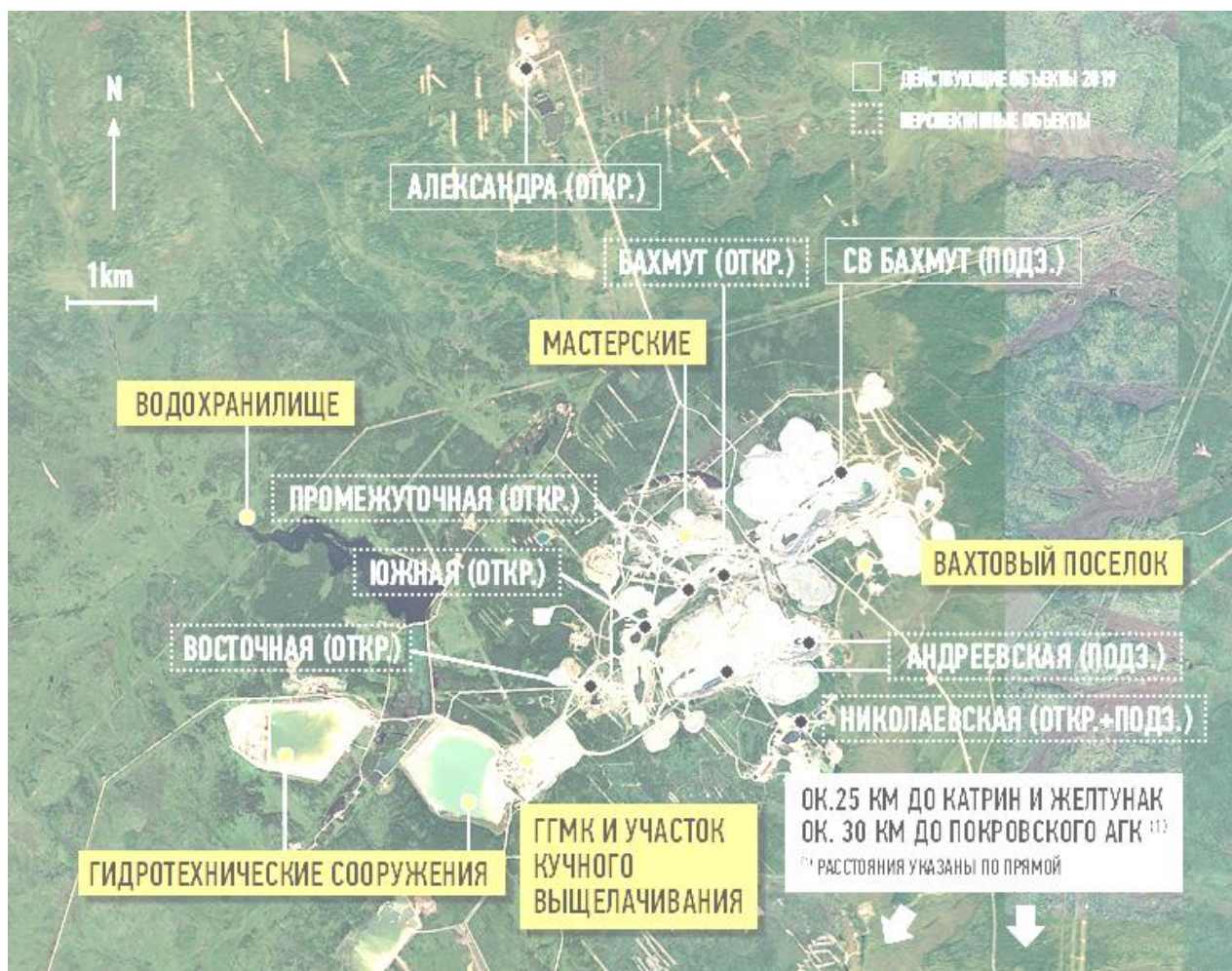


Рисунок 1 – Производственные участки ГГМК «Пионер»

На ГГМК «Пионер» практикуется два способа добычи руды - открытым способом и подземным способом. Окисленные и упорные руды представляют рудные тела залежей ГГМК «Пионер». Технология переработки окисленных руд в течении всего года на ГГМК «Пионер» используется по принципу «Смола

в пульпе» («RIP»), при этом объем добычи составляет 6,7 млн т в год начиная с 2018 года и увеличивается.

1.2 Климатическая характеристика

Климат Зейского и Магдагачинского районов Амурской области в местах расположения ГГМК «Пионер» формируется благодаря циклонической деятельности и муссонному характеру атмосферы. Климат в целом резко континентальный.

В зимний период преобладающим является континентальный воздух, для него характерны весьма низкие для данных широт температуры, малое влагосодержание, устойчивая стратификация. Зима холодная, солнечная, сухая. Самый холодный месяц – январь.

Летом наиболее возможны частые и интенсивные дожди. Почвы характеризуются запасами влаги. Наиболее высокие температуры воздуха приурочены к июлю – самому теплому месяцу. В отдельные летние дни температура может повышаться до 30°C и более.

Годовое количество осадков колеблется от 410 мм до 530 мм, среднегодовое составляет 457 мм. Основная масса осадков выпадает в летний период. Высота снежного покрова за зиму составляет 16-42 см. Количество влажных дней с относительной влажностью 21 % и более составляет 21 день.

Климатические условия приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Климатические условия района

Климатические условия	Расчетная величина
1	2
Район по ветру	III
Нормативная скорость ветра, м/сек	29
Район по гололеду	III
Нормативная стенка гололеда, мм	15
Низшая температура воздуха, °C	-50
Среднегодовая температура воздуха, °C	-2,9
Высшая температура воздуха, °C	35
Число грозových часов в год	50
Среднегодовая скорость ветра, м/сек	2,7
Вес снегового покрова, кгс/м ²	50
Температура гололедообразования, °C	-10
Степень загрязнения атмосферы	II

1	2
Нормативная глубина промерзания грунтов, м	3
Глубина протаивания грунта на начало грозовой деятельности, м	0,4
Эквивалентное удельное сопротивление грунта в летний период, Ом·м	40
Эквивалентное удельное сопротивление грунта в зимний период, Ом·м	61

Основанием фундаментов являются грунты: глина текучепластичная, и глина тугопластичная.

1.3 Перспективы развития

Основные значимые этапы развития ГГМК «Пионер» показаны на рисунке 2. Процесс наращивания мощностей комбината с момента пуска характеризуется плавным ростом.

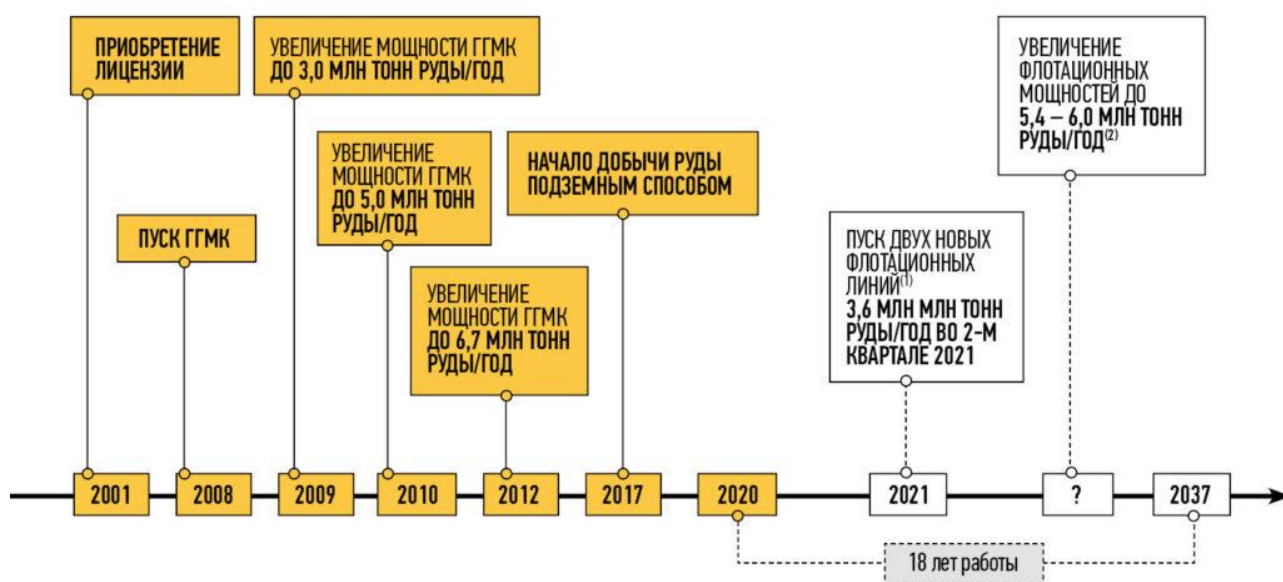


Рисунок 2 - Этапы развития ГГМК «Пионер»

Фактические темпы роста среднегодовой нагрузки ГГМК «Пионер» показаны в таблице 2 [2].

Таблица 2 – Темпы развития ГГМК «Пионер»

год	2018	2019	2020	2021	2022
Максимальная мощность потребления ГГМК «Пионер»	50,5	70,7	75,3	74,9	78,4
Прирост, %		29%	6%	0%	4%

По таблице 2 оценивается реальный темп роста нагрузки комбината на уровне 4%, так как в 2020 году были введены ограничения по количеству рабочих смен персонала для снижения заболеваемости Covid-2019 среди работников комбината.

Направления развития ГГМК «Пионер» сосредоточены на увеличении и поддержании собственных запасов и ресурсов за счет геологоразведки и/или приобретения отдельных недорогих запасов и ресурсов. В связи с отсутствием на территории России мощностей по переработке упорных золотосодержащих руд, многие месторождения упорных руд остаются недостаточно изученными, а лицензии становятся более доступными. Поисково-разведочные работы непрерывно проводятся на месторождениях ГГМК «Пионер» с целью выявления дополнительных запасов неупорных руд, в том числе подземных, максимального использования производственных мощностей и продления срока работы перерабатывающих предприятий.

Имея реальный темп роста нагрузки можно сделать вывод о целесообразности проектирования системы электроснабжения запланированных к разработке участков добычи в целом и участка «Промежуточный» в частности.

2 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ УЧАСТКА КАРЬЕРА

2.1 Предварительный расчет освещения карьера

Допускается сделать расчёт площади освещаемой территории при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин, м²:

$$S = L \cdot M , \quad (1)$$

$$S = 400 \cdot 700 = 280000 ,$$

где L - длина участка «Промежуточный», м.

M - ширина участка «Промежуточный», м.

Допускается сделать расчёт суммарного светового потока при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин, лм:

$$\Phi_{\Sigma} = E_{H}^{*} \cdot S \cdot k_3 \cdot k_{II} , \quad (2)$$

$$\Phi_{\Sigma} = 5 \cdot 280000 \cdot 1,4 \cdot 1,4 = 2744000 ,$$

где k_3 - коэффициент запаса лампы ДКсТ-20000, 1,4 [3];

k_{II} - коэффициент световых потерь лампы ДКсТ-20000, 1,4 [3];

E_{H}^{*} - требуемая нормируемая минимальная освещенность участка «Промежуточный», 5 лк [3].

Допускается сделать расчёт требуемого количества ламп при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин, шт:

$$N_{Л} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{\Phi_{Н} \cdot \eta_{СВ}}, \quad (3)$$

$$N_{Л} = \frac{2744000}{600000 \cdot 0,7} = 6,5,$$

где $\Phi_{Н}$ - номинальный световой поток лампы ДКсТ-20000, 600000 лм [4];

$\eta_{СВ}$ - КПД светильника ОЦКсН-20000, 0,7 [3];

Допускается сделать расчёт глубины освещения ксеноновой лампы при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин, м:

$$H = 0,11 \cdot \sqrt{\frac{\Phi_{Н}}{E_{Н}^*}}. \quad (4)$$

$$H = 0,11 \cdot \sqrt{\frac{600000}{5}} = 38.$$

Допускается сделать расчёт мощности осветительного трансформатора при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин, кВА:

$$S_{Т} = \frac{P_{Л} \cdot 0,001}{\eta_{СВ} \cdot \eta_{ОС} \cdot \cos \varphi_{Л}}, \quad (5)$$

$$S_{Т} = \frac{20 \cdot 0,001}{0,7 \cdot 0,7 \cdot 1} = 41;$$

где $\eta_{ОС}$ - КПД осветительной сети, 0,7 [3];

$\cos \varphi_{Л}$ - коэффициент мощности лампы ДКсТ-20000, 1 [3].

2.2 Окончательный расчет освещения карьера

Допускается сделать расчёт светового потока, необходимого для обеспечения минимальной освещенности карьера при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин, лм:

$$F_O = E_H \cdot S; \quad (6)$$

$$F_O = 0,5 \cdot 280000 = 140000 .$$

Допускается сделать расчёт площади карьера с усиленной освещенностью при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$S_D = \frac{2}{3} \cdot L \cdot m \cdot \left(b + \frac{h}{\sin \alpha} \right); \quad (7)$$

$$S_D = \frac{2}{3} \cdot 400 \cdot 4 \cdot \left(20 + \frac{20}{\sin 45} \right) = 51503 \text{ м}^2;$$

где m - число уступов, на которых работы проводятся одновременно;

b, h - средняя ширина и высота уступа, м;

α - угол откоса уступа, град.

Допускается сделать расчёт требуемого светового потока для создания усиленной освещенности при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$F_D = E'_H \cdot S_D, \quad (8)$$

$$F_D = 5 \cdot 51503 = 257516 \text{ лм},$$

где E'_H - освещенность мест работы машин и механизмов, 5 лк [3].

Допускается сделать расчёт полного светового потока при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$F_K = F_O + F_D. \quad (9)$$

$$F_K = 257516 + 140000 = 397516 \text{ лм.}$$

Допускается сделать расчёт требуемого количества прожекторов при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$N = \frac{F_K \cdot k_3 \cdot C}{\eta_{ПР} \cdot F_L}, \quad (10)$$

$$N = \frac{397516 \cdot 1,5 \cdot 1,5}{0,6 \cdot 125000} = 11,9 \text{ шт.}$$

где k_3 - коэффициент запаса 1,5 [3];

C - коэффициент, учитывающий потери света 1,5 [3];

$\eta_{ПР}$ - КПД прожекторов ПФС - 45 - 2, 0,6 [3];

F_L - световой поток лампы ДКсТ-20000, 125000 лм.

Допускается сделать расчёт минимальной высоты установки прожекторов при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$H_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}}, \quad (11)$$

$$H_{\min} = \sqrt{\frac{17000}{300}} = 7,5 \text{ м};$$

где I_{\max} - осевая сила света прожектора ПФС - 45 - 2, 17000 кд.

В результате вычислений получено, что необходима установка 12 прожекторов. На территории карьера располагаем 3 прожекторные вышки вблизи ПКТП освещения. На каждой вышке подвешивается 2 прожектора таким образом, чтобы обеспечить освещение участка работ.

2.3 Нагрузки силовых потребителей карьера

Расчет электрических нагрузок производят методом установленной мощности и коэффициента спроса, [5]. Все электроприемники делят на группы по мощности, назначению и характеру работы. Увеличение объёмов добычи руды предполагает подключение дополнительных электроприёмников, а именно, 3 гусеничных экскаватора ЭКГ-5, 3 мощных экскаватора «Либхер», 3 ПКТП для водоперекачивающих насосов и 3 молотковые дробилки ДМЛ, а также ПКТП для подключения прожекторов освещения карьера.

Представление результатов выбора потребителей карьера наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 3.

Таблица 3 – Потребители карьера

потребитель	количество	$P_{\text{уст}}$, кВт	$K_{\text{с индив}}$	$\cos\varphi_{\text{ном двиг}}$
ЭКГ-5	3	290	0,45	0,9
ДМЛ	3	562	0,55	0,75
Либхерр	3	1250	0,6	0,9
Насосная (0,4 кВ)	3	100	0,8	0,8
Освещение (0,4 кВ)	3	40	1	1

Допускается сделать расчёт нагрузки для группы экскаваторов ЭКГ-5, имеющих дополнительные электроагрегаты, подключаемых к ТСН экскаватора, при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$P_p = \kappa_{c\text{ap}} \cdot (n_{\text{Э}} \cdot P_{\text{уст}} + n_{\text{Э}} \cdot S_{\text{ТСН}} \cdot \cos \varphi_{\text{ТСН}}), \quad (12)$$

$$P_p = 0,4 \cdot (3 \cdot 290 + 3 \cdot 40 \cdot 0,7) = 381,6 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_{\text{Э}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{Э}} + P_{\text{ТСН}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{ТСН}}, \quad (13)$$

$$Q_p = 81,6 \cdot 0,48 + 84 \cdot 1,02 = 172,6 \text{ квар},$$

где $\kappa_{c\text{ap}}$ – коэффициент спроса группы электроприёмников [5];

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность экскаватора, кВт;

$S_{\text{ТСН}}$ – номинальная мощность ТСН, кВА;

$\cos \varphi_{\text{ТСН}}$ – коэффициент мощности ТСН, 0,7 [4];

$n_{\text{Э}}$ – количество экскаваторов;

$\operatorname{tg} \varphi_{\text{Э}}$ – коэффициент реактивной мощности электродвигателей экскаватора.

Представление результатов расчёта мощности потребителей карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 4.

Таблица 4 – Расчётные мощности потребителей карьера

потребитель	N	$P_{\text{уст}}$, кВт	$\kappa_{c\text{индив}}$	$\cos \varphi_{\text{ном двиг}}$	$S_{\text{ТСН}}$, кВА	$\cos \varphi_{\text{но м тсн}}$	$\kappa_{c\text{группы}}$	$P_{\text{расч гр}}$, кВт	$Q_{\text{расч гр}}$, квар
ЭКГ-5	3	290	0,45	0,9	40	0,7	0,4	381,6	172,6
ДМЛ	3	562	0,55	0,75			0,55	927,3	613,4
Либхерр	3	1250	0,6	0,9	400	0,7	0,6	2754,0	1294,6
Насосная (0,4 кВ)	3	100	0,8	0,8			0,8	240,0	144,0
Освещение (0,4 кВ)	3	40	1	1			0,9	108,0	0,0

2.4 Выбор трансформаторов 6/0,4 кВ

Среди потребителей карьера есть насосные двигатели и осветительные прожекторы на напряжении 0,4 кВ, поэтому необходимо предусмотреть трансформацию 6/0,4 кВ. Для данной цели используем ПКТП.

Принимая во внимание наличие потребителей 0,4 кВ 1 и 2 категории по надёжности, устанавливаем на ТП 2 трансформатора.

Допускается сделать расчёт необходимой мощности силовых трансформаторов на ПКТП 4, при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$S_{PТП} = \frac{S_{ТП}}{n_T \cdot K_3}, \quad (14)$$

$$S_{PТП} = \frac{100}{0,7} = 143 \text{ кВА},$$

где $S_{ТП}$ - расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ПКТП-4, кВА;

n_T - число трансформаторов;

K_3 - коэффициент допустимой систематической нагрузки, принимаемый в зависимости от вида потребителей, 0,7 [5].

Допускается сделать выбор номинальной мощности силовых трансформаторов на ПКТП 4, при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$S_{НОМТР} \geq S_{PТП}; \quad (15)$$

$$160 \text{ кВА} \geq 143 \text{ кВА}.$$

Используются трансформаторы с литой изоляцией марки ТСЗ-160/6/0,4.

Допускается сделать расчёт нормальной загрузки силовых трансформаторов на ПКТП 4, при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{S_P}{S_{\text{НОМТР}} \cdot N_{\text{ТР}}} \geq 0,5; \quad (16)$$

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{143}{160 \cdot 1} = 0,63 \geq 0,5.$$

Допускается сделать расчёт послеаварийной загрузки силовых трансформаторов на ПКТП 4, при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$K_{3\text{ на}} = \frac{S_P}{S_{\text{НОМТР}} \cdot (N_{\text{ТР}} - 1)} \leq 1,4; \quad (17)$$

$$K_{3\text{ на}} = \frac{143}{160} = 0,63 \leq 1,4.$$

Допускается сделать расчёт потерь активной мощности в силовом трансформаторе на ПКТП 4, при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K, \quad (18)$$

$$\Delta P_T = 0,6 + 0,63^2 \cdot 2,7 = 2 \text{ кВт};$$

где ΔP_X - активные потери холостого хода трансформатора ТСЗ-160/6/0,4, 0,6 кВт;

ΔP_K - активные потери короткого замыкания трансформатора ТСЗ-160/6/0,4, 2,7 кВт;

Допускается сделать расчёт потерь реактивной мощности холостого хода в силовом трансформаторе на ПКТП 4, при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}, \quad (19)$$

$$\Delta Q_X = 160 \cdot \frac{2,4}{100} = 3,84 \text{ квар};$$

где $S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора, ТСЗ-160/6/0,4, 160 кВА;

I_x - ток холостого хода трансформатора ТСЗ-160/6/0,4, 2,4 %.

Допускается сделать расчёт потерь реактивной мощности короткого замыкания в силовом трансформаторе на ПКТП 4, при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_K}{100}, \quad (20)$$

$$\Delta Q_K = 160 \cdot \frac{4,5}{100} = 7,2 \text{ квар};$$

где U_K - напряжение короткого замыкания ТСЗ-160/6/0,4, 4,5 %.

Допускается сделать расчёт потерь реактивной мощности в силовом трансформаторе на ПКТП 4, при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K, \quad (21)$$

$$\Delta Q_T = 3,84 + 0,63^2 \cdot 7,2 = 7 \text{ квар.}$$

Допускается сделать расчёт нагрузки ПКТП 4 на стороне 6 кВ при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$S_{ТП \text{ 6кВ}} = \sqrt{(P_{ТП} + \Delta P_T)^2 + (Q_{ТП} + \Delta Q_{ТП})^2}; \quad (22)$$

$$S_{ТП \text{ 6кВ}} = \sqrt{(80+2)^2 + (60+7)^2} = 105 \text{ кВА.}$$

Представление результатов расчёта мощности ПКТП карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 5.

Таблица 5 – Расчёт ПКТП карьера

№ ТП	насосная			освещение		
	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7
Расчётная нагрузка на стороне 0,4 кВ S_p , кВА	100	100	100	40	40	40
Расчётная активная нагрузка трансформаторов ТП, кВт	80	80	80	40	40	40
Расчётная реактивная нагрузка трансформаторов ТП, квар	60	60	60	0	0	0
Количество трансформаторов ТП	1	1	1	1	1	1
Коэффициент допустимой систематической нагрузки K_c	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Предполагаемая мощность трансформатора(ов) ТП, кВА	142,9	142,9	142,9	57,1	57,1	57,1
Номинальная мощность трансформатора(ов) ТП, кВА	160	160	160	63	63	63
Фактический коэффициент загрузки K_z	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Фактический коэффициент аварийной перегрузки K_a	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Коэффициент допустимой аварийной перегрузки K_a	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Определение потерь мощности в трансформаторах ТП						
ΔP_x , кВт	0,56	0,56	0,56	0,26	0,26	0,26
ΔP_k , кВт	2,65	2,65	2,65	1,28	1,28	1,28
УК, %	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
IX, %	2,4	2,4	2,4	2	2	2
ΔP_T , кВт	1,6	1,6	1,6	0,8	0,8	0,8
ΔQ_T , кВт	6,7	6,7	6,7	2,4	2,4	2,4

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Нагрузка ТП, приведенная к стороне ВН						
$P_{\text{ТП } 6 \text{ кВ}}, \text{ кВт}$	81,6	81,6	81,6	40,8	40,8	40,8
$Q_{\text{ТП } 6 \text{ кВ}}, \text{ квар}$	66,7	66,7	66,7	2,4	2,4	2,4
$S_{\text{ТП } 6 \text{ кВ}}, \text{ кВА}$	105,4	105,4	105,4	40,8	40,8	40,8

2.5 Расчёт сети 6 кВ участка карьера

В системе электроснабжения участка «Промежуточный» используется кабель подключения экскаваторов к приключательным пунктам. Кабель питания 6 кВ должен быть рассчитан на токовые нагрузки. Кабель питания экскаваторов принимаем марки КШВГМ: с медными жилами, в резиновой оболочке, с резиновой изоляцией, высоковольтный, гибкий, морозостойкий.

Кабель КШВГМ используется для присоединения экскаваторов и других передвижных механизмов к электрическим сетям с изолированной нейтралью при температуре окружающей среды от -40 до +50 град С.

Питание ПКТП выполняется самонесущим изолированным проводом СИП – 3 на напряжении 6 кВ.

Для подключения ПКТП карьера используем магистральную схему, лучи которой подключаются к разным секциям шин ПС «Пионер-2». ВЛ 6 кВ выполняем проводом СИП – 3 [8].

В качестве основного варианта подключения потребителей карьера рассматриваем следующий состав питающих магистралей (рисунок 3):

Магистраль 1 - (Либхерр, ДМЛ, ПКТП 7, ЭКГ);

Магистраль 2 - (ПКТП 5, ДМЛ, ПКТП 8, Либхерр, ЭКГ);

Магистраль 3 - (ПКТП 4, ПКТП 6, Либхерр, ДМЛ, ПКТП 9, ЭКГ).

В качестве альтернативного варианта рассматриваем возможность подключения двух ЭКГ на магистраль 2 (рисунок 4):

Магистраль 1 - (Либхерр, ДМЛ, ПКТП 7, ЭКГ);

Магистраль 2 (ПКТП 4, ПКТП 5, ДМЛ, ПКТП 8, Либхерр, ЭКГ, ЭКГ);

Магистраль 3 (ПКТП 6, Либхерр, ДМЛ, ПКТП 9).

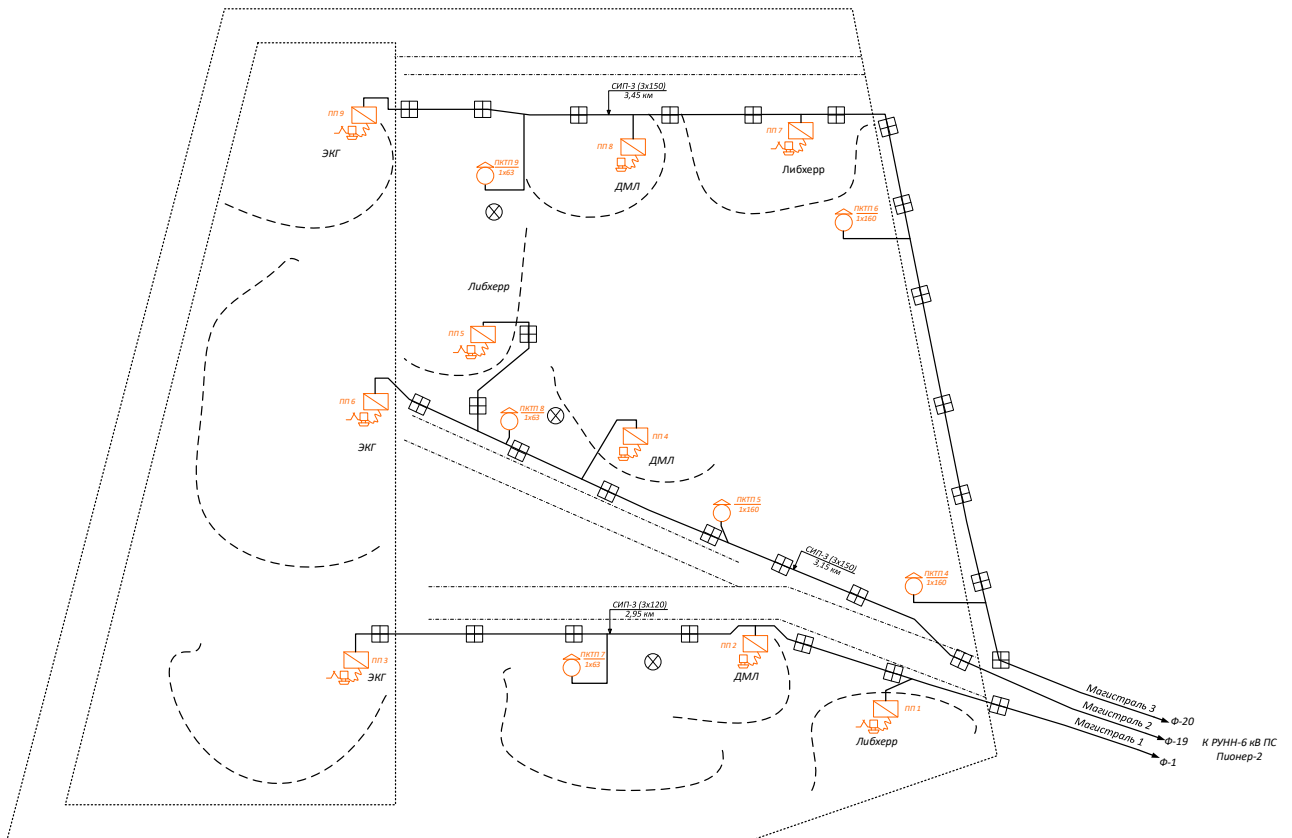


Рисунок 3 – Вариант №1 подключения потребителей карьера

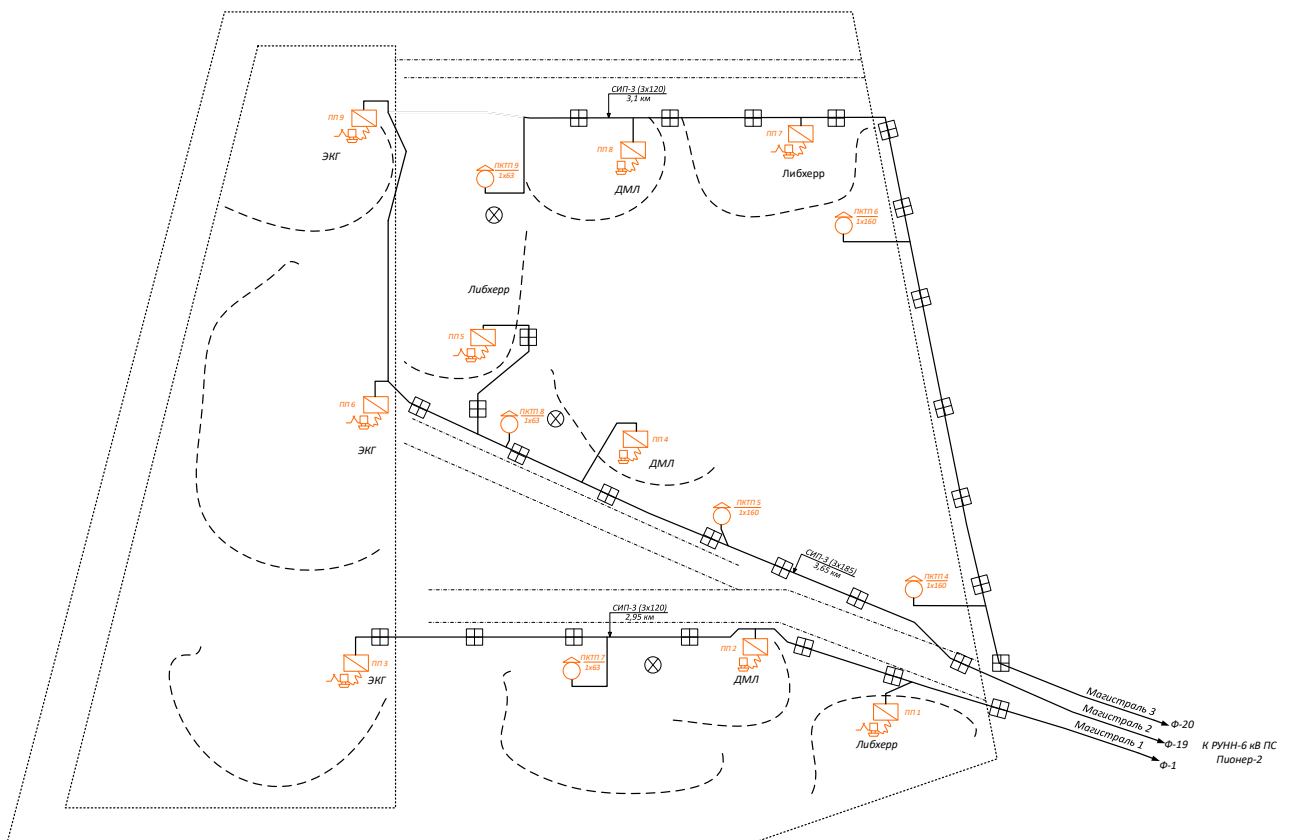


Рисунок 4 – Вариант №2 подключения потребителей карьера

Последний вариант менее предпочтителен с точки зрения бесперебойности технологического процесса добычи руды, так как повреждение на магистрали 2 приведёт к остановке сразу двух экскаваторов, что резко снизит добычу на участке карьера.

Допускается сделать расчёт нагрузки магистрали-1 6 кВ при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$P_{P\text{ ЛИН}} = \kappa_O \cdot \sum_{i=1}^n P_P, \quad (23)$$

$$P_{P\text{ ЛИН}} = 0,9 \cdot (159 + 309 + 1030 + 80 + 40) = 2759 \text{ кВт};$$

где κ_o - коэффициент одновременности нагрузки, 0,9 [16].

Допускается сделать расчёт токовой нагрузки магистрали-1 6 кВ при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{P\text{ МАКС}} = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi}, \quad (24)$$

$$I_{P\text{ МАКС}} = \frac{1387}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,87} = 154 \text{ А},$$

где $\cos \varphi$ - средний коэффициент мощности магистрали 1, 0,87.

Допускается сделать выбор сечения провода магистрали-1 6 кВ при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{P\text{ МАКС}} \leq I_{\text{ ДОП}}; \quad (25)$$

$$154 A \leq 485 A ;$$

где $I_{\text{доп}}$ - длительно допустимый ток провода марки СИП-3 (3x120), 485А [13].

Допускается сделать расчёт потери напряжения по магистрали-1 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{р}} \cdot l \cdot \frac{100}{U_{\text{н}}} \cdot \left(\frac{r_{\text{уд}}}{n_{\text{ц}}} \cdot \cos \varphi \right); \quad (26)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 154 \cdot 2,95 \cdot \frac{100}{6000} \cdot \left(\frac{0,288}{1} \cdot 0,87 \right) = 8,2 \%,$$

где $U_{\text{н}}$ - номинальное напряжение сетей карьера, 6000 В;

$r_{\text{уд}}$ - удельное сопротивление провода СИП-3 (3x120), 0,288 Ом/км;

$n_{\text{ц}}$ - количество цепей линии.

Допускается сделать проверку проводов по потери напряжения магистрали-1 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}; \quad (27)$$

$$8,2\% \leq 10\% ;$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ - величина медленного измерения напряжения, нижняя граница, -10% [15].

Потоки мощности по участкам сети 6 кВ рассчитываются в соответствии с рисунком 5 по направлению от конца магистрали к шинам ПС Пионер-2.

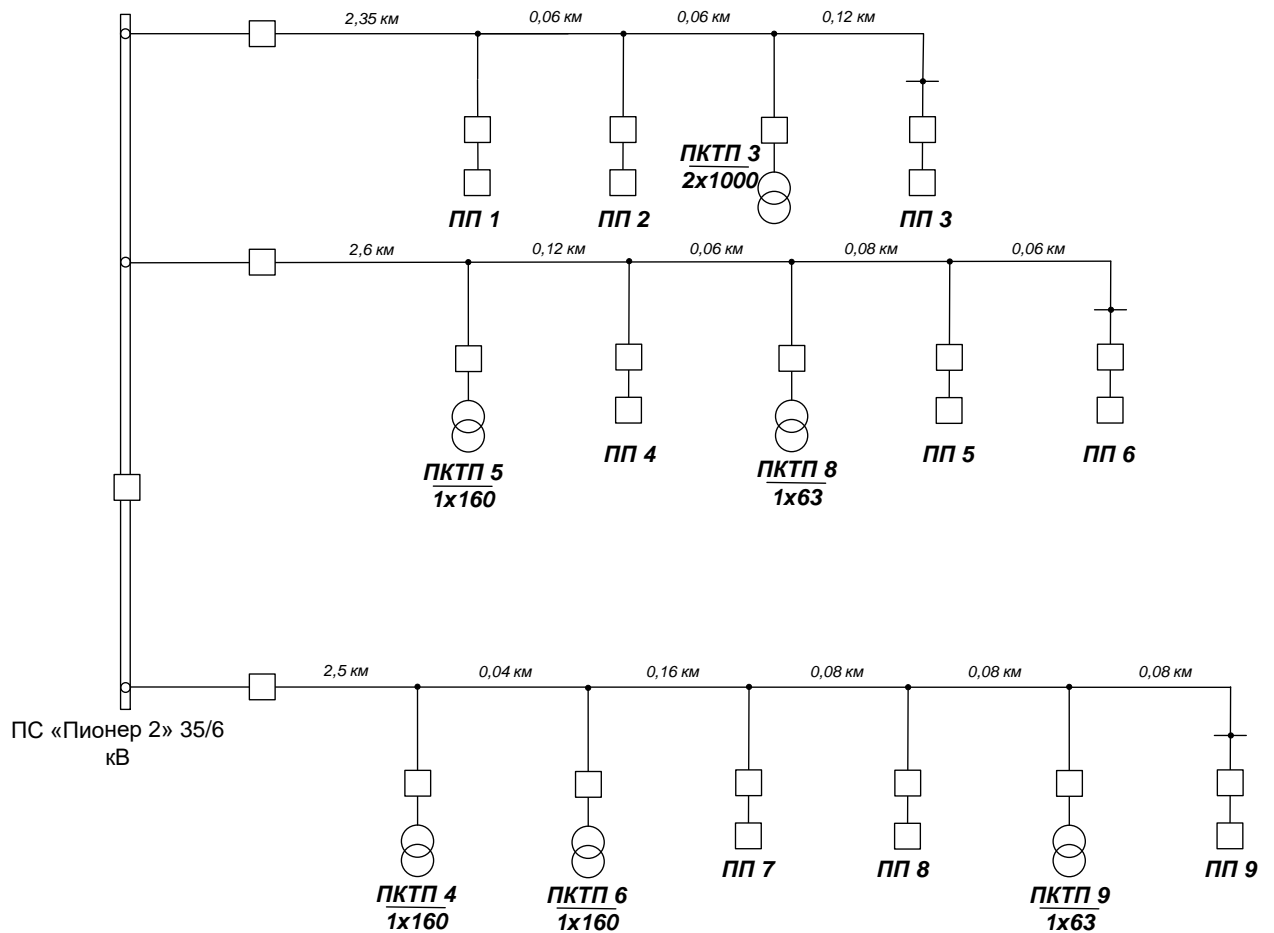


Рисунок 5 – Граф участка сети 6 кВ

Допускается сделать расчёт потока мощности в конце участка ПКТП 3 – ПП 3 по следующему выражению с учётом размерности величин:

$$P_{\text{ПКТП3-ПП3кон}} = P_{\text{ПП3}} = 159 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{ПКТП3-ПП3кон}} = Q_{\text{ПП3}} = 77 \text{ квар.}$$

Допускается сделать расчёт потерь мощности на участке ПКТП 3 – ПП 3 по следующему выражению с учётом размерности величин:

$$\Delta P_{\text{Л}} = \frac{\left(P_{\text{ПКТП3-ПП3кон}}\right)^2 + \left(Q_{\text{ПКТП3-ПП3кон}}\right)^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot R_{\text{удПКТП3-ПП3}} \cdot L, \quad (28)$$

$$\Delta P_{Л} = \frac{(159)^2 + (77)^2}{6^2} \cdot 0.12 \cdot 0.263 = 0,027 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{Л} = \frac{\left(P_{\text{ПКТП3-ПП3}_{\text{кон}}}\right)^2 + \left(Q_{\text{ПКТП3-ПП3}_{\text{кон}}}\right)^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot X_{\text{удПКТП3-ПП3}} \cdot L, \quad (29)$$

$$\Delta Q_{Л} = \frac{(159)^2 + (77)^2}{6^2} \cdot 0.12 \cdot 0.1 = 0,01 \text{ квар},$$

где $R_{\text{удПКТП3-ПП3}}$ - удельное активное сопротивление проводов участка ПКТП 3 – ПП 3, 0,263 Ом/км;

$X_{\text{удПКТП3-ПП3}}$ - удельное реактивное сопротивление проводов участка ПКТП 3 – ПП 3, 0,263 Ом/км;

$P_{\text{ПКТП3-ПП3}_{\text{кон}}}$ - поток активной мощности в конце участка ПКТП 3 – ПП 3, кВт;

$Q_{\text{ПКТП3-ПП3}_{\text{кон}}}$ - поток реактивной мощности в конце участка ПКТП 3 – ПП 3, квар;

L - протяженность участка ПКТП 3 – ПП 3, 0,12 км;

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение на участке ПКТП 3 – ПП 3, 6 кВ.

Допускается сделать расчёт потока мощности в начале участка ПКТП 3 – ПП 3 по следующему выражению с учётом размерности величин:

$$P_{\text{ПКТП3-ПП3}_{\text{нач}}} = P_{\text{ПКТП3-ПП3}_{\text{кон}}} + \Delta P_{Л}; \quad (30)$$

$$P_{\text{ПКТП3-ПП3}_{\text{нач}}} = 159 + 0,027 = 159,027 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{ПКТП3-ПП3}_{\text{нач}}} = Q_{\text{ПКТП3-ПП3}_{\text{кон}}} + \Delta Q_{Л}; \quad (31)$$

$$Q_{\text{ПКТПЗ-ПЗнач}} = 77 + 0,01 = 77,01 \text{ квар.}$$

Рассчитаем потери мощности для всех участков сети 6 кВ по алгоритму, показанному в приложении А.

Представление результатов расчёта нагрузки сетей 6 кВ карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 6.

Таблица 6 – Параметры сетей 6 кВ участка карьера

карьер	ЭКГ-5	ДМЛ	Либхерр	ПКТП насосная	ПКТП осве- щения	Магистраль 1 (Либхерр, ДМЛ, ПКТП 7, ЭКГ)	Магистраль 2 (ПКТП 5, ДМЛ, ПКТП 8, Либхерр, ЭКГ)	Магистраль 3 (ПКТП 4, ПКТП 6, Либхерр, ДМЛ, ПКТП 9, ЭКГ)
Вариант №1								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ррасч , кВт	159	309	1030	80	40	1384	1456	1528
Qрасч , квар	77	273	499	60	0	801	843	884
Срасч , квар	176	412	1144	100	40	1599	1682	1765
Ip, А	17	40	110	10	4	154	162	170
Провод, сечение	КШВ ГМ (3x10)	КШВ ГМ (3x10)	КШВГМ (3x25)	КШВГМ (3x10)	КШВГ М (3x10)	СИП-3 (3x120)	СИП-3 (3x150)	СИП-3 (3x150)
Идоп, А	70	70	120	70	70	485	485	485
L, км	0,05	0,1	0,05	0,5	0,5	2,95	3,15	3,45
cosφ	0,9	0,75	0,9	0,8	1	0,87	0,87	0,87
R, Ом/км	1,78	1,78	0,71	1,78	1,78	0,288	0,263	0,263
Кп	5	5	5	5	1,5	2,5	2,5	2,5
ΔU, %	0,2	0,8	0,5	1,0	0,1	4,1	4,2	4,8
Вариант №2								
карьер	ЭКГ-5	ДМЛ	Либхерр	ПКТП насосная	ПКТП осве- щения	Магистраль 1 (Либхерр, ДМЛ, ПКТП 7, ЭКГ)	Магистраль 2 (ПКТП 5, ДМЛ, ПКТП 8, Либхерр, ЭКГ, ЭКГ)	Магистраль 3 (ПКТП 4, ПКТП 6, Либхерр, ДМЛ, ПКТП 9)
Ррасч , кВт	159	309	1030	80	40	1384	1578	1386
Qрасч , квар	77	273	499	60	0	801	913	802
Срасч , квар	176	412	1144	100	40	1599	1823	1602

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ip, А	17	40	110	10	4	154	176	154
Провод, сечение	КШВ ГМ (3x10)	КШВ ГМ (3x10)	КШВГМ (3x25)	КШВГМ (3x10)	КШВГ М (3x10)	СИП-3 (3x120)	СИП-3 (3x185)	СИП-3 (3x120)
Idоп, А	70	70	120	70	70	485	485	485
L, км	0,05	0,1	0,05	0,5	0,5	2,95	3,65	3,1
cosφ	0,9	0,75	0,9	0,8	1	0,87	0,87	0,87
R, Ом/км	1,78	1,78	0,71	1,78	1,78	0,288	0,241	0,288
Кп	5	5	5	5	1,5	2,5	2,5	2,5
ΔU, %	0,2	0,8	0,5	1,0	0,1	4,1	4,8	4,3

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ СЕТИ 6 КВ КАРЬЕРА

Для примера приводится расчёт приведенных затрат для варианта 1:

Допускается сделать расчёт затрат на провода воздушных линий 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$K_{ВЛ} = L_{ВЛ} \cdot K_{ВЛуд}; \quad (32)$$

$$K_{ВЛ} = 9,55 \cdot 941 = 8986 \text{ тыс.руб.};$$

где $L_{ВЛ}$ – протяженность провода воздушных линий 6 кВ для варианта 1, км;

$K_{ВЛуд}$ – стоимость 1 км провода воздушных линий 6 кВ для варианта 1, тыс.руб./км.

Допускается сделать расчёт затрат на выключатели воздушных линий 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$K_{ВЫКЛ} = N_{ВЫКЛ} \cdot K_{ВЫКЛуд}; \quad (33)$$

$$K_{ВЫКЛ} = 3 \cdot 400 = 1200 \text{ тыс.руб.};$$

где $N_{ВЫКЛ}$ – количество выключателей 6 кВ для варианта 1, шт;

$K_{ВЫКЛуд}$ – стоимость 1 выключателя воздушных линий 6 кВ для варианта 1, тыс.руб./шт.

Допускается сделать расчёт затрат на сооружение объектов электросетевого хозяйства 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$K=K_{ВЛ}+K_{ВЫКЛ}, \quad (34)$$

$$K=1200+8986=10186 \text{ тыс.руб.}$$

Допускается сделать расчёт издержек на амортизацию воздушных линий 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{АМОРТ ВЛ} = A_{ВЛ} \cdot K_{ВЛ}, \quad (35)$$

$$I_{АМОРТ ВЛ} = 0,005 \cdot 8986 = 44,9 \text{ тыс.руб.};$$

где $A_{ВЛ}$ - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание ВЛ, 0,5%;

Допускается сделать расчёт издержек на амортизацию выключателей 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{АМОРТ ВЫКЛ} = A_{ВЫКЛ} \cdot K_{ВЫКЛ}, \quad (36)$$

$$I_{АМОРТ ВЫКЛ} = 0,059 \cdot 1200 = 70,8 \text{ тыс.руб.};$$

где $A_{ВЛ}$ - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание выключателей, 5,9%;

Допускается сделать расчёт издержек на потери электроэнергии в сети 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{ПОТЕРЬ} = C_0 \cdot \Delta W_{Л}, \quad (37)$$

$$I_{\text{ПОТЕРЬ}}=1,93 \cdot 1787013=3449 \text{ тыс.руб.};$$

где C_0 – удельная стоимость потерь электроэнергии 1,93 руб./кВтч [14];

$\Delta W_{\text{Л}}$ - потери электроэнергии в ВЛ варианта 1 по приложению А, 1787013 кВтч.

Допускается сделать расчёт издержек при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I=I_{\text{АМОРТ}}+I_{\text{ПОТЕРЬ}}, \quad (38)$$

$$I=3449+44,9+70,8=4074 \text{ тыс.руб.}$$

Допускается сделать расчёт приведенных затрат при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$Z=E_H \cdot K+I, \quad (39)$$

$$Z=0,1 \cdot 10186+4074=5093 \text{ тыс.руб.}$$

где E_H - норматив дисконтирования, зависит от ставки рефинансирования, которая устанавливается Центробанком, принимается 0,1;

Проводим сравнение вариантов по составу электрооборудования сети 6 кВ, которое меняется для каждого варианта, поэтому затраты на возведение ПКТП не рассматриваются, т.к. количество и мощность ПКТП для обоих вариантов одинаковы.

Представление результатов расчёта приведенных затрат для сети 6 кВ по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 7.

Таблица 7 – Сравнение вариантов сети 10 кВ

№ Варианта	1	2
$N_{\text{выкл}}$, ШТ	3	3
$L_{\text{пров35}}$, км	9,55	9,7
$C_{\text{выкл}}$, тыс. руб	400	400
$C_{\text{пров}}$, тыс. руб	941	941
$C_{\text{потерь ээ}}$, руб/кВтч	1,93	1,93
$I_{\text{пров экспл}}$, тыс. руб	45	46
$I_{\text{выкл экспл}}$, тыс. руб	71	71
$I_{\text{аморт}}$, тыс. руб	509	516
$I_{\text{потерь ээ}}$, тыс. руб	3449	3468
Z , тыс. руб	5093	5134

В результате сравнения по приведенным затратам выявлено, что вариант 2 дороже на 1%. Выбираем вариант 1 по минимуму потерь электроэнергии и технической осуществимости.

4 РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ 6 КВ КАРЬЕРА

Результаты расчёта токов короткого замыкания в проектируемой сети 6 кВ рассчитываются в именованных единицах и служат исходными данными для проверки выбранного оборудования по термической и электродинамической стойкости, а также для настройки уставок срабатывания средств защиты и автоматики оборудования 6 кВ.

Для определения максимального и минимального значений токов КЗ на каждой магистрали, выполняется расчёт токов КЗ на шинах 6 кВ электрически ближайшей и удалённой ПКТП. На рисунке 6 показана схема замещения участка сети 6 кВ Пионер 2 - ПП 1 - ПП 2 - ПКТП 7 - ПП 3.

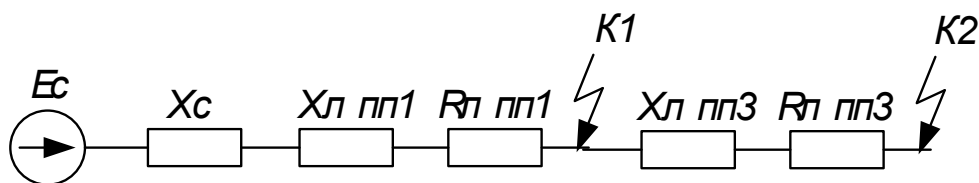


Рисунок 6 - Схема замещения участка 6 кВ Пионер 2 - ПП 1 - ПП 2 - ПКТП 7 - ПП 3

Допускается сделать расчёт индуктивного сопротивления системы сети 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$X_c = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{отк}}; \quad (40)$$

$$X_c = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 12.5} = 0.28 \text{ Ом};$$

где $I_{отк}$ – отключающая способность выключателя на головном участке сети Пионер 2 - ПП 1 - ПП 2 - ПКТП 7 - ПП 3, 12,5 кА.

Допускается сделать расчёт сопротивлений ВЛ Пионер 2 - ПП 1 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$R_{\text{ПП1}} = R_{\text{удПП1}} \cdot L; \quad (41)$$

$$R_{\text{ПП1}} = 0,288 \cdot 2,4 = 0,68 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{ПП1}} = X_{\text{удПП1}} \cdot L; \quad (42)$$

$$X_{\text{ПП1}} = 0,01 \cdot 2,4 = 0,024 \text{ Ом};$$

где $R_{\text{удПП1}}$ - удельное активное сопротивление проводов участка Пионер 2 - ПП 1, 0,288 Ом/км;

$X_{\text{удПП1}}$ - удельное реактивное сопротивление проводов участка Пионер 2 - ПП 1, 0,01 Ом/км;

L - протяженность участка линии 6 кВ Пионер 2 - ПП 1, 2,4км;

Допускается сделать расчёт суммарных сопротивлений до точки К-1 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$R_{\Sigma \text{ К1}} = R_{\text{ПП1}}; \quad (43)$$

$$R_{\Sigma \text{ К1}} = 0,68 \text{ Ом};$$

$$X_{\Sigma \text{ К1}} = X_{\text{ПП1}} + X_{\text{С}}; \quad (44)$$

$$X_{\Sigma \text{ К1}} = 0,024 + 0,28 = 0,304 \text{ Ом}.$$

Допускается сделать расчёт периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени на ПП-1 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{no} = \frac{U_{срнн}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}}, \quad (45)$$

$$I_{no} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,68^2 + 0,304^2}} = 4,74 \text{ кА.}$$

Допускается сделать расчёт тока двухфазного короткого замыкания на ПП-1 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{no}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{no}^{(3)}, \quad (46)$$

$$I_{no}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,74 = 4,13 \text{ кА.}$$

Допускается сделать расчёт постоянной затухания аperiodической составляющей на ПП-1 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$T = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \quad (47)$$

$$T = \frac{0,304}{0,68 \cdot 314} = 0,008 \text{ с.}$$

Допускается сделать расчёт ударного коэффициента на ПП-1 при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T}}, \quad (48)$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,008}} = 1,0.$$

Допускается сделать расчёт ударного тока на ПП-1 при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{no}, \quad (49)$$

$$i_{y\partial} = 1,0 \cdot 1,41 \cdot 4,74 = 6,7 \text{ кА.}$$

Допускается сделать расчёт приведённого времени КЗ для линии до ПП-1 при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$t_{II} = t_{pz} + t_{выкл} + \Delta t, \quad (50)$$

$$t_{II} = 0,01 + 0,045 + 0,5 = 0,555 \text{ с;}$$

где t_{pz} - время срабатывания релейной защиты, 0,01 с;

$t_{выкл}$ - время отключения выключателя, 0,045 с;

Δt - ступень селективности до ПП-1, 0,5 с.

Допускается сделать расчёт термически стойкого к токам КЗ сечения линий до ПП-1 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$S_T = \frac{I_{no} \cdot \sqrt{t_{II}}}{K_T}, \quad (51)$$

$$S_{T_{нп1}} = \frac{4,74 \cdot \sqrt{0,555}}{95} = 37,2 \text{ мм}^2;$$

где K_T - температурный коэффициент для проводов линий до ПП-1, 95.

Допускается сделать проверку термически стойкого к токам КЗ сечения линий до ПП-1 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$S_{T_{нп1}} \leq S_{факт_{нп1}}; \quad (52)$$

$$37,2 \text{ мм}^2 \leq 120 \text{ мм}^2.$$

Представление результатов расчёта токов КЗ в сети 6 кВ участка карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 8.

Таблица 8 – Расчёт токов КЗ в сети 6 кВ участка карьера

Линия	Длина, км	$R_{\text{экв}}$, Ом	$Z_{\text{экв}}$, Ом	$I^{(3)}$ по, кА	$I^{(2)}$ по, кА	T, с	$K_{уд}$	$I_{уд}$, кА	$S_{\text{терм. стойкое}}$, мм ²	$S_{\text{факт}}$, мм ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пионер 2 - ПП 1 - ПП 2 - ПКТП 7 - ПП 3										
ПП 1	2,4	0,68	0,73	4,74	4,13	0,008	1,0	6,7	37,2	120
ПП 3	2,6	0,75	0,80	4,36	3,79	0,008	1,0	6,2	65,6	120
Пионер 2 - ПКТП 5 - ПП 4 - ПКТП 8 - ПП 5 - ПП 6										
ПКТП 5	2,6	0,68	0,74	4,70	4,09	0,008	1,0	6,65	36,9	150
ПП 6	2,9	0,77	0,82	4,25	3,70	0,009	1,0	6,01	71,0	150

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пионер 2 - ПКТП 4 - ПКТП 6 - ПП 7 - ПП 8 - ПКТП 9 - ПП 9										
ПКТП 4	2,5	0,66	0,71	4,86	4,23	0,007	1,0	6,88	38,1	150
ПП 9	2,94	0,77	0,82	4,22	3,67	0,009	1,0	5,97	77,5	150

Все участки ВЛ-6 кВ удовлетворяют условию по термической стойкости к току КЗ.

5 ВЫБОР АППАРАТОВ СЕТИ УЧАСТКА КАРЬЕРА

5.1 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

Допускается сделать выбор автоматических выключателей по расчетному току для ТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_p, \quad (53)$$

$$160 \text{ A} \geq 144 \text{ A},$$

$$I_p = \frac{S_{\text{ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (54)$$

$$I_p = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144 \text{ A},$$

где I_p – максимальный рабочий ток на стороне 0,4 кВ ТП-4, 144 А.

$I_{\text{ном. расц}}$ – ток расцепителя ВА 51-33, 160 А [11];

$S_{\text{ТП}}$ - мощность трансформаторов ТП-4, 100 кВА.

Представление результатов выбора автоматических выключателей 0,4 кВ ПКТП карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 9.

Таблица 9 – Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

№ ТП		I_p АВТ, А	$I_{\text{ном. расц}}$, А	Марка выключателя
насосная	4	144	160	ВА51-33
	5	144	160	ВА51-33
	6	144	160	ВА51-33
освещение	7	58	63	ВА51-31
	8	58	63	ВА51-31
	9	58	63	ВА51-31

5.2 Выбор предохранителей 6 кВ

Допускается сделать выбор предохранителей 6 кВ по расчетному току для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{номПР} \geq I_p, \quad (55)$$

$$20 \text{ A} \geq 15 \text{ A},$$

$$I_{ВСТ} \geq I_p, \quad (56)$$

$$16 \text{ A} \geq 15 \text{ A},$$

$$I_p = \frac{S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (57)$$

$$I_p = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 6} = 15 \text{ A};$$

где I_p – максимальный рабочий ток на стороне 6 кВ ТП-4, 15 А.

$I_{номПР}$ – ток предохранителя ПК1 – 6У3, 20 А [11];

$I_{ВСТ}$ – ток вставки предохранителя ПК1 – 6У3, 16 А [11].

Представление результатов выбора предохранителей 6 кВ ПКТП карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 10.

Таблица 10 - Выбор предохранителей 6 кВ

№ ТП		$I_{РАСЧ}$, А	$I_{НОМПР}$, А	$I_{ВСТ}$, А	Тип предохранителя
1	2	3	4	5	6
насосная	4	15	20	16	ПК1– 6У3
	5	15	20	16	ПК1– 6У3
	6	15	20	16	ПК1– 6У3

1	2	3	4	5	6
освещение	7	6	8	8	ПК1– 6У3
	8	6	8	8	ПК1– 6У3
	9	6	8	8	ПК1– 6У3

5.3 Выбор выключателей нагрузки 6 кВ

Допускается сделать выбор выключателей нагрузки 6 кВ по расчетному току для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{ном} \geq I_p, \quad (58)$$

$$400 \text{ A} \geq 15 \text{ A}.$$

Допускается сделать проверку выключателей нагрузки 6 кВ по термической стойкости для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$B_{кр} = I_{но.}^{(3)2} \cdot (t_{отк} + T_a + \Delta t); \quad (59)$$

$$B_{кр} = 4,86^2 \cdot (0,055 + 0,007 + 0,5) = 12 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм}; \quad (60)$$

$$B_{Кном} = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{кр} \leq B_{Кном}; \quad (61)$$

$$12 \text{ кА}^2\text{с} \leq 400 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ - собственное время отключения выключателя нагрузки ВНП - 10/400, 0,055 с;

$I_{терм}$ - ток для сохранения термической стойкости выключателя нагрузки ВНП - 10/400, 10 кА;

$t_{терм}$ - время для сохранения термической стойкости выключателя нагрузки ВНП - 10/400, 4 с.

Допускается сделать проверку выключателей нагрузки 6 кВ по электродинамической стойкости для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{дин} \geq I_{уд}, \quad (62)$$

$$25 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА};$$

где $I_{дин}$ - ток для сохранения электродинамической стойкости выключателя нагрузки ВНП - 10/400, 25 кА.

Представление результатов выбора и проверки выключателей нагрузки 6 кВ ПКТП карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 11.

Таблица 11 - Выбор и проверка выключателей нагрузки 6 кВ

№ ТП	I_R ТП, А	I_H , А	$W_{кр}$, кА ² с	$W_{ном}$, кА ² с	$I_{уд}$, кА	$I_{дин}$, кА	
насосная	4	109	400	12	400	6,9	25
	5	109	400	11	400	7	25
	6	109	400	24	400	7	25
освещение	7	109	400	34	400	6,2	25
	8	109	400	33	400	6	25
	9	109	400	35	400	6	25

5.4 Выбор и проверка трансформаторов тока 6 кВ

Проводится выбор трансформаторов тока 6 кВ в ПКТП 4 – 9. Определяется состав вторичной нагрузки трансформаторов тока в виде приборов,

подключенных к их вторичной цепи [11], для трансформаторов тока на ПКТП 4 – 9 нагрузка приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Нагрузка приборов на стороне 6 кВ ПКТП 4

Наименование прибора	Цепь	Тип Прибора	Нагрузка, В·А		
			А	В	С
Амперметр	Ввод 6 кВ	РА2050	0,5	–	0,5
Варметр		РА2051	0,5	–	0,5
Ваттметр		РА2052	0,5	–	0,5
Счетчик АЭ		Ртутный 223	1,5	–	1,5
Счетчик РЭ		Ртутный 223	1,5	–	1,5
Итого:				4,5	–

Допускается сделать выбор трансформаторов тока 6 кВ по расчетному напряжению для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$U_P \leq U_H; \quad (63)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Допускается сделать выбор трансформаторов тока 6 кВ по расчетному току для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_P \leq I_H; \quad (64)$$

$$15 \text{ А} \leq 50 \text{ А}.$$

Допускается сделать расчёт сопротивления приборов вторичных цепей трансформаторов тока 6 кВ для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (65)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{4,5}{25} = 0,18 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами;

I_2 – вторичный номинальный ток прибора, 5 А.

Допускается сделать расчёт допустимого сопротивления проводов вторичных цепей трансформаторов тока 6 кВ для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}}, \quad (66)$$

$$r_{\text{пр}} = 0,4 - 0,18 - 0,1 = 0,12 \text{ Ом},$$

где $r_{\text{к}}$ – сопротивление контактов, 0,1 Ом.

Допускается сделать расчёт сечения проводов вторичных цепей трансформаторов тока 6 кВ для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$S = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}}, \quad (67)$$

$$S = \frac{0,0283 \cdot 10}{0,12} = 2,35 \text{ мм}^2,$$

где l – длина соединительных проводов, 10 м;

ρ – удельное сопротивление материала провода, для алюминия $\rho = 0,0283 \text{ Ом/м}$.

Ближайшее стандартное сечение провода равно $2,5 \text{ мм}^2$. Выбираем провод марки АКРВГ с сечением $2,5 \text{ мм}^2$.

Допускается сделать расчёт сопротивления проводов вторичных цепей трансформаторов тока 6 кВ для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$r_{np} = \frac{\rho \cdot l}{S}. \quad (68)$$

$$r_{np} = \frac{0,0283 \cdot 10}{2,5} = 0,113 \text{ Ом}.$$

Допускается сделать расчёт сопротивления нагрузки вторичных цепей трансформаторов тока 6 кВ для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$r_{нагр} = z_{нагр}, \quad (69)$$

$$r_{нагр} = 0,113 + 0,12 + 0,1 = 0,333 \text{ Ом}.$$

Допускается сделать проверку трансформаторов тока 6 кВ по термической стойкости для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$B_k = I_{п.о}^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \quad (70)$$

$$B_k = 4,74^2 \cdot (0,5 + 0,015) = 12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$B_k \leq I_{мер}^2 \cdot t_{мер}; \quad (71)$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 3,6^2 \cdot 3 = 38,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 38,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где $I_{терм}$ - ток для сохранения термической стойкости трансформатора тока ТОЛК – 6/50, 3,6 кА;

$t_{терм}$ - время для сохранения термической стойкости трансформатора тока ТОЛК – 6/50, 3 с.

Допускается сделать проверку трансформаторов тока 6 кВ по электродинамической стойкости для ПКТП-4 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{ДИН} \geq I_{УД}, \tag{72}$$

$$20 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА};$$

где $I_{ДИН}$ - ток для сохранения электродинамической стойкости трансформатора тока ТОЛК – 6/50, 20 кА.

Представление результатов выбора и проверки трансформатора тока на вводе 6 кВ ПКТП 4 карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 13.

Таблица 13 – Проверка трансформатора тока на вводе 6 кВ ПКТП 4

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_P = 6 \text{ кВ}$	$U_P \leq U_H$
$I_H = 50 \text{ А}$	$I_P = 15 \text{ А}$	$I_P \leq I_H$
$Z_H = 0,8 \text{ Ом}$	$Z_{Нр} = 0,333 \text{ Ом}$	$Z_{Нр} \leq Z_H$
$I_{ДИН} = 20 \text{ кА}$	$I_{УД} = 6,9 \text{ кА}$	$I_{ДИН} \geq I_{УД}$
$B_k = 38,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$

Все трансформаторы тока подключены к расчетным счетчикам, поэтому выбираем для всех измерительных приборов класс точности 0,5 [10].

Представление результатов выбора и проверки трансформатора тока на вводе 6 кВ всех ПКТП карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 14.

Таблица 14 - Выбор и проверка трансформаторов тока 6 кВ ПКТП

№ ТП		$I_{P \text{ ТП}}, \text{ А}$	$I_{Н}, \text{ А}$	$B_{Kp}, \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{Kn}, \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{уд}, \text{ кА}$	$I_{дин}, \text{ кА}$
насосная	4	15	50	12	38,88	6,9	17,6
	5	15	50	11	39	7	18
	6	15	50	24	39	6	18
освещение	7	6	50	34	38,88	6,2	17,6
	8	6	50	33	39	7	18
	9	6	50	35	39	6	18

Проводится выбор трансформаторов тока 6 кВ в ЯКНО и КРУН ПС Пионер-2. Нагрузка трансформаторов тока в ячейках ЯКНО и КРУН ПС Пионер-2 аналогична нагрузке, приведенной в таблице 12.

Допускается сделать выбор трансформаторов тока 6 кВ по расчетному напряжению для ЯКНО и КРУН ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$U_P \leq U_H;$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Допускается сделать выбор трансформаторов тока 6 кВ по расчетному току для ЯКНО Либхерр при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_P \leq I_H;$$

$$110 \text{ А} \leq 150 \text{ А}.$$

Допускается сделать проверку трансформаторов тока 6 кВ по термической стойкости для ЯКНО Либхерр при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$W_k = I_{п.о.}^2 \cdot (t_{отк} + T_a),$$

$$W_k = 4,74^2 \cdot (0,5 + 0,015) = 12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$W_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер};$$

$$12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где $I_{терм}$ - ток для сохранения термической стойкости трансформатора тока ТОЛ-10-1, 10 кА;

$t_{терм}$ - время для сохранения термической стойкости трансформатора тока ТОЛ-10-1, 3 с.

Допускается сделать проверку трансформаторов тока 6 кВ по электродинамической стойкости для ЯКНО Либхерр при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{дин} \geq I_{уд}, \tag{73}$$

$$20 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА};$$

где $I_{дин}$ - ток для сохранения электродинамической стойкости трансформатора тока ТОЛ-10-1, 20 кА.

Представление результатов выбора и проверки трансформатора тока для ЯКНО карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 15.

Таблица 15 – Выбор и проверка трансформатора тока на вводе 6 кВ ЯКНО

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_P = 6 \text{ кВ}$	$U_P \leq U_H$
$I_{H \text{ либхерр}} = 150 \text{ А}$ $I_{H \text{ ЭКГ}} = 20 \text{ А}$ $I_{H \text{ ДМЛ}} = 50 \text{ А}$	$I_{P \text{ либхерр}} = 110 \text{ А}$ $I_{P \text{ ЭКГ}} = 17 \text{ А}$ $I_{P \text{ ДМЛ}} = 40 \text{ А}$	$I_P \leq I_H$
$Z_H = 0,8 \text{ Ом}$	$Z_{Hр} = 0,333 \text{ Ом}$	$Z_{Hр} \leq Z_H$
$I_{\text{ДИН}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{уд}} = 6,9 \text{ кА}$	$I_{\text{ДИН}} \geq I_{\text{уд}}$
$B_k = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}}$

Допускается сделать выбор трансформаторов тока 6 кВ по расчетному току для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_P \leq I_H;$$

$$154 \text{ А} \leq 200 \text{ А}.$$

Допускается сделать проверку трансформаторов тока 6 кВ по термической стойкости для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$B_k = I_{\text{п.о}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a),$$

$$B_k = 12,5^2 \cdot (0,055 + 0,007 + 0,5) = 88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер};$$

$$88 \text{ кА}^2\text{с} \leq 300 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $I_{терм}$ - ток для сохранения термической стойкости трансформатора тока ТОЛ-10-1, 10 кА;

$t_{терм}$ - время для сохранения термической стойкости трансформатора тока ТОЛ-10-1, 3 с.

Допускается сделать проверку трансформаторов тока 6 кВ по электродинамической стойкости для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{ДИН} \geq I_{уд},$$

$$20 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА};$$

где $I_{ДИН}$ - ток для сохранения электродинамической стойкости трансформатора тока ТОЛ-10-1, 20 кА.

Представление результатов выбора и проверки трансформатора тока для КРУН 6 кВ ПС Пионер-2 по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 16.

Таблица 16 – Выбор и проверка трансформатора тока на линейных ячейках КРУН 6 кВ ПС Пионер-2

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_P = 6 \text{ кВ}$	$U_P \leq U_H$
$I_H \text{ Магистраль } 1 = 200 \text{ А}$ $I_H \text{ Магистраль } 2 = 200 \text{ А}$ $I_H \text{ Магистраль } 3 = 200 \text{ А}$	$I_P \text{ Магистраль } 1 = 154 \text{ А}$ $I_P \text{ Магистраль } 2 = 162 \text{ А}$ $I_P \text{ Магистраль } 3 = 170 \text{ А}$	$I_P \leq I_H$
$Z_H = 0,8 \text{ Ом}$	$Z_{Нр} = 0,333 \text{ Ом}$	$Z_{Нр} \leq Z_H$
$I_{ДИН} = 20 \text{ кА}$	$I_{уд} = 6,9 \text{ кА}$	$I_{ДИН} \geq I_{уд}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 300 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$B_K = 88 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$

5.5 Выбор и проверка выключателей 6 кВ

На стороне 6 кВ ПС Пионер-2 и в ячейках ЯКНО выбираются вакуумные выключатели типа ВВ/Тел-6-12,5/630У2 [11].

Допускается сделать выбор выключателей 6 кВ по расчетному напряжению для ЯКНО и КРУН ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$U_P \leq U_H;$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Допускается сделать выбор выключателей 6 кВ по расчетному току для ЯКНО Либхерр при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{n/a} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (74)$$

$$I_{n/a} = \frac{1144}{\sqrt{3} \cdot 6} = 110 \text{ А};$$

$$I_P \leq I_H;$$

$$110 \text{ А} \leq 630 \text{ А};$$

где S_p - нагрузка линии 6 кВ питающей экскаватор Либхер, 1144 кВА.

Допускается сделать проверку выключателей 6 кВ по термической стойкости для ЯКНО Либхерр при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$B_k = I_{п.о}^2 \cdot (t_{отк} + T_a),$$

$$B_k = 4,74^2 \cdot (0,5 + 0,015) = 12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$t_{откл} = t_v + t_{pz}; \tag{75}$$

$$t_{откл} = 0,015 + 0,5 = 0,515 \text{ с};$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} \geq B_k;$$

$$12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где $I_{терм}$ - ток для сохранения термической стойкости выключателя типа ВВ/Тел-6-12,5/630У2, 12,5 кА;

$t_{терм}$ - время для сохранения термической стойкости выключателя типа ВВ/Тел-6-12,5/630У2, 3 с.

Допускается сделать проверку выключателей 6 кВ по электродинамической стойкости для ЯКНО Либхерр при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{дин} \geq I_{уд},$$

$$51 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА};$$

где $I_{дин}$ - ток для сохранения электродинамической стойкости выключателя типа ВВ/Тел-6-12,5/630У2, 51 кА.

Допускается сделать проверку выключателей 6 кВ по отключению апериодической составляющей тока КЗ для ЯКНО Либхерр при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$i_{a,ном} \geq i_{ат}; \quad (76)$$

$$7 \text{ кА} \geq 0,13 \text{ кА};$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot I_{ном.отк} \cdot \beta_n, \quad (77)$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot 0,4 = 7 \text{ кА},$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot e^{-\frac{0,005}{T_a}}; \quad (78)$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 4,74 \cdot e^{-\frac{0,005}{0,515}} = 0,13 \text{ кА};$$

где β_n – нормированное процентное содержание апериодической составляющей выключателя типа ВВ/Тел-6-12,5/630У2, 0,4.

Допускается сделать проверку выключателей 6 кВ по отключению периодической составляющей тока КЗ для ЯКНО Либхерр при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I^{(3)}_{по} \leq I_{откл};$$

$$4,74 \text{ кА} \leq 12,5 \text{ кА}.$$

Для ячеек ЯКНО всех электроприемников 6 кВ карьера выбор и проверка выполняются также. Представление результатов выбора и проверки выключа-

телей 6 кВ для ЯКНО карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 17.

Таблица 17 – Выбор и проверка выключателей ЯКНО

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_p \leq U_H$
$I_H = 630 \text{ А}$	$I_{p \text{ либхерр}} = 110 \text{ А}$ $I_{p \text{ ЭКГ}} = 17 \text{ А}$ $I_{p \text{ ДМЛ}} = 40 \text{ А}$	$I_p \leq I_H$
$I_{откл} = 12,5 \text{ кА}$	$I^{(3)}_{п0} = 4,74 \text{ кА}$	$I^{(3)}_{п0} \leq I_{откл}$
$i_{a \text{ ном}} = 7 \text{ кА}$	$i_{at} = 0,13 \text{ кА}$	$i_{a.ном} \geq i_{at}$
$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} = 468 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K \leq I_{мер}^2 \cdot t_{мер}$
$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	$i_{уд} = 6,9 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{дин}$

Допускается сделать выбор выключателей 6 кВ по расчетному току для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_p \leq I_H;$$

$$154 \text{ А} \leq 630 \text{ А};$$

Допускается сделать проверку выключателей 6 кВ по термической стойкости для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

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

$$B_K = 12,5^2 \cdot (0,055 + 0,007 + 0,5) = 88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер};$$

$$88 \text{ кА}^2\text{с} \leq 468,8 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $I_{терм}$ - ток для сохранения термической стойкости выключателя типа ВВ/Тел-6-12,5/630У2, 12,5 кА;

$t_{терм}$ - время для сохранения термической стойкости выключателя типа ВВ/Тел-6-12,5/630У2, 3 с.

Допускается сделать проверку выключателей 6 кВ по электродинамической стойкости для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{ДИН} \geq I_{уд},$$

$$51 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА};$$

где $I_{ДИН}$ - ток для сохранения электродинамической стойкости выключателя типа ВВ/Тел-6-12,5/630У2, 51 кА.

Допускается сделать проверку выключателей 6 кВ по отключению апериодической составляющей тока КЗ для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$i_{a,ном} \geq i_{ат};$$

$$7 \text{ кА} \geq 0,13 \text{ кА};$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot I_{ном.отк} \cdot \beta_n,$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot 0,4 = 7 \text{ кА},$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot e^{-\frac{0,005}{T_a}};$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 4,74 \cdot e^{-\frac{0,005}{0,515}} = 0,13 \text{ кА};$$

где β_n – нормированное процентное содержание аperiodической составляющей выключателя типа ВВ/Тел-6-12,5/630У2, 0,4.

Допускается сделать проверку выключателей 6 кВ по отключению периодической составляющей тока КЗ для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I^{(3)}_{по} \leq I_{откл};$$

$$4,74 \text{ кА} \leq 12,5 \text{ кА}.$$

Для ячеек КРУН 6 кВ ПС Пионер-2 выбор и проверка выполняются также. Представление результатов выбора и проверки выключателей 6 кВ для КРУН 6 кВ ПС Пионер-2 по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 18.

Таблица 18 – Выбор и проверка выключателей КРУН ПС Пионер-2

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_n = 6 \text{ кВ}$	$U_p = 6 \text{ кВ}$	$U_p \leq U_n$
$I_n = 630 \text{ А}$	$I_p \text{ Магистраль 1} = 154 \text{ А}$ $I_p \text{ Магистраль 2} = 162 \text{ А}$ $I_p \text{ Магистраль 3} = 170 \text{ А}$	$I_p \leq I_n$
$I_{откл} = 12,5 \text{ кА}$	$I^{(3)}_{по} = 4,74 \text{ кА}$	$I^{(3)}_{по} \leq I_{откл}$
$i_{a,ном} = 7 \text{ кА}$	$i_{ат} = 0,13 \text{ кА}$	$i_{a,ном} \geq i_{ат}$
$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} = 468 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$В_k = 88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$В_k \leq I_{мер}^2 \cdot t_{мер}$
$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	$i_{уд} = 6,9 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{дин}$

5.6 Выбор трансформаторов напряжения 6 кВ

Определяется состав вторичной нагрузки трансформаторов напряжения в виде приборов, подключенных к их вторичной цепи, для трансформаторов напряжения в ЯКНО и КРУН ПС Пионер-2 нагрузка приведена в таблице 19.

Таблица 19 – Вторичная нагрузка ТН на стороне 6 кВ на одну секцию шин

Прибор	Тип	Собм, В·А	Число обмот- ток	cos φ	sinφ	Число прибо- ров	Р, Вт	Q, В·Ар
Вольтметр (сборные ши- ны)	РА2050	2	1	1	0	1	2	-
Ваттметр Счетчик ватт- часов (трансформа- тор СН)	Д-335 Меркурий	1,5 3 Вт	2 2	1 0,38	0 0,925	1 1	3 2,28	- 5,55
Счетчик ватт- часов	Меркурий	3 Вт	2	0,38	0,925	5	22,8	55,1
Счетчик вольт- ампер-часов (2 линии 6 кВ к потребителям)	Меркурий	3 Вт	2	0,38	0,925	2	4,56	11,1
Итого:							34,64	71,75

Допускается сделать выбор трансформаторов напряжения 6 кВ по расчетному напряжению для ЯКНО и КРУН ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$U_P \leq U_H;$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Допускается сделать расчёт нагрузки вторичных цепей трансформаторов напряжения 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}, \quad (79)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{34,64^2 + 71,75^2} = 79,7 \text{ ВА.}$$

Допускается сделать проверку трансформаторов напряжения 6 кВ по вторичной нагрузке при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}, \quad (80)$$

$$79,7 \text{ ВА} \leq 100 \text{ ВА,}$$

где $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора напряжения НАМИ-6 УЗ, 100 ВА.

Представление результатов выбора и проверки трансформаторов напряжения 6 кВ по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 20.

Таблица 20 - Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6 кВ

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_p = 6 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_p$
$S_H = 100 \text{ В} \cdot \text{А}$	$S_p = 79,67 \text{ В} \cdot \text{А}$	$S_H \geq S_p$

5.7 Выбор КРУ 6 кВ

РУ 6 кВ ПС «Пионер -2» выполнено ячейками наружной установки типа КРУН К-59 [22]. Подключение экскаваторов к линиям 6 кВ осуществляется через приключательные пункты ячейками ЯКНО-6.

Допускается сделать выбор КРУ 6 кВ по расчетному напряжению для приключательных пунктов и ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$U_P \leq U_H;$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Допускается сделать выбор КРУ 6 кВ по расчетному току для приключательного пункта Либхерр при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{n/a} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{n/a} = \frac{1144}{\sqrt{3} \cdot 6} = 110 \text{ А};$$

$$I_P \leq I_H;$$

$$110 \text{ А} \leq 630 \text{ А};$$

где S_p - нагрузка линии 6 кВ питающей экскаватор Либхер, 1144 кВА.

Допускается сделать проверку КРУ 6 кВ по термической стойкости для приключательного пункта Либхерр при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$W_k = I_{п.о}^2 \cdot (t_{отк} + T_a),$$

$$W_k = 4,74^2 \cdot (0,5 + 0,015) = 12 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} \geq B_k;$$

$$12 \text{ кА}^2\text{с} \leq 468.8 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $I_{терм}$ - ток для сохранения термической стойкости ЯКНО-6, 12,5 кА;

$t_{терм}$ - время для сохранения термической стойкости ЯКНО-6, 3 с.

Допускается сделать проверку КРУ 6 кВ по электродинамической стойкости для приключательного пункта Либхерр при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{дин} \geq I_{уд},$$

$$51 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА};$$

где $I_{дин}$ - ток для сохранения электродинамической стойкости ЯКНО-6, 51 кА.

Представление результатов выбора и проверки КРУ 6 кВ для приключательных пунктов карьера по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 21.

Таблица 21 – Выбор и проверка КРУ приключательных пунктов 6 кВ

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_p \leq U_H$
$I_H = 630 \text{ А}$	$I_{р \text{ либхерр}} = 110 \text{ А}$ $I_{р \text{ ЭКГ}} = 17 \text{ А}$ $I_{р \text{ ДМЛ}} = 40 \text{ А}$	$I_p \leq I_H$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 468 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$B_k = 12 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$
$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	$i_{уд} = 6,9 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{дин}$

Допускается сделать выбор КРУ 6 кВ по расчетному току для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_p \leq I_H;$$

$$154 \text{ A} \leq 630 \text{ A};$$

Допускается сделать проверку КРУ 6 кВ по термической стойкости для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

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

$$B_K = 12,5^2 \cdot (0,055 + 0,007 + 0,5) = 88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_K \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер};$$

$$88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

где $I_{терм}$ - ток для сохранения термической стойкости КРУН К-59, 12,5 кА;

$t_{терм}$ - время для сохранения термической стойкости КРУН К-59, 3 с.

Допускается сделать проверку КРУ 6 кВ по электродинамической стойкости для КРУН 6 кВ магистрали 1 ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{дин} \geq I_{уд},$$

$$51 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА};$$

где $I_{дин}$ - ток для сохранения электродинамической стойкости КРУН К-59, 51 кА.

Представление результатов выбора и проверки КРУ 6 кВ для КРУН 6 кВ ПС Пионер-2 по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 22.

Таблица 22 – Выбор и проверка выключателей КРУН ПС Пионер-2

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_p = 6 \text{ кВ}$	$U_p \leq U_H$
$I_H = 630 \text{ А}$	$I_p \text{ Магистраль } 1 = 154 \text{ А}$ $I_p \text{ Магистраль } 2 = 162 \text{ А}$ $I_p \text{ Магистраль } 3 = 170 \text{ А}$	$I_p \leq I_H$
$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} = 468 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K \leq I_{мер}^2 \cdot t_{мер}$
$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	$i_{уд} = 6,9 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{дин}$

5.8 Выбор и проверка предохранителей для защиты ТН

Допускается сделать выбор предохранителей 6 кВ по расчетному току для трансформатора напряжения при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{номПР} \geq I_p, \quad (81)$$

$$10 \text{ А} \geq 9,6 \text{ А},$$

$$I_{ВСТ} \geq I_p, \quad (82)$$

$$10 \text{ А} \geq 9,6 \text{ А},$$

$$I_{PTH} = \frac{S_{TH}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (83)$$

$$I_{PTH} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,6 \text{ А};$$

где I_p – максимальный ток через трансформатор напряжения, 9,6 А;

$I_{номПР}$ – ток предохранителя ПКТ101-10-6-20У1, 10 А [8];

$I_{вст}$ – ток вставки предохранителя ПКТ101-10-6-20У1, 10 А [8].

Представление результатов выбора предохранителей 6 кВ ТН по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 23.

Таблица 23 – Выбор предохранителей ТН

Справочные данные	Расчётные данные	Условия
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 10 \text{ А}$ $I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{pmax} = 9,6 \text{ А}$ $I_{по} = 4,86 \text{ кА}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{pmax}$ $I_{откл} \geq I_{по}$

5.9 Выбор и проверка изоляторов

Выбираем опорные изоляторы в КРУН и ячейках ЯКНО марки ОНШП-10-20 УХЛ1 [22].

Допускается сделать расчёт фактической нагрузки на головку изолятора КРУ 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \frac{i_{уд}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (84)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{6880^2 \cdot 0,9}{0,8} \cdot 10^{-7} = 9,2 \text{ Н} ,$$

где a - ширина полосы шины, для выбранного КРУН 0,8 м;

l - длина пролёта между осями опорных изоляторов КРУН К-59, 0,9 м.

Допускается сделать расчёт допустимой нагрузки на головку изолятора КРУ 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$F_{доп} = 0,6 \cdot F_{разр}, \quad (85)$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 3000 = 1800 \text{ Н};$$

где $F_{разр}$ – величина силы разрушающего воздействия для изолятора ОНШП-10-20 УХЛ1, 3000 Н.

Допускается сделать проверку механической прочности изолятора КРУН 6 кВ ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$F_{доп} \geq F_{расч}; \tag{86}$$

$$1800 \text{ Н} \geq 9,2 \text{ Н};$$

Представление результатов выбора и проверки изоляторов 6 кВ по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 24.

Таблица 24 – Выбор и проверка опорных изоляторов КРУН

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
изоляторы КРУН ПС Пионер-2		
$U_p = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_p$
$F_{расч} = 9,2 \text{ Н}$	$F_{доп} = 2400 \text{ Н}$	$F_{доп} \geq F_{расч}$
изоляторы ЯКНО		
$U_p = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_p$
$F_{расч} = 8,8 \text{ Н}$	$F_{доп} = 2400 \text{ Н}$	$F_{доп} \geq F_{расч}$

5.10 Выбор и проверка токоведущих частей КРУ

В РУ 6 кВ ПС Пионер-2 и ЯКНО применяется жёсткая ошиновка АДО - 60×8 [22], сечение прямоугольное, расположение жесткой ошиновки в силовом отсеке шин КРУН и ЯКНО показано на рисунке 7.

Допускается сделать выбор жёстких шин 6 кВ по расчетному току для КРУН ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}}, \quad (87)$$

$$1025 \text{ A} \geq 170 \text{ A};$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый по нагреву ток шин АДО -60×8 мм², 1025 А.

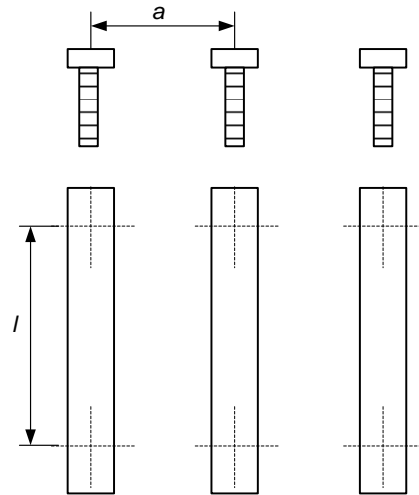


Рисунок 7 - Расположение шин

Допускается сделать проверку сечения жёстких шин 6 кВ по термической стойкости для КРУН ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{Bk}}{C}, \quad (88)$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{12 \cdot 10^6}}{91} = 38 \text{ мм}^2;$$

$$q \geq q_{\text{min}}; \quad (89)$$

$$480 \text{ мм}^2 \geq 38 \text{ мм}^2.$$

Допускается сделать проверку сечения жёстких шин 6 кВ по частота собственных колебаний для КРУН ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (90)$$

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (91)$$

$$J = \frac{0.8 \cdot 6^3}{12} = 14.4 \text{ см}^4;$$

$$0,9 \text{ м} \leq 1,2 \text{ м};$$

где l - длина пролёта между осями опорных изоляторов в КРУН К-59, 0,9 м;

q - поперечное сечение шины АДО -60×8, 480 мм².

Допускается сделать проверку жёстких шин 6 кВ по динамической стойкости к ударному току для КРУН ПС Пионер-2 при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (92)$$

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{6880^2 \cdot 0,9^2}{0,64 \cdot 0,45} = 23 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{расч} < \sigma_{доп}; \quad (93)$$

$$23 < 75 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{доп}} \leq 0.7 \sigma_{\text{разр}}; \quad (94)$$

$$23 < 75 \text{ МПа};$$

где W - момент сопротивления шины АДО -60×8, 0.64 см³,

a - расстояние между фазами в КРУН К-59, 0,45 м;

$\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение шин АДО -60×8, 75 МПа;

$\sigma_{\text{разр}}$, –напряжение разрушения шин АДО -60×8, 130 МПа.

Представление результатов выбора и проверки жёстких шин 6 кВ по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 25.

Таблица 25 – Выбор жёстких шин 6 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
Ошиновка КРУН ПС Пионер-2		
$I_p = 170 \text{ А}$ $\sigma_{\text{расч}} = 23 \text{ МПа}$ $q_{\text{min}} = 38 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А}$ $\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$ $q = 480 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{max}}$ $\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{\text{расч}}$ $q \geq q_{\text{min}}$
Ошиновка ЯКНО		
$I_p = 110 \text{ А}$ $\sigma_{\text{расч}} = 19 \text{ МПа}$ $q_{\text{min}} = 38 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А}$ $\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$ $q = 480 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{max}}$ $\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{\text{расч}}$ $q \geq q_{\text{min}}$

5.11 Выбор и проверка ограничителей перенапряжения 6 кВ

Выбирается ограничители перенапряжения ОПН – РВ/TEL У1 для защиты приключательных пунктов 6 кВ, кабелей 6 кВ, шин 6 кВ ПС Пионер-2.

Допускается сделать расчёт энергоемкости ОПН 6 кВ при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$\mathcal{E} = \frac{U - U_{\text{осн}}}{z} \cdot U_{\text{осн}} \cdot 2 \cdot T \cdot n, \quad (95)$$

$$\mathcal{E} = \frac{43 - 12,6}{250} \cdot 12,6 \cdot 2 \cdot 7,94 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 4,9 \text{ кДж},$$

где U - неограниченное перенапряжение для ОПН – РВ/TEL У1, 43 кВ [19];

$U_{ост}$ - остающееся напряжение для ОПН – РВ/TEL У1, 12,6 кВ;

z - волновое сопротивление, 250 Ом;

n - количество последовательных токовых импульсов, 20.

Допускается сделать расчёт удельной энергоемкости ОПН 6 кВ при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$\mathcal{E}^* = \frac{\mathcal{E}}{U_{уст\ опн}}, \quad (96)$$

$$\mathcal{E}^* = \frac{4,9}{6} = 0,82 \text{ кДж/кВ}.$$

Допускается сделать проверку соответствия энергоемкости ОПН 6 кВ его расчётным параметрам при помощи подстановки справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$\mathcal{E}^* \leq \mathcal{E}_{1\text{класс}}; \quad (97)$$

$$0,82 \text{ кДж/кВ} \leq 1,1 \text{ кДж/кВ};$$

где $\mathcal{E}_{1\text{класс}}$ – энергоемкость ОПН – РВ/TEL У1, соответствующая 1 классу до 1,1 кДж/кВ.

6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Допускается сделать расчёт величины ёмкостного тока сетей 6 кВ для системы электроснабжения участка «Промежуточный» при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_c = \frac{U_H \cdot (35 \cdot L_{КЛ} + L_{ВЛ})}{350}, \quad (98)$$

$$I_c = \frac{6 \cdot (35 \cdot 0 + 9,88)}{350} = 0,16; \text{ А};$$

где U_H – номинальное напряжение сети, кВ;

$L_{КЛ}$ – суммарная длина кабельных линий, 0,3 км;

$L_{ВЛ}$ – суммарная длина воздушных линий, 9,88 км;

Допускается сделать проверку обоснованности установки дугогасящих реакторов для системы электроснабжения участка 6 кВ «Промежуточный» при помощи подстанции справочных и исходных данных в следующее выражение:

$$I_{дон} \geq I_c, \quad (99)$$

$$30 \text{ А} \geq 0,16 \text{ А};$$

где $I_{дон}$ – допустимый ёмкостной ток в сети, при которой его компенсация не требуется, 30 А для сети 6 кВ [18].

7 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

В системе электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный ГГМК Пионер» для сохранения надёжности и бесперебойности электроснабжения потребителей 6 кВ используются терминалы защит на микропроцессорной архитектуре МІСОМ-123 [23].

7.1 Токовая отсечка без выдержки времени

Допускается сделать расчёт первичного тока срабатывания токовой отсечки для магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{но}^{(3)}, \quad (100)$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 4,74 = 5,216 \text{ кА},$$

где k_n – коэффициент надёжности терминала МІСОМ-123, 1,1;

$I_{но}^{(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания в начале магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2», 4,74 кА.

Допускается сделать проверку чувствительности токовой отсечки для магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$K_q = \frac{I_{по}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (101)$$

$$K_q = \frac{5,216}{3,79} = 0,73,$$

$$K_q \geq 2;$$

$0,73 \geq 2$, неверное равенство;

где $I_{no}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания в конце магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2», 4,74 кА.

При чувствительности менее 2 выполняется выдержка времени для токовой отсечки 0,2 с:

$$t_{TO} = t_{c.з.} + 0,2. \quad (102)$$

$$t_{TO} = 0 + 0,2 = 0,2 \text{ с}.$$

Допускается сделать расчёт вторичного тока срабатывания токовой отсечки для магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{C.P.} = k_{CX} \frac{I_{C.з.}}{n_T}, \quad (103)$$

$$n_T = \frac{I_{ТГВ}}{I_{ТТН}},$$

$$n_T = \frac{200}{5} = 40,$$

$$I_{C.P.} = 1 \cdot \frac{5216}{40} = 130 \text{ А}.$$

Представление результатов расчёта токовой отсечки для магистралей 6 кВ ПС «Пионер-2» по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 26.

Таблица 26 – Расчёт токовой отсечки

Линия	$I_{(3)по},$ кА	$I_{(2)по},$ кА	$I_L,$ А	$I_{НТТ},$ А	$I_{с.з.}$ кА	n_T	$I_{с.р.}$ А	$K_{ч}$
Пионер 2 - ПП 1 - ПП 2 - ПКТП 7 - ПП 3	4,74	3,79	154	200	5,216	40	130	0,73
Пионер 2 - ПКТП 5 - ПП 4 - ПКТП 8 - ПП 5 - ПП 6	4,70	3,70	162	200	5,170	40	129	0,71
Пионер 2 - ПКТП 4 - ПКТП 6 - ПП 7 - ПП 8 - ПКТП 9 - ПП 9	4,86	3,67	170	200	5,346	40	134	0,69
ЭКГ-5	4,36	3,79	17	201	4,794	40,2	119	0,79
ДМЛ	4,55	3,96	40	202	5,005	40,4	124	0,79
Либхерр	4,74	4,13	110	203	5,216	40,6	128	0,79

7.2 Максимальная токовая защита линий

Допускается сделать расчёт первичного тока срабатывания максимальной токовой защиты для магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_в \quad (104)$$

$$I_{с.з.} = 0,154 \cdot 1,1 \cdot 1 / 0,95 = 0,178.$$

где k_H – коэффициент надёжности терминала МІСОМ-123, 1,1;

$k_{с.з.}$ – коэффициент запуска двигателей, 1;

$k_в$ – коэффициент возврата терминала МІСОМ-123, 0,95;

$I_{раб.}$ – максимальный рабочий ток магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2», А.

Допускается сделать проверку чувствительности токовой отсечки для магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$K_{ч} = \frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (105)$$

$$K_q = \frac{3,79}{0.178} = 21,$$

$$K_q \geq 1,5;$$

$$21 \geq 1,5, \text{ верное равенство};$$

При чувствительности более 1,5 выдержка времени для максимальной токовой защиты:

$$t_{c.з.} = t_{ГО.} + \Delta t, \quad (106)$$

$$t_{c.з.} = 0,2 + 0,2 = 0,4 \text{ с.}$$

Допускается сделать расчёт вторичного тока срабатывания максимальной токовой защиты для магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{c.p.} = I_{c.з.} \cdot k_{cx} / n_T, \quad (107)$$

$$I_{c.p.} = 158 \cdot 1 / (40) = 4.$$

где k_{cx} – коэффициент схемы терминала MICOM-123, 1.

Представление результатов расчёта максимальной токовой защиты для магистралей 6 кВ ПС «Пионер-2» по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 27.

Таблица 27 – Расчёт максимальной токовой защиты

Линия	$I_{(3)по}, \text{ кА}$	$I_{(2)по}, \text{ кА}$	$I_L, \text{ А}$	$I_{Н ТТ}, \text{ А}$	$I_{c.з.}, \text{ кА}$	$I_{c.p.}, \text{ А}$	K_q
1	2	3	4	5	6	7	8
Пионер 2 - ПП 1 - ПП 2 - ПКТП 7 - ПП 3	4,74	3,79	154	200	0,178	4	21

1	2	3	4	5	6	7	8
Пионер 2 - ПКТП 5 - ПП 4 - ПКТП 8 - ПП 5 - ПП 6	4,70	3,70	162	200	0,188	5	20
Пионер 2 - ПКТП 4 - ПКТП 6 - ПП 7 - ПП 8 - ПКТП 9 - ПП 9	4,86	3,67	170	200	0,197	5	19
ЭКГ-5	4,36	3,79	17	201	0,020	0	193
ДМЛ	4,55	3,96	40	202	0,046	1	86
Либхерр	4,74	4,13	110	203	0,128	3	32

7.3 Защита от однофазных замыканий на землю

Допускается сделать расчёт тока замыкания на землю для магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{\text{повр.л}} = U_{\text{н}} \cdot L / 350; \quad (108)$$

$$I_{\text{повр.л}} = 6 \cdot 2,95 / 350 = 0,05 \text{ А.}$$

Допускается сделать расчёт тока через трансформатор тока нулевой последовательности для магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = I_{\text{ЗНЗ}} - I_{\text{повр.л}}; \quad (109)$$

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = 0,16 - 0,05 = 0,11 \text{ А;}$$

где $I_{\text{ЗНЗ}}$ – суммарный емкостной ток сети, 0,16 А.

Допускается сделать расчёт тока срабатывания защиты от замыкания на землю для магистрали-1 6 кВ ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$I_{с.з.} = I_{ТНП.повр.л} / k_{ч} \quad (110)$$

$$I_{с.з.} = 0,11 / 1,5 = 0,1.$$

где $k_{ч}$ – коэффициент чувствительности терминала МІСОМ-123, 1,5.

Представление результатов расчёта защиты от замыкания на землю для магистралей 6 кВ ПС «Пионер-2» по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 28.

Таблица 28 – Расчёт защиты от замыкания на землю

Линия	$I_{повр.л}, А$	$I_{ТНП.повр.л}, А$	$I_{с.з.}, А$
Пионер 2 - ПП 1 - ПП 2 - ПКТП 7 - ПП 3	0,05	0,11	0,1
Пионер 2 - ПКТП 5 - ПП 4 - ПКТП 8 - ПП 5 - ПП 6	0,05	0,11	0,1
Пионер 2 - ПКТП 4 - ПКТП 6 - ПП 7 - ПП 8 - ПКТП 9 - ПП 9	0,06	0,10	0,1
ЭКГ-5	0,03	0,13	0,1
ДМЛ	0,06	0,10	0,1
Либхерр	0,03	0,13	0,1

7.4 Автоматический ввод резерва

Допускается сделать расчёт напряжения срабатывания автоматики ввода резерва для шин 6 кВ ПС «Пионер-2» по следующему выражению:

$$U_{авр} = 0,4 \cdot U_{ном} ; \quad (111)$$

$$U_{авр} = 0,4 \cdot 6000 = 240 В.$$

Время срабатывания автоматики ввода резерва для шин 6 кВ ПС «Пионер-2»:

$$t_{с.з.} = t_{МТЗ} + \Delta t ,$$

$$t_{с.з.} = 0,4 + 0,2 = 0,6 с.$$

8 МОЛНИЕЗАЩИТА И ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Для ОРУ-35 кВ ПС «Пионер-2» разрабатывается система заземления, служащая для безопасности персонала и система молниезащиты оборудования от ударов молнии.

8.1 Расчет заземления

Допускается сделать расчёт площади использования под заземлитель ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$S = (A + 2 \cdot 1.5) \cdot (B + 2 \cdot 1.5), \quad (112)$$

$$S = (25,2 + 2 \cdot 1.5) \cdot (18,7 + 2 \cdot 1.5) = 612 \text{ м}^2$$

где A – длина территории ПС «Пионер-2», 25,2 м;

B - ширина территории ПС «Пионер-2», 18,7 м.

Допускается сделать проверку сечения проводника заземлителя по условиям механической прочности ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$F_{\text{мт}} = \pi \cdot r^2, \quad (113)$$

$$F_{\text{мт}} = 3,14 \cdot 8^2 = 201 \text{ мм}^2;$$

где r – радиус проводника системы заземления, приняты стальные арматурные прутки диаметром 16 мм.

Допускается сделать проверку сечения проводника заземлителя по условиям термической стойкости ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$F_{TC} = \sqrt{\frac{I_{K3}^2 \cdot t_{OTK}}{400 \cdot \beta}}, \quad (114)$$

$$F_{TC} = \sqrt{\frac{0,6^2 \cdot 0,1}{400 \cdot 21}} = 0,002 \text{ мм}^2,$$

где t_{OTK} – уставка отключения короткого замыкания, 0,1 с;

β – коэффициент термической стойкости, 21;

I_{K3} – значение тока КЗ, принимается по расчету на стороне 35 кВ – 0,6 кА.

Допускается сделать проверку сечения проводника заземлителя по условиям коррозионной стойкости ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$F_{КОР} = \pi \cdot S_{CP} \cdot (d + S_{CP}), \quad (115)$$

$$S_{CP} = 0,0026 \cdot \ln^3 240 + 0,00915 \cdot \ln^2 240 + 0,0104 \cdot \ln 240 + 0,0224 = 2,024 \text{ мм}^2;$$

$$F_{КОР} = 3,14 \cdot 2,024 \cdot (16 + 2,024) = 114,5 \text{ мм}^2;$$

где T – время использования заземлителя, 240 мес;

a_K, b_K, c_K, α_K – коэффициенты аппроксимации, зависящие от грунта, для средней коррозионной активности принимаем равными:
 $a_K = 0,0026; b_K = 0,00915; c_K = 0,0104; \alpha_K = 0,0224;$

Допускается сделать проверку сечения горизонтальных проводников заземлителя по условиям применимости на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$F_{mn} \geq F_{\min} \geq F_{KOP} + F_{T.C.}; \quad (116)$$

$$F_{\min} \geq 114,5 + 0,1 = 114,6 \text{ мм}^2.$$

Допускается сделать расчёт длины полос горизонтальных проводников заземлителя на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$L_{\Gamma} = \frac{25,2 + 2 \cdot 1,5}{6} \cdot (18,7 + 2 \cdot 1,5) + \frac{18,7 + 2 \cdot 1,5}{6} \cdot (25,2 + 2 \cdot 1,5) = 204 \text{ м.}$$

Допускается сделать расчёт числа полос горизонтальных проводников заземлителя на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\frac{25,2 + 2 \cdot 1,5}{6} + \frac{18,7 + 2 \cdot 1,5}{6} = 8,3, \text{ принимается } n_{\Gamma} = 8.$$

Допускается сделать расчёт вертикальных проводников заземлителя на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$n_B = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a}; \quad (117)$$

$$n_B = \frac{4 \cdot \sqrt{612}}{12} = 8;$$

где a – длина стороны ячейки заземлителя, 12 м.

Допускается сделать расчёт отношения длины вертикальных электродов к площади заземлителя на ПС «Пионер-2» для расчёта двухслойной модели грун-

та при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\frac{l_B}{\sqrt{S}};$$

$$\frac{5}{\sqrt{612}} = 0.2 ;$$

где l_B - длина вертикальных электродов, 5 м.

Допускается сделать расчёт эквивалентного сопротивления заземлителя на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\rho_{\text{экв}} = \rho_2 \cdot A; \tag{118}$$

$$\rho_{\text{экв}} = 200 \cdot 0,2 = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

где ρ_2 – сопротивление заземлителя, найденное при значении коэффициента A и длине вертикальных электродов 5 м, 200 Ом·м;

A – коэффициент двухслойной модели грунта, 0,2 [10].

Допускается сделать расчёт эквивалентного сопротивления двухслойной модели грунта на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

Допускается сделать расчёт стационарного сопротивления заземлителя на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$R_S = \rho_{\text{экв}} \cdot \left(\frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + n_B \cdot l_B} \right); \tag{119}$$

$$R_s = 40 \cdot \left(\frac{0.1}{\sqrt{612}} + \frac{1}{204 + 8 \cdot 5} \right) = 0,33 \text{ Ом.}$$

Допускается сделать расчёт импульсного коэффициента заземлителя на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$\alpha_u = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{S}}{(\rho_{\text{ЭКВ}} + 320) \cdot (I_m + 45000)}}; \quad (120)$$

$$\alpha_u = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{612}}{(40 + 320) \cdot (600 + 45000)}} = 1,5.$$

Допускается сделать расчёт импульсного сопротивления заземлителя на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$R_u = R_s \cdot \alpha_u; \quad (121)$$

$$R_u = 0,33 \cdot 1,5 = 0,49 \text{ Ом.}$$

Допускается сделать проверку импульсного сопротивления заземлителя на ПС «Пионер-2» по возможности его использования при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$R_{\text{и}} \leq R_{\text{и доп}}; \quad (122)$$

$$0,49 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом.}$$

Сопротивление заземлителя ПС «Пионер-2» для молниезащиты не более 0.5 Ом [25].

8.2 Молниезащита ОРУ ПС

Открытое распределительное устройство ПС «Пионер-2» необходимо обеспечить устройствами молниезащиты. В качестве устройств молниезащиты на ОРУ 35 кВ ПС «Пионер-2» используем систему двух стержневых молниеотводов - отдельностоящих.

Для расчёта используется высота молниеотвода:

$$H = 20 \text{ м.}$$

Допускается сделать расчёт эффективной зоны защиты одиночного молниеотвода на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$h_{\text{эф}} = 0.85 \cdot H ; \quad (123)$$

$$h_{\text{эф}} = 0.85 \cdot 20 = 17 \text{ м.}$$

Допускается сделать расчёт радиус круга зоны защиты одиночного молниеотвода на уровне земли на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$r_0 = (1.1 - 0.002 \cdot H) H ; \quad (124)$$

$$r_0 = (1.1 - 0.002 \cdot 20) \cdot 20 = 21,2 \text{ м.}$$

Для расчёта используется расстояние между молниеотводами:

$$L = 15,6 \text{ м.}$$

Допускается сделать расчёт половины ширины внутренней зоны на уровне земли для равновеликих молниеотводов при на ПС «Пионер-2» по выражению:

$$r_{C0} = r_0 = 21,2 \text{ м.}$$

Допускается сделать расчёт минимальной высоты зоны защиты молниеотводов в середине пролёта на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$h_{CX} = h_{\text{ЭФ}} - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot H) \cdot (L - H), \quad (125)$$

$$h_{CX} = 17 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 20) \cdot (15,6 - 20) = 17,8 \text{ м.}$$

Допускается сделать расчёт минимальной высоты зоны защиты молниеотводов в середине пролёта на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$r_X = r_0 \cdot \left(1 - \frac{h_i}{h_{\text{ЭФ}}} \right), \quad (126)$$

$$r_X = 21,2 \cdot \left(1 - \frac{9,45}{17} \right) = 9,4 \text{ м.}$$

где h_i – высота линейного портала, 9,45 м.

Допускается сделать расчёт половины ширины внутренней зоны на высоте линейного портала на ПС «Пионер-2» при помощи подстановки исходных данных в следующее выражение с учётом размерности величин:

$$r_{cx} = r_{c0} \cdot \left(\frac{h_{cx} - h_i}{h_{cx}} \right), \quad (127)$$

$$r_{cx} = 21,2 \cdot \left(\frac{17,8 - 9,45}{17,8} \right) = 9,9 \text{ м.}$$

Представление результатов расчёта зон защиты молниеотводов ПС «Пионер-2» по предшествующим выражениям наиболее наглядно выполнить графически в виде сформированной таблицы 29.

Таблица 29 – Зоны защиты молниеотводов

Характеристика молниезащиты	Защита линейного портала	Защита выключателя
Принимаем высоту молниеотвода H , м	20,0	20,0
Высота зоны защиты при высоте МО $h_{эф}$, м	17,0	17,0
Радиус круга зоны защиты на уровне земли r_0 , м	21,2	21,2
Высота защищаемого объекта h_i , м	9,5	4,1
Радиус зоны защиты на высоте защищаемого объекта r_x , м	9,4	16,1
Расстояние между молниеотводами L , м	15,6	15,6
Половина ширины внутренней зоны на уровне земли r_{c0} , м	21,2	21,2
Минимальная высота зоны защиты h_{cx} , м	17,8	17,8
Половина ширины внутренней зоны на высоте защищаемого объекта r_{cx} , м	9,9	16,3

9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

9.1 Безопасность

Так как подключение нового участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» будет происходить к КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», то необходимо указать меры безопасности при работе в КРУН ПС «Пионер-2» [27].

Работы в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них осуществляются бригадой составом 2 человека и более, при этом в состав бригады включается производитель работ, имеющий действующий допуск по электробезопасности не ниже четвертой группы, в то время как другие члены бригады должны иметь действующий допуск по электробезопасности не ниже третьей группы.

По плану-графику работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», подразумевающих работы на токоведущих частях или поблизости от них, проводится комплектование бригады средствами и аппаратами защиты, при этом, средства и аппараты защиты должны обеспечивать надёжную изоляцию человека от токоведущих частей либо от земли. План-график работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» должен включать в себя необходимые меры безопасности при оформлении инструкций безопасности труда при проведении определенных ими работ или при оформлении технологических карт.

Работы в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», подразумевающих манипуляции на токоведущих частях без снятия напряжения проводятся изолирующими средствами, которые следует держать за соответствующие изоляционные части до ограничительного кольца, при этом работники следят за расположением изолирующей части во избежание перекрытия по поверхности изоляции между фазными проводниками. Так же следует следить за состоянием изолирующими частями средств защиты, так как работа допускается только чистыми и сухими средствами с неповрежденным лаковым покрытием. Не разрешается использовать при работах в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» средства защиты с неисправными изолирующими частями [27].

В тех случаях, когда персонал бригады при работе в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» использует электроизмерительные клещи и указатели напряжения допускается нахождение работников вблизи токоведущих частей не ближе изолирующего промежутка защитного средства [28].

Электрозащитные средства при ревизии под напряжением изоляторов КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» применяются всеми работниками без исключения.

Атмосферные осадки и опасные природные явления, возникающие при проведении работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» должны проверяться регулярно, при развитии неблагоприятных погодных условий все работы в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» прекращаются.

Организационные мероприятия, способствующие безопасному ведению работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», включают в себя оформление наряда-допуска, допуска к работе, надзор во время работы, переводы на другое рабочее место.

Выдача наряда для выполнения работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» производится в случаях осуществления работ по обслуживанию КРУН 6 кВ со снятием напряжения, без снятия напряжения на токоведущих частях КРУН 6 кВ и вблизи них, без снятия напряжения вдали от токоведущих частей КРУН 6 кВ находящихся под напряжением на ПС «Пионер-2».

Перед работами оформляется один наряд для одновременной работы на всех присоединениях КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» в том случае, если со всех токоведущих частей КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» снято напряжение и предотвращена возможность проникновения в смежные или подключаемые щиты, сборки, силовые шкафы.

Перед работами в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» производится подготовка рабочих мест в полном объёме, при расположении рабочих мест в разных электроустановках КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» отдельно от производителя работ может быть задействован один работник, имеющий действующий допуск по электробезопасности не ниже третьей группы, в обязательном порядке проводится инструктаж производителем работ безопасным методом ведения работы

на рабочем месте. Разрешается оформлять один наряд для поочередного производства однотипных эксплуатационных работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», среди которых очистка изоляции, протягивание зажимов, ревизия устройств релейной защиты, автоматики, измерительных приборов, испытательная подготовка оборудования повышенным напряжением от постоянного источника, действия на токоведущих частях измерительной штангой.

ПС «Пионер-2» подготавливается к включению после полного окончания работ на ней по наряду, который предусматривал отключение всех присоединений КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2». Работы, выполняемые при подготовке к включению ПС «Пионер-2» запрещено проводить при действующих нарядах-допусках оборудования ПС «Пионер-2».

Перед работами со снятием напряжения в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» производятся отключения и устанавливаются блокировки, которые позволяют исключить подачу напряжения к месту работы, что может быть следствием ошибок рабочего персонала, несвоевременным выполнением блокировок, самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры, создания предпосылок для загромождения рабочего места посторонними предметами и оборудованием. Дополнительно на приводах выключателей 6 кВ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» и на ключах дистанционного управления коммутационной аппаратуры закрепляются запрещающие плакаты, перемещение которых должно быть предотвращено. В целях безопасности персонала применяется защитное заземление на рабочем месте, если токоведущие части могут оказаться под напряжением, при этом используются стационарные и переносные комплекты заземления. Усиление мер безопасности при работах в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» проводится засчёт установки предупреждающих и предписывающих плакатов на оборудованных рабочих местах и токоведущих частях, оставшихся под напряжением. Конкретные условия использования рабочего места обуславливают необходимость наложения заземления на токоведущие части.

В КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» устанавливаются ограждения тех токоведущих частей, к которым возможно приближение людей, используемых ими ре-

монтажной оснастки и инструмента, механизмов и грузоподъемных машин на расстояние 1 – 2,5 м [28].

Основное мероприятие, обуславливающее безопасное проведение работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», заключается в устройстве видимого разрыва со всех сторон вероятной подачи напряжения к рабочему месту на токоведущих частях, обеспечение видимого разрыва может быть посредством механического отсоединения шин, шлейфов, проводов, отключением разъединителей, выключателей нагрузки, переводом выкатных ячеек 6 кВ в отключенное положение. После обеспечения видимого разрыва, персоналом, занятым на работах в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», устраивается защитное заземление.

Подача питания посредством обратной трансформации от трансформатора собственных нужд или измерительного трансформатора напряжения в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» также предотвращается посредством отключения силовой цепи оборудования.

От токоведущих частей в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» входящих в зону рабочего места, где допущены к работе бригады работников и производится работа, наложенные ранее заземления могут быть отделены посредством отключения выключателей, переводом выкатных тележек в выключенное положение, отключением выключателей нагрузки, снятием предохранителей съёмных контактов.

Переносные заземления в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» монтируются в специально оборудованных местах на токоведущих частях, при этом устроены соединительные крепления и отсутствует, краска, лак, масло или любое другое покрытие, ухудшающее электрическое соединение элементов токоведущей части и заземления.

Монтаж в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» кабельных соединений линейных кабельных заделок производится в защитных очках и брезентовых рукавицах. Сварочные работы осуществляются под контролем производителя работ. Работы по демонтажу с кабелей изоляции и обоймы-формы проводятся только после того, как процесс сварки окончен и температура изоляции не превышает темпе-

ратуру окружающей среды, в противном случае должны быть выдержаны перерывы в технологии проведения работ.

9.2 Экологичность

Так как в системе электроснабжения участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» для подключения потребителей 0,4 кВ использованы сухие трансформаторы 6/0,4 кВ, то расчёт маслоприёмников для отвода масла не выполняется ввиду его нецелесообразности.

Для того, чтобы определить величину отводимой земли под сооружаемую систему электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» выполняется расчёт площади отводимых земель в постоянное и временное пользование [31].

Для постоянного пользования подлежат отводу участки земли под ТП 6/0,4 кВ и стойки опор без оттяжек системы электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер».

Расчёт площади отвода земель в постоянное пользование под трансформаторные подстанции системы электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» выполнен по формуле:

$$F_{пост\ mn} = F_{пост\ mn\ уд} \cdot N_{mn}; \quad (128)$$

$$F_{пост\ mn} = 50 \cdot 6 = 300 \text{ м}^2;$$

где $F_{пост\ mn\ уд}$ - площадь отвода земель в постоянное пользование под трансформаторную подстанцию 6/0,4 кВ с одним трансформатором, 50 м² [30];

N_{mn} – число трансформаторных подстанций 6/0,4 кВ с одним трансформатором, 6 шт.

Расчёт площади отвода земель в постоянное пользование под опоры ВЛ-6 кВ системы электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» выполнен по формуле [31]:

$$F_{\text{пост on}} = (A^2 + \pi \cdot \Delta^2 + 4 \cdot A \cdot \Delta) \cdot N_{\text{on}}; \quad (129)$$

$$F_{\text{пост on}} = (0,27^2 + 3,14 \cdot 1^2 + 4 \cdot 0,27 \cdot 1) \cdot 191 = 820 \text{ м}^2;$$

где A – длина основания опоры квадратного сечения, определена по рисунку 8, 0,27 м;

Δ - ширина полосы отвода земли за границей контура опоры, принимается для земель не сельскохозяйственного назначения с опорами без ригелей и оттяжек, 1 м [29];

N_{on} – число опор 6 кВ, задействованных в системе электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер», 191 шт.

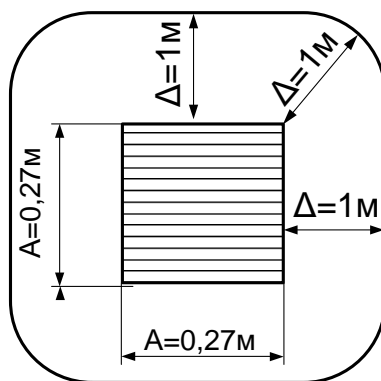


Рисунок 8 – Площадь земли, подлежащая отводу под одну опору П10-3н ВЛ-6 кВ в постоянное пользование

Расчёт площади отвода земель в постоянное пользование под систему электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» выполнен по формуле:

$$F_{\text{пост}} = F_{\text{пост on}} + F_{\text{пост mn}}; \quad (130)$$

$$F_{\text{пост}} = 820 + 300 = 1120 \text{ м}^2.$$

Для временного пользования подлежат отводу участки земли для монтажа проводов вдоль трассы ВЛ-6 кВ и для монтажа опор ВЛ-6 кВ системы электроснабжения.

троснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер», эскиз используемых опор ВЛ 6 кВ показан на рисунке 9.

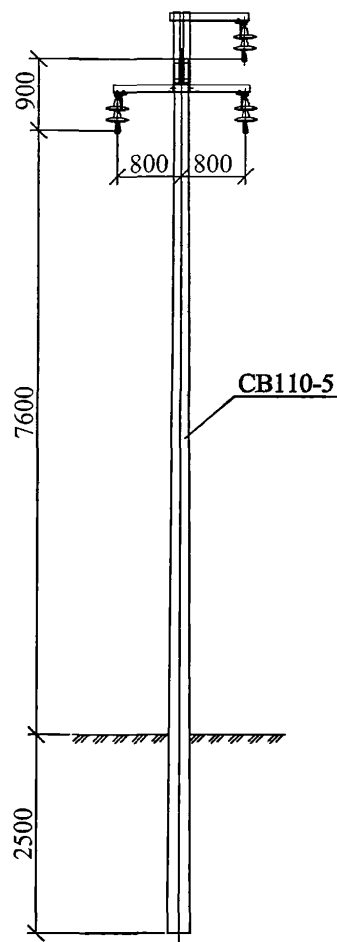


Рисунок 9 – Габаритные размеры опор П10-3н ВЛ-6 кВ

Расчёт площади отвода земель во временное пользование под провода ВЛ-6 кВ системы электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» выполнен по формуле:

$$F_{\text{врем пров}} = L_{\text{ВЛ 6кВ}} \cdot (l_{\text{Ф-Ф}} + 4), \quad (131)$$

$$F_{\text{врем пров}} = 9550 \cdot (0,8 + 0,8 + 4) = 53480 \text{ м}^2,$$

где $L_{\text{ВЛ 6кВ}}$ - суммарная длина ВЛ-6 кВ системы электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер», 9550 м ;

$l_{\phi-\phi}$ - расстояние между проводами фаз А и С по рисунку 11, которые являются крайними на опоре, 1,6 м.

Расчёт площади отвода земель во временное пользование под опоры ВЛ-6 кВ системы электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» выполнен по формуле:

$$F_{\text{врем оп}} = n_{\text{ОП}} \cdot F_{\text{ОП6кВ}}, \quad (132)$$

$$F_{\text{врем оп}} = 191 \cdot 150 = 28650 \text{ м}^2,$$

где $F_{\text{ОП6кВ}}$ - площадь земельного участка, который используется при монтаже опор 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер», [30], 150 м²;

$n_{\text{ОП}}$, - количество опор в системе электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер», 191 шт.

Расчёт площади отвода земель во временное пользование под систему электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» выполнен по формуле:

$$F_{\text{врем}} = F_{\text{врем оп}} + F_{\text{врем пров}}; \quad (133)$$

$$F_{\text{врем}} = 28650 + 53480 = 82130 \text{ м}^2.$$

Итоговая величина отводимой земли под сооружаемую систему электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» определена в соответствии с [31] и составляет 82130 м² для временного пользования и 1120 м² для постоянного пользования. Ориентировочный срок окончания сооружения системы электроснабжения 6 кВ участка «Промежуточный» ГГМК «Пионер» 2023 год, после чего в постоянном пользовании останутся земли площадью 1120 м².

9.3 Чрезвычайные ситуации

В системе электроснабжения участка «Промежуточный» ГГМК Пионер в качестве самой распространенной чрезвычайной ситуацией принимается возникновение пожара на электрооборудовании ПС «Пионер-2». Поэтому необходимо указать, каким образом будут соблюдены правила пожарной безопасности при работе в КРУН ПС «Пионер-2», как организована работа противопожарной сигнализации в КРУН ПС «Пионер-2», какие будут соблюдаться требования при проведении сварочных работ на оборудовании КРУН ПС «Пионер-2» [32].

Кабельные линии подключения систем обнаружения пожара и систем оповещения о пожаре в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» проложены в защищенных лотках, что позволяет им выдерживать высокие температуры в течении времени, необходимого для работы систем обнаружения пожара и систем оповещения о пожаре в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2».

В КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» кабели связи резервного источника питания и вводно-распределительного устройства, к которому подключены системы трансформаторы питания потребителей, проложены в отдельных огнестойких кабельных каналах.

Распределительные щиты собственных нужд в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» оборудованы защитными устройствами, которые предотвращают переход огня из щитовой зоны в слаботочный отсек.

Каналы для прокладки кабелей в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», расположенные горизонтально и вертикально, защищены от распространения пожара, а также защищаются места переходов кабелей в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» из одного помещения ячейки КРУН в другое, при этом огнестойкие перегородки предусмотрены с огнестойкостью аналогичной огнестойкости кабельных переходов.

Кабели, проложенные открыто в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», конструктивно выполнены с изоляцией из негорючего материала и не выделяют дым при оплавлении за счёт специального состава изоляции и способа монтажа оболочки кабеля.

Светильники аварийного освещения в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» на путях эвакуации подключены к автономным источникам питания и имеют в своём составе переключатель для проверки исправного состояния системы освещения. Расчётное время эвакуации из КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» в безопасную зону соответствует времени работы аварийного освещения.

В КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» установлена автоматическая установка пожарной сигнализации, которая выполняет функцию передачи управляющих сигналов на технические средства оповещения людей о пожаре [33].

Автоматическая установка пожарной сигнализации в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» срабатывает для автоматического информирования дежурного персонала об имеющихся неисправностях магистралей связи между отдельными датчиками, указателями, извещателями, комбинированными устройства обнаружения возгорания, входящими в её состав.

Установленные в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» пожарные извещатели, датчики, комбинированные устройства обнаружения возгорания смонтированы так, что в любой точке КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» пожар будет обнаружен своевременно. Системы пожарной сигнализации в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» осуществляет передачу светового и звукового сигналов о возникновении пожара на пульт в помещении дежурного персонала, при этом настройка системы выполнена так, что с сигналы о возгорании дублируются в автоматическом режиме на пульт подразделения пожарной охраны.

В КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» использованы ручные пожарные извещатели, установленные на путях эвакуации таким образом, что доступ к ним возможен при возникновении пожара. А также помещения КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» снабжены первичными средствами пожаротушения, огнетушителями, асбестовыми щитами. Проверка готовности и целостности огнетушителей и асбестовых щитов выполняется регулярно, по итогам проверки составляется перечень неисправных средств пожаротушения и назначаются ответственные за устранения нарушений, огнетушители, у которых повреждены пломбы убираются для проверки или перезарядки. Огнетушители и асбестовые щитов распо-

ложены одиночно в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» на полу и закреплены в пожарных щитах от возможного падения при случайном воздействии, при этом препятствий при перемещении людей в помещении КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» не отмечено.

Места расположения первичных средств пожаротушения в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» отмечены специальными знаками, указанными в НПБ 160-97 «Цвета сигнальные. Знаки пожарной безопасности. Виды, размеры, общие технические требования» [34].

Основным организационным мероприятием, обеспечивающим пожарную безопасность при проведении электросварочных, разогревочных и паяльных работ является контроль производителем работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» соблюдения персоналом «Инструкции о мерах пожарной безопасности при проведении огневых работ на энергетических объектах» [].

Вне помещения КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» устраивается постоянное место огнеопасных работ, где допускается использование открытого огня и осуществляется нагрев деталей до температуры воспламенения входящих в их состав материалов.

Персонал, производящий сварочные и другие огнеопасные работы в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» и закончивший обучение по программе ведомственных инструкций по пожарной безопасности при проведении огнеопасных работ, допускается к работам при наличии соответствующих удостоверений, талона по технике пожарной безопасности, наряда на работы в конкретном месте.

Сварочные и другие огнеопасные работы на постоянном месте их проведения в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» проводятся персоналом только после того, как будут приняты меры для предотвращения распространения расплавленных частиц и материалов на рядом расположенные проходы и оборудование из сгораемых материалов, будут установлены запрещающие и указательные знаки, указывающие на опасность приближения к рабочей зоне.

Место проведения сварочных и других огнеопасных работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» оснащается первичными средствами пожаротушения. Свароч-

ные и другие огнеопасные работы в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» запрещены, если не подготовлены средства пожаротушения и не оформлены наряд и допуск на временное проведение этих работ [32].

Сварочные и другие огнеопасные работы в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» запрещены при неисправном рабочем оборудовании. В том случае, когда на оборудовании КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» и на расстоянии менее 20 м установлены недавно окрашенные поверхности или проводятся работы по их окраске, выполнение сварочных и других огнеопасных работ запрещено.

Сварочные и другие огнеопасные работы в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» запрещены при отсутствии контролирующего работника при выполнении стажером порученных работ. Все работники, не обучавшиеся правилам безопасного ведения огнеопасных работ или не имеющие права производства огнеопасных работ, не допускаются к огнеопасным работам в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2». Рабочая одежда работников, включая рукавицы, должна быть очищена от следов горючих жидкостей и легковозгораемых веществ, в противном случае работник не допускается к огнеопасным работам в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2».

Перед проведением сварочных и других огнеопасных работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» проводится тщательная проверка исправности сварочного или паяльного оборудования в части целостности электроизоляции электродов и проводов. После выполнения сварочных и других огнеопасных работ в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» сварочное или паяльное оборудование отключается от питающей сети. Без подготовки по пожарной безопасности внутри помещений КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» проведение огнеопасных работ в них запрещено.

Меры воздействия на персонал, занятый на работах по обслуживанию КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», не соблюдающий требований пожарной безопасности при проведении огнеопасных работ составляют перечень взысканий в отношении работников. По увеличению строгости взысканий в отношении персонала, нарушающего требования пожарной безопасности при проведении огнеопасных работ используется следующий порядок: отметки о допущенных нарушениях при работе заносятся талон по технике пожарной безопасности,

при этом повторные нарушения влекут изъятие указанного талона и наряда; различные виды дисциплинарных взысканий, выговор, замечание; материальные и административные взыскания по причине порчи оборудования, материалов и помещения; уголовная ответственность за порчу оборудования, зданий, сооружений и вред здоровью и безопасности людей, а также для возмещения ущерба предприятию.

После установки отметки в талон по технике пожарной безопасности о допущенных нарушениях сварочных и других огнеопасных работ работнику, занятому на работах по обслуживанию КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», происходит немедленное и полное их прекращение. Работы могут быть возобновлены после устранения указанных недостатков и замечаний, а также оформления нового допуска и выдачи наряда. Изъятый талон по технике пожарной безопасности или наряд выносятся на рассмотрение главному инженеру ГГМК «Пионер» и начальнику смены ГГМК «Пионер» для принятия мер, предварительно ответственным лицом вносятся причины нарушений.

Отметку о нарушениях и изъятие талона или наряда у работника, занятому на работах по обслуживанию КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2», имеют право производить инженер по эксплуатации электрооборудования ГГМК «Пионер», инженер по пожарной безопасности электрооборудования ГГМК «Пионер», главный инженер ГГМК «Пионер» и его заместители, начальник смены ГГМК «Пионер», сотрудники Государственного пожарного надзора, сотрудники пожарной охраны МВД Российской Федерации, инспектор пожарной профилактики ведомственной охраны [32].

Огнеопасные работы и контроль за их выполнением при работе КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2» персоналом ГГМК «Пионер» и подрядными организациями проводятся при соблюдении мер безопасности и при осуществлении контроля выполнения требований пожарной безопасности при проведении сварочных и других огнеопасных работ, так как установлена персональная ответственность работников за их нарушения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спроектирована система электроснабжения участка карьера «Промежуточный» ГГМК «Пионер», на котором ведется разработка с 2020 года. Для СЭС 6 кВ карьера применён провод марки СИП-3.

В СЭС участка карьера применены ЯКНО-6 и ПКТП на салазках. Экскаваторы и дробильные машины запитаны кабелем марки КШВГМ. Схема ВЛ 6 кВ – магистральная нерезервированная, от каждой магистрали запитаны ЭКГ-5, ДМЛ, Либхерр. В ЯКНО применены вакуумные выключатели ВВ/Тел. Применяемое оборудование прошло проверку на воздействие токов КЗ, выбрана РЗиА.

Рассмотрены мероприятия по обеспечению безопасности персонала при работах в КРУН 6 кВ ПС «Пионер-2».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Официальный сайт ГК «Петропавловск» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://petropavlovskplc.com/ru/%d0%bf%d1%80%d0%be%d0%b5%d0%ba%d1%82%d1%8b-%d1%80%d0%b0%d0%b7%d0%b2%d0%b8%d1%82%d0%b8%d1%8f-%d0%b8-%d0%b3%d0%b5%d0%be%d0%bb%d0%be%d0%b3%d0%be%d1%80%d0%b0%d0%b7%d0%b2%d0%b5%d0%b4%d0%ba%d0%b0/reserves-and-resources/> (дата обращения: 27.03.2023)
- 2 Официальный сайт ГК «Петропавловск»-Отчет об устойчивом развитии за 2022 год ГК «Петропавловск» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://petropavlovskplc.com/wp-content/uploads/2021/09/POG-SR2020_RUS_080921.pdf (дата обращения: 27.03.2023)
- 3 Расчет и построение систем электроснабжения угольных разрезов. РТМ 12.25.006 – 90. – М.:2009.
- 4 Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2014. - 192 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов. Спец. лит.). - Библиогр. : с. 154 .
- 5 Мясоедов, Ю. В. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Ч. 2. Электроснабжение жилых домов с улучшенной планировкой и коттеджей / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 162 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7366.pdf (дата обращения: 10.04.2023).
- 6 Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение [Текст] : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : РадиоСофт, 2012. - 328 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 326

7 Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей. Под ред. Файбисовича Д.Л. - 4-е издание. - М.: изд-во НЦ ЭНАС, 2012. - 376 стр.

8 Эксплуатация систем электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140211 - Электроснабжение / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Г. Ротачева, Д. Н. Панькова. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 156 с.

9 Ильинский, Н. Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение [Текст] : учеб.пособие: доп. УМО / Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко. - М. : Академия, 2008. - 203 с. :ил. - (Высшее проф. образование. Элетротехника). - Библиогр. : с. 200.

10 Сибикин, Ю. Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий [Текст] : учеб. / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - 5-е изд., испр. - М. : Академия, 2010. - 235 с. : ил. - (Электротехника). - Библиогр. : с. 230.

11 Электроснабжение промышленных предприятий [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс по дисц. для спец. 140211.65 "Электроснабжение" / АмГУ, Эн. ф ; сост. Н. В. Савина. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 163 с. - Б. ц.

12 Официальный сайт АО «Электроприбор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mosts.ru/elektr041.htm> (дата обращения: 25.01.2023)

13 Официальный сайт АО «Кабельные системы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kabtrade.ru> (дата обращения: 25.01.2023)

14 Официальный сайт ПАО «ДЭК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dves.ru/> (дата обращения: 25.01.2023)

15 ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems

16 Кужеков, С. Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию [Текст] / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 4-е изд., доп. и перераб. - Ростов н/Д : Феникс, 2010. - 493 с. : рис., табл. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр. : с. 480.

17 Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Утвержден приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. № 380.

18 Савина Н. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс дисц. для спец. 140211.65 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Н. В. Савина . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 124 с. – Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6056.pdf (дата обращения: 10.05.2023).

19 Савина Н. В. Техника высоких напряжений. Грозовые перенапряжения и защита от них [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 191 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7361.pdf (дата обращения: 10.05.2023).

20 Бочаров Ю. Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. Н. Бочаров, С. М. Дудкин, В. В. Титков. - СПб. : С.-Петербург. политех. ун-т Петра Великого, 2013. - 265 с. - Б. ц. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43976> (дата обращения: 24.05.2023).

21 Козлов А. Н. Диагностика электрооборудования высокого напряжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Козлов ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 44 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6925.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

22 Киреева Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов) [Текст] / Э. А. Киреева, С. Н. Шерстнев. - 2-е изд., стер. - Москва : КНОРУС, 2013. - 864 с. : табл. - Библиогр.: с. 860-862.

23 Ротачева А. Г. Проектирование устройств релейной защиты [Электронный ресурс] : метод. указ. для самостоят. работы студентов: учеб. пособие / А. Г. Ротачева ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014. - 28 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7050.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

24 Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем [Текст] : учеб. пособие : доп. УМО / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. - 2-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2010. - 336 с. + 2 л. - Библиогр. : с. 325.

25 Глазырин В. Е. Расчет релейной защиты понижающих автотрансформаторов на базе микропроцессорных шкафов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Е. Глазырин, В. А. Давыдов, А. И. Щеглов. - Новосибирск : Новосиб. гос. технич. ун-т, 2011. - 91 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45156> (дата обращения: 24.05.2023).

26 Ротачева А. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики [Электронный ресурс] : метод. указания по курсовому проектированию для направления 13.03.02 / А. Г. Ротачева, А. Н. Козлов, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 93 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/4322.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

27 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499037306>

28 ГОСТ 12.1.019-79 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

29 Правила определения размеров земельных участков для размещения ВЛЭП и опор линий связи, обслуживающих электрические сети. Постановление правительства РФ от 11 августа 2003 года №486.

30 Норма отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38 – 750 кВ № 14278 ТМ – Т1.

31 Булгаков А.Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Б. Булгаков ; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2020. - 90 с.

32 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий : Руководящий документ РД-153.-34.0-03.301-00. - М. : ЗАО Энергетические технологии, 2000. - 116 с.

33 Постановление Правительства российской федерации от 16 сентября 2020 года N 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» (с изменениями на 21 мая 2021 года)

34 ГОСТ 12.1.019-79 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчёт потерь в сети 6 кВ

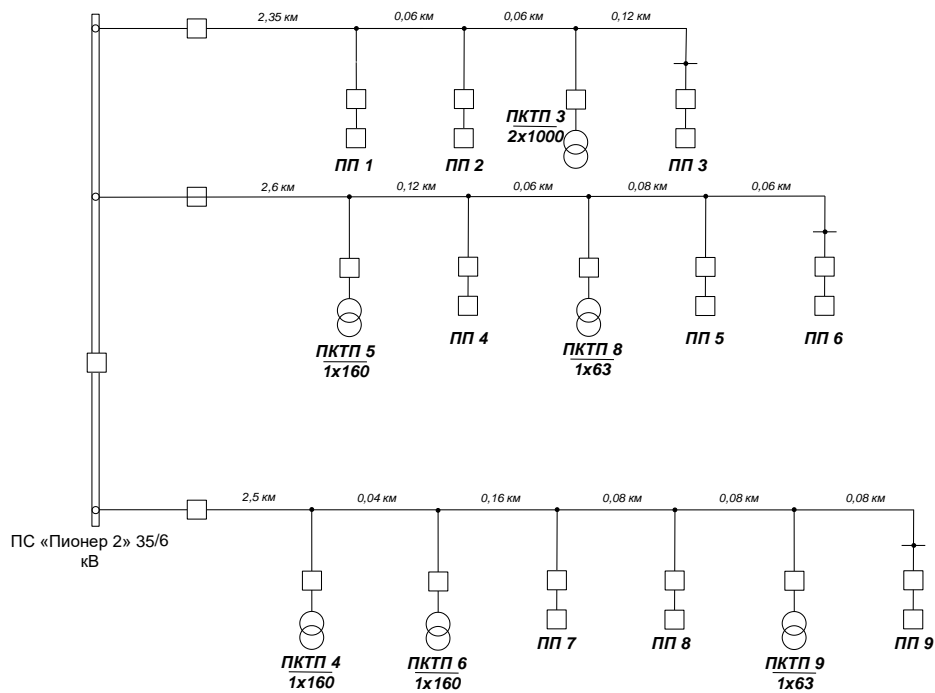
$$U_H := 6$$

1. Нагрузки на ТП-6/0,4 кВ, приведённая к стороне 6 кВ:

$P_1 := 982$	КВТ	$P_2 := 674$	КВТ	$P_3 := 1026$	КВТ	$P_4 := 82$	КВТ
$Q_1 := 756$	КВАр	$Q_2 := 527$	КВАр	$Q_3 := 791$	КВАр	$Q_4 := 67$	КВАр
$P_5 := P_4$	КВТ	$P_6 := P_5$	КВТ	$P_7 := 41$	КВТ	$P_8 := 41$	КВТ
$Q_5 := Q_4$	КВАр	$Q_6 := Q_5$	КВАр	$Q_7 := 2$	КВАр	$Q_8 := 2$	КВАр
$P_9 := 41$	КВТ	$P_{\text{III}1} := 1030$	КВТ	$P_{\text{III}2} := 309$	КВТ	$P_{\text{III}3} := 159$	КВТ
$Q_9 := 2$	КВАр	$Q_{\text{III}1} := 499$	КВАр	$Q_{\text{III}2} := 273$	КВАр	$Q_{\text{III}3} := 77$	КВАр
$P_{\text{III}4} := 309$	КВТ	$P_{\text{III}5} := 1030$	КВТ	$P_{\text{III}6} := 159$	КВТ	$P_{\text{III}7} := 1030$	КВТ
$Q_{\text{III}4} := 273$	КВАр	$Q_{\text{III}5} := 499$	КВАр	$Q_{\text{III}6} := 77$	КВАр	$Q_{\text{III}7} := 499$	КВАр
$P_{\text{III}8} := 309$	КВТ	$P_{\text{III}9} := 159$	КВТ				
$Q_{\text{III}8} := 273$	КВАр	$Q_{\text{III}9} := 77$	КВАр				

$R_{120} := 0.288$	$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$X_{120} := 0.1$	$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$R_{70} := 0.493$	$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$X_{70} := 0.1$	$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$
$R_{150} := 0.263$	$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$X_{150} := 0.1$	$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$				

Карьер:



Магистраль 1:

Участок 4 :

$$P_{K4} := P_{III3}$$

$$Q_{K4} := Q_{III3}$$

$$\Delta P_4 := \frac{P_{K4}^2 + Q_{K4}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.12 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_4 = 0.027$$

$$\Delta Q_4 := \frac{P_{K4}^2 + Q_{K4}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.12 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_4 = 0.01$$

$$P_{H4} := P_{K4} + \Delta P_4$$

$$P_{H4} = 159.027$$

$$Q_{H4} := Q_{K4} + \Delta Q_4$$

$$Q_{H4} = 77.01$$

Участок 5 :

$$P_{K5} := P_3 + P_{H4}$$

$$Q_{K5} := Q_3 + Q_{H4}$$

$$\Delta P_5 := \frac{P_{K5}^2 + Q_{K5}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.06 R_{150}) \quad \Delta P_5 = 0.946$$

$$\Delta Q_5 := \frac{P_{K5}^2 + Q_{K5}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.06 \cdot X_{150}) \quad \Delta Q_5 = 0.36$$

$$P_{H5} := P_{K5} + \Delta P_5 \quad P_{H5} = 1.186 \times 10^3$$

$$Q_{H5} := Q_{K5} + \Delta Q_5 \quad Q_{H5} = 868.37$$

Участок 6 :

$$P_{K6} := P_{\text{III}2} + P_{H5}$$

$$Q_{K6} := Q_{\text{III}2} + Q_{H5}$$

$$\Delta P_6 := \frac{P_{K6}^2 + Q_{K6}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.06 R_{150}) \quad \Delta P_6 = 1.551$$

$$\Delta Q_6 := \frac{P_{K6}^2 + Q_{K6}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.06 \cdot X_{150}) \quad \Delta Q_6 = 0.59$$

$$P_{H6} := P_{K6} + \Delta P_6 \quad P_{H6} = 1.497 \times 10^3$$

$$Q_{H6} := Q_{K6} + \Delta Q_6 \quad Q_{H6} = 1.142 \times 10^3$$

Участок 7 :

$$P_{K7} := P_{\text{III}1} + P_{H6}$$

$$Q_{K7} := Q_{\text{III}1} + Q_{H6}$$

$$\Delta P_7 := \frac{P_{K7}^2 + Q_{K7}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (2.35 \cdot R_{150}) \quad \Delta P_7 = 155.818$$

$$\Delta Q_7 := \frac{P_{K7}^2 + Q_{K7}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (2.35 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_7 = 59.247$$

$$P_{H7} := P_{K7} + \Delta P_7$$

$$P_{H7} = 2.682 \times 10^3$$

$$Q_{H7} := Q_{K7} + \Delta Q_7$$

$$Q_{H7} = 1.7 \times 10^3$$

Магистраль 2:

Участок 8 :

$$P_{K8} := P_{\text{ин6}}$$

$$Q_{K8} := Q_{\text{ин6}}$$

$$\Delta P_8 := \frac{P_{K8}^2 + Q_{K8}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.06 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_8 = 0.014$$

$$\Delta Q_8 := \frac{P_{K8}^2 + Q_{K8}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.06 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_8 = 5.202 \times 10^{-3}$$

$$P_{H8} := P_{K8} + \Delta P_8$$

$$P_{H8} = 159.014$$

$$Q_{H8} := Q_{K8} + \Delta Q_8$$

$$Q_{H8} = 77.005$$

Участок 9 :

$$P_{K9} := P_{\text{ин5}} + P_{H8}$$

$$Q_{K9} := Q_{\text{ин5}} + Q_{H8}$$

$$\Delta P_9 := \frac{P_{K9}^2 + Q_{K9}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.08 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_9 = 1.02$$

$$\Delta Q_9 := \frac{P_{K9}^2 + Q_{K9}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.08 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_9 = 0.388$$

$$P_{H9} := P_{K9} + \Delta P_9$$

$$P_{H9} = 1.19 \times 10^3$$

$$Q_{H9} := Q_{K9} + \Delta Q_9$$

$$Q_{H9} = 576.393$$

Участок 10 :

$$P_{K10} := P_8 + P_{H9}$$

$$Q_{K10} := Q_8 + Q_{H9}$$

$$\Delta P_{10} := \frac{P_{K10}^2 + Q_{K10}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.06 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_{10} = 0.811$$

$$\Delta Q_{10} := \frac{P_{K10}^2 + Q_{K10}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.06 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_{10} = 0.308$$

$$P_{H10} := P_{K10} + \Delta P_{10}$$

$$P_{H10} = 1.232 \times 10^3$$

$$Q_{H10} := Q_{K10} + \Delta Q_{10}$$

$$Q_{H10} = 578.701$$

Участок 11 :

$$P_{K11} := P_{III4} + P_{H10}$$

$$Q_{K11} := Q_{III4} + Q_{H10}$$

$$\Delta P_{11} := \frac{P_{K11}^2 + Q_{K11}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.12 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_{11} = 2.717$$

$$\Delta Q_{11} := \frac{P_{K11}^2 + Q_{K11}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.12 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_{11} = 1.033$$

$$P_{H11} := P_{K11} + \Delta P_{11}$$

$$P_{H11} = 1.544 \times 10^3$$

$$Q_{H11} := Q_{K11} + \Delta Q_{11}$$

$$Q_{H11} = 852.735$$

Участок 12 :

$$P_{K12} := P_5 + P_{H11}$$

$$Q_{K12} := Q_5 + Q_{H11}$$

$$\Delta P_{12} := \frac{P_{K12}^2 + Q_{K12}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (2.6 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_{12} = 66.26$$

$$\Delta Q_{12} := \frac{P_{K12}^2 + Q_{K12}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (2.6 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_{12} = 25.194$$

$$P_{H12} := P_{K12} + \Delta P_{12}$$

$$P_{H12} = 1.692 \times 10^3$$

$$Q_{H12} := Q_{K12} + \Delta Q_{12}$$

$$Q_{H12} = 944.928$$

Магистраль 3:

Участок 13 :

$$P_{K13} := P_{\text{ин}9}$$

$$Q_{K13} := Q_{\text{ин}9}$$

$$\Delta P_{13} := \frac{P_{K13}^2 + Q_{K13}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.08 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_{13} = 0.018$$

$$\Delta Q_{13} := \frac{P_{K13}^2 + Q_{K13}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.08 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_{13} = 6.936 \times 10^{-3}$$

$$P_{H13} := P_{K13} + \Delta P_{13}$$

$$P_{H13} = 159.018$$

$$Q_{H13} := Q_{K13} + \Delta Q_{13}$$

$$Q_{H13} = 77.007$$

Участок 14 :

$$P_{K14} := P_9 + P_{H13}$$

$$Q_{K14} := Q_9 + Q_{H13}$$

$$\Delta P_{14} := \frac{P_{K14}^2 + Q_{K14}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.08 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_{14} = 0.027$$

$$\Delta Q_{14} := \frac{P_{K14}^2 + Q_{K14}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.08 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_{14} = 0.01$$

$$P_{H14} := P_{K14} + \Delta P_{14}$$

$$P_{H14} = 200.045$$

$$Q_{H14} := Q_{K14} + \Delta Q_{14}$$

$$Q_{H14} = 79.017$$

Участок 15 :

$$P_{K15} := P_{\text{ин}8} + P_{H14}$$

$$Q_{K15} := Q_{\text{ин}8} + Q_{H14}$$

$$\Delta P_{15} := \frac{P_{K15}^2 + Q_{K15}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.08 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_{15} = 0.224$$

$$\Delta Q_{15} := \frac{P_{K15}^2 + Q_{K15}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.08 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_{15} = 0.085$$

$$P_{H15} := P_{K15} + \Delta P_{15}$$

$$Q_{H15} := Q_{K15} + \Delta Q_{15}$$

$$P_{H15} = 509.269$$

$$Q_{H15} = 352.102$$

Участок 16 :

$$P_{K16} := P_{\text{ин7}} + P_{H15}$$

$$Q_{K16} := Q_{\text{ин7}} + Q_{H15}$$

$$\Delta P_{16} := \frac{P_{K16}^2 + Q_{K16}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.16 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_{16} = 3.616$$

$$\Delta Q_{16} := \frac{P_{K16}^2 + Q_{K16}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.16 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_{16} = 1.375$$

$$P_{H16} := P_{K16} + \Delta P_{16}$$

$$P_{H16} = 1.543 \times 10^3$$

$$Q_{H16} := Q_{K16} + \Delta Q_{16}$$

$$Q_{H16} = 852.477$$

Участок 17 :

$$P_{K17} := P_6 + P_{H16}$$

$$Q_{K17} := Q_6 + Q_{H16}$$

$$\Delta P_{17} := \frac{P_{K17}^2 + Q_{K17}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.04 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_{17} = 1.019$$

$$\Delta Q_{17} := \frac{P_{K17}^2 + Q_{K17}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (0.04 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_{17} = 0.387$$

$$P_{H17} := P_{K17} + \Delta P_{17}$$

$$P_{H17} = 1.626 \times 10^3$$

$$Q_{H17} := Q_{K17} + \Delta Q_{17}$$

$$Q_{H17} = 919.865$$

Участок 18 :

$$P_{K18} := P_4 + P_{H17}$$

$$Q_{K18} := Q_4 + Q_{H17}$$

$$\Delta P_{18} := \frac{P_{K18}^2 + Q_{K18}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (2.5 \cdot R_{150})$$

$$\Delta P_{18} = 71.062$$

$$\Delta Q_{18} := \frac{P_{K18}^2 + Q_{K18}^2}{1000 \cdot U_H^2} \cdot (2.5 \cdot X_{150})$$

$$\Delta Q_{18} = 27.02$$

$$P_{H18} := P_{K18} + \Delta P_{18}$$

$$P_{H18} = 1.779 \times 10^3$$

$$Q_{H18} := Q_{K18} + \Delta Q_{18}$$

$$Q_{H18} = 1.014 \times 10^3$$

Потери нагрузочные в линиях:

$$\left(\begin{array}{l} \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_6 + \Delta P_7 + \Delta P_{16} + \Delta P_{17} \dots \\ + \Delta P_8 + \Delta P_9 + \Delta P_{10} + \Delta P_{11} + \Delta P_{12} + \Delta P_{13} + \Delta P_{14} + \Delta P_{15} + \Delta P_{18} \end{array} \right) \cdot 6000 = 1830778$$

КВт