

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ПетрГУ)

Физико-технический институт
Кафедра энергообеспечения предприятий и энергосбережения

ТЕМА

Реконструкция ЗРУ-1 в городе Кемь

квалификационная работа

на соискание степени «Бакалавр»

по направлению: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Выполнила:

студентка 5 курса

физико-технического

институт, гр. 53ЭЭ

Лопухина Любовь Евгеньевна

Научный руководитель:

Доцент,

Кандидат физико-математических наук

Кулдин Николай Александрович

Петрозаводск
2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит – 128 страницы, 12 разделов, 15 рисунков, 43 таблицы, 21 источник, 13 приложений.

Объект исследования: Закрытое распределительное устройство (ЗРУ-1) в городе Кемь.

Целью данной работы является – разработка комплекса мер для дальнейшей реконструкции закрытого распределительного пункта (ЗРУ-1) 10/0,4 кВ в городе Кемь, до более современного типа.

Поводом для реконструкции ЗРУ-1, прежде всего, является то, что на данный момент оборудование распределительного устройства отработало свой нормативный срок эксплуатации, и требует к себе повышенного внимания. Защита электрооборудования находится в критическом состоянии, что влечет за собой частые осмотры и проведение технического освидетельствования для предотвращения аварийных ситуаций.

В виду того, что, установленное в ЗРУ-1 оборудование устарело и одной из основных проблем является высокая стоимость запасных частей, предполагается частичная его замена на более современное и надежное.

В рамках выполнения данной выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи: выбраны кабели для вводов в ЗРУ-1, приняты к установке ячейки КРУ с силовым выключателем, подобраны измерительные трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, два трансформатора собственных нужд, а так же в качестве средств защиты электрооборудования, выбраны ограничители перенапряжений (ОПН).

Так же для повышения надёжности электроснабжения и повышения гибкости схемы, данного энергетического района «ЗРУ-1 РП-17», при реконструкции ЗРУ-1 спроектирована с двумя секциями шин и секционным выключателем.

Предложенная тема актуальна потому, что технологии передачи электроэнергии и система защит линий электропередач непрерывно развиваются в направлении уменьшения затрат на обслуживание и наращивания качества, безопасности и упрощения, а данная система будет иметь множество преимуществ в этих направлениях.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БМРЗ – блок микропроцессорной релейной защиты

ВЛ – воздушная линия

ВН – выключатель нагрузки

ЗРУ – закрытое распределительное устройство

МТЗ – максимальная токовая защита

КЗ – короткое замыкание

КЛ – кабельная линия

КТП – комплектная трансформаторная подстанция

КРУ – комплектное распределительное устройство

ОЗЗ – однофазное замыкание на землю

ОПН – ограничитель перенапряжения

РП – распределительный пункт

ТН – трансформатор напряжения

ТТ - трансформатор тока

ТСН – трансформатор собственных нужд

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ	10
1.1 Общая информация об АО «Прионежская сетевая компания».....	10
1.2 Характеристика ЗРУ-1.....	11
1.3 Анализ существующей системы электроснабжения.....	12
2 РАСЧЕТ НАГРУЗКИ ЗРУ-1, В НОРМАЛЬНОМ, АВАРИЙНОМ И РЕМОНТНОМ РЕЖИМЕ, ДЛЯ ЛЕТНЕГО И ЗИМНЕГО МАКСИМУМА.....	13
2.1 Нормальный режим	13
2.1.1 Расчет потребляемой мощности.....	13
2.1.2 Расчет тока нагрузки на стороне ВН.....	14
2.1.3 Нагрузка ЗРУ-1 в нормальном режиме.....	15
2.2 Ремонтно-аварийный режим.....	16
2.2.1 Расчет потребляемой мощности.....	16
2.2.2 Расчет тока нагрузки на стороне ВН.....	17
2.2.3 Нагрузка ЗРУ-1 в ремонтном и аварийном режиме	17
3 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА И ИХ ПРОВЕРКА ПО МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОМУ ТОКУ.....	20
3.1 Выбор и проверка проводов и кабелей по экономической плотности тока.....	20
3.1.1 Проверка проводников, кабельно-воздушной линии ВЛ-10-02, Яч-2 ЗРУ-1.....	20
3.1.2 Выбор кабеля, для ввода Л-10-02, в Яч.-2 ЗРУ-1.....	21
3.1.3 Проверка проводников, воздушной линии Л-1-5, Яч.-3 ЗРУ-1.....	21
3.1.4 Выбор кабеля, для ввода Л-1-5, в Яч.-3 ЗРУ-1.....	21
3.1.5 Проверка проводников, воздушной линии Л-1-7, Яч.-12 ЗРУ-1.....	22
3.1.6 Выбор кабеля, для ввода Л-1-7, в Яч.-12 ЗРУ-1.....	22

3.1.7	Проверка проводников, кабельно-воздушной линии Л-17-08, Яч.-13 ЗРУ-1.....	22
3.1.8	Выбор кабеля, для ввода Л-17-08, в Яч.-13 ЗРУ-1.....	23
3.2	Проверка выбранных кабелей и проводов	23
3.2.1	Проверка проводников, кабельно-воздушной линии ВЛ-10-02, Яч-2 ЗРУ-1.....	23
3.2.2	Проверка проводников, кабельно-воздушной линии Л-1-5, Яч.-3 ЗРУ-1.....	24
3.2.3	Проверка проводников, кабельно-воздушной линии Л-1-7, Яч.-12 ЗРУ-1.....	24
3.2.4	Проверка проводников, кабельно-воздушной линии Л-17-08, Яч.-13 ЗРУ-1.....	24
3.3	Выбор кабелей по мощности и количеству ТП в нормальном режиме работы.....	25
3.3.1	Выбор кабеля, для ввода Л-10-02, в Яч.-2 ЗРУ-1. По экономической плотности тока	25
3.3.2	Выбор кабеля, для ввода Л-17-08, в Яч.-7 ЗРУ-1. По экономической плотности тока	26
3.3.3	Выбор кабеля, для ввода Л-1-05, в Яч.-3 ЗРУ-1. По экономической плотности тока	27
3.3.4	Выбор кабеля, для ввода ВЛ-1-07, в Яч.-6 ЗРУ-1. По экономической плотности тока	28
3.4	Проверка кабелей и проводов по мощности и количеству ТП в ремонтно-аварийном режиме работы.....	29
3.4.1	Проверка кабелей и проводов, для ввода Л-10-02, в Яч.-2 ЗРУ-1. По допустимому длительному току	29
3.4.2	Проверка кабелей и проводов, для ввода Л-17-08, в Яч.-13 ЗРУ-1. По допустимому длительному току	31
3.4.3	Проверка Л-17-08, в аварийном режиме №2	32
3.5	Вывод	33

4	РАСЧЁТ ТОКОВ ТРЁХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	34
4.1.1	Полное сопротивление Z, Л-10-02.....	35
4.1.2	Ток КЗ в точке К-1	41
4.1.3	Токи КЗ в точках К-2, К-3, К-4, К-5, К-6, К-7, К-1ар	44
5	ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	46
5.1	Расчётные условия для выбора аппаратов по режиму короткого замыкания и продолжительному режиму работы	46
5.2	Проверка выбранных кабелей по условию термической стойкости к току КЗ.....	48
5.2.1	Проверка кабельного ввода линии Л-10-02, (точка КЗ, К-1).....	48
5.2.2	Проверка кабельного ввода линии Л-17-08 (точка КЗ, К-2).....	49
5.2.3	Проверка кабельного ввода линии Л-1-05 (точка КЗ, К-3).....	50
5.2.4	Проверка кабельного ввода линии Л-1-07 (точка КЗ, К-4).....	51
5.2.5	Проверка кабельного ввода линии Л-17-08, для аварийно-ремонтного режима 2 (точка КЗ, К-1ар).....	53
5.3	Выбор измерительных трансформаторов тока	53
5.3.1	Выбор измерительного трансформаторов тока в цепи линии Л-10-02...54	
5.3.2	Выбор измерительного трансформаторов тока в цепи линии Л-17-08..56	
5.3.3	Выбор измерительного трансформаторов тока в цепи линии Л-1-05.....58	
5.3.4	Выбор измерительного трансформаторов тока в цепи линии Л-1-07....59	
5.4	Выбор измерительных трансформаторов напряжения	60
5.5	Выбор трансформаторов собственных нужд ТСН-1 и ТСН-2	63
5.5.1	Расчет требуемой мощности собственных нужд ЗРУ-1	63
5.5.2	Выбор трансформаторов собственных нужд ТСН-1 и ТСН-2	64
5.6	Выбор средств защиты электрооборудования от перенапряжений.....	64
6	ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ЗРУ-1.....	66
6.1	Проверка заземляющего устройства ЗРУ-1 на соответствие ПУЭ пункт 1.7.96.....	67

6.2	Расчёт тока однофазного замыкания на землю на шинах ЗРУ-1	68
6.2.1.	Расчёт тока однофазного замыкания на землю на шинах ЗРУ-1, для точки ОЗЗ-1	68
6.2.2.	Расчёт тока однофазного замыкания на землю на шинах ЗРУ-1, для точки ОЗЗ-2	70
6.3	Проверка заземляющего устройства ЗРУ-1 на соответствие ПУЭ	71
6.4	Вывод	72
7	ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ ЗДАНИЯ ЗРУ-1	73
7.1	Расчёт тепловых потерь через стены здания	74
7.2	Расчет теплотерь через крышу здания	76
7.3	Расчет теплотерь через полы здания	77
7.4	Расчет теплотерь через двери	78
7.5	Расчет теплотерь на инфильтрацию (вентиляцию)	79
7.6	Теплотери здания	80
7.7	Расчёт тепловых потерь через утепленные стены здания	80
7.8	Расчет теплотерь через утепленную крышу здания	82
7.9	Расчет теплотерь через полы здания	83
7.10	Расчет теплотерь через двери	86
7.11	Расчет теплотерь на инфильтрацию (вентиляцию)	86
7.12	Теплотери здания после утепления	87
8	РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ЗРУ-1 ПО МЕТОДУ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА	88
8.1	Исходные данные помещений	88
8.2	Индекс помещения	89
8.3	Определяем требуемое количество светильников	89
8.4	Уличное освещение территории ЗРУ	90
9	ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	91
9.1	Распределяемая электроэнергия, через ЗРУ-1 в год	91

9.1.1	Распределяемая электроэнергия в зимний период	91
9.1.2	Распределяемая электроэнергия в летний период	91
9.1.3	Распределяемая электроэнергия, через ЗРУ-1 в год.....	92
9.2	Капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1	92
9.2.1	Материальные капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1	92
9.3	Капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1, для оплаты производства работ.....	96
9.3.1	Производство электромонтажных работ	96
9.3.2	Производство строительных работ по утеплению здания ЗРУ-1.....	100
9.4	Годовое техническое обслуживание ЗРУ-1.....	102
9.5	Расчет приведенных затрат на реконструкцию ЗРУ-1	103
9.6	Расчёт времени окупаемости затрат на реконструкцию ЗРУ-1.....	103
9.6.1	Расчёт стоимости электроэнергии распределяемой АО «ПСК», через ЗРУ-1.....	104
9.6.2	Расчёт доли АО «ПСК» в общей стоимости распределяемой электроэнергии через ЗРУ-1 за год.....	104
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	106
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	110
	ПРИЛОЖЕНИЯ	111

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время практически невозможно представить какую-то отрасль, в которой бы не использовалась электрическая энергия. По всему миру особая роль уделяется электрическим сетям. Основная задача, которых является электроснабжение потребителей, то есть передача и распределение электрической энергии от места ее выработки к месту потребления.

Главной проблемой электроэнергетики является замена морально и физически изношенного технологического оборудования. Для того чтобы снизить количество ежегодных отказов в работе, наладить нормальное производство передачи и распределения заданного количества электроэнергии, для дальнейшей надёжной работы установок и энергосистем в целом – в современном мире одним из главных условий является совершенствование и внедрение современных технологий и устройств.

Закрытое распределительное устройство (ЗРУ-1), находящееся в городе Кемь, было введено в эксплуатацию в 1972 году, и за последующие 48 лет, внедрения нового оборудования не производилось. В связи с этим, участился процент отказа оборудования, что непосредственно влияет на качество передаваемой электроэнергии и на репутацию обслуживающей компании.

Данное распределительное устройство, является важным звеном надёжного жизнеобеспечения, района города, так как в этом районе располагается, насосно фильтровальная станция городского водоканала, от которой зависит водоснабжение всего города.

Стоит отметить, что от распредпункта (РП-17 который уже прошёл модернизацию), запитаны объекты оборонного значения и аэронавигации, а также поселок «Сокол» где проживает более 600 жителей. ЗРУ-1 и РП-17, связаны между собой, это звенья одной цепи надёжного электроснабжения этих объектов.

Цель проекта – разработать комплекс мер для дальнейшей реконструкции закрытого распределительного пункта в городе Кемь, до более современного типа.

Замена изношенного электрооборудования на современное поможет продлить его срок службы, повысить надежность электроснабжения и качество вырабатываемой электроэнергии для всех потребителей, а так же снизить затраты на обслуживание и уменьшить количество отказов оборудования.

В данной выпускной квалификационной работе для достижения поставленной цели, требуется произвести:

Расчет мощности электроэнергии распределяемой (ЗРУ-1).

На основании полученной мощности, рассчитать ток нагрузки по присоединениям.

По установленным токам нагрузки, в самом тяжёлом нормальном режиме, по экономической плотности тока, подобрать кабели для перевода ЗРУ-1 с воздушных вводов, на кабельные.

Проверить существующие кабели и провода воздушных линий по экономической плотности тока в самом тяжёлом, нормальном режиме работы.

Проверить выбранные и существующие провода ВЛ и кабели по предельно допустимому току в ремонтно-аварийном режиме.

Произвести расчёт токов КЗ: на сборных шинах ЗРУ-1, на концах вводных КЛ и в самых удалённых точках присоединения, в нормальном и ремонтно-аварийном режимах.

Произвести выбор коммутационных аппаратов, измерительных трансформаторов тока, измерительных трансформаторов напряжения и ограничителей перенапряжения (ОПН).

Рассчитать требуемую мощность собственных нужд ЗРУ-1, с учётом оперативного тока устройств защиты, требуемой мощности обогрева и освещения. Выбрать трансформаторы собственных нужд (ТСН).

Проверить существующее заземляющее устройство, на востребованность модернизации.

Для расчёта требуемой мощности на обогрев и для проверки здания ЗРУ на энергоэффективность, произвести тепловой расчёт здания.

Произвести расчёт требуемой мощности осветительных приборов для освещения помещения ЗРУ и наружной территории, и выбрать светильники.

Актуальность ВКР определяется тем, что результаты работы могут быть использованы при разработке проекта реконструкции ЗРУ-1.

1 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ

1.1 Общая информация об АО «Прионежская сетевая компания»

В Республике Карелия одна из сетевых организаций, которая осуществляет передачу электрической энергии по распределительным сетям 6/10/0,4кВ. А также занимается эксплуатацией, ремонтом, развитием и реконструкцией сетей, дизельной генерацией и осуществляет технологическое присоединение к обслуживаемым электросетям, является - АО «Прионежская сетевая компания» (АО «ПСК»). В зону обслуживания предприятия, попадает почти вся Республика.

АО «Прионежская сетевая компания» была основана 01.11.2006г. в результате реформирования российской энергетической системы, в ходе которого предприятия отрасли разделились на генерирующие, те, что производят энергию, сбытовые, те, что реализуют ее потребителю и на сетевые, те, что передают ее от производителя к потребителю.

В эксплуатации организации находятся электросети 0,4-10 кВ, по которым осуществляется электроснабжение жилых и общественных зданий, объектов жилищно-коммунального хозяйства, промышленных и коммерческих предприятий.

В зоне обслуживания АО «ПСК» находится 5222,1 км линий электропередачи, 1517 трансформаторных и распределительных пунктов.

Одной из основных задач компании, является бесперебойная передача и распределение качественной электроэнергии потребителю.

АО «ПСК» - это коллектив специалистов, обеспечивающий передачу электроэнергии жителям Прионежского района и другим районам Карелии в круглосуточном режиме.

1.2 Характеристика ЗРУ-1

ЗРУ-1 представляет собой кирпичное здание, внутри которого располагается комплектное распределительное устройство.

Распределительное устройство состоит из семи ячеек КРУН, серии «КРУН-III-10», объединённых одной системой шин без секционирования.

В первой, четвёртой, шестой и седьмой ячейках данного распредустройства установлены выключатели серии ВМГ-133 (выключатели масляные горшковые), управление выключателями осуществляется пружинным приводом типа ПП-67.

Для проведения ремонтных работ на выключателях и создания видимого разрыва в ячейке выключателя установлены шинный и линейный разъединители с приводом ПР-10-П, для предотвращения ошибочных действий при операциях с данными коммутационными аппаратами они снабжены механическими блокировками.

В каждой ячейке линейных выключателей установлены измерительные трансформаторы тока серии ТПЛ-10, предназначенные для работы измерительных приборов (амперметра), для работы счётчиков электрической энергии и для работы устройств релейной защиты.

Для электроснабжения собственных нужд ЗРУ (цепи оперативного тока, освещение ячеек и помещения ЗРУ, обогрева элементов выключателей, их приводов и помещения ЗРУ) в пятой ячейке установлен силовой масляный трансформатор марки ТМ-65-10-У1, мощностью 65кВ*А. В этой же ячейке с, обратной стороны, находится и распределительная панель собственных нужд 0,4 кВ.

Во второй ячейке ЗРУ-1 находится измерительный трансформатор напряжения, серии НТМИ-10, предназначенный для работы счётчиков электрической энергии и для работы, защита от замыканий на землю.

В третьей ячейке распредустройства, находится шкаф релейной защиты и автоматики. На ЗРУ-1 имеются следующие типы защит: токовая отсечка, максимальная токовая защита (МТЗ), защита от замыканий на землю с действием на сигнал и автоматическое повторное включение выключателя (АПВ), после действия МТЗ или токовой отсечки.

1.3 Анализ существующей системы электроснабжения

Распределительное устройство имеет класс напряжения 10кВ и находится в отдельно стоящем кирпичном здании.

Электроснабжение закрытого распределительного устройства (ЗРУ-1) возможно от одной из двух воздушно-кабельных линий 10кВ: Л-10-02 от ПС -10 «Кемь» и Л-17-08 от РП-17. Электроснабжение РП-17, в свою очередь осуществляется от воздушно-кабельной линии 10кВ, Л-10-20 от ПС-10 «Кемь». ЗРУ-1, РП-17 и данные воздушно-кабельные линии, находятся в управлении АО «ПСК», а ПС-10 «Кемь», в управлении ПАО «ФСК ЕЭС».

В нормальном режиме электроснабжение ЗРУ-1 осуществляется от Л-10-02, а Л-17-08 является отходящей линией ЗРУ-1 и питает вторую секцию шин РП-17. В аварийных ситуациях или при проведении ремонтных работ на Л-10-02, электроснабжение ЗРУ-1 возможно перевести на Л-17-08 путём переключения (включения), секционного выключателя на РП-17. Тем самым, перевести электроснабжение ЗРУ-1, с Л-10-02 на Л-10-20 через сборные шины РП-17. При необходимости обе секции сборных шин РП-17, в аварийном и ремонтном режиме, возможно, запитать от линии Л-17-08 посредством переключения секционного выключателя на РП-17.

Рассматриваемое ЗРУ состоит из семи ячеек, четыре из которых являются линейными, в них установлены масляные выключатели и разъединители, связаны между собой общей системой шин без секционирования. Непосредственно с ячеек распределительного устройства отходят две высоковольтные линии, 10кВ Л-1-5 и Л-1-7 от которых запитаны трансформаторные подстанции, для дальнейшей передачи электрической энергии потребителям.

Основными коммутационными аппаратами, которые находятся в ячейках ЗРУ-1, являются: разъединители и масляные выключатели, разъединитель шинный, предохранители, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, а также трансформатор собственных нужд.

2 РАСЧЕТ НАГРУЗКИ ЗРУ-1, В НОРМАЛЬНОМ, АВАРИЙНОМ И РЕМОНТНОМ РЕЖИМЕ, ДЛЯ ЛЕТНЕГО И ЗИМНЕГО МАКСИМУМА

2.1 Нормальный режим

Положение коммутационных аппаратов: ПС-10 «Кемь», ВЛ-10-02 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-10-02 – включён; ЗРУ-1, ВС-1 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВС-1 – отключён.

2.1.1 Расчет потребляемой мощности

Рассчитаем потребляемую мощность для каждого потребителя, (КТП) ЗРУ-1, данные занесём в Таблицу 2,1.

Для примера рассчитаем потребляемую мощность S для КТП-86.

В связи с тем, что нагрузки на всех КТП не равномерны, использовать формулу

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (2.1), \text{ нецелесообразно.}$$

Дальнейший расчёт будем вести по формуле:

$$S_{\text{КТП-86}} = I_A * U_A + I_B * U_B + I_C * U_C \quad (2.2)$$

Потребляемая мощность КТП-86 «Зимний максимум» (данные для расчёта из таблицы 2,1).

Где: $I_A = 108 \text{ А}$ – фазный ток: фаза «А», «Зимний максимум».

$I_B = 113 \text{ А}$ – фазный ток: фаза «В», «Зимний максимум».

$I_C = 151 \text{ А}$ – фазный ток: фаза «С», «Зимний максимум».

$U_A = 0,235 \text{ кВ}$ – фазное напряжение: фаза «А», «Зимний максимум».

$U_B = 0,231 \text{ кВ}$ – фазное напряжение: фаза «В», «Зимний максимум».

$U_C = 0,229 \text{ кВ}$ – фазное напряжение: фаза «С», «Зимний максимум».

$$S_{\text{КТП-86 (зим)}} = 108 * 0,235 + 113 * 0,231 + 151 * 0,229 = 86,2002 \text{ (кВ * А) -}$$

Потребляемая мощность КТП-86 «Зимний максимум».

Потребляемая мощность КТП-86 «Летний максимум».

Где: $I_A = 90 \text{ А}$ – фазный ток: фаза «А», «Летний максимум».

$I_B = 97 \text{ А}$ – фазный ток: фаза «В», «Летний максимум».

$I_C = 124 \text{ А}$ – фазный ток: фаза «С», «Летний максимум».

$U_A = 0,240 \text{ кВ}$ – фазное напряжение: фаза «А», «Летний максимум».

$U_B = 0,237 \text{ кВ}$ – фазное напряжение: фаза «В», «Летний максимум».

$U_A = 0,235$ кВ – фазное напряжение: фаза «С», «Летний максимум».

$$S_{\text{КТП-86 (лет)}} = 90 * 0,240 + 97 * 0,237 + 124 * 0,235 = 73,8234(\text{кВ} * \text{А}) -$$

Потребляемая мощность КТП-86 «Летний максимум».

Аналогичным способом рассчитаем потребляемую мощность для остальных подстанций, данные расчёта занесём в таблицу 2,1.

2.1.2 Расчет тока нагрузки на стороне ВН

Рассчитаем ток нагрузки, на стороне ВН для каждого потребителя, (КТП), ЗРУ-1 данные занесём в Таблицу 2,1.

Так как нагрузка после трансформаторов более равномерна, можно использовать формулу (2,1), которая примет вид.

$$I_{\text{Л}} = \frac{S}{\sqrt{3} * U_{\text{Л}}} \quad (2,3)$$

Для примера рассчитаем ток нагрузки для КТП-86.

$$I_{\text{Л (КТП-86)}} = \frac{S_{\text{КТП-86}}}{\sqrt{3} * U_{\text{Л (Сети)}}}$$

Ток нагрузки на стороне ВН для КТП-86 «Зимний максимум» (данные для расчёта из таблицы 2,1).

Где: $S_{\text{КТП-86 (зим)}} = 86,2002$ кВ * А – потребляемая мощность КТП-86 «Зимний максимум».

$U_{\text{Л (Сети)}} = 10$ кВ – напряжение сети.

$$I_{\text{Л (КТП-86 зим)}} = \frac{86,2002}{\sqrt{3} * 10} = 4,9768 \text{ (А)} -$$

сила тока на стороне ВН, КТП-86 «Зимний максимум».

Ток нагрузки на стороне ВН для КТП-86 «Летний максимум» (данные для расчёта из таблицы 2,1).

Где: $S_{\text{КТП-86 (лет)}} = 73,8234$ кВ * А – потребляемая мощность КТП-86 «Летний максимум».

$U_{\text{Л (Сети)}} = 10$ кВ – напряжение сети.

$$I_{\text{Л (КТП-86 лет)}} = \frac{73,8234}{\sqrt{3} * 10} = 4,2622 \text{ (А)} -$$

сила тока на стороне ВН, КТП-86 «Летний максимум».

Аналогичным способом рассчитаем потребляемую мощность для остальных подстанций, данные расчёта занесём в таблицу 2.1.

2.1.3 Нагрузка ЗРУ-1 в нормальном режиме

(По таблице 2.1).

$S_{ЗРУ-1 (Зим) Н} = 912,8334 \text{ (кВ * А)}$ – мощность через ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

$S_{ЗРУ-1 (Лет) Н} = 593,4924 \text{ (кВ * А)}$ – мощность через ЗРУ-1 в летний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

$I_{ЗРУ-1 (Зим) Н} = 52,7025 \text{ (А)}$ – ток нагрузки ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

$I_{ЗРУ-1 (Лет) Н} = 34,2653 \text{ (А)}$ – ток нагрузки ЗРУ-1 в летний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

Таблица 2,1 Нагрузка ЗРУ-1 «Нормальный режим».

№ П/П	КТП №	Транс №	Зима/Лето	НН						ВН		Наимен. ячеек.
				Нагрузка максимум Iф (А) ¹			Напряжение Uф (В) ²			Мощност S (кВ*А)	Нагрузка максимум Iф А;В;С (А)	
1	86	1	Зима	108	113	151	0,235	0,231	0,229	86,2002	4,9768	ЗРУ-1 Яч.3 ЗРУ-1, Яч.2. ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	90	97	124	0,24	0,237	0,235	73,8234	4,2622	
2	80	1	Зима	94	99	108	0,234	0,232	0,23	69,7104	4,0247	
			Лето	72	63	54	0,239	0,239	0,243	45,3870	2,6204	
3	78	1	Зима	117	157	130	0,233	0,231	0,235	93,8916	5,4208	
			Лето	95	108	113	0,239	0,237	0,241	75,7260	4,3720	
4	84	1	Зима	140	153	130	0,234	0,231	0,235	98,6526	5,6957	
			Лето	110	121	97	0,239	0,237	0,24	78,1524	4,5121	
5	79	1	Зима	122	131	110	0,234	0,231	0,236	84,9078	4,9022	
			Лето	95	108	88	0,238	0,235	0,24	69,2532	3,9983	
6	83	1	Зима	153	121	131	0,231	0,235	0,233	94,3002	5,4444	
			Лето	130	101	110	0,238	0,242	0,241	81,7002	4,7170	
7	53	1	Зима	97	70	45	0,233	0,235	0,237	49,8096	2,8758	
			Лето	77	41	34	0,24	0,241	0,243	36,8640	2,1283	
8	74	1	Зима	140	153	124	0,235	0,233	0,237	98,0784	5,6626	
			Лето	112	128	99	0,24	0,238	0,241	81,0594	4,6800	
9	85	1	Зима	97	106	122	0,235	0,237	0,233	76,5306	4,4185	
			Лето	56	83	76	0,242	0,241	0,239	51,5268	2,9749	
10	34	1	Зима	235	217	241	0,232	0,233	0,231	160,7520	9,2810	
			Лето	0	0	0	0,236	0,238	0,236	0,0000	0,0000	
11	ЗРУ-1		Зима							912,8334	52,7025	
			Лето							593,4924	34,2653	

2.2 Ремонтно-аварийный режим

Положение коммутационных аппаратов: ПС-10 «Кемь», ВЛ-10-02 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-10-02 – включён; ЗРУ-1, ВС-1 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВС-1 – включён; РП-17, ВЛ-10-20 - включён, Л-10-20 оп №7, РЛ-10-20/2 – отключён, РЛ-10-20/3 – отключён.

2.2.1 Расчет потребляемой мощности

Расчёт потребляемой мощности для каждого потребителя, (КТП) ЗРУ-1 в ремонтно-аварийном режиме, аналогичен расчёту потребляемой мощности ЗРУ-1 в нормальном

¹ Из паспортов данных КТП (регулярные сезонные замеры нагрузок).

² Из паспортов данных КТП (регулярные сезонные замеры нагрузок).

режиме. Данные расчёта занесём в Таблицу 2.2. и дальнейшие действия проведём с помощью таблицы 2.2

2.2.2 Расчет тока нагрузки на стороне ВН

Расчет тока нагрузки, на стороне ВН для каждого потребителя (КТП), ЗРУ-1 в ремонтно-аварийном режиме, аналогичен, расчёту тока нагрузки, на стороне ВН в нормальном режиме. Данные расчёта занесём в Таблицу 2.2. и дальнейшие действия проведём с помощью таблицы 2.2.

2.2.3 Нагрузка ЗРУ-1 в ремонтном и аварийном режиме

$S_{ЗРУ-1 (Зим)}_{РА} = 1660,3042(\text{кВ} * \text{А})$ – мощность через ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

$S_{ЗРУ-1 (Лет)}_{РА} = 1242,0599(\text{кВ} * \text{А})$ – мощность через ЗРУ-1 в летний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

$I_{ЗРУ-1 (Зим)}_{РА} = 95,8577(\text{кВ} * \text{А})$ – ток нагрузки ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

$I_{ЗРУ-1 (Лет)}_{РА} = 71,7104(\text{кВ} * \text{А})$ – ток нагрузки ЗРУ-1 в летний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

Таблица 2.2 Нагрузка ЗРУ-1 «Ремонтно-аварийный режим».

№ П/П	КТП №	Транс №	Зима/Лето	НН						ВН		Наимен. ячеек.
				Нагрузка максимум Iф (А)			Напряжение Уф (В)			Мощнос S (кВ*А)	Нагрузка максимум Iф А;В;С (А)	
1	86	1	Зима	108	113	151	0,235	0,231	0,229	86,2002	4,9768	ЗРУ-1, Яч.3
			Лето	90	97	124	0,24	0,237	0,235	73,8234	4,2622	
2	80	1	Зима	94	99	108	0,234	0,232	0,23	69,7104	4,0247	ЗРУ-1, Яч.12
			Лето	72	63	54	0,239	0,239	0,243	45,3870	2,6204	
3	78	1	Зима	117	157	130	0,233	0,231	0,235	93,8916	5,4208	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	95	108	113	0,239	0,237	0,241	0,0000	0,0000	
4	84	1	Зима	140	153	130	0,234	0,231	0,235	98,6526	5,6957	ЗРУ-1, Яч.12
			Лето	110	121	97	0,239	0,237	0,24	78,1524	4,5121	
5	79	1	Зима	122	131	110	0,234	0,231	0,236	84,9078	4,9022	ЗРУ-1, Яч.12
			Лето	95	108	88	0,238	0,235	0,24	69,2532	3,9983	
6	83	1	Зима	153	121	131	0,231	0,235	0,233	94,3002	5,4444	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	130	101	110	0,238	0,242	0,241	81,7002	4,7170	
7	53	1	Зима	97	70	45	0,233	0,235	0,237	49,8096	2,8758	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	77	41	34	0,24	0,241	0,243	36,8640	2,1283	
8	74	1	Зима	140	153	124	0,235	0,233	0,237	98,0784	5,6626	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	112	128	99	0,24	0,238	0,241	81,0594	4,6800	
9	85	1	Зима	97	106	122	0,235	0,237	0,233	76,5306	4,4185	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	56	83	76	0,242	0,241	0,239	51,5268	2,9749	
10	34	1	Зима	235	217	241	0,232	0,233	0,231	160,752	9,2810	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	0	0	0	0,236	0,238	0,236	0,0000	0,0000	
11	71	1	Зима	137	101	151	0,231	0,233	0,229	89,7120	5,1795	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	92	81	140	0,238	0,241	0,239	74,9250	4,3258	
12	68	1	Зима	45	58	61	0,235	0,233	0,237	38,5002	2,2228	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	36	50	54	0,241	0,24	0,243	33,8940	1,9569	
13	37	1	Зима	53	48	57	0,234	0,236	0,231	36,9438	2,1330	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	44	37	50	0,238	0,24	0,235	31,3392	1,8094	
14	36	1	Зима	99	65	50	0,231	0,233	0,235	49,8114	2,8759	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	59	41	38	0,238	0,241	0,242	33,2622	1,9204	
15	69	1	Зима	25	21	18	0,235	0,233	0,237	15,0340	0,8680	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	15	10	9	0,24	0,238	0,241	8,1490	0,4705	
16	49	1	Зима	12	11	13	0,231	0,235	0,229	8,3340	0,4812	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	9	8	10	0,237	0,24	0,235	6,4030	0,3697	
17	48А	1	Зима	89	76	82	0,231	0,233	0,232	57,2324	3,3043	ЗРУ-1, Яч.2
			Лето	70	57	64	0,236	0,238	0,236	45,2130	2,6104	
18	48	1	Зима	63	55	58	0,233	0,235	0,231	40,8503	2,3585	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	32	42	37	0,239	0,243	0,239	26,5178	1,5310	
19	50	1	Зима	72	65	87	0,238	0,24	0,235	53,1810	3,0704	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	63	53	60	0,231	0,233	0,235	41,0020	2,3673	
20	41	1	Зима	119	117	123	0,233	0,231	0,235	83,6590	4,8301	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	78	71	82	0,241	0,238	0,242	55,5400	3,2066	
21	51	1	Зима	56	84	51	0,235	0,231	0,233	44,4470	2,5661	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	45	78	43	0,242	0,238	0,241	39,8170	2,2988	
22	46	1	Зима	32	34	30	0,232	0,23	0,234	22,1600	1,2794	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	28	30	24	0,239	0,243	0,239	19,7180	1,1384	
23	101	1	Зима	27	45	55	0,233	0,235	0,237	29,7450	1,7173	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	21	32	47	0,24	0,241	0,243	24,0930	1,3910	
24	100	1	Зима	36	28	33	0,235	0,237	0,233	22,7850	1,3155	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	23	21	25	0,24	0,241	0,238	16,5310	0,9544	
25	35	1	Зима	18	21	15	0,233	0,235	0,237	12,6840	0,7323	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	10	11	9	0,239	0,242	0,241	7,2210	0,4169	
26	32	1	Зима	0	0	0	0,236	0,238	0,236	0,0000	0,0000	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	225	215	230	0,232	0,233	0,231	155,425	8,9735	
27	38	1	Зима	29	34	37	0,236	0,234	0,231	23,3254	1,3467	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	22	26	24	0,24	0,238	0,235	16,8869	0,9750	
28	39	1	Зима	57	58	55	0,233	0,232	0,235	39,5100	2,2811	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	50	37	42	0,24	0,239	0,241	31,0013	1,7899	
29	40	1	Зима	99	65	50	0,231	0,233	0,235	49,8114	2,8759	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	59	41	38	0,238	0,241	0,242	33,2622	1,9204	
30	102	1	Зима	27	45	55	0,233	0,235	0,237	29,7450	1,7173	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето	21	32	47	0,24	0,241	0,243	24,0930	1,3910	
28	ЗРУ-1		Зима							1660,3042	95,8577	ЗРУ-1, Яч.13
			Лето							1242,0599	71,7104	

На основании расчета нагрузки ЗРУ-1 в нормальном, аварийном и ремонтном режиме, для летнего и зимнего максимума, можно сделать вывод: что самыми тяжёлым режимом является, ремонтно-аварийный режим зимнего максимума, где:

$S_{ЗРУ-1 (Зим) РА} = 1660,3042 \text{ (кВ * А)}$ – мощность через ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в ремонтно-аварийном режиме.

$I_{ЗРУ-1 (Зим) РА} = 95,8577 \text{ (А)}$ – ток нагрузки ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в ремонтно-аварийном режиме.

а самым тяжёлым нормальным режимом является, нормальный режим зимнего максимума, где:

$S_{ЗРУ-1 (Зим) Н} = 912,8334 \text{ (кВ * А)}$ – мощность через ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

$I_{ЗРУ-1 (Зим) Н} = 52,7025 \text{ (А)}$ – ток нагрузки ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

3 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА И ИХ ПРОВЕРКА ПО МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОМУ ТОКУ

3.1 Выбор и проверка проводов и кабелей по экономической плотности тока

Сечения проводников рассчитываем по экономической плотности тока в нормальном режиме работы, т. е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается. Сечение, полученное в результате указанного расчета, округляется до ближайшего стандартного сечения. Экономическое сечение провода определяем по формуле:

$$S_{Эк} = \frac{I_{Нор}}{J_{Эк}} \quad (3.1)$$

Где: $S_{Эк}$ – мм² – Экономическое сечение проводников.

$I_{Нор}$ – А – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{Эк}$ – Нормированное значение экономической плотности тока.³

На основе таблицы 2.1. и схемы П.2 составим таблицу нагрузок по присоединениям ЗРУ-1, нормального режима «Зимний максимум».

Таблица 3.1 Нагрузки ЗРУ-1, по присоединениям в нормальном режиме «Зимний максимум».

	Яч.-2 Л-10-02	Яч.-3 Л-1-5	Яч.-12 Л-1-7	Яч.-13 Л-17-08
S нор зим	912,8334	249,8022	277,8606	385,1706
I нор зим	52,70246	14,42234	16,04229	22,23783

3.1.1 Проверка проводников, кабельно-воздушной линии ВЛ-10-02, Яч-2 ЗРУ-1

По формуле (3.1).

Воздушный участок.

Где: $I_{Нор} = 52,7025(A)$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{Эк} = 1,1$ – Нормированное значение экономической плотности тока для голого провода

³ Таблица П2.1 и Таблица П2.1

Тогда:

$$S_{\text{ЭК ВЛ-10-02}} = \frac{52,7025}{1,1} = 47,911 \approx 50 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для воздушного участка линии Л-10-02.

Кабельный участок.

По формуле (3.1).

Где: $I_{\text{Нор}} = 52,7025 \text{ (А)}$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{\text{ЭК}} = 1,4$ – Нормированное значение экономической плотности тока для кабеля.

Тогда:

$$S_{\text{ЭК Л-10-02}} = \frac{52,7025}{1,4} = 37,6446 \approx 38 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для кабельного участка кабельно-воздушной линии Л-10-02.

Кабельно-воздушная линия Л-10-02, уже построена из участков КЛ выполненных кабелями марки ААБ-3*150 и АСБ-3*150 и участков ВЛ выполненных проводом АС-70 (алюминий/сталь, 70/11 мм²)⁴.

Данные проводники, удовлетворяют экономическому сечению проводников.

3.1.2 Выбор кабеля, для ввода Л-10-02, в Яч.-2 ЗРУ-1

По проведённому расчёту, выбираем кабель марки АСБ-3*50.

3.1.3 Проверка проводников, воздушной линии Л-1-5, Яч.-3 ЗРУ-1

По формуле (3.1).

Где: $I_{\text{Нор}} = 14,4223 \text{ (А)}$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{\text{ЭК}} = 1,1$ – Нормированное значение экономической плотности тока для голого провода.

Тогда:

$$S_{\text{ЭК Л-10-02}} = \frac{14,4223}{1,1} = 13,1111 \approx 14 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для кабельно-воздушной линии Л-1-5.

Воздушная линия Л-1-5, выполнена проводом АС-50 (алюминий/сталь, 50/8 мм²).

Данный проводник, удовлетворяет экономическому сечению.

3.1.4 Выбор кабеля, для ввода Л-1-5, в Яч.-3 ЗРУ-1

По формуле (3.1).

Где: $I_{\text{Нор}} = 14,4223 \text{ (А)}$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

⁴ ПУЭ Таблица 1.3.29

$J_{\text{Эк}} = 1,4$ – Нормированное значение экономической плотности тока для кабеля.

Тогда:

$$S_{\text{ЭкЛ-1-5}} = \frac{14,4223}{1,4} = 10,30 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для кабельно-воздушной линии ВП-1-5.

По экономическому сечению выбираем кабель марки АСБ-3*16.

3.1.5 Проверка проводников, воздушной линии Л-1-7, Яч.-12 ЗРУ-1

По формуле (3.1).

Где: $I_{\text{Нор}} = 16,04229(\text{А})$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{\text{Эк}} = 1,1$ – Нормированное значение экономической плотности тока для голого провода.

Тогда:

$$S_{\text{ЭкЛ-1-7}} = \frac{16,04229}{1,1} = 14,5839 \approx 15 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для линии Л-1-7.

Воздушная линия ВЛ-1-7, выполнена проводом АС-50 (алюминий/сталь, 50/8 мм²).

Данный проводник, удовлетворяет экономическому сечению.

3.1.6 Выбор кабеля, для ввода Л-1-7, в Яч.-12 ЗРУ-1

По формуле (3.1).

Где: $I_{\text{Нор}} = 16,04229(\text{А})$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{\text{Эк}} = 1,4$ – Нормированное значение экономической плотности тока для кабеля.

Тогда:

$$S_{\text{ЭкЛ-1-7}} = \frac{14,4223}{1,4} = 10,30 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для кабельно-воздушной линии Л-1-7.

По экономическому сечению выбираем кабель марки АСБ-3*16.

3.1.7 Проверка проводников, кабельно-воздушной линии Л-17-08, Яч.-13 ЗРУ-1

По формуле (3.1).

Воздушный участок.

Где: $I_{\text{Нор}} = 22,23783(\text{А})$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{\text{Эк}} = 1,1$ – Нормированное значение экономической плотности тока для голого провода.

Тогда:

$$S_{\text{ЭкЛ-17-08}} = \frac{22,2378}{1,1} = 20,2162 \approx 21 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для воздушного участка линии Л-17-08.

Кабельный участок.

По формуле (3.1).

Где: $I_{\text{Нор}} = 22,2378(\text{А})$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{\text{Эк}} = 1,4$ – Нормированное значение экономической плотности тока для кабеля.

Тогда:

$$S_{\text{ЭкЛ-17-08}} = \frac{22,2378}{1,4} = 15,8842 \approx 16 (\text{мм}^2) -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для кабельного участка кабельно-воздушной линии Л-17-08.

Кабельно-воздушная линия ВЛ-17-08, уже построена из участка КЛ выполненного кабелем марки ААБл-3*150 и участков ВЛ выполненных проводом АС-70 (алюминий/сталь, 70/11 мм²).

Данные проводники, удовлетворяют экономическому сечению проводников.

3.1.8 Выбор кабеля, для ввода Л-17-08, в Яч.-13 ЗРУ-1

По проведённому выше расчёту, выбираем кабель марки АСБ-3*16.

3.2 Проверка выбранных кабелей и проводов

Проверим выбранные кабели и провода по допустимому длительному току в ремонтно-аварийном режиме «Зимний максимум»

На основе таблицы 2.1. и схемы П.2 составим таблицу нагрузок по присоединениям ЗРУ-1, ремонтно-аварийного режима «Зимний максимум».

Таблица 3.2 Нагрузка ЗРУ-1, по присоединениям в ремонтно-аварийном режиме «Зимний максимум».

	Яч-2 Л-10-02	Яч-3 Л-1-5	Яч-12 Л-1-7	Яч-13 Л-17-08
S ра зим	1660,30	249,8022	277,8606	1154,8
Iра зим	95,858	14,42234	16,04229	66,6725

3.2.1 Проверка проводников, кабельно-воздушной линии ВЛ-10-02, Яч-2 ЗРУ-1

Кабельно-воздушная линия ВЛ-10-02, состоит из участков КЛ выполненных кабелями марки:

ААБ-3*150 = 89(А) < 210 (А) длительно допустимый ток⁵.

АСБ-3*150 = 89(А) < 210(А) длительно допустимый ток⁶.

⁵ ПУЭ Таблица 1.3.8 (Прокладка в воздухе учитывает переходы с КЛ на ВЛ)

⁶ ПУЭ Таблица 1.3.8 (Прокладка в воздухе учитывает переходы с КЛ на ВЛ)

голым сталеалюминевым проводом марки.

$$AC-70 = 89 (A) < 265(A) \text{ длительно допустимый ток}^7$$

и выбранного расчётом кабеля марки:

$$ACB-3*50 = 96(A) < 210 (A) \text{ длительно допустимый ток}^8.$$

Вывод все выбранные провода и кабели Л-10-02 проходят проверку по допустимому длительному току.

3.2.2 Проверка проводников, кабельно-воздушной линии Л-1-5, Яч.-3 ЗРУ-1

Кабельно-воздушная линии Л-1-5, состоит из участка ВЛ выполненного голым сталеалюминевым проводом марки:

$$AC-50 = 14 (A) < 210 (A) \text{ длительно допустимый ток}^9.$$

и выбранного расчётом кабеля марки:

$$ACB-3*16 = 14(A) < 46 (A) \text{ длительно допустимый ток}^{10}.$$

3.2.3 Проверка проводников, кабельно-воздушной линии Л-1-7, Яч.-12 ЗРУ-1

Кабельно-воздушная линии Л-1-7, состоит из участка ВЛ выполненного голым сталеалюминевым проводом марки:

$$AC-50 = 16 (A) < 210 (A) \text{ длительно допустимый ток}^{11}.$$

и выбранного расчётом кабеля марки:

$$ACB-3*16 = 16 (A) < 46 (A) \text{ длительно допустимый ток}^{12}.$$

3.2.4 Проверка проводников, кабельно-воздушной линии Л-17-08, Яч.-13 ЗРУ-1

Кабельно-воздушная линия Л-17-08, состоит из участка выполненного голым сталеалюминевым проводом марки:

$$AC-70 = 67 (A) < 265 (A) \text{ длительно допустимый ток}^{13}.$$

кабеля марки:

$$AAБл-3*150 = 67 (A) < 210 (A) \text{ длительно допустимый ток.}^{14}$$

и выбранного расчётом кабеля марки:

$$ACB-3*16 = 67 (A) > 46 (A) \text{ длительно допустимый ток}^{15}.$$

⁷ ПУЭ Таблица 1.3.29

⁸ ПУЭ Таблица 1.3.8 (Прокладка в воздухе учитывает переходы с КЛ на ВЛ)

⁹ ПУЭ Таблица 1.3.29

¹⁰ ПУЭ Таблица 1.3.8 (Прокладка в воздухе учитывает переходы с КЛ на ВЛ)

¹¹ ПУЭ Таблица 1.3.29

¹² ПУЭ Таблица 1.3.8 (Прокладка в воздухе учитывает переходы с КЛ на ВЛ)

¹³ ПУЭ Таблица 1.3.29

¹⁴ ПУЭ Таблица 1.3.8 (Прокладка в воздухе учитывает переходы с КЛ на ВЛ)

¹⁵ ПУЭ Таблица 1.3.8 (Прокладка в воздухе учитывает переходы с КЛ на ВЛ)

Выбранный, для ввода Л-17-08, в Яч.-13 ЗРУ-1, расчётом по экономической плотности тока, кабель марки АСБ-3*16 не проходит проверку по длительно допустимому току. Выбор сечения кабеля, для ввода Л-17-08, в Яч.-13 ЗРУ-1, проводим по длительно допустимому току.

По току, $I_{РА\text{ зим}} = 67\text{А}$, для ввода Л-17-08, в Яч.-13 ЗРУ-1, принимаем к установке кабель АСБ-3*35¹⁶=67 (А) > 80 (А) длительно допустимый ток¹⁷.

Все провода и кабели, присоединений ЗРУ-1, проходят проверку по допустимому длительному току.

Выбранные ранее кабели и провода большего сечения, чем нужно сейчас, можно объяснить тем, что в прежние годы данные КТП имели большую нагрузку, чем в настоящее время. От КТП запитанных от ЗРУ-1: работала база Севгидростроя строившего каскад Кемских ГЭС, база Кемского ДРСУ, Кемская автобаза, от РП-17 каменный карьер ДРСУ, а в посёлке Сокол был военный аэродром с соответствующей инфраструктурой.

Сейчас ничего этого нет, но на бывших базах работают частные предприятия, и они развиваются. Также планируется восстановление аэродрома.

Учитывая всё это, выбирать кабели для вводов ЗРУ-1, по нынешним нагрузкам нецелесообразно. Поэтому есть смысл принять к установке кабели большего сечения и выбрать их по мощности и количеству ТП, с учётом коэффициента одновременности.

3.3 Выбор кабелей по мощности и количеству ТП в нормальном режиме работы

Выбор кабелей по мощности и количеству ТП по присоединениям ЗРУ-1, с учётом коэффициента одновременности ($K_{Од}$), в нормальном режиме работы

Нормальный режим, положение коммутационных аппаратов: ПС-10 «Кемь», ВЛ-10-02 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-10-02 – включён; ЗРУ-1, ВС-1 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВС-1 – отключён.

3.3.1 Выбор кабеля, для ввода Л-10-02, в Яч.-2 ЗРУ-1. По экономической плотности тока

Составим таблицу нагрузок Л-10-02, Яч.-2 ЗРУ-1, в нормальном режиме. Учитывая мощность всех подстанций, их количество и коэффициент одновременности.

¹⁶ ПУЭ Таблица 1.3.8 (Прокладка в воздухе учитывает переходы с КЛ на ВЛ)

¹⁷ ПУЭ Таблица 1.3.8 (Прокладка в воздухе учитывает переходы с КЛ на ВЛ)

Таблица 3.3 Нагрузка Л-10-02, Яч.-2 ЗРУ-1, в нормальном режиме.

	Дисп. номер	Фидер	Мощность ТП кВ*А	Мощность трансформатора кВ*А
1	34	Л-10-02(Л-17-10)	400	400/10
2	53	Л-10-02(Л-17-10)	160	160/10
3	78	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
4	79	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
5	80	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
6	84	Л-10-02(Л-1-07)	630	630/10
7	85	Л-10-02(Л-17-08)	160	160/10
8	86	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
9	74	Л-10-02(Л-17-09)	250	250/10
10	83	Л-10-02(Л-1-07)	400	400\10
	Итого:		3000	
$K_{Од} = 0,75^{18}$			2250	$I_{10} = 129,9038(A)$

По формуле (3.1).

Где: $I_{Нор} = 129,9038(A)$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{Эк} = 1,4$ – Нормированное значение экономической плотности тока для кабеля.

Тогда:

$$S_{Эк Л-10-02} = \frac{129,9038}{1,4} = 92,79 \approx 93 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для кабельного участка кабельно-воздушной линии Л-10-02, в нормальном режиме работы.

Выбираем ближайший по сечению кабель марки АСБ 3*95.

Существующие кабели: ААБ-3*150 и АСБ-3*150 – проходят по экономической плотности тока.

Существующий голый провод: АС-70 – не проходит по экономической плотности тока.

3.3.2 Выбор кабеля, для ввода Л-17-08, в Яч.-7 ЗРУ-1. По экономичной плотности тока

Составим таблицу нагрузок Л-17-08, Яч.-7 ЗРУ-1, в нормальном режиме. Учитывая мощность всех подстанций, их количество и коэффициента одновременности.

¹⁸ Таблица П.2.3

Таблица 3.4 Нагрузка Л-17-08, Яч.-7 ЗРУ-1, в нормальном режиме.

	Дисп. номер	Фидер	Мощность ТП кВ*А	Мощность трансформатора кВ*А
1	53	Л-17-10	160	160/10
2	74	Л-17-09	250	250/10
3	85	Л-17-08	160	160/10
4	34	Л-17-10	400	400/10
	Итого:		970	
$K_{Од} = 0,83^{19}$			805,1	$I_{10} = 46,48247(A)$

По формуле (3.1).

Где: $I_{Нор} = 46,4825(A)$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{Эк} = 1,4$ – Нормированное значение экономической плотности тока для кабеля.

Тогда:

$$S_{ЭкЛ-17-08} = \frac{46,4825}{1,4} = 33,20 \approx 35(\text{мм}^2) -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для кабельного участка кабельно-воздушной линии ВЛ-17-08, в нормальном режиме работы.

Выбираем ближайший по сечению кабель марки АСБ 3*35.

Существующий кабель: ААБл-3*150 – проходит по экономической плотности тока.

Существующий провод: АС-70 – проходит по экономической плотности тока.

3.3.3 Выбор кабеля, для ввода Л-1-05, в Яч.-3 ЗРУ-1. По экономичной плотности тока

Составим таблицу нагрузок Л-1-05, Яч.-3 ЗРУ-1, в нормальном режиме.

Учитывая мощность всех подстанций, их количество и коэффициента одновременности.

Таблица 3.5 Нагрузка Л-1-05, Яч.-3 ЗРУ-1, в нормальном режиме.

	Дисп. номер	Фидер	Мощность ТП кВ*А	Мощность трансформатора кВ*А
1	78	Л-1-05	250	250/10
5	80	Л-1-05	250	250/10
3	86	Л-1-05	250	250/10
	Итого:		750	
$K_{Од} = 0,85^{20}$			637,5	$I_{10} = 36,80608(A)$

¹⁹ Таблица П.2.3

²⁰ Таблица П.2.3

По формуле (3.1).

Где: $I_{\text{Нор}} = 36,8061(\text{А})$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{\text{Эк}} = 1,4$ – Нормированное значение экономической плотности тока для кабеля.

Тогда:

$$S_{\text{Эк ВЛ-1-05}} = \frac{36,8061}{1,4} = 26,29 \approx 27(\text{мм}^2) -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для кабельного участка кабельно-воздушной линии Л-1-05, в нормальном режиме работы.

Выбираем ближайший по сечению кабель марки АСБ 3*35.

3.3.4 Выбор кабеля, для ввода ВЛ-1-07, в Яч.-6 ЗРУ-1. По экономической плотности тока

Составим таблицу нагрузок Л-1-07, Яч.-6 ЗРУ-1, в нормальном режиме.

Учитывая мощность всех подстанций, их количество и коэффициента одновременности.

Таблица 3.6 Нагрузка Л-1-07, Яч.-6 ЗРУ-1, в нормальном режиме.

	Дисп. номер	Фидер	Мощность ТП кВ*А	Мощность трансформатора кВ*А	
	1	84	Л-1-07	630	630/10
	2	83	Л-1-07	400	400/10
	3	79	Л-1-07	250	250/10
		Итого:		1280	
$K_{\text{од}} = 0,85^{21}$				1088	$I_{10} = 62,8157(\text{А})$

По формуле (3.1).

Где: $I_{\text{Нор}} = 36,8061(\text{А})$ – Ток нагрузки в самом тяжелом нормальном режиме.

$J_{\text{Эк}} = 1,4$ – Нормированное значение экономической плотности тока для кабеля.

Тогда:

$$S_{\text{Эк ВЛ-1-07}} = \frac{62,8157}{1,4} = 44,87 \approx 45(\text{мм}^2) -$$

Требуемое экономическое сечение проводников для кабельного участка кабельно-воздушной линии Л-1-07, в нормальном режиме работы.

Выбираем ближайший по сечению кабель марки АСБ 3*50.

²¹ Таблица П.2.3

3.4 Проверка кабелей и проводов по мощности и количеству ТП в ремонтно-аварийном режиме работы

Проверка кабелей и проводов по мощности и количеству ТП по присоединениям ЗРУ-1, с учётом коэффициента одновременности ($K_{од}$), в ремонтно-аварийном режиме работы

Положение коммутационных аппаратов: ПС-10 «Кемь», ВЛ-10-02 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-10-02 – включён; ЗРУ-1, ВС-1 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВС-1 – включён; РП-17, ВЛ-10-20 - включён, Л-10-20 оп №7, РЛ-10-20/2 – отключён, РЛ-10-20/3 – отключён.

3.4.1 Проверка кабелей и проводов, для ввода Л-10-02, в Яч.-2 ЗРУ-1. По допустимому длительному току

Составим таблицу нагрузок Л-10-02, Яч.-2 ЗРУ-1, в ремонтно-аварийном режиме, учитывая мощность всех подстанций, их количество и коэффициент одновременности.

Таблица 3.7 Нагрузка Л-10-02, Яч.-2 ЗРУ-1, в ремонтно-аварийном режиме.

	Дисп. номер	Фидер	Мощность ТП	Мощность трансформатора
1	86	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
2	80	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
3	78	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
4	84	Л-10-02(Л-1-07)	630	630/10
5	79	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
6	83	Л-10-02(Л-1-07)	400	400/10
7	53	Л-10-02(Л-17-10)	160	160/10
8	74	Л-10-02(Л-17-09)	250	250/10
9	85	Л-10-02(Л-17-08)	160	160/10
10	34	Л-10-02(Л-17-10)	400	400/10
11	71	Л-10-20(Л-17-04)	100	100/10
12	68	Л-10-20(Л-17-04)	160	160/10
13	37	Л-10-20 (Л-17-04)	160	160/10
15	36	Л-10-20(Л-17-05)	160	160/10
16	69	Л-10-20(Л-17-05)	30	30 /10
17	49	Л-10-20(Л-17-05)	160	250/10
18	48А	Л-10-20(Л-17-05)	100	250/10
19	48	Л-10-20(Л-17-05)	160	250/10
20	50	Л-10-20(Л-17-05)	160	250/10
21	41	Л-10-20(Л-17-05)	100	100/10
22	51	Л-10-20(Л-17-05)	100	100/10
23	46	Л-10-20(Л-17-05)	160	160/10
25	100	Л-10-20	100	100/10
26	35	Л-10-20	400	400/10
27	32	Л-10-20	100	100/10
27	101	Л-10-20	160	160/10
28	38	Л-10-20 (Л-17-05)	100	100/10
29	39	Л-10-20(Л-17-05)	100	100/10
30	40	Л-10-20(Л-17-05)	100	100/10
31	102	Л-10-20 (Л-17-05)	100	100/10
	Итого:		5460	
$K_{од} = 0,65^{22}$			3549	$I_{10} = 204,9016(A)$

Кабель марки АСБ 3*95 = 205(A) > 155 (A) – (допустимый длительный ток), не проходит проверку.

По допустимому длительному току выбираем кабель АСБ 3*150 = 205(A) < 210 (A) – допустимый длительный ток.

Кабели: АСБ 3*150 и ААБ 3*150 проходят проверку по допустимому длительному току.

²² Таблица П.2.3

Голый провод: $AC-70 = 205 \text{ (A)} < 265 \text{ (A)}$ - проходит проверку по допустимому длительному току.

3.4.2 Проверка кабелей и проводов, для ввода Л-17-08, в Яч.-13 ЗРУ-1. По допустимому длительному току

Составим таблицу нагрузок Л-17-08, Яч.-13 ЗРУ-1, в ремонтно-аварийном режиме, учитывая мощность всех подстанций, их количество и коэффициент одновременности.

Таблица 3.8 Нагрузка Л-17-08, Яч.-13 ЗРУ-1, в ремонтно-аварийном режиме.

	Дисп. номер	Фидер	Мощность ТП	Мощность трансформатора
1	53	Л-17-08(Л-17-10)	160	160/10
2	74	Л-17-08 (Л-17-09)	250	250\10
3	85	Л-17-08 (Л-17-08)	160	160/10
4	34	Л-17-08 (Л-17-10)	400	400/10
5	71	Л-10-20(Л-17-04)	100	100/10
6	68	Л-10-20(Л-17-04)	160	160/10
7	37	Л-10-20 (Л-17-04)	160	160/10
8	36	Л-10-20(Л-17-05)	160	160/10
9	69	Л-10-20(Л-17-05)	30	30 /10
10	49	Л-10-20(Л-17-05)	160	160\10
11	48А	Л-10-20(Л-17-05)	100	100\10
12	48	Л-10-20(Л-17-05)	160	160\10
13	50	Л-10-20(Л-17-05)	160	250/10
14	41	Л-10-20(Л-17-05)	100	100\10
15	51	Л-10-20(Л-17-05)	100	250\10
16	46	Л-10-20(Л-17-05)	160	250\10
17	100	Л-10-20	100	100/10
18	35	Л-10-20	400	400/10
19	32	Л-10-20	100	160/10
20	101	Л-10-20	160	250\10
21	38	Л-10-20 (Л-17-05)	100	560\10
22	39	Л-10-20(Л-17-05)	100	160/10
23	40	Л-10-20(Л-17-05)	100	320\10
24	102	Л-10-20 (Л-17-05)	100	100/10
	Итого:		3680	
	$K_{од} = 0,65^{23}$		2392	$I_{10} = 138,1022 \text{ (A)}$

Выбранный в п. 3.3.2 кабель марки АСБ 3*35 = 138,1 > 80 А – (допустимый длительный ток для АСБ 3*35), не подходит.

По длительно допустимому току выбираем кабель марки АСБ-3*95 = 138,1 (А) < 155 (А) – длительно допустимый ток для кабеля марки АСБ-3*95.

²³ Таблица П.2.3

Существующий кабель марки ААБл – 3*150 – подходит по длительно допустимому току.

Существующий провод АС-70 – подходит по длительно допустимому току.

3.4.3 Проверка Л-17-08, в аварийном режиме №2

Проверим Л-17-08, в аварийном режиме №2, (Положение коммутационных аппаратов: ПС-10 «Кемь», ВЛ-10-02 – отключён; ЗРУ-1, ВЛ-10-02 – отключён; ЗРУ-1, ВС-1 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВС-1 – включён; РП-17, ВЛ-10-20 - включён, Л-10-20 оп №7, РЛ-10-20/2 – включён, РЛ-10-20/3 – отключён).

Составим таблицу нагрузок Л-17-08, Яч.-13 ЗРУ-1, в ремонтно-аварийном режиме №2, учитывая мощность всех подстанций, их количество и коэффициент одновременности.

Таблица 3.9 Нагрузка Л-17-08, Яч.-13 ЗРУ-1, в ремонтно-аварийном режиме №2.

	Дисп. номер	Фидер	Мощность ТП	Мощность трансформатора
1	86	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
2	80	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
3	78	Л-10-02(Л-1-05)	250	250/10
4	84	Л-10-02(Л-1-07)	630	630/10
5	79	Л-10-02(Л-1-07)	250	250/10
6	83	Л-10-02(Л-1-07)	400	400\10
	Итого:		2030	
$K_{од} = 0,65^{24}$			1624	$I_{10} = 93,76168 (A)$

Кабель марки АСБ-3*95 = 93,76 (А) < 155 (А) – длительно допустимый ток для кабеля марки АСБ-3*95, проходит по длительно допустимому току в ремонтно-аварийном режиме №2.

²⁴ Таблица П.2.3

3.5 Вывод

Кабельно-воздушная линия Л-10-02 состоит из:

участка КЛ выполненного кабелем ААБ-3*150 длиной 150 метров,
участка ВЛ выполненного проводом АС-70 длиной 850 метров,
участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*150 длиной 180 метров,
участка ВЛ выполненного проводом АС-70 длиной 2750 метров,
участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*150 длиной 30 метров.

Кабельно-воздушная линия Л-10-20 состоит из:

участка КЛ выполненного кабелем ААБ-3*150 длиной 100 метров,
участка ВЛ выполненного проводом АС-70 длиной 300 метров,
участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*150 длиной 380 метров,
участка ВЛ выполненного проводом АС-70 длиной 3000 метров,
участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*150 длиной 35 метров.

Кабельно-воздушная линия Л-17-08 состоит из:

участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*150 длиной 40 метров,
участка ВЛ выполненного проводом АС-70 длиной 600 метров,
участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*95 длиной 35 метров.

Кабельно-воздушная линия Л-1-05 состоит из:

участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*35 длиной 30 метров,
участка ВЛ выполненного проводом АС-50 общей протяжённостью (длинной) 850 метров.

Кабельно-воздушная линия Л-1-07 состоит из:

участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*50 длиной 35 метров,
участка ВЛ выполненного проводом АС-50 общей протяжённостью (длинной) 350 метров, с отпайкой длиной 100 метров на участке 50 метров.

4 РАСЧЁТ ТОКОВ ТРЁХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

«При выборе расчетной схемы для определения токов КЗ следует исходить из предусматриваемых для данной электроустановки условий длительной ее работы и не считаться с кратковременными видоизменениями схемы этой электроустановки, которые не предусмотрены для длительной эксплуатации (например, при переключениях (временная, параллельная работа трансформаторов, возможна только при переключениях)).

Ремонтные и послеаварийные режимы работы электроустановки к кратковременным изменениям схемы не относятся»²⁵.

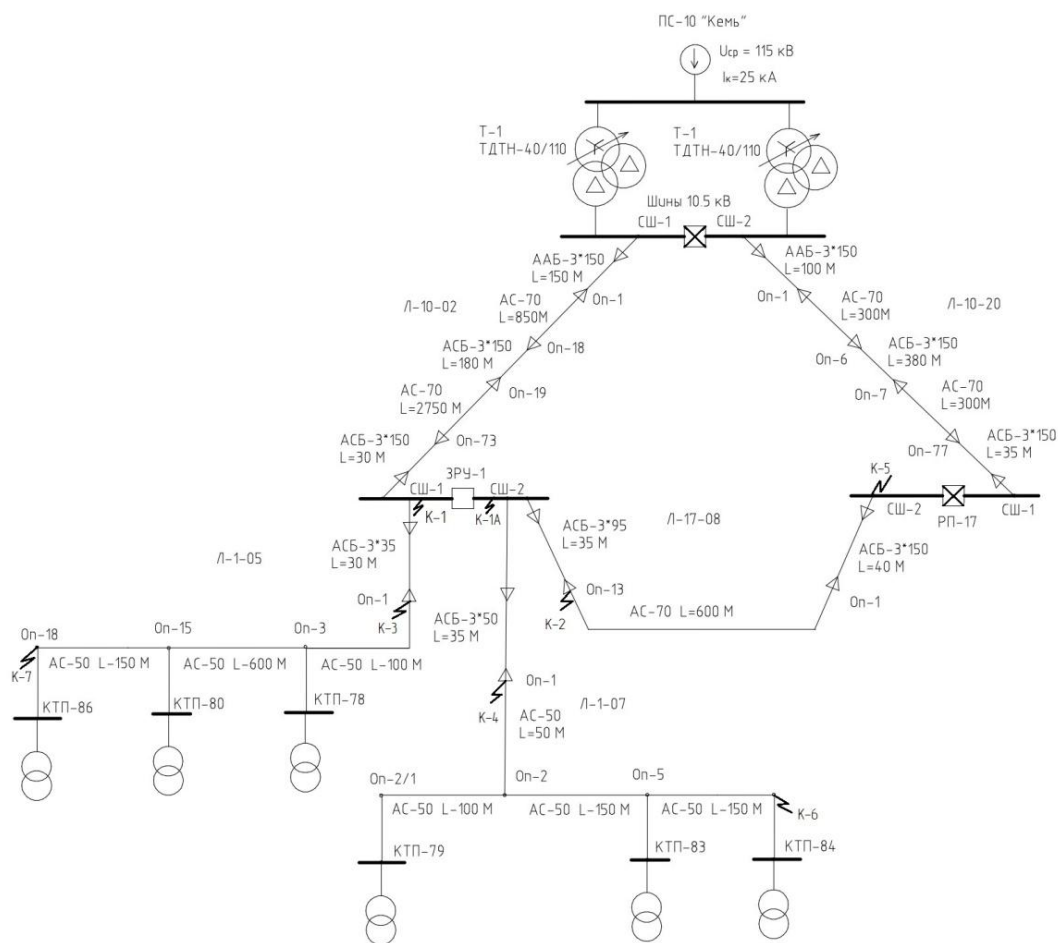


Рис.4.1 Упрощенная схема эл.сети 10кВ «ЗРУ1, РП-17» в нормальном режиме.

²⁵ ПУЭ-7 п.1.4.4.

Составим схему замещения эл. сети 10 кВ «ЗРУ-1, РП-17», заменив элементы схемы, кабельные и воздушные линии их активными R и реактивными X, сопротивлениями.

Сопротивления системы и трансформаторов условно не показаны.

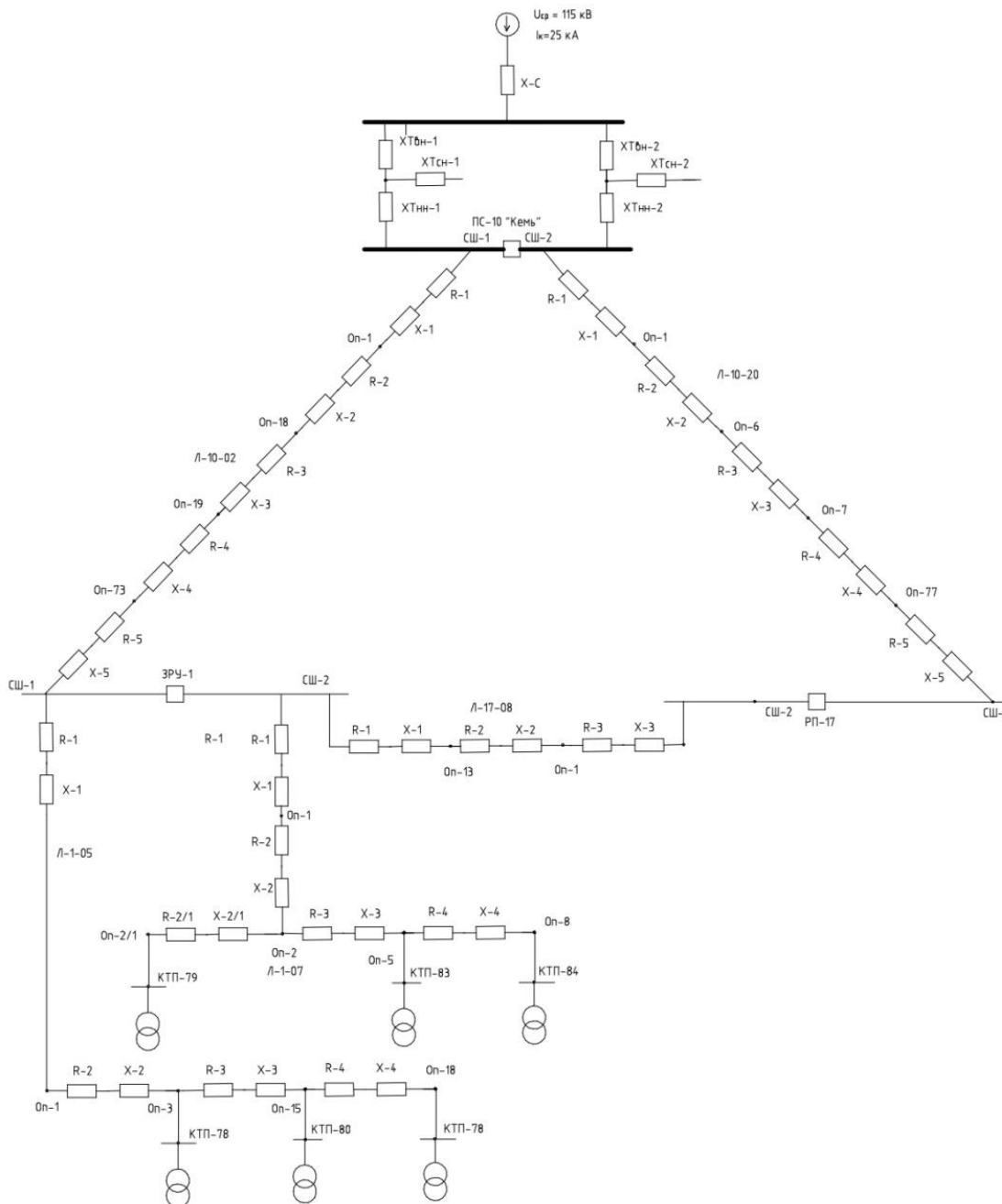


Рис.4.2 Схема замещения эл.сети «ЗРУ1, РП-17».

4.1.1 Полное сопротивление Z, Л-10-02

Полное сопротивление Z_1 , участка ПС-10, СШ-1 – Оп-1 по формуле.

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} \quad (4.1)$$

где: (участок Z_1 выполнен КЛ, кабелем марки АСБ-3*150)

$$R_1 = R_{уд} * L_1$$

где: $R_{уд} = 0,206$ Ом/км – удельное активное сопротивление кабеля сечением 150мм^2 ²⁶.

$L_1 = 150$ м = 0,15 км. – длина КЛ, участка 1.

$$X_1 = X_{уд} * L_1$$

где: $X_{уд} = 0,079$ Ом/км – удельное индуктивное сопротивление, прямой последовательности кабеля сечением 150мм^2 ²⁷.

$L_1 = 150$ м = 0,15 км. – длина КЛ, участка 1.

Тогда:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{(0,206 * 0,15)^2 + (0,079 * 0,15)^2} = 0,033094(\text{Ом}) -$$

Полное сопротивление участка Z_1 линии Л-10-02.

Полное сопротивление Z_2 , участка Оп-1 – Оп-2, линии Л-10-02

По формуле (4.1)

Где:

(участок Z_2 выполнен ВЛ, проводом марки АС-70)

$$R_2 = R_{уд} * L_2$$

где:

$R_{уд} = 0,4218$ Ом/км – удельное активное сопротивление провода АС-70.

$L_2 = 850$ м = 0,85 км. – длина ВЛ, участок 2, линии Л-10-02.

$$R_2 = R_{уд} * L_2 = 0,4218 * 0,85 = 0,3585 (\text{Ом}) - \text{активное сопротивление}$$

ВЛ, участок 2, линии Л-10-02.

$$X_1 = X_{уд} * L_1$$

где:

$$X_{уд} = 0,1145 * \lg \frac{2D}{d} + 0,016 (\text{Ом/км}) \quad (4.2)$$

(Удельное индуктивное сопротивление трехфазной линии с проводами из цветных металлов при частоте переменного тока 50 Гц).

Где: $d = 11,4$ мм – внешний диаметр провода ²⁸

$$D = \sqrt[3]{D_{AB} * D_{BC} * D_{CA}} (\text{мм}) \quad (4.3)$$

среднее геометрическое расстояние между проводами.

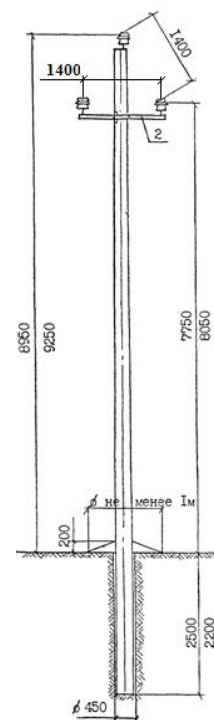


Рис. 4.1
Промежуточная
опора.

²⁶ Таблица П.2.4

²⁷ Таблица П.2.4

²⁸ Таблица П.2.5

где: $D_{AB} = D_{BC} = D_{CA} = 1400$ (мм) – расстояния между проводами у каждой пары проводов трехфазной линии, мм.

Тогда:

$D = \sqrt[3]{1400 * 1400 * 1400} = 1400$ (мм) – среднее геометрическое расстояние между проводами.

Тогда:

$$X_{y0} = 0,1145 * \lg \frac{2D}{d} + 0,016 = 0,1145 * \lg \frac{2 * 1400}{11,4} = 0,2737 \text{ (Ом/км)} -$$

Удельное индуктивное сопротивление ВЛ, выполненной проводом АС-70.

Тогда:

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{(0,4218 * 0,85)^2 + (0,2737 * 0,85)^2} = 0,4273 \text{ (Ом)} -$$

Полное сопротивление ВЛ, участок 2, линии Л-10-02.

Расчет для остальных участков эл. сети «ЗРУ-1 РП-17»

Расчёт, аналогичный расчёту первого и второго участков линии Л-10-02, выполним в виде таблицы.

Таблица 4.1 Сопротивление участков эл.сети «ЗРУ-1 РП-17»

Уч.	Оп-Оп	Выполнен	Длина (км)	R уд (Ом/км)	X уд (Ом/км)	Rл (Ом)	Xл (Ом)	Zл (Ом)
Линия Л10-02								
1	Пс10-Оп1	ААБ-3*150	0,15	0,206	0,079	0,0309	0,01185	0,033094
2	Оп1-Оп18	АС-70	0,85	0,4218	0,2737	0,35853	0,232645	0,427396
3	Оп18-Оп19	АСБ-3*150	0,18	0,206	0,079	0,03708	0,01422	0,039713
4	Оп19-Оп73	АС-70	2,75	0,4218	0,2737	1,15995	0,752675	1,382752
5	Оп73-ЗРУ1	АСБ-3*150	0,03	0,206	0,079	0,00618	0,00237	0,006619
		Л-10-02				1,59264	1,01376	1,887912
Линия Л10-20								
1	Пс10-Оп1	ААБ-3*150	0,1	0,206	0,079	0,0206	0,0079	0,022063
2	Оп1-Оп6	АС-70	0,3	0,4218	0,2737	0,12654	0,08211	0,150846
3	Оп6-Оп7	АСБ-3*150	0,38	0,206	0,079	0,07828	0,03002	0,083839
4	Оп7-Оп77	АС-70	3	0,4218	0,2737	1,2654	0,8211	1,508457
5	Оп77-РП-15	АСБ-3*150	0,035	0,206	0,079	0,00721	0,002765	0,007722
		Л-10-20				1,49803	0,943895	1,770602
Линия Л17-08								
1	ЗРУ1-Оп13	ААБ-3*95	0,035	0,326	0,083	0,01141	0,002905	0,011774
2	Оп13-Оп1	АС-70	0,6	0,4218	0,2737	0,25308	0,16422	0,301691
3	Оп1-РП-17	АСБ-3*150	0,04	0,206	0,079	0,00824	0,00316	0,008825
		Л-17-08				0,27273	0,170285	0,321525
Линия Л-1-5								
1	ЗРУ1-Оп1	ААБ-3*35	0,03	0,89	0,095	0,0267	0,00285	0,026852
2	Оп1-Оп3	АС-50	0,1	0,5951	0,2822 ²⁸	0,05951	0,02822	0,065862
3	Оп3-Оп15	АС-50	0,6	0,5951	0,2822	0,35706	0,16932	0,395172
4	Оп15-Оп18	АС-50	0,15	0,5951	0,2822	0,089265	0,04233	0,098793
		Л-1-5				0,44327	0,20039	0,486461
Линия Л1-7 (ЗРУ1 -Оп8)								
1	ЗРУ1-Оп1	ААБ-3*50	0,035	0,62	0,09	0,0217	0,00315	0,021927
2	Оп1-Оп2	АС-50	0,1	0,5951	0,2822 ²⁹	0,05951	0,02822	0,065862
3	Оп2-Оп5	АС-50	0,6	0,5951	0,2822	0,35706	0,16932	0,395172
4	Оп5-Оп8	АС-50	0,15	0,5951	0,2822	0,089265	0,04233	0,098793
		Линия Л-1-7 (ЗРУ1 -Оп8)				0,43827	0,20069	0,482034
Линия Л1-7 (ЗРУ1 -Оп2/1)								
1	ЗРУ1-Оп1	ААБ-3*50	0,035	0,62	0,09	0,0217	0,00315	0,021927
2	Оп1-Оп2	АС-50	0,1	0,5951	0,2822	0,05951	0,02822	0,065862
3	Оп2-Оп2/1	АС-50	0,1	0,5951	0,2822	0,05951	0,02822	0,065862
		Линия Л-1-7 (ЗРУ1 -Оп2/1)				0,14072	0,05959	0,152817

²⁹ По (4.2) для АС-50 где: $d = 9,6$ мм (Таблица П.2.5)

$$X_{уд} = 0,1145 * lg \frac{2D}{d} + 0,016 = 0,1145 * lg \frac{2 * 1400}{9,6} = 0,2822 \text{ (Ом/км)}$$

Удельное индуктивное сопротивление ВЛ выполненной проводом АС-50.

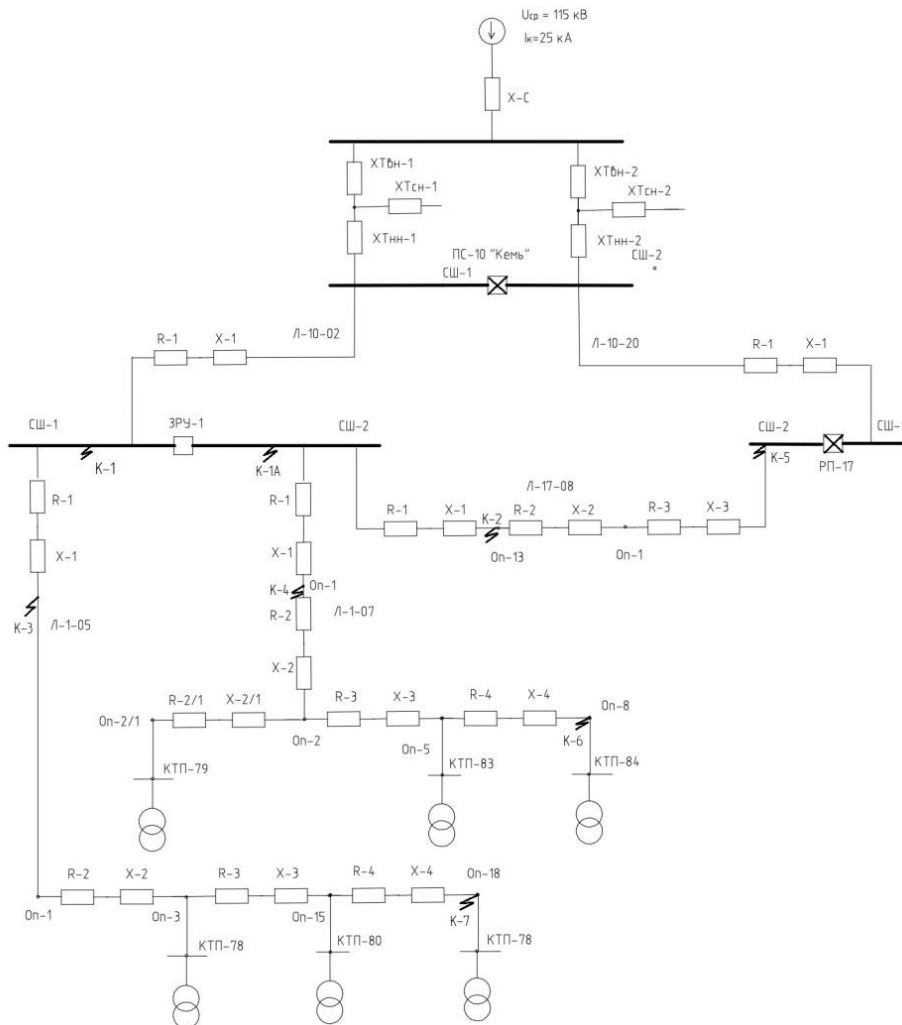


Рис.4.3 Схема замещения эл.сети «ЗРУ1, РП-17» в нормальном режиме.

Сопротивление системы X_C

$$X_C = \frac{U_{C \text{ ср.ном.}}}{\sqrt{3} * I_C} \text{ (Ом)} \quad (4.4)^{30}$$

Где: $U_{C \text{ ср.ном.}} = 115 \text{ кВ}$ – среднее номинальное напряжение системы.

$I_C = 31,5 \text{ кА}$ – ток эквивалентруемой части системы при КЗ на шинах 110 кВ.

«При отсутствии данных о токе КЗ системы, минимально возможное значение результирующего эквивалентного сопротивления X_C , можно оценить, исходя из параметров выключателей установленных на узловой подстанции»³¹.

(I_C – отключающий ток КЗ выключателя)

$$X_C = \frac{U_{C \text{ ср.ном.}}}{\sqrt{3} * I_C} = \frac{115}{\sqrt{3} * 31,5} = 2,1078 \text{ (Ом)} -$$

сопротивление системы.

³⁰ РД 153-34.0-20.527-98 Формула (5.1)

³¹ Тамже.

Сопrotивление обмоток трансформаторов ТДТН-110/40 установленных на ПС-10 «Кемь»

$$\begin{aligned}X_B &= 0,005 * (u_{кВ-Н} + u_{кВ-С} - u_{кС-Н}) \\X_C &= 0,005 * (u_{кВ-С} + u_{кС-Н} - u_{кВ-Н}) \\X_H &= 0,005 * (u_{кВ-Н} + u_{кС-Н} - u_{кВ-С})\end{aligned}\quad (4.5)^{32}$$

Где: $u_{кВ-Н} = 17,5$ (%); $u_{кВ-С} = 10,5$ (%); $u_{кС-Н} = 6,5$ (%) – напряжения короткого замыкания соответствующих пар обмоток.

$X_B = 0,005 * (u_{кВ-Н} + u_{кВ-С} - u_{кС-Н}) = 0,005 * (17,5 + 10,5 - 6,5) == 0,1075$ (Ом) – сопротивление обмотки высокого напряжения.

$X_C = 0,005 * (u_{кВ-С} + u_{кС-Н} - u_{кВ-Н}) = 0,005 * (10,5 + 6,5 - 17,5) == 0,0025$ (Ом) – сопротивление обмотки среднего напряжения.

$X_H = 0,005 * (u_{кВ-Н} + u_{кС-Н} - u_{кВ-С}) = 0,005 * (17,5 + 6,5 - 10,5) == 0,0675$ (Ом) – сопротивление обмотки низкого напряжения.

Результирующее сопротивление обмоток трансформаторов ТДТН-110/40 установленных на ПС-10 «Кемь»

Токи КЗ будем рассчитывать только на стороне НН.

Тогда:

$X_{Т1} = X_{Т1} = X_B + X_H = 0,1075 + 0,0675 = 0,175$ (Ом) – Результирующее сопротивление трансформаторов.

³² РД 153-34.0-20.527-98 Формула, из таблицы 4.1, для трехобмоточного трансформатора.

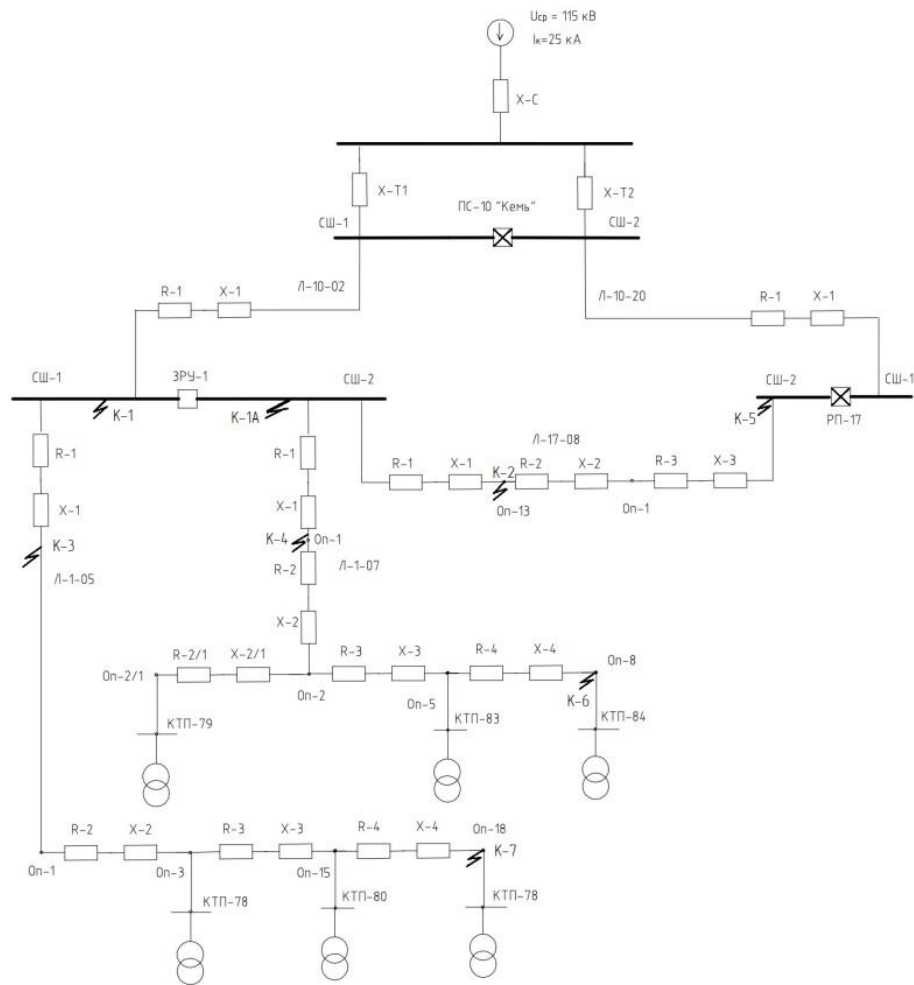


Рис 4.4 Схема замещения эл.сети «ЗРУ1, РП-17» (Рез. X_{Tp}) в нормальном режиме.

4.1.2 Ток КЗ в точке К-1

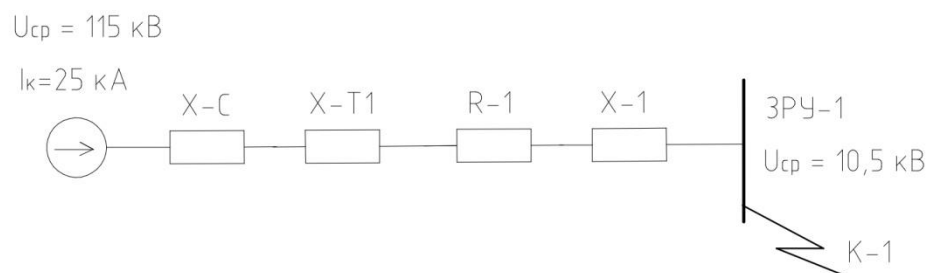


Рис 4.5 Схема замещения эл.сети «ЗРУ1, РП-17» для точки КЗ, К-1.

Результатирующие сопротивление до точки К-1

По формуле 4.1.

$$Z_{\text{Рез К-1}} = \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_{T1} + X_C)^2} \text{ (Ом)}$$

Где: $R_1 = 1,59264 \text{ Ом}$ – Активное сопротивление линии Л-10-02.³³

³³ Таблица 4.1 ДП

$X_1 = 1,01376 \text{ Ом}$ – Индуктивное сопротивление линии Л-10-02.³⁴

$X_{T1} = 0,175 \text{ (Ом)}$ – Результирующее сопротивление трансформатора Т-1.

$X_C = 2,1078 \text{ (Ом)}$ – Сопротивление системы.

$$Z_{\text{Рез К-1}} = \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_{T1} + X_C)^2} = \sqrt{1,59264^2 + (1,01376 + 0,175 + 2,659)^2} \\ = 4,1643 \text{ (Ом)}$$

результующие сопротивление до точки КЗ, К-1.

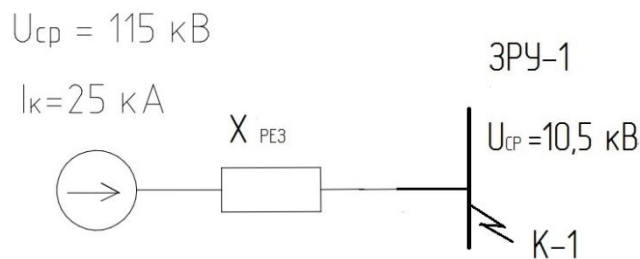


Рис 4.6 Схема замещения эл.сети «ЗРУ1, РП-17» для точки КЗ, К-1.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ, в точке К-1

$$I_{\text{П0}} = \frac{c * U_{\text{Ном}}}{\sqrt{3} * X_{\text{Экв}}} \text{ (кА)} \quad (4.6)^{35}$$

Где: $U_{\text{Ном}} = 10,5 \text{ кВ}$ – номинальное напряжение (линейное) сети, в которой произошло КЗ.

$c = 1,1$ – коэффициент, который рекомендуется принимать при определении максимального значения тока КЗ;

$X_{\text{Экв}} = Z_{\text{Рез К-1}} = 3,6611 \text{ Ом}$ – результирующее эквивалентное сопротивление относительно расчетной точки КЗ.

Тогда:

$$I_{\text{П0}} = \frac{c * U_{\text{Ном}}}{\sqrt{3} * X_{\text{Экв}}} = \frac{1,1 * 10,5}{\sqrt{3} * 3,6611} = 1,8214 \text{ (кА)} -$$

начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ, точка К-1.

Апериодическая составляющая тока КЗ, в точке К-1

$$i_{\text{ат}} = \sqrt{2} * I_{\text{П0}} * e^{\frac{-t}{T_a}} \text{ (кА)} \quad (4.7)^{36}$$

³⁴ Таблица 4.1 ДП

³⁵ РД 153-34.0-20.527-98 Формула (5.8)

Где: $I_{П0} = 1,8214$ кА – начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ, точка К-1.

$\tau = t_{СВ} + 0,01$ – Расчётное время, для которого требуется определять токи КЗ³⁷,

где $t_{СВ} = 0,015$ с – Собственное время отключения выключателя. (Интервал времени от момента подачи команды на отключение, до момента прекращения соприкосновения дугогасительных контактов³⁸). Для современных вакуумных выключателей ВВ/TEL оно не превышает 0,015с.

$T_a = 0,01$ с – Значение постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ для распределительной сети 6-10 кВ³⁹.

$$i_{ат} = \sqrt{2} * I_{П0} * e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} * 1,8214 * 2,71828^{\frac{-0,016}{0,01}} = 0,2114 \text{ (кА)} -$$

aperiodическая составляющая тока КЗ, точка К-1.

Ударный ток КЗ, в точке К-1

$$i_{уд} = \sqrt{2} * I_{П0} * K_{уд} \text{ (кА)} \quad (4.8)^{40}$$

Где: $I_{П0} = 1,8214$ кА

$K_{уд} = 1,369$ – ударный коэффициент для сети 6-10кВ⁴¹.

$$i_{уд} = \sqrt{2} * I_{П0} * K_{уд} = \sqrt{2} * 1,8214 * 1,369 = 3,5264 \text{ (кА)} -$$

ударный ток КЗ, точка К-1.

Периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 для произвольного момента времени

Согласно РД 153-34.0-20.527-98.

«В соответствии с ГОСТ 26522-85 все короткие замыкания подразделяются на удаленные и близкие. КЗ считается удаленным, если амплитуды периодической составляющей тока статора данной электрической машины в начальный и произвольный моменты КЗ практически одинаковы, и близким, если эти амплитуды существенно отличаются.

Универсальной величиной, которая в полной мере характеризует электрическую удаленность расчетной точки КЗ от произвольного источника энергии и может быть сравнительно легко определена в схеме любой конфигурации и при любом числе

³⁶ РД 153-34.0-20.527-98 из формул (5.9) и (5.10)

³⁷ Л. Д. Рожкова В. С. Козулин Электрооборудование станций и подстанций. Москва Энергоатомиздат 1987год. § 3.3 стр.150.

³⁸ Л. Д. Рожкова В. С. Козулин Электрооборудование станций и подстанций. Москва Энергоатомиздат 1987год. § 4.7 стр.297.

³⁹ Таблица П.2.6. ДП.

⁴⁰ РД 153-34.0-20.527-98 формула 5.16.

⁴¹ Таблица П.2.6. ДП.

источников энергии, является отношение действующего значения периодической составляющей тока источника энергии в начальный момент КЗ к его номинальному току т.е. $\frac{I_{\Pi 0}}{I_{\text{ном}}}$.

В отечественной и международной практике КЗ принято считать близким, если это отношение равно двум или больше двух. При меньших значениях указанного отношения КЗ следует считать удаленным»⁴².

При значениях отношения действующего значения периодической составляющей ток в начальный момент КЗ к номинальному току $\frac{I_{\Pi 0}}{I_{\text{ном}}}$

меньших двух следует считать, что действующее значение периодической составляющей тока КЗ не изменяется во времени, т.е.

$$I_{\Pi t} = I_{\Pi 0} = \text{const.} \quad (4.9)^{43}$$

где: $I_{\Pi 0} = 1,8214$ (кА).

В нашем случае источником является трансформатор ТДТН-110/40, мощностью $S_{\text{ном}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ и $U_{\text{ном НН}} = 10 \text{ кВ}$ тогда:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном НН}}} = \frac{40}{\sqrt{3} * 10} = 2,3094 \text{ (кА)} -$$

номинальный ток источника.

Отсюда:

$$\frac{I_{\Pi 0}}{I_{\text{ном}}} = \frac{1,8214}{2,3094} = 0,7887 < 2$$

Значит КЗ в точке К-1 можно признать удалённым и значение (4.9) для нас является справедливым.

Тогда, периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 для произвольного момента времени:

$$I_{\Pi t} = I_{\Pi 0} = 1,8214 \text{ (кА)} -$$

периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 для произвольного момента времени.

4.1.3 Токи КЗ в точках К-2, К-3, К-4, К-5, К-6, К-7, К-1ар

Расчёт токов КЗ в точках К-2, К-3, К-4, К-5, К-6, К-7, К-1ар выполним в виде таблицы.

Таблица 4.2 Токи трёхфазного КЗ.

⁴² РД 153-34.0-20.527-98 П.3.1.2.

⁴³ РД 153-34.0-20.527-98 П.5.5.4.

Точка КЗ	Сопротивление до точки КЗ.			Начальное действующее значение периодической состав. тока КЗ $I_{\text{по}}$ (кА)	Апер.сост. тока КЗ $i_{\text{ат}}$ (кА)	Ударный ток КЗ $I_{\text{уд}}$ (кА)	Период состав для произв момента времени тока КЗ $I_{\text{пт}}$ (кА)
	Активная составляющ R (Ом)	Индукти составля X(Ом)	Полное сопротив Z(Ом)				
Линия Л-10-02							
К-1	1,59264	1,01376	3,6611	1,8214	0,2114	3,5264	1,8214
		0,175					
		2,1078					
Линия Л-17-08							
К-2			3,6729	1,8156	0,2108	3,5150	1,8156
К-5			3,9826	1,6744	0,1944	3,2417	1,6744
Линия Л-1-5							
К-3			3,6880	1,8081	0,2099	3,5007	1,8081
К-7			4,1476	1,6078	0,1866	3,1128	1,6078
Линия Л-1-7							
К-4			3,6830	1,8106	0,2102	3,5054	1,8106
К-6			4,1432	1,6095	0,1868	3,1161	1,6095
Линия Л-17-08 ремонтно-аварийный режим.							
К-1ар*	1,49803	0,943895	3,8790	1,7191	0,1996	3,3283	1,7191
		0,175					
		2,1078					

*К-1ар - аварийно-ремонтный режим. Соответствует ранее рассмотренному аварийно-ремонтному режиму №2. (Положение коммутационных аппаратов: ПС-10 «Кемь», ВЛ-10-02 – отключён; ЗРУ-1, ВЛ-10-02 – отключён; ЗРУ-1, ВС-1 – включён; ЗРУ-1, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВЛ-17-08 – включён; РП-17, ВС-1 – включён; РП-17, ВЛ-10-20 - включён, Л-10-20 оп №7, РЛ-10-20/2 – включён, РЛ-10-20/3 – отключён).

5 ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

5.1 Расчётные условия для выбора аппаратов по режиму короткого замыкания и продолжительному режиму работы

Номинальное напряжение: $U_{\text{Ном}} = 220$ кВ.

Максимальный допустимый ток принимаем для самого тяжёлого аварийно-ремонтного режима, согласно Таблице 3.3 данного ДП: $I_{\text{Мак}} = 205$ А.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ $I_{\text{П0}} = 1,8214$ кА.

Ударный тока КЗ: $i_{\text{Уд}} = 3,5264$ кА.

Периодическая составляющая для произвольного момента времени тока КЗ: $I_{\text{Пт}} = 1,8214$ кА.

Апериодическая составляющая тока КЗ: $i_{\text{ат}} = 0,2114$ кА.

Полный импульс квадратичного тока КЗ.

$$\text{когда } t_{\text{Отк}} \geq 3T_a; \quad B_K = I_{\text{П0}}^2 * (t_{\text{Отк}} + T_a) \quad (5.1)^{44}$$

Где: $I_{\text{П0}} = 1,8214$ кА

$T_a = 0,01$ – Значение постоянной, времени затухания апериодической составляющей тока КЗ для сетей 10 кВ⁴⁵.

$t_{\text{Отк}}$ = Время отключения (расчетная продолжительность КЗ, с) $t_{\text{Отк}}$ складывается из времени действия релейной защиты $t_{\text{рз}}$ и полного времени отключения выключателя $t_{\text{ОткВ}}$ $t_{\text{ОткВ}} = 55$ мс = 0,055 с – (Полное время отключения ВВ – интервал времени между началом операции отключения и моментом погасания дуги во всех полюсах коммутационного модуля)⁴⁶.

В качестве устройств релейной защиты, применяется БМРЗ, обладающий высоким быстродействием от 0,00 с.

$$B_K = I_{\text{П0}}^2 * (t_{\text{Отк}} + T_a) = 1,8214^2 * (0,055 + 0,01) = 0,2156 \text{ (кА}^2 * \text{с)}$$

Полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-1.

⁴⁴ РД 153-34.0-20.527-98 Формула (8.6)

⁴⁵ Таблица П2.6 данного ДП

⁴⁶ Руководство по эксплуатации ВВ/TEL-10 http://www.energobastion.ru/f/tip_solution/bb_tel_02/shema_1.pdf

Таблица 5.1 Выбор ячейки КРУ (выключатель и разъединитель).

	Условия выбора	Расчётные данные.	Каталожные данные	
			Выключатель ВВ/TEL	Разъединитель
			ISM15_LD_1	
1	$U_{Сет} \leq U_{Ном\ вык}$ (по напряжению установки)	10 кВ	10 кВ	10 кВ
2	$I_{Max} \leq I_{Ном\ вык}$ (по длительному току)	205А	1000 А	1000 А
3	$I_{Вкл} \geq I_{П0}$ (по включающей способности)	1,8214 кА	20 кА	–
4	$i_{Вкл} \geq i_{У0}$ (по включающей способности)	3,5264 кА.	20 кА	–
5	$I_{Пр\ скв} \geq I_{П0}$ (сквозной ток КЗ -периодическая составляющая).	1,8214 кА	20 кА	20 кА
6	$i_{Пр\ скв} \geq i_{У0}$ (сквозной ток КЗ -периодическая составляющая).	3,5264 кА	50 кА	50 кА
7	$I_{Тер}^2 * t_{Отк} \geq B_K^*$ (по термической стойкости)	0,2156	$20^2 * 0,055 = 22$	–
8	$i_{ат} \leq \frac{\sqrt{2} * \beta_{Нор} * I_{Отк\ ном}}{100}$ (возможность отключения аperiodической составляющей тока КЗ).	0,2114 кА	$\frac{\sqrt{2} * \beta_{Нор} * I_{Отк\ ном}}{100}$ $= \frac{\sqrt{2} * 30 * 20}{100}$ $= 10\ кА$ ($\beta_{Нор}^{**}; I_{Отк\ ном}$ – из каталога) ⁴⁷	–
9				

* При $t_{Отк} < t_{Тер}$ где $0,055\ с < 3\ с$ ⁴⁸

** $\beta_{Нор}$ – Нормированное процентное содержание аperiodической составляющей номинального тока отключения определяется по графику или принимается, исходя из данных завода-изготовителя выключателя.

⁴⁷ Руководство по эксплуатации ВВ/TEL-10 http://www.energobastion.ru/f/tip_solution/bb_tel_02/shema_1.pdf

⁴⁸ Руководство по эксплуатации ВВ/TEL-10 http://www.energobastion.ru/f/tip_solution/bb_tel_02/shema_1.pdf

Принимаем к установке шкаф КРУ «Классика» D-12P серийно выпускаемые ООО «ЭТЗ «Вектор» (г. Воткинск) по ТУ 3414-001-81247165-2009⁴⁹ (с силовым выключателем ISM15_LD_1) – базовое исполнение шкафов КРУ номинальным напряжением 6(10) кВ, с номинальным током главных цепей до 4000 А.

В КРУ «Классика» серий D-12P(PT) и D-24P выключатели, секционные разъединители и трансформаторы напряжения устанавливаются на кассетных выдвижных элементах (КВЭ) в средней части шкафа, что позволяет добиться нового уровня в функциональности распределительных устройств. Расположение КВЭ на комфортной для персонала высоте в КРУ, снижения его массы и трения в подвижных частях, применение механизма перемещения КВЭ, действующего на всем его ходу, благоприятно сказывается на условиях обслуживания и ремонта оборудования. Кроме того, размещение КВЭ в средней части позволяет увеличить полезный объем отсека присоединений и обеспечить свободный доступ к нему с фасадной стороны, что позволяет перейти к одностороннему обслуживанию и существенно повысить удобство монтажа и эксплуатации. Большой объем отсека присоединений позволяет разместить в нем дополнительное оборудование, например трансформаторы напряжения на собственной выдвижной конструкции, что дает возможность организовать контроль напряжения на вводе в габаритах одного шкафа КРУ. Конструкцией предусмотрена возможность демонтажа металлической перегородки между отсеками КВЭ и присоединений, что увеличивает пространство для доступа к кабельным линиям и еще больше повышает удобство обслуживания КРУ.

5.2 Проверка выбранных кабелей по условию термической стойкости к току КЗ

5.2.1 Проверка кабельного ввода линии Л-10-02, (точка КЗ, К-1)

По длительно допустимому току был выбран кабель марки АСБ 3*150 = 205(А) < 210 (А) – допустимый длительный ток для кабеля марки АСБ 3*150⁵⁰.

Так как в данном случае нагрузка проводника до КЗ близка к продолжительно допустимой, то согласно РД 153-34.0-20.527-98 минимальное сечение проводника, отвечающее условию термической стойкости при КЗ, следует определять по формуле:

$$S_{\text{Тер min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T} \quad (5.2)^{51}$$

⁴⁹ Техническая информация КРУ-12-PT ООО «ЭТЗ «Вектор»»

<https://www.tavrida.com/upload/iblock/192/192bcea7e74b4310cdba459bec427231.pdf>

⁵⁰ Пункт 3.4.1. ВКР.

⁵¹ РД 153-34.0-20.527-98 Формула (8.21)

Где: $V_K = 0,2156 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} = 0,2156 \cdot 10^6 \text{ (А}^2 \cdot \text{с)}$ – Полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-1.

$C_T = 90 \text{ (А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2)$ – Значение параметра C_T для кабелей 10кВ с алюминиевыми жилами.⁵²

$$S_{\text{Тер min}} = \frac{\sqrt{V_K}}{C_T} = \frac{\sqrt{0,2156 \cdot 10^6}}{90} = 5,159 \text{ (мм}^2) -$$

минимальное сечение жил кабеля, отвечающее условию термической стойкости при КЗ.

Вывод: выбранный кабель марки АСБ 3*150, имеющий жилы сечением 150 мм², соответствует условию термической стойкости току КЗ.

5.2.2 Проверка кабельного ввода линии Л-17-08 (точка КЗ, К-2)

По длительно допустимому току был выбран кабель марки АСБ-3*95 = 138,1 (А) < 155 (А) – длительно допустимый ток для кабеля марки АСБ-3*95⁵³.

Так как в данном случае нагрузка проводника до КЗ близка к продолжительно допустимой, то согласно РД 153-34.0-20.527-98 минимальное сечение проводника, отвечающее условию термической стойкости при КЗ, следует определять по формуле (5.2).

Где: V_K = по формуле (5.1) – Полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-2.

где: $I_{\text{П0}} = 1,8156 \text{ кА}$ – Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ для точки К-2

$T_a = 0,01$ – Значение постоянной, времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ для сетей 10 кВ⁵⁴.

$t_{\text{Отк}}$ = Время отключения (расчетная продолжительность КЗ, с) $t_{\text{Отк}}$ складывается из времени действия релейной защиты $t_{\text{рз}}$ и полного времени отключения выключателя $t_{\text{ОткВ}}$ $t_{\text{ОткВ}} = 55 \text{ мс} = 0,055 \text{ с}$ – (Полное время отключения ВВ – интервал времени между началом операции отключения и моментом погасания дуги во всех полюсах коммутационного модуля)⁵⁵.

В качестве устройств релейной защиты, применяется БМРЗ, обладающий высоким быстродействием от 0,00 с.

$$V_K = I_{\text{П0}}^2 \cdot (t_{\text{Отк}} + T_a) = 1,8156^2 \cdot (0,055 + 0,01) = 0,2142 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} -$$

Полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-2.

⁵² РД 153-34.0-20.527-98 Таблица 8.3

⁵³ Пункт 3.4.2. ДП.

⁵⁴ Таблица П2.6 данного ДП

⁵⁵ Руководство по эксплуатации ВВ/TEL-10 http://www.energobastion.ru/f/tip_solution/bb_tel_02/shema_1.pdf

$C_T = 90 (A * c^{1/2} / \text{мм}^2)$ – Значение параметра C_T для кабелей 10кВ с алюминиевыми жилами.⁵⁶

Тогда:

$$S_{Тер min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T} = \frac{\sqrt{0,2142 * 10^6}}{90} = 5,142 (\text{мм}^2) -$$

минимальное сечение жил кабеля, отвечающее условию термической стойкости при КЗ.

Вывод: выбранный кабель марки АСБ 3*95, имеющий жилы сечением 150 мм², соответствует условию термической стойкости току КЗ.

5.2.3 Проверка кабельного ввода линии Л-1-05 (точка КЗ, К-3)

По экономической плотности ток был выбран кабель марки АСБ-3*35⁵⁷ = 36,80 (А) 80 (А) – длительно допустимый ток для кабеля марки АСБ-3*35⁵⁸.

Так как в данном случае нагрузка проводника до КЗ далека от продолжительно допустимой, то ранее используемая формула (5.1), для определения минимального сечения проводника отвечающее условию термической стойкости при КЗ, не подходит.

В этом случае согласно РД 153-34.0-20.527-98 минимального сечения проводника отвечающее условие термической стойкости при КЗ, следует определять по формуле:

$$S_{Тер min} = \sqrt{\frac{B_K}{A_{\theta_{к доп}} - A_{\theta_n}}} \quad (5.3)^{59}$$

Где: B_K = по формуле (5.1) – Полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-3.

где: $I_{П0} = 1,8081 \text{кА}$ – Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ для точки К-3

$T_a = 0,01$ – Значение постоянной, времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ для сетей 10 кВ⁶⁰.

$t_{Отк}$ = Время отключения (расчетная продолжительность КЗ, с) $t_{Отк}$ складывается из времени действия релейной защиты $t_{рз}$ и полного времени отключения выключателя $t_{Отк В}$ $t_{Отк В} = 55 \text{ мс} = 0,055 \text{ с}$ – (Полное время отключения ВВ – интервал времени между началом операции отключения и моментом погасания дуги во всех полюсах коммутационного модуля)⁶¹.

⁵⁶ РД 153-34.0-20.527-98 Таблица 8.3

⁵⁷ Пункт 3.3.3. ДП.

⁵⁸ ПУЭ.7 Таблица 1.3.18.

⁵⁹ РД 153-34.0-20.527-98 Формула (8.20)

⁶⁰ Таблица П2.6 данного ДП.

⁶¹ Руководство по эксплуатации ВВ/TEL-10 http://www.energobastion.ru/f/tip_solution/bb_tel_02/shema_1.pdf

В качестве устройств релейной защиты, применяется БМРЗ, обладающий высоким быстродействием от 0,00 с.

$$B_K = I_{\text{П0}}^2 * (t_{\text{Отк}} + T_a) = 1,8081^2 * (0,055 + 0,01) = 0,2124 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} -$$

Полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-3.

$A_{\vartheta_{\text{к доп}}}$ и $A_{\vartheta_{\text{н}}}$ – значения A_{ϑ} соответствующие предельно допустимой и начальной температурам, определяется по кривым из рисунка П 2.7., в зависимости от материала изготовления, начальной температуры и предельно допустимые температуры нагрева проводников при коротких замыканиях определяемые из таблицы 8.1 РД 153-34.0-20.527-98.

В кабелях марки АСБ применяется алюминий марки АМ, тогда по кривой 3⁶² по начальной $\vartheta_{\text{н}} \approx 30^\circ\text{C}$

$$\text{получим: } A_{\vartheta_{\text{н}}} = 0,4 * 10^4 \text{ А} * \text{с/мм}^4$$

и предельно допустимым температурам нагрева проводников при коротких замыканиях, где $\vartheta_{\text{доп}} = 200^\circ\text{C}$ ⁶³ – для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение, 6-10 кВ.

$$\text{получим: } A_{\vartheta_{\text{к доп}}} = 1,7 * 10^4 \text{ А} * \text{с/мм}^4$$

Тогда:

$$S_{\text{тер min}} = \sqrt{\frac{B_K}{A_{\vartheta_{\text{к доп}}} - A_{\vartheta_{\text{н}}}}} = \sqrt{\frac{0,2124 * 10^6}{1,7 * 10^4 - 0,4 * 10^4}} = 4,0421 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

минимальное сечение жил кабеля, отвечающее условию термической стойкости при КЗ.

Вывод: выбранный по экономической плотности тока кабель марки АСБ-3*35, соответствует условию термической стойкости току КЗ.

5.2.4 Проверка кабельного ввода линии Л-1-07 (точка КЗ, К-4)

По экономической плотности ток был выбран кабель марки АСБ-3*50⁶⁴ = 62,82 (А) < 105 (А) – длительно допустимый ток для кабеля марки АСБ-3*50⁶⁵.

Так как в данном случае нагрузка проводника, до КЗ далека от продолжительно допустимой, то согласно РД 153-34.0-20.527-98, для определения минимального сечения проводника отвечающего условию термической стойкости при КЗ следует определять по формуле: (5.3)

Где: B_K = по формуле (5.1) – Полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-4.

⁶² Рисунок П2.7. данного ДП.

⁶³ РД 153-34.0-20.527-98 таблица 8.1.

⁶⁴ Пункт 3.3.4 данного ДП.

⁶⁵ ПУЭ-7 Таблица 1.3.18.

где: $I_{\text{П0}} = 1,8106 \text{ кА}$ – Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ для точки К-4

$T_a = 0,01$ – Значение постоянной, времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ для сетей 10 кВ⁶⁶.

$t_{\text{отк}}$ = Время отключения (расчетная продолжительность КЗ, с) $t_{\text{отк}}$ складывается из времени действия релейной защиты $t_{\text{рз}}$ и полного времени отключения выключателя $t_{\text{откв}}$ $t_{\text{откв}} = 55 \text{ мс} = 0,055 \text{ с}$ – (Полное время отключения ВВ – интервал времени между началом операции отключения и моментом погасания дуги во всех полюсах коммутационного модуля)⁶⁷.

В качестве устройств релейной защиты, применяется БМРЗ, обладающий высоким быстродействием от 0,00 с.

$$B_K = I_{\text{П0}}^2 * (t_{\text{отк}} + T_a) = 1,8106^2 * (0,055 + 0,01) = 0,2131 \text{ (кА}^2 * \text{с)} -$$

Полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-4.

$A_{\vartheta_{\text{к доп}}}$ и $A_{\vartheta_{\text{н}}}$ – значения A_{ϑ} соответствующие предельно допустимой и начальной температурам, определяется по кривым из рисунка П2.7., в зависимости от материала изготовления, начальной температуры и предельно допустимой температуры нагрева проводников при коротких замыканиях определяемые из таблицы 8.1,

РД 153-34.0-20.527-98.

В кабелях марки АСБ применяется алюминий марки АМ, тогда по кривой 3⁶⁸ по начальной $\vartheta_{\text{н}} \approx 30^\circ\text{C}$

$$\text{получим: } A_{\vartheta_{\text{н}}} = 0,4 * 10^4 \text{ А} * \text{с/мм}^4$$

и предельно допустимым температурам нагрева проводников при коротких замыканиях, где $\vartheta_{\text{доп}} = 200^\circ\text{C}$ ⁶⁹ – для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение, 6-10 кВ.

$$\text{получим: } A_{\vartheta_{\text{к доп}}} = 1,7 * 10^4 \text{ А} * \text{с/мм}^4$$

Тогда:

$$S_{\text{тер min}} = \sqrt{\frac{B_K}{A_{\vartheta_{\text{к доп}}} - A_{\vartheta_{\text{н}}}}} = \sqrt{\frac{0,2131 * 10^6}{1,7 * 10^4 - 0,4 * 10^4}} = 4,0487 \text{ (мм}^2\text{)} -$$

минимальное сечение жил кабеля, отвечающее условию термической стойкости при КЗ.

⁶⁶ Таблица П2.6 данного ДП.

⁶⁷ Руководство по эксплуатации ВВ/TEL-10 http://www.energobastion.ru/f/tip_solution/bb_tel_02/shema_1.pdf

⁶⁸ Рисунок П2.7. данного ДП.

⁶⁹ РД 153-34.0-20.527-98 таблица 8.1.

Вывод: выбранный по экономической плотности тока кабель марки АСБ-3*50, соответствует условию термической стойкости току КЗ.

5.2.5 Проверка кабельного ввода линии Л-17-08, для аварийно-ремонтного режима 2 (точка КЗ, К-1ар)

Данная проверка не имеет смысла, так как ввод линии Л-17-08 прошёл проверку на термическую стойкость к току КЗ, при более тяжёлом режиме, в разделе 5.2.2 данного ДП.

(Точки КЗ К-1 и К-1ар* совпадают, где начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ для точки К-1 больше (Таблица 4.2), следовательно, и полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-1 больше значит и минимальное сечение кабеля для точки КЗ К-1 также требуется больше.)

(*Точка КЗ К-1ар, возникает при питании ЗРУ-1, в аварийно-ремонтном режиме, со стороны РП-17, такой режим возможен, поэтому нужна проверка и в этом режиме.)

5.3 Выбор измерительных трансформаторов тока

Измерительный трансформатор тока предназначен для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для измерительных приборов и устройств релейной защиты, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Токовые цепи измерительных приборов и устройств релейной защиты, подключенные к трансформатору тока, имеют малое сопротивление, поэтому трансформатор тока нормально работает в режиме близкому к режиму КЗ.

Трансформаторы тока, выбираемые для ЗРУ-1, предназначены для присоединения счётчиков денежного расчёта и для присоединения устройств релейной защиты, в нашем случае это блок «БМРЗ».

Трансформаторы тока, предназначенные для присоединения счётчиков должны иметь класс точности 0,5S, для устройств релейной защиты 3-10. Погрешность трансформаторов тока зависит от вторичной нагрузки (сопротивления приборов, проводов, контактов, все приборы присоединяются к трансформатору тока последовательно).

Трансформаторы тока устанавливаются на каждое присоединение, их номинальный ток должен быть равен или незначительно больше максимального первичного тока, увеличение первичного тока, или его значительное уменьшение, увеличивает погрешность трансформатора тока.

Выбирая трансформаторы тока, будем ориентироваться на техническую информацию по КРУ-12-РТ ООО «ЭТЗ «Вектор», устанавливающее данное оборудование в шкафы КРУ своего производства⁷⁰.

5.3.1 Выбор измерительного трансформаторов тока в цепи линии Л-10-02

Максимальная нагрузка $I_{\text{Мак}} \approx 205 \text{ А}$.

Принимаем к установке трансформатор тока ТОЛ-10 0,5S/10P-300/5 У2. Опорный трансформатор тока, одновитковый (первичная обмотка), с литой смоляной изоляцией, номинальным напряжением 10кВ, с двумя вторичными обмотками: классов точности 0,5S (для расчетных счётчиков) и 10P (для устройств релейной защиты), первичным током 300А и вторичным током 5А.

⁷⁰ Техническая информация КРУ-12-РТ ООО «ЭТЗ «Вектор»» Раздел 5 Основное встраиваемое оборудование <https://www.tavrda.com/upload/iblock/192/192bcea7e74b4310cdba459bec427231.pdf>

Таблица 5.2 Выбор измерительного трансформатора тока в цепи Л-10-02.

Условия выбора	Расчётные данные	Каталожные данные ⁷¹ .
		ТОЛ-10 0,5S/10P-300/5 У2*
$U_{уст} \leq U_{ном}$, кВ Напряжение эл. установки.	10	10
$I_{макс} \leq I_{ном}$, А Макс. ток присоединения.	205	300
$i_y \leq i_{дин}$, кА Ток электродинамической стойкости ТТ.	3,5264	100
$B_K \leq I_T^2 * t_T$, кА ² * с (5.4) ⁷² Электротермическая стойкость Где: B_K – тепловой импульс = полному импульсу квадратичного тока КЗ в точке К-1. I_T , кА – ток термической стойкости каталог ТТ. t_T , с – время терм. стойкости каталог ТТ.	0,2156	Где: $I_T = 31,5$ кА $t_T = 1$ с $I_T^2 * t_T = 31,5 * 1 = 31,5$ кА ² * с
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos\phi = 0,8$, ВА. вторичной обмотки для измерений	0,1 ⁷³	до 30
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos\phi = 0,8$, ВА. вторичной обмотки для защиты	0,2 ⁷⁴	15

В качестве коммерческого прибора учёта принимаем счётчик эл. энергии ПСЧ-4ТМ.05МК

Данный счетчики предназначены для, многотарифного учета активной и реактивной электрической энергии (в том числе и с учетом потерь). Ведения массивов профиля мощности нагрузки с программируемым временем интегрирования (в том числе и с учетом потерь), фиксации максимумов мощности, измерения параметров трехфазной сети и параметров качества электрической энергии. Счетчики могут применяться как

⁷¹ Таблица П.2.7 ВКР.

⁷² Л. Д. Рожкова В. С. Козулин Электрооборудование станций и подстанций. Москва Энергоатомиздат 1987год. § 4.11 стр.373.

⁷³ ПСЧ-4ТМ.05МК Технические характеристики
<http://audit-energy.ru/d/1396545/d/psch-4tm05mk.pdf>

⁷⁴ Руководство по эксплуатации «БЛОК МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ БМРЗ» «ДИВГ.648228.014 РЭ» Таблица 2
<https://www.mtrele.ru/files/filedoc/releynaya-zashita/bmrz-100/bmrz-100.pdf>

средства коммерческого или технического учета электрической энергии на предприятиях промышленности и в энергосистемах, а также осуществлять учет потоков мощности в энергосистемах и межсистемных перетоках. Счетчики предназначены для работы как автономно, так и в составе автоматизированных систем контроля и учета электрической энергии (АИИС КУЭ) и автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ).

В качестве устройств релейной защиты принимаем к установке Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-100.

Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ предназначен для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации присоединений напряжением от 0,4 до 35 кВ.

Блок может быть установлен в релейных отсеках КРУ собственных нужд электростанций, на подстанциях сетевых, промышленных и коммунальных предприятий, на объектах нефтегазового комплекса, предприятиях горнодобывающей промышленности, на тяговых подстанциях железных дорог и метрополитена, на пунктах секционирования в распределительных сетях 6 - 35 кВ.

5.3.2 Выбор измерительного трансформаторов тока в цепи линии Л-17-08

Максимальная нагрузка $I_{\text{Мак}} \approx 138 \text{ А}$.

Принимаем к установке трансформатор тока ТОЛ-10 0,5S/10P-150/5 У2.

Первичным током 150А и вторичным током 5А.

Таблица 5.3 Выбор измерительного трансформатора тока в цепи Л-17-08.

Условия выбора	Расчётные данные	Каталожные данные ⁷⁵ .
		ТОЛ-10 0,5S/10P-150/5 У2
$U_{уст} \leq U_{ном}$, кВ Напряжение эл. установки.	10	10
$I_{макс} \leq I_{ном}$, А Макс. ток присоединения.	138	150
$i_y \leq i_{дин}$, кА Ток электродинамической стойкости ТТ.	3,5264	52
$B_K \leq I_T^2 * t_T$, кА ² * с (5.4) ⁷⁶ Электротермическая стойкость Где: B_K – тепловой импульс = полному импульсу квадратичного тока КЗ в точке К-1. I_T , кА – ток термической стойкости каталог ТТ. t_T , с – время терм. стойкости каталог ТТ.	0,2156	Где: $I_T = 12,5$ кА $t_T = 1$ с $I_T^2 * t_T = 12,5 * 1 = 12,5$ кА ² * с
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos\phi = 0,8$, ВА. вторичной обмотки для измерений	0,1 ⁷⁷	до 30
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos\phi = 0,8$, ВА. вторичной обмотки для защиты	0,2 ⁷⁸	15

В качестве коммерческого прибора учёта принимаем счётчик эл. энергии ПСЧ-4ТМ.05МК

В качестве устройств релейной защиты принимаем к установке Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-100.

⁷⁵ Таблица П.2.7 ВКР.

⁷⁶ Л. Д. Рожкова В. С. Козулин Электрооборудование станций и подстанций. Москва Энергоатомиздат 1987год. § 4.11 стр.373.

⁷⁷ ПСЧ-4ТМ.05МК Технические характеристики <http://audit-energy.ru/d/1396545/d/psch-4tm05mk.pdf>

⁷⁸ Руководство по эксплуатации «БЛОК МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ БМРЗ» «ДИВГ.648228.014 РЭ» Таблица 2 <https://www.mtrele.ru/files/filedoc/releynaya-zashita/bmrz-100/bmrz-100.pdf>

5.3.3 Выбор измерительного трансформаторов тока в цепи линии Л-1-05

Максимальная нагрузка $I_{\text{Мак}} \approx 37\text{А}$.

Принимаем к установке трансформатор тока ТОЛ-10 0,5S/10P-40/5 У2.

Первичным током 40А и вторичным током 5А.

Таблица 5.4 Выбор измерительного трансформатора тока в цепи Л-1-05.

Условия выбора	Расчётные данные	Каталожные данные ⁷⁹
		ТОЛ-10 0,5S/10P-150/5 У2
$U_{\text{Уст}} \leq U_{\text{Ном}}$, кВ Напряжение эл. установки.	10	10
$I_{\text{Мак}} \leq I_{\text{Ном}}$, А Макс. ток присоединения.	37	40
$i_y \leq i_{\text{Дин}}$, кА Ток электродинамической стойкости ТТ.	3,5264	17,5
$V_K \leq I_T^2 * t_T$, кА ² * с (5.4) ⁸⁰ Электротермическая стойкость Где: V_K – тепловой импульс = полному импульсу квадратичного тока КЗ в точке К-1. I_T , кА – ток термической стойкости каталог ТТ. t_T , с – время терм. стойкости каталог ТТ.	0,2156	Где: $I_T = 4,9$ кА $t_T = 1$ с $I_T^2 * t_T = 4,9 * 1 = 4,9\text{кА}^2 * \text{с}$
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos\varphi = 0,8$, ВА. вторичной обмотки для измерений	0,1 ⁸¹	до 30
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos\varphi = 0,8$, ВА. вторичной обмотки для защиты	0,2 ⁸²	15

В качестве коммерческого прибора учёта принимаем счётчик эл. энергии ПСЧ-4ТМ.05МК.

⁷⁹ Таблица П.2.7 ВКР.

⁸⁰ Л. Д. Рожкова В. С. Козулин Электрооборудование станций и подстанций. Москва Энергоатомиздат 1987год. § 4.11 стр.373.

⁸¹ ПСЧ-4ТМ.05МК Технические характеристики <http://audit-energy.ru/d/1396545/d/psch-4tm05mk.pdf>

⁸² Руководство по эксплуатации «БЛОК МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ БМРЗ» «ДИВГ.648228.014 РЭ» Таблица 2
<https://www.mtrele.ru/files/filedoc/releynaya-zashita/bmrz-100/bmrz-100.pdf>

В качестве устройств релейной защиты принимаем к установке, блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-100.

5.3.4 Выбор измерительного трансформаторов тока в цепи линии Л-1-07

Максимальная нагрузка $I_{\text{Мак}} \approx 63 \text{ А}$.

Принимаем к установке трансформатор тока ТОЛ-10 0,5S/10P-100/5 У2.

Первичным током 100А и вторичным током 5А.

Таблица 5.5 Выбор измерительного трансформатора тока в цепи Л-1-07.

Условия выбора	Расчётные данные	Каталожные данные ⁸³ .
		ТОЛ-10 0,5S/10P-150/5 У2
$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$, кВ Напряжение эл. установки.	10	10
$I_{\text{Мак}} \leq I_{\text{ном}}$, А Макс. ток присоединения.	63	100
$i_y \leq i_{\text{дин}}$, кА Ток электродинамической стойкости ТТ.	3,5264	52
$V_K \leq I_T^2 * t_T$, кА ² * с (5.4) ⁸⁴ Электротермическая стойкость Где: V_K – тепловой импульс = полному импульсу квадратичного тока КЗ в точке К-1. I_T , кА – ток термической стойкости каталог ТТ. t_T , с – время терм. стойкости каталог ТТ.	0,2156	Где: $I_T = 9,7 \text{ кА}$ $t_T = 1 \text{ с}$ $I_T^2 * t_T = 9,7 * 1 = 9,7 \text{ кА}^2 * \text{с}$
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos\phi$ = 0,8, ВА. вторичной обмотки для измерений	0,1 ⁸⁵	до 30
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos\phi$ = 0,8, ВА. вторичной обмотки для защиты	0,2 ⁸⁶	15

В качестве коммерческого прибора учёта принимаем счётчик эл. энергии ПСЧ-4ТМ.05МК

В качестве устройств релейной защиты принимаем к установке Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-100.

⁸³ Таблица П.2.7 ДП.

⁸⁴ Л. Д. Рожкова В. С. Козулин Электрооборудование станций и подстанций. Москва Энергоатомиздат 1987год. § 4.11 стр.373.

⁸⁵ ПСЧ-4ТМ.05МК Технические характеристики <http://audit-energy.ru/d/1396545/d/psch-4tm05mk.pdf>

⁸⁶ Руководство по эксплуатации «БЛОК МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ БМРЗ» «ДИВГ.648228.014 РЭ» Таблица 2
<https://www.mtrele.ru/files/filedoc/releynaya-zashita/bmrz-100/bmrz-100.pdf>

5.4 Выбор измерительных трансформаторов напряжения

Измерительный трансформатор напряжения предназначен, для понижения высокого напряжения до стандартного значения 100 или $100/\sqrt{3}$ и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Трансформатор напряжения работает в режиме, близком к холостому ходу, так как сопротивление параллельно включенных к нему приборов большое и ток, потребляемый ими, невелик.

Трансформаторы напряжения, выбираемые для ЗРУ-1, предназначены для присоединения счётчиков денежного расчёта, для присоединения устройств релейной защиты, в нашем случае это блок БМРЗ и для присоединения вольтметра предназначенного для контроля фазного и межфазного напряжения на сборных шинах ЗРУ.

Трансформаторы напряжения, предназначенные для присоединения счётчиков должны иметь класс точности 0,5S, для устройств релейной защиты 3.

Суммарное потребление обмоток измерительных приборов и реле, подключенных к вторичной обмотке трансформаторов напряжения, не должно превышать номинальную мощность трансформатора напряжения, так как в противном случае это приведёт к увеличению погрешности.

Трансформаторы напряжения устанавливаются на каждую секцию шин ЗРУ.

Выбирая трансформаторы напряжения, будем ориентироваться на техническую информацию по КРУ-12-РТ, ООО «ЭТЗ «Вектор» устанавливающее данное оборудование в шкафы КРУ своего производства⁸⁷.

Принимаем к установке трансформатор напряжения типа НАЛИ-СЭЩ-10-_-0,2/0,5/3Р-_У2, трансформатор напряжения, имеется антирезонансная обмотка, с литой изоляцией, с обмоткой для контроля изоляции, Самара электроцит (зарегистрированный товарный знак изготовителя), класс напряжения 10 кВ, конструктивный вариант исполнения X, класс точности основной обмотки 0,5 и обмотки контроля изоляции 3, номинальная трехфазная мощность, В·А, категория размещения по ГОСТ 15150-69, климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69.

⁸⁷ Техническая информация КРУ-12-РТ ООО «ЭТЗ «Вектор»» Раздел 5 Основное встраиваемое оборудование

<https://www.tavrida.com/upload/iblock/192/192bcea7e74b4310cdba459bec427231.pdf>

Таблица 5.6 Выбор измерительного трансформатора напряжения для I и II СШ ЗРУ-1.

Условия выбора	Расчётные данные	Каталожные данные
		НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,2/0,5/3Р-15 У2
$U_{уст} \leq U_{ном}$, кВ Класс напряжения	10	10
Класс точности	Расчетные счётчики: 0,5	0,5
$S_{Приб} \leq S_{2 ном}$, В * А Номинальная мощность.	12,1	15

В качестве коммерческого прибора учёта принимаем счётчик эл. энергии ПСЧ-4ТМ.05МК

В качестве устройств релейной защиты принимаем к установке Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-100

Таблица 5.7 Расчёта нагрузок для измерительного трансформатора напряжения.

Приборы	Мощность (В*А)	Количество (шт)	Общая мощность (В*А) ⁸⁸
Счётчик электроэнергии	1,1 ⁸⁹	3+3	6,6
БМРЗ-100	0,25 ⁹⁰	3+3	1,5
Вольтметр Э-365	2 ⁹¹	1+1	4
Итого $S_{Приб}$:			12,1

Удвоенное количество приборов обусловлено тем, что при выходе из строя одного из трансформаторов напряжения, иметь возможность запитать вторичные цепи напряжения от другого ТН, без потери точности измерений.

Измерительный трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЩ-6(10) представляет собой трехфазную антирезонансную группу.

Трехфазная антирезонансная группа НАЛИ-СЭЩ-6(10) состоит из четырех залитых эпоксидным компаундом трансформаторов, закрепленных на установочной раме.



Рис.5.1 Измерительный трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЩ-6(10)

⁸⁸ Таблица П2.8 ВКР.

⁸⁹ ПСЧ-4ТМ.05МК Технические характеристики <http://audit-energy.ru/d/1396545/d/psch-4tm05mk.pdf>

⁹⁰Руководство по эксплуатации «БЛОК МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ БМРЗ» «ДИВГ.648228.014 РЭ» Таблица 2

<https://www.mtrele.ru/files/filedoc/relevnaya-zashita/bmrz-100/bmrz-100.pdf>

⁹¹ Л. Д. Рожкова В. С. Козулин Электрооборудование станций и подстанций. Москва Энергоатомиздат 1987год. приложение, стр.635,Таблица П4.7.

Три однофазных измерительных трансформатора напряжения НОЛ-СЭЩ-6(10)-2(4) (ТН) установлены основаниями в ряд. По типу конструкции они являются двухполюсными, т.е. имеют по два ввода первичной обмотки, расположенных на верхней части трансформатора, рассчитанных на полную изоляцию и удаленных от заземленных частей для уменьшения токов утечки по корпусу трансформатора. Выводы вторичных обмоток располагаются в нижней части трансформаторов.

Четвертый трансформатор – трансформатор нулевой последовательности (ТНП), закреплен на трех трансформаторах ТН со стороны вводов первичной обмотки и выполняет функцию защиты измерительного блока литых трансформаторов от феррорезонансных процессов.

Трансформатор ТНП - однофазный заземляемый трансформатор напряжения с разделенными на два стержня обмотками. Он имеет три плоских контактных вывода первичной обмотки, электрически связанных между собой внутри трансформатора.

Три контакта первичной обмотки ТНП соединяются с тремя вводами X, Y, Z измерительных ТН болтовыми соединениями М10, обеспечивая тем самым соединение в «звезду» первичных обмоток ТН. Заземление производится через вывод X_0 первичной обмотки ТНП.

Каждый ТН, входящий в состав трехфазной группы трансформаторов напряжения НАЛИ-СЭЩ-6(10)-1 имеет по две вторичных обмотки, одна из которых – основная, соединяется в «звезду» и предназначена для питания измерительных приборов и цепей защитных устройств, а вторая – дополнительная соединяется в «разомкнутый треугольник» и служит для питания цепей защитных устройств и контроля изоляции сети.

Трехфазная группа работает следующим образом.

В нормальном режиме на вводах измерительных трансформаторов, соединенных в «звезду», функционируют линейные и фазные напряжения, на вводах « a_d-x_d » вторичной обмотки трансформатора ТНП напряжение не превышает 3 В.

При замыкании одной из фаз на землю напряжение на вводах « a_d-x_d » повышается до 100 ± 10 В. Вывод «О» первичной обмотки ТНП оказывается под напряжением замкнувшейся фазы. Таким образом, первичная обмотка трансформатора ТНП и первичная обмотка замкнувшейся фазы трансформатора НОЛ-СЭЩ-6(10)-3, соединенная в звезду, окажутся под фазным напряжением. Одновременно напряжения на двух других неповрежденных фазах, не поднимутся до линейных, а остаются фазными. Этим определяется соответственно сохранение трех фаз в цепях измерения и учета. При этом исключается режим возникновения феррорезонанса, вызывающий повреждение измерительных ТН.

5.5 Выбор трансформаторов собственных нужд ТСН-1 и ТСН-2

Трансформатор собственных нужд ЗРУ предназначен для электроснабжения основного и вспомогательного оборудования ЗРУ.

ТСН служит источником оперативного тока для блоков управления выключателей и для питания блоков «БМРЗ». ТСН нужен для работы освещения ЗРУ и внутреннего освещения ячеек, а также для питания электрообогрева ЗРУ. От ТСН работают штепсельные розетки, расположенные в помещении ЗРУ предназначенные для подключения приборов используемые для наладки и испытаний электрооборудования оборудования и устройств ЗРУ. Эти розетки применяются и для подключения электроинструмента применяемого в ЗРУ для ремонтных работ.

5.5.1 Расчет требуемой мощности собственных нужд ЗРУ-1

Таблица 5.8 «Нагрузка собственных нужд ЗРУ»

№ п/п	Нагрузка	Потребляемый Ток (А)	Единичная мощность. (Вт)	Количество (шт)	Суммарная мощность. (Вт)
1	Модуль управления выключателем	30мА * = 0,03А	$U * I = 230 * 0,03 = 6,9 \text{ Вт}$	5***	34,5
2	Соленоид эл.магнитного привода выключателя.	Мощность потребляемая от источника оперативного питания зависит от применяемого модуля управления ⁹² . Так как эл.магнит выключателя для включения и отключения, запитывается от батареи малогабаритных конденсаторов установленных в модуле управления. Заряд которых происходит самим модулем управления.			
3	Блок «БМРЗ»		14Вт**	5***	70
4	Освещение ячеек		7Вт	10****	70
5	Освещение помещения ЗРУ-1		100Вт	6	600
6	Освещение уличной территории ЗРУ-1		100Вт	2	200
7	Обогрев помещения ЗРУ-1		1000 Вт	6	6000
8	Розетки				6000
	Итого:				12974

* самый большой ток в режиме блокировки от повторных включений.⁹³

**Мощность, потребляемая блоком от источника оперативного питания в дежурном режиме, - не более 8 Вт, в режиме срабатывания защит - не более 14 Вт⁹⁴.

*** 5 количество ячеек с выключателями (4 линейных + 1 секционная).

**** 10 общее количество ячеек на ЗРУ-1.

⁹² РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ВВ/TEL ВАКУУМНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ

Таблица 1, строка 20. https://energobastion.ru/f/tip_solution/bb_tel_02/shema_1.pdf

⁹³ ТШАГ 468332.021 РЭ руководство по эксплуатации «Блок управления ВU/TEL-220-05А для коммутационных модулей серии ISM15_LD» Таблица 1.2.

⁹⁴ Руководство по эксплуатации ДИВГ.648228.014 РЭ БЛОК МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ БМРЗ П.1.5.1.4

5.5.2 Выбор трансформаторов собственных нужд ТСН-1 и ТСН-2

Выбирая трансформаторы собственных нужд, будем ориентироваться на техническую информацию по КРУ-12-РТ, ООО «ЭТЗ «Вектор», устанавливающее данное оборудование в шкафы КРУ своего производства⁹⁵.

На основании проведённых расчётов принимаем к установке два трансформатора собственных нужд марки ТЛС-16 (Трансформатор сухой с литой изоляцией мощностью 16 кВА).

Сухие трансформаторы с литой изоляцией ТЛС-16 мощностью 16 кВА предназначены для энергоснабжения объектов энергетики и подстанций промышленных предприятий.

Таблица 5.9 «Технические характеристики трансформатора ТЛС-16».

Марка Транс-ра	Напряжение кВ		Мощ-ть, кВА	Напр КЗ, %	Потери, Вт			Ток XX, %
	ВН	НН			КЗ	XX	Σ	
ТЛС-16	10	0,4	16	4	430	160	590	2

5.6 Выбор средств защиты электрооборудования от перенапряжений

В качестве основных средств защиты электрооборудования от коммутационных и грозовых перенапряжений, вместо ранее используемых вентильных разрядников, при проектировании, эксплуатации, техническом перевооружении и реконструкции электроустановок, рекомендуется применять ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН), соответствующих классов напряжения.

Выбирая ограничители перенапряжения, будем ориентироваться на техническую информацию по КРУ-12-РТ, ООО «ЭТЗ «Вектор», устанавливающее данное оборудование в шкафы КРУ своего производства⁹⁶.

К установке принимаем ОПН марки «ОПН-РТ/TEL -10/11,5 УХЛ2».

ОПН-РТ/TEL-10/11,5УХЛ2 предназначены для гарантированной защиты наиболее ответственного электрооборудования в сетях класса напряжения 10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью. ОПН-РТ/TEL-10/11,5 УХЛ2 рекомендуется применять

⁹⁵ Техническая информация КРУ-12-РТ ООО «ЭТЗ «Вектор»» Раздел 5 Основное встраиваемое оборудование

<https://www.tavrida.com/upload/iblock/192/192bcea7e74b4310cdba459bec427231.pdf>

⁹⁶ Техническая информация КРУ-12-РТ ООО «ЭТЗ «Вектор»» Раздел 5 Основное встраиваемое оборудование

<https://www.tavrida.com/upload/iblock/192/192bcea7e74b4310cdba459bec427231.pdf>

в условиях частых и интенсивных воздействий перенапряжений для защиты трансформаторов, изоляции кабельных сетей и другого ответственного оборудования.

Таблица 5.10 «Технические характеристики ОПН-РТ/TEL-10/11,5 УХЛ2»⁹⁷.

	Наименование параметра	Данные параметра
1	Класс напряжения сети, кВ	10
2	Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ (действ.)	11,5
3	Класс разряда линии	II
4	Номинальный разрядный ток 8/20 мкс, кА	10
5	Пропускная способность, А	550
	Остающееся напряжение кВ (ампл.), не более:	
	-при коммутационном импульсе тока	
6	125 А, 30/60 мкс	25,4
7	250 А, 30/60 мкс	26,9
8	500 А, 30/60 мкс	27,6
	- при грозовом импульсе тока	
9	5000 А, 8/20 мкс	32,8
10	10000 А, 8/20 мкс	35,8
11	20000 А, 8/20 мкс	40,1
12	- при крутом импульсе тока 10000 А, 1/10 мкс	41,2
13	Ток проводимости, мА (действ), не более	0,7
14	Максимальная амплитуда импульса тока 4/10 мкс, кА	100
15	Удельная энергия, кДж/кВ	5,5
16	Ток взрывобезопасности, кА	20

⁹⁷ Техническое описание «Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) серии ОПН/TEL» Таблица 2
[http://e-tmm.ru/userfiles/file/TO%20OPN-KP%20\(PТ\).pdf](http://e-tmm.ru/userfiles/file/TO%20OPN-KP%20(PТ).pdf)

6 ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ЗРУ-1

На ЗРУ-1 предусмотрено три вида заземлений: защитное, рабочее, молниезащитное.

Защитное заземление необходимо для обеспечения безопасности персонала при обслуживании электроустановки.

К защитному относятся заземления металлических нетоковедущих частей установки, нормально не находящихся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции. Заземление позволяет снизить напряжение прикосновения до безопасного уровня.

Рабочее заземление предназначено для создания нормальных условий работы электроустановок и устройств релейной защиты. К рабочему заземлению ЗРУ-1 присоединены нейтрали обмоток НН трансформаторов собственных нужд и измерительных трансформаторов напряжения.

Молниезащитное заземление необходимо для обеспечения эффективной защиты ЗРУ-1 от грозовых перенапряжений. К молниезащитному заземлению относятся заземления ограничителей перенапряжения установленных на концевых опорах приходящих и отходящих линий, а также крыши ЗРУ.

Заземляющее устройство состоит из заземлителя, находящегося в непосредственном соединении с землей, и проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

В электроустановках защитное, рабочее и молниезащитное заземления могут быть присоединены к одному заземлителю.

Так как ЗРУ-1 это действующая электроустановка проходящая модернизацию, то на ЗРУ-1 уже имеется смонтированное заземляющее устройство. Сопротивления заземляющего устройства, по ранее проведённым замерам, составило 3,2 Ом.

Согласно ПУЭ пункт 1.7.96. «В электроустановках напряжением выше 1 кВ в сети с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно быть.

$$R_3 \leq 250/I_{033} \text{ но не более } 10 \text{ Ом}$$

где - I_{033} расчетный ток замыкания на землю, А.

В качестве расчетного тока, в сетях без компенсации емкостных токов - принимается ток замыкания на землю.

На ЗРУ-1 для электроснабжения собственных нужд применяется система трёхфазного тока напряжением 380 В, в качестве источника служит ТСН, у которого к заземляющему устройству ЗРУ присоединена нейтраль обмотки НН.

Согласно ПУЭ пункт 1.7.101. «Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей.»

Согласно СТО 56947007-29.240.02.001-2008⁹⁸ «Методические указания по защите распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ от грозовых перенапряжений»

«Пункт 3.1.8 Сопротивления заземляющих устройств деревянных опор, на которых установлены трубчатые разрядники, ОПН и защитные промежутки должны приниматься в соответствии с таблицей 2.2 настоящих указаний».

Таблица 2.2 Наибольшие значения сопротивления заземляющих устройств опор ВЛ.

Удельное сопротивление грунта, Ом·м	100 и менее	100 до 500	500 до 1000	1000 до 5000	Более 5000
Сопротивление заземляющего устройства, Ом	10	15	20	30	$6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho$

6.1 Проверка заземляющего устройства ЗРУ-1 на соответствие ПУЭ пункт 1.7.96

Согласно которому:

$$R_3 \leq 250/I_{033} \text{ но не более } 10 \text{ Ом}$$

где - I_{033} расчетный ток замыкания на землю, А.

В качестве расчетного тока, в сетях без компенсации емкостных токов - принимается ток замыкания на землю.

⁹⁸ СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ ОАО "ФСК ЕЭС"

6.2 Расчёт тока однофазного замыкания на землю на шинах ЗРУ-1

При определении ОЗЗ используем метод, основанный на определении удельного емкостного тока замыкания на землю.

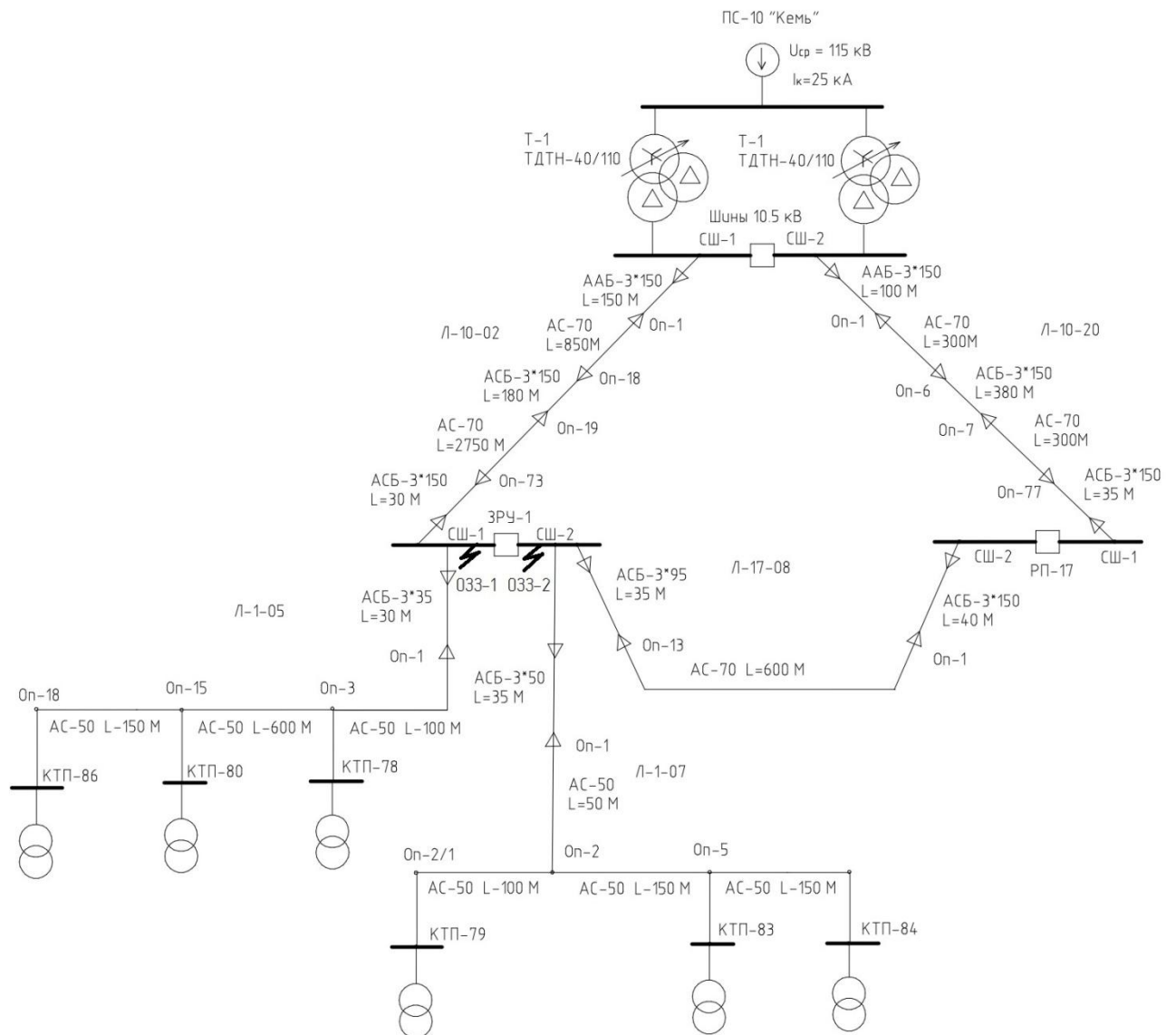


Рис.6.1 Упрощенная схема эл.сети 10кВ «ЗРУ1, РП-17»

6.2.1. Расчёт тока однофазного замыкания на землю на шинах ЗРУ-1, для точки ОЗЗ-1

Точка ОЗЗ-1 соответствует нормальному режиму работы данной сети. ПС-10 «Кемь» секционный выключатель отключён, РП-17 секционный выключатель отключён, ЗРУ-1 секционный выключатель включён, условно непоказанные выключатели линий включены. ЗРУ-1 получает питание по линии Л-10-02.

Ёмкостной ток для кабельных линий точки ОЗЗ-1 (Л-10-02)

$$I_{C_{КЛ}} = \sqrt{3} * U_{Ном} * \omega * C_{уд} * L_{КЛ} * 10^{-3}; \text{ А} \quad (6.1)^{99}$$

Где:

$U_{Ном} = 10,5 \text{ кВ}$ - номинальное линейное напряжение сети.

$\omega = 2 * \pi * f = 2 * 3,14 * 50 = 314 \text{ (рад/с)}$ – круговая частота сети.

($f = 50 \text{ Гц}$ частота переменного тока сети)

$C_{уд}$ – удельная общая емкость кабельных линии до точки ОЗЗ, мкФ/км;

$L_{КЛ}$ – общая протяжённость кабельных линий до точки ОЗЗ, км.

Определим удельную общую емкость кабельных линии до точки ОЗЗ-1 (Л-10-02) руководствуясь схемой Рис-6.1. и таблицей П.2.8.

$$C_{уд_{КЛ}} = 1,3 + 1,3 + 1,3 = 3,9 \text{ А/км} -$$

Удельный ёмкостной кабельных линий линии¹⁰⁰ ОЗЗ-1 (Л-10-02).

Определим общую протяжённость кабельных линии до точки ОЗЗ-1 (Л-10-02)

$$L_{КЛ} = 150 + 180 + 30 = 360 \text{ м} = 0,36 \text{ км} -$$

Общая протяжённость кабельных линии до точки ОЗЗ-1 (Л-10-02)

Тогда:

$$I_{C_{КЛ}} = \sqrt{3} * U_{Ном} * \omega * C_{уд} * L_{КЛ} * 10^{-3} = \sqrt{3} * 10,5 * 314 * 3,9 * 0,36 * 10^{-3} = 8 \text{ А} -$$

Ёмкостной ток для кабельных линий точки ОЗЗ-1 (Л-10-02)

Ёмкостной ток для воздушных линий точки ОЗЗ-1 (Л-10-02)

$$I_{C_{ВЛ}} = k_c * U_{Ном} * L_{ВЛ} * 10^{-3} \quad (6.2)^{101}$$

Где: $U_{Ном} = 10,5 \text{ кВ}$ - номинальное линейное напряжение сети.

k_c – коэффициент, зависящий от конструкции воздушной линии, для линий 6-10 кВ принимается равным 2,7.

$L_{ВЛ}$ – общая протяжённость воздушных линий до точки ОЗЗ, км (Л-10-02)

Определим общую протяжённость воздушных линии до точки ОЗЗ-1 (Л-10-02)

$$L_{ВЛ} = 850 + 2750 = 3600 \text{ м} = 3,6 \text{ км}$$

⁹⁹ СТО ДИВГ*-058-2017 Методические указания. «Расчет токов коротких замыканий и замыканий на землю в распределительных сетях». Формула (6.1)

(* СТО ДИВГ – шифр для технической документации ООО «НТЦ «Механотроника» который разрабатывает и серийно выпускает микропроцессорные устройства релейной защиты.)

¹⁰⁰ Таблица П.2.8. данного ДП.

¹⁰¹ СТО ДИВГ*-058-2017 Методические указания. «Расчет токов коротких замыканий и замыканий на землю в распределительных сетях». Формула (6.2)

Общая протяжённость воздушных линий до точки ОЗЗ-1 (Л-10-02).

Тогда:

$$I_{C\text{ ВЛ}} = k_c * U_{\text{Ном}} * L_{\text{ВЛ}} * 10^{-3} = 2,7 * 10,5 * 3,6 * 10^{-3} = 0,102 \text{ А} -$$

Ёмкостной ток для воздушных линий точки ОЗЗ-1 (Л-10-02).

Ёмкостной и ток ОЗЗ для точки ОЗЗ-1 (Л-10-02)

$$I_C = I_{\text{ОЗЗ}} = I_{C\text{ КЛ}} + I_{C\text{ ВЛ}} = 8\text{А} + 0,102\text{А} = 8,102\text{А} -$$

Ёмкостной и ток ОЗЗ для точки ОЗЗ-1 (Л-10-02).

6.2.2. Расчёт тока однофазного замыкания на землю на шинах ЗРУ-1, для точки ОЗЗ-2

Точка ОЗЗ-2 соответствует аварийно-ремонтному режиму работы данной сети. ПС-10 «Кемь» секционный выключатель отключён, РП-17 секционный выключатель включён, ЗРУ-1 секционный выключатель включён, ЗРУ-1 условно непоказанный выключатель линий Л-10-02 включен, условно непоказанные выключатели остальных линий включены. ЗРУ-1 получает питание по линиям Л-10-20 и Л-17-08 через РП-17.

Ёмкостной ток для кабельных линий точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08)

По формуле (6.1)

Где: $U_{\text{Ном}} = 10,5 \text{ кВ}$ - номинальное линейное напряжение сети.

$\omega = 2 * \pi * f = 2 * 3,14 * 50 = 314 \text{ (рад/с)}$ – круговая частота сети.

($f = 50\text{Гц}$ частота переменного тока сети)

$C_{\text{уд}}$ – удельная общая ёмкость кабельных линии до точки ОЗЗ, мкФ/км;

$L_{\text{КЛ}}$ – общая протяжённость кабельных линий до точки ОЗЗ, км.

Определим удельную общую ёмкость кабельных линии до точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08) руководствуясь схемой Рис-6.1. и таблицей П.2.8.

$$C_{\text{уд КЛ}} = 1,3 + 1,3 + 1,3 + 1,3 + 1,04 = 6,24 \text{ А/км} -$$

Удельный ёмкостной кабельных линий линии¹⁰² ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08).

Определим общую протяжённость кабельных линии до точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08).

$$L_{\text{КЛ}} = 100 + 380 + 35 + 40 + 35 = 590\text{м} = 0,59\text{км} -$$

Общая протяжённость кабельных линии до точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08).

¹⁰² Таблица П.2.8. данного ДП.

Тогда:

$$I_{C\text{КЛ}} = \sqrt{3} * U_{\text{Ном}} * \omega * C_{\text{Уд}} * L_{\text{КЛ}} * 10^{-3} = \sqrt{3} * 10,5 * 314 * 3,9 * 0,59 * 10^{-3} = 13 \text{ А} -$$

Ёмкостной ток для кабельных линий точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08).

Ёмкостной ток для воздушных линий точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08)

По формуле (6.2).

Где: $U_{\text{Ном}} = 10,5 \text{ кВ}$ - номинальное линейное напряжение сети.

k_c – коэффициент, зависящий от конструкции воздушной линии, для линий 6-10 кВ принимается равным 2,7.

$L_{\text{ВЛ}}$ – общая протяжённость воздушных линий до точки ОЗЗ, км

Определим общую протяжённость воздушных линии до точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08).

$$L_{\text{ВЛ}} = 300 + 3000 + 600 = 3900 \text{ м} = 3,9 \text{ км}$$

Общая протяжённость воздушных линии до точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08).

Тогда:

$$I_{C\text{ВЛ}} = k_c * U_{\text{Ном}} * L_{\text{ВЛ}} * 10^{-3} = 2,7 * 10,5 * 3,9 * 10^{-3} = 0,11 \text{ А} -$$

Ёмкостной ток для воздушных линий точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08).

Ёмкостной ток и ток ОЗЗ для точки ОЗЗ-2 (Л-10-20 + Л-17-08)

$$I_C = I_{\text{ОЗЗ}} = I_{C\text{КЛ}} + I_{C\text{ВЛ}} = 13 \text{ А} + 0,11 \text{ А} = 13,11 \text{ А} -$$

Ёмкостной и ток ОЗЗ для точки ОЗЗ-3 (Л-10-20 + Л-17-08).

6.3 Проверка заземляющего устройства ЗРУ-1 на соответствие ПУЭ

Проверим заземляющего устройства ЗРУ-1 на соответствие ПУЭ пункт 1.7.96

Согласно которому:

$$R_3 \leq 250 / I_{\text{ОЗЗ}} \quad \text{но не более } 10 \text{ Ом}$$

где: $I_{\text{ОЗЗ}} = 13,11 \text{ (А)}$ – самый большой расчетный ток замыкания на землю.

Тогда:

$$R_3 \leq 250 / 13,11 = 19,1 \text{ (Ом)}$$

Требуемое сопротивление заземлителя ЗРУ-1 для РУ-10кВ согласно ПУЭ пункт 1.7.96.

6.4 Вывод

Исходя из требований: ПУЭ пункт 1.7.96., 1.7.101. и согласно СТО 56947007-29.240.02.001-2008¹⁰³, требуемое сопротивление заземлителя ЗРУ-1, должно быть не более 4 Ом. Данное требование обусловлено, как было сказано выше, наличием на ЗРУ-1, ТСНов с заземлённой нейтралью обмоток НН и РУСН-0,4кВ.

Так как уже имеющееся смонтированное заземляющее устройство, по проведённым ранее замерам, имеет сопротивление 3,2 Ом, что соответствует требованиям нормативным документам. Делаем вывод, что модернизация заземляющего устройства не требуется.

¹⁰³ СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ ОАО "ФСК ЕЭС"

7 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ ЗДАНИЯ ЗРУ-1

Руководствуясь ПУЭ-7 п.4.2.24. «В ОРУ, КРУ, КРУН и неотапливаемых ЗРУ, где температура окружающего воздуха может быть ниже допустимой для оборудования, должен быть предусмотрен подогрев в соответствии с действующими стандартами на оборудование».

К установке на ЗРУ был принят, шкаф КРУ «Классика» D-12P (с силовым выключателем ISM15_LD_1), у которого нижнее рабочее значение температуры окружающего воздуха должно быть не ниже минус 25 °С¹⁰⁴.

Руководствуясь ПУЭ-7 п.4.2.107. «В ремонтной зоне ЗРУ на время проведения ремонтных работ должна быть обеспечена температура не ниже плюс 5 °С».

Согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». температура воздуха наиболее холодной пятидневки для г.Кемь, где находится модернизируемая ЗРУ-1, составляет минус 28 °С .

Руководствуясь вышеуказанными ПУЭ и СП делаем вывод о необходимости установки обогрева для нормальной работы оборудования ЗРУ при наиболее холодной пятидневки и для проведения ремонтных работ.

Расчётную температуру воздуха внутри ЗРУ принимаем +5 °С, согласно п.4.2.107. ПУЭ-7.

Данные для расчета:

$t_{\text{нар}} = -28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура окружающей среды (наружного воздуха) для города Кемь¹⁰⁵.

$t_{\text{вн}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура воздуха внутри ЗРУ.¹⁰⁶

$\omega = 4,7 \text{ м/с}$ - средняя скорость ветра за январь¹⁰⁷.

Исходные данные размеров стен, потолка, полов в соответствии с проектом здания.

¹⁰⁴ РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУ D-12P

<http://tavrida.uplab.info/upload/iblock/58c/58c8243ccd87cfeefe788c14cde28943.pdf>

¹⁰⁵ СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

¹⁰⁶ ПУЭ-7 п.4.2.104

¹⁰⁷ СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

7.1 Расчёт тепловых потерь через стены здания

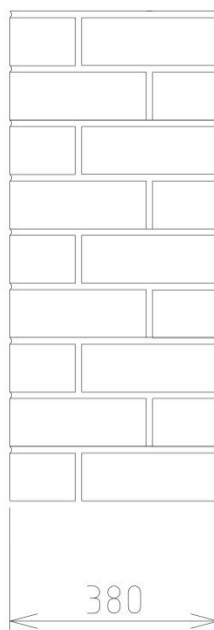


Рисунок 7.1 Эскиз перекрытия стены

В данном здании стены выполнены из силикатного кирпича 250*120*88 мм, толщина стены 1,5 кирпича $250 + 120 + 10 = 380$ мм.

Таблица 7.1 Исходные данные для расчёта стен

№ п/п	Название материала	Толщина, [δ] м	Коэффициент теплопроводности ¹⁰⁸ [λ] $\frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$
1	Кирпич силикатный	0,38	0,7

Определим термическое сопротивление каждого слоя стены

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \quad (7,1)^{109}$$

Где: R - термическое сопротивление ограждающей конструкции, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$,

δ - толщина слоя материала, м,

λ - расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, $Вт / (м \cdot ^\circ C)$

Для стена из силикатного кирпича толщиной 1,5 кирпича.

δ = 0,38 (м) толщина слоя материала

λ = 0,7 ($Вт / (м \cdot ^\circ C)$) расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя.

¹⁰⁸ Приложение таблица П.2.10.

¹⁰⁹ СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий п.9.1.1

$$R = \frac{0,38}{0,7} = 0,54 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

Результаты расчёта занесём в таблицу 7.2

Таблица 7.2 Сводная таблица термических сопротивлений слоёв стены

№ п/п	Обозначение	Термическое сопротивление R, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$
1	$R_{\text{Кирп}}$	0,54

Термическое сопротивление стенки.

$$R_k = R_{\text{стен}} = R_{\text{Кирп}} \quad (7.2)^{110}$$

$$R_k = R_{\text{стен}} = 0,54 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right)$$

Сопротивление теплопередачи многослойной однородной ограждающей конструкции.

$$R_0 = R_{\text{si}} + R_k + R_{\text{se}} \quad (7.3)^{111}$$

Где: $R_{\text{si}} = 1/a_{\text{int}}$ где: $a_{\text{int}} = 8,7 \text{ (Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}))^{112}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.

$R_{\text{se}} = 1/a_{\text{ext}}$ где: $a_{\text{ext}} = 23 \text{ (Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}))^{113}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции.

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + 0,54 + \frac{1}{23} = 0,15 + 0,54 + 0,04 = 0,73 \text{ (Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C)}$$

Мощность теплотерь через ограждающие конструкции, стены здания выразим из:

$$R_0 = \frac{n * (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) * A}{Q} \quad (7.4)^{114} \text{ отсюда -}$$

$$Q = \frac{n * (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) * A}{R_0} \quad (7.5)$$

Где: $t_{\text{int}} = +5 \text{ °C}$ - Расчётная температура внутреннего воздуха.

¹¹⁰ СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий п.9.1.1

¹¹¹ СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий п.9.1.2

¹¹² СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий Таблица 4

¹¹³ СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий Таблица 6

¹¹⁴ СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий п.9.1.3.

$t_{ext} = -28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – Расчётная температура наружного воздуха (средняя наиболее холодной пятидневки).

$n = 1$ - Коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху¹¹⁵.

A – площадь стен дома без учёта дверей¹¹⁶.

Общая площадь стен: $(10\text{м} + 6\text{м}) * 2 * 4,2\text{ м} = 134,4\text{м}^2$

Площадь ворот: $2,3\text{м} * 2,3\text{м} * 1\text{шт} = 5,3\text{ м}^2$.

Площадь дверей (запасной выход) $2\text{м} * 0,7\text{м} = 1,4\text{м}^2$

Площадь стен дома без учёта дверей и окон: $A = 134,4\text{ м}^2 - 5,3\text{ м}^2 - 1,4\text{ м}^2 = 127,7\text{м}^2$.

$R_o = 0,435(\text{Вт}/\text{м}^2 * \text{ }^{\circ}\text{C})$ – Сопротивление теплопередачи

$$Q_{\text{стены}} = \frac{1 * (5 - (-28)) * 127,7}{0,73} = 4023(\text{Вт}) -$$

Мощность теплопотерь через ограждающие конструкции, стены здания.

7.2 Расчет теплопотерь через крышу здания

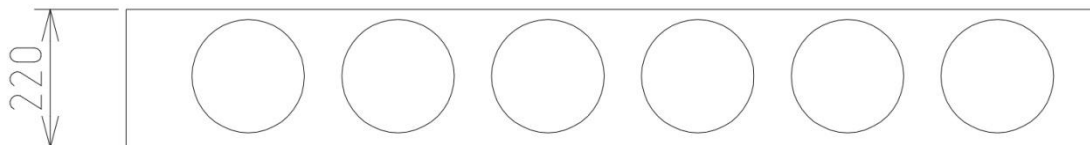


Рисунок 7.2 Эскиз перекрытия крыши

В данном здании крыша односкатная, не утепленная, выполнена из железобетонных пустотных плит толщиной 220 мм с полным термическим сопротивлением.

$$R_o = 0,17 (\text{Вт}/\text{м}^2 * \text{ }^{\circ}\text{C})$$

Мощность теплопотерь через ограждающие конструкции, крыши здания. по формуле (7,5).

Где: $t_{int} = +5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - Расчётная температура внутреннего воздуха.

$t_{ext} = -28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – Расчётная температура наружного воздуха (средняя наиболее холодной пятидневки).

¹¹⁵ СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий Тепловая защита зданий Таблица 6

¹¹⁶ Приложение

$n = 1$ - Коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху¹¹⁷.

A – Общая площадь крыши: $10\text{м} * 6\text{м} = 60\text{ м}^2$ ¹¹⁸.

$R_o = 0,17$ (Вт/м² * °С) – Сопротивление теплопередачи железобетонной плиты

$$Q_{\text{крыша}} = \frac{1 * (5 - (-28)) * 60}{0,17} = 11647 \text{ (Вт)} -$$

Мощность теплопотерь через ограждающие конструкции, крыши здания.

7.3 Расчет теплопотерь через полы здания

В данном здании полы выполнены из монолитного бетона толщиной 0,2 м и заглублением в грунт на 0,2м и без утепления.

Таблица 7.3 Исходные данные для расчёта теплопотерь через полы¹¹⁹

№ п/п	Название материала	Толщина, [δ] м	Коэффициент теплопроводности ¹²⁰ [λ] $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$
1	Бетон	0,2	1,51

Термическое сопротивление пола здания по формуле (7.1)

Таблица 7.4 Сводная таблица термических сопротивлений полов здания.

№ п/п	Обозначение	Термическое сопротивление R, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$
1	$R_{\text{бетон}}$	0,13

Сопротивление теплопередачи полов здания по (7.3)

Где: $R_{si} = 1/a_{int}$ где: $a_{int} = 8,7$ (Вт/(м² * °С))¹²¹ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.

$R_{se} = 1/a_{ext}$ где: $a_{ext} = 23$ (Вт/(м² * °С))¹²² - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции.

¹¹⁷ СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий Тепловая защита зданий Таблица 6

¹¹⁸ Приложение

¹¹⁹ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.

¹²⁰ Приложение таблица П.2.10.

¹²¹ СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий Таблица 4

¹²² СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий Таблица 6

$$R_k = R_{\text{пол}} = R_{\text{бетон}} = 0,13 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right).$$

$$R_0 = R_{\text{si}} + R_k + R_{\text{se}} = R_0 = \frac{1}{8,7} + 0,13 + \frac{1}{23} = 0,15 + 0,13 + 0,04 = 0,32 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{°C)}$$

Мощность теплопотерь через ограждающие конструкции полов здания.
по формуле (7.5)

$$\text{Где: } A_{\text{пол}} = 60 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$Q_{\text{пол}} = \frac{n \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \cdot A_{\text{пол}}}{R_0} = \frac{1 \cdot (-5 - (-28)) \cdot 60}{0,32} = 4312 \text{ (Вт)}$$

Мощность теплопотерь через полы здания.

7.4 Расчет теплопотерь через двери

В здании установлены двустворчатая ворота, площадью $A_{\text{вр}} = 2,30 \cdot 2,30 = 5,3 \text{ м}^2$ и одностворчатые двери (запасной выход) $A_{\text{дв}} = 2 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ м}^2$ выполненные из железа с утеплителем из пенополистирола в середине, толщиной 0,07 м, коэффициент теплопроводности пенополистирола

$$\lambda_{\text{пенпол}} = 0,037 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)},$$

Термическое сопротивление двери по формуле (7.1):

$$\text{Где: } \lambda_{\text{пенпол}} = 0,037 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}^{123}$$

$$\delta_{\text{дв}} = 0,07 \text{ (м)}$$

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,07}{0,037} = 1,89 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$$

Сопротивление теплопередачи дверей (7.3):

$$R_{0 \text{ дв}} = R_{\text{si}} + R_k + R_{\text{se}} = \frac{1}{8,7} + 1,89 + \frac{1}{23} = 2,05 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$$

Теплопотери через ворота и двери здания по (7.5).

Где: $A_{\text{дв}} = 5,3 \text{ м}^2 + 1,4 \text{ м}^2 = 6,7 \text{ (м}^2\text{)}$ - площадь ворот и дверей.

$$t_{\text{int}} = 21 \text{ °C}; \quad t_{\text{ext}} = -28 \text{ °C}.$$

¹²³ СП-50-13330-2012 Тепловая защита зданий. Таблица 3.

$$Q_{\text{двери}} = \frac{n * (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) * A_{\text{дв}}}{R_o} = \frac{1 * (5 - (-28)) * 6,7}{2,05} = 108 \text{ (Вт)} -$$

Теплопотери через ворота и двери здания.

7.5 Расчет теплопотерь на инфильтрацию (вентиляцию)

Составляющая нагрузка на систему отопления связана с нагревом поступающего холодного наружного воздуха, необходимого для вентиляции.

Тепловой поток на нагрев приточного наружного воздуха (теплопотери на инфильтрацию):

$$Q_{\text{инф}} = \frac{L_{\text{пнв}} * \rho_{\text{пнв}} * c * (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{3,6} \quad (7.6)^{124}$$

Где: $Q_{\text{инф}}$ -тепловой поток на нагрев приточного наружного воздуха, Вт,

$L_{\text{пнв}} = A_{\text{здан}} * 3 \text{ (м}^3/\text{ч)}$ - расход приточного воздуха.

Где: $A_{\text{здан}} = 10 * 6 = 60 \text{ (м}^2)$ -

площадь здания

Тогда: $L_{\text{пнв}} = 60 * 3 = 180 \text{ (м}^3/\text{ч)}$ -

$3 \text{ м}^3/\text{ч}$ по нормативным нормам минимальный расход приточного воздуха в помещения на 1 м^2 площади помещений¹²⁵

$\rho = 1,441 \text{ (кг/м}^3)$ -средняя массовая плотность нагреваемого воздуха, кг/м^3 , при $t_{\text{ext}} = -28$,

$c = 1,006 \text{ (кДж/(кг}\cdot\text{°C))}$ -теплоемкость воздуха, равная

$t_{\text{int}} = +5^\circ\text{C}$

$t_{\text{ext}} = -28^\circ\text{C}$

3,6-переводной коэффициент кДж в Вт.

$$Q_{\text{инф}} = \frac{180 * 1,441 * 1,006 * (5 - (-28))}{3,6} = 1667 \text{ (Вт)} -$$

теплопотери на инфильтрацию (вентиляцию).

¹²⁴ Варфоломеев Ю.М, Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: учебник/ Варфоломеев Ю.М, Кокорин О.Я.-Москва: Издательский Дом «Инфра- М»,2010.-С 38

¹²⁵ СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Приложение К. Таблица К.1.

7.6 Теплотери здания

Теплотери здания определяют мощность отопительной установки:

$Q_{от} = Q_{стены} + Q_{крыш} + Q_{пол} + Q_{двери} + Q_{инф} = 4023 + 11647 + 4312 + 108 + 1667 = 21757(\text{Вт})$. – требуемая мощность отопительной установки для не утепленного здания.

Рекомендуется произвести утепление здания ЗРУ-1

7.7 Расчёт тепловых потерь через утепленные стены здания

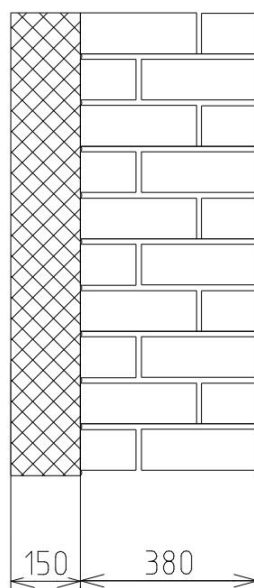


Рисунок 7.3 Эскиз утепленной стены здания ЗРУ-1

В данном здании стены выполнены из силикатного кирпича 250*120*88 мм, толщина стены 1,5 кирпича 250 + 120 = 350 мм. Утепление стены выполнено минеральной ватой «Урса» толщиной 150 мм

Таблица 7.5 Исходные данные для расчёта стен

№ п/п	Название материала	Толщина, [δ] м	Коэффициент теплопроводности ¹²⁶ [λ] $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$
1	Кирпич силикатный	0,38	0,7
2	Утеплитель «Урса»	0,15	0,036

¹²⁶ Приложение таблица П.2.10.

Определим термическое сопротивление каждого слоя стены по (7.1)

$$R = \frac{\delta}{\lambda}$$

Результаты расчёта занесём в таблицу 7.6

Таблица 7.6 «Сводная таблица термических сопротивлений слоёв стены».

№ п/п	Обозначение	Термическое сопротивление R^{127} , $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$
1	$R_{\text{Кирп}}$	0,54
2	$R_{\text{Утеп}}$	4,17

Термическое сопротивление стены по (7.2).

$$R_k = R_{\text{стен}} = R_{\text{Кирп}} + R_{\text{Утеп}} = 0,54 + 4,17 = 4,71 \left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт} \right) -$$

термическое сопротивление утепленной стены.

Сопротивление теплопередачи стены здания по (7.3).

Где: $R_{si} = 1/a_{int}$ где: $a_{int} = 8,7 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C))}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.¹²⁸

$R_{se} = 1/a_{ext}$ где: $a_{ext} = 23 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C))}$ ¹²⁹ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции.¹³⁰

$$R_0 = R_{si} + R_k + R_{se} = \frac{1}{8,7} + 4,71 + \frac{1}{23} = 0,15 + 4,71 + 0,04 = 4,9 \text{ (Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C)} -$$

сопротивление теплопередачи утепленной стены.

Мощность теплопотерь через , стены здания. по (7.5)

Где: $t_{int} = +5 \text{ }^\circ\text{C}$ - Расчётная температура внутреннего воздуха.

$t_{ext} = -28 \text{ }^\circ\text{C}$ – Расчётная температура наружного воздуха (средняя наиболее холодной пятидневки).

¹²⁷ Приложение таблица П.2.10.

¹²⁸ СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий Таблица 4

¹²⁹ СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий Таблица 6

¹³⁰ СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий п.9.1.2 Таблица 7.

$n = 1$ - Коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху¹³¹.

A – площадь стен дома без учёта дверей¹³².

Общая площадь стен: $(10\text{м} + 6\text{м}) * 2 * 4,2\text{ м} = 134,4\text{м}^2$

Площадь ворот: $2,3\text{м} * 2,3\text{м} * 1\text{шт} = 5,3\text{ м}^2$.

Площадь дверей (запасной выход) $2\text{м} * 0,7\text{м} = 1,4\text{м}^2$

Площадь стен здания без учёта дверей и ворот: $A = 134,4\text{ м}^2 - 5,3\text{ м}^2 - 1,4\text{ м}^2 = 127,7\text{ м}^2$.

$R_0 = 4,9$ (Вт/м² * °С) – Сопротивление теплопередачи

$$Q_{\text{стены дома}} = \frac{n * (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) * A_{\text{стен}}}{R_0} = \frac{1 * (5 - (-28)) * 127,7}{4,9} = 599(\text{Вт}) -$$

мощность теплопотерь через утепленные стены здания

7.8 Расчет теплопотерь через утепленную крышу здания

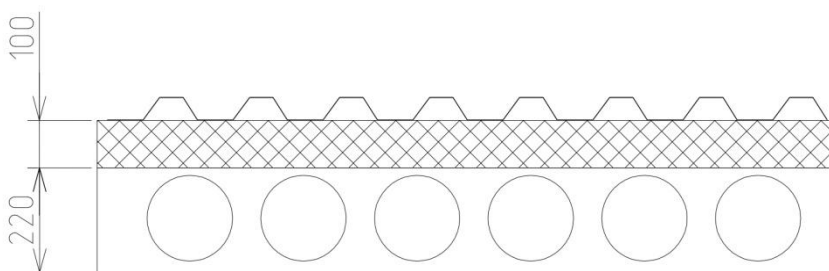


Рисунок 7.4 Эскиз перекрытия утепленной крыши.

В данном здании крыша односкатная, утепленная, выполнена из железобетонных пустотных плит толщиной 220 мм с полным термическим сопротивлением.

$$R_0 = 0,17 \text{ (Вт/м}^2 * \text{°С)}$$

Утепление крыши выполнено утеплителем «Урса» толщиной 100мм.

Определим термическое сопротивление слоя утеплителя крыши по (7.1).

Где: $\delta = 100\text{ мм} = 0,1\text{ м}$ толщина слоя утеплителя.

$\lambda = 0,036\text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ - расчетный коэффициент теплопроводности утеплителя «Урса

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,1}{0,036} = 2,8 \text{ (Вт/м}^2 * \text{°С)} -$$

термическое сопротивление слоя утеплителя

¹³¹ СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий Тепловая защита зданий Таблица 6

¹³² Приложение

Таблица 7.7 Сводная таблица термических сопротивлений слоёв крыши здания.

№ п/п	Обозначение	Термическое сопротивление R^{133} , $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$
1	$R_{Плиты}$	0,17
2	$R_{Утеп}$	2,8

Термическое сопротивление крыши по (7.2)

$$R_k = R_{Крыши} = R_{Плиты} + R_{Утеп} = 0,17 + 2,8 = 3 \left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт} \right) -$$

термическое сопротивление крыши.

Мощность теплопотерь через ограждающие конструкции, крыши здания по (7,5).

Где: $t_{int} = +5 \text{ } ^\circ C$ - Расчётная температура внутреннего воздуха.

$t_{ext} = -28 \text{ } ^\circ C$ – Расчётная температура наружного воздуха (средняя наиболее холодной пятидневки).

$n = 1$ - Коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху¹³⁴.

A – Общая площадь крыши: $10m * 6m = 60 m^2$ ¹³⁵.

$R_o = 3 (Вт/м^2 * ^\circ C)$ – Сопротивление теплопередачи

$$Q_{крыша} = \frac{1 * (5 - (-28)) * 60}{3} = 660 (Вт)$$

7.9 Расчет теплопотерь через полы здания

В данном здании полы выполнены из монолитного бетона толщиной 0,2 м с заглублением в грунт на 0,2м. Утепление есть только под свободной площадью полов, под ячейками утепление нет.

¹³³ Приложение таблица П.2.10.

¹³⁴ СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий Тепловая защита зданий Таблица 6

¹³⁵ Приложение

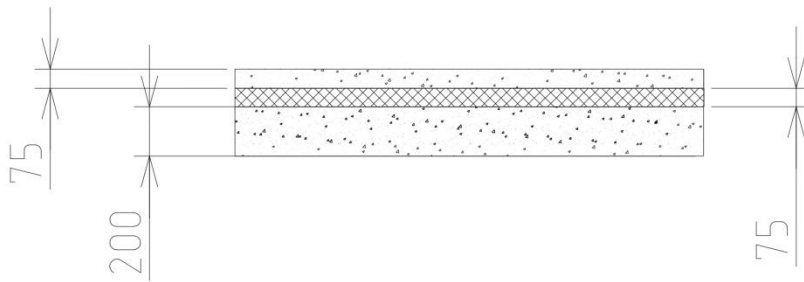


Рисунок 7.5 Эскиз утеплённого пола здания ЗРУ.

Рассчитаем теплопотери через утепленные полы здания.

Утепление свободной площади выполнено следующим образом: поверх монолитного бетона толщиной 200мм уложены плиты пенополистерола плотностью 150 кг/м³ толщиной 75мм, залитого бетоном толщиной 75 мм армированного арматурой.

Таблица 7.8 Исходные данные для расчёта теплопотерь через утепленные полы ЗРУ

№ п/п	Название материала	Толщина, [δ] м	Коэффициент теплопроводности [λ] $\frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$
1	Бетон	0,2	1,51
2	Пенополистерол	0,075	0,05
3	Железобетон	0,075	1,69

Термическое сопротивление пола здания по (7.1) результаты расчёта занесём в таблицу 7.9

Таблица 7.9 Сводная таблица термических сопротивлений утеплённых полов здания.

№ п/п	Обозначение	Термическое сопротивление R, $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$
1	R _{бетон}	0,13
2	R _{пенпол}	1,5
3	R _{желбет}	0,044

Термическое сопротивление утепленных полов здания по (7.2)

$$R_k = R_{умен\ пол} = R_{бетон} + R_{пенопол} + R_{желбет} = 0,13 + 1,5 + 0,044 = 1,67 \left(\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт} \right) -$$

Термическое сопротивление утепленных полов здания.

Мощность теплопотерь через утепленные полы здания по формуле (7.5).

$$\text{Где: } A_{у\text{те пол}} = A_{пол} - A_{неу\text{те пол}} \text{ (м}^2\text{)}$$

где: $A_{пол} = 60\text{м}^2$ – общая площадь пола здания ЗРУ.

$$A_{неу\text{те пол}} = 1,1\text{м}^2 \cdot 10\text{яч} = 10,1(\text{м}^2) - \text{общая площадь, занятая ячейками.}$$

тогда:

$$A_{у\text{те пол}} = A_{пол} - A_{неу\text{те пол}} = 60 - 10,1 = 49,9(\text{м}^2) -$$

площадь утеплённого пола.

$$Q_{пол} = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext}) \cdot A_{пол}}{R_{у\text{теп пол}}} = \frac{1 \cdot (-5 - (-28)) \cdot 49,9}{1,67} = 687 \text{ (Вт)}$$

мощность теплопотерь через утепленные полы здания.

Расчет теплопотерь через не утеплённые полы здания (занятые ячейками).

Под ячейками полы выполнены из монолитного бетона толщиной 0,2 м и заглублением в грунт на 0,2м и без утепления.

Таблица 7.10 Исходные данные для расчёта теплопотерь через полы¹³⁶

№ п/п	Название материала	Толщина, [δ] м	Коэффициент теплопроводности [λ] $\frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$
1	Бетон	0,2	1,51

Термическое сопротивление пола здания по (7.1)

7.11 Сводная таблица термических сопротивлений полов здания.

№ п/п	Обозначение	Термическое сопротивление R, $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$
1	$R_{бетон}$	0,13

$$\text{Где: } A_{неу\text{т пол}} = 10,1 \text{ (м}^2\text{)}$$

¹³⁶ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.

$$Q_{\text{неут пол}} = \frac{n * (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) * A_{\text{пол}}}{R_0} = \frac{1 * (-5 - (-28)) * 10,1}{0,13} = 1787 \text{ (Вт)}$$

Мощность теплопотерь через не утеплённые полы здания.

7.10 Расчет теплопотерь через двери

В здании установлены двустворчатая ворота, площадью $A_{\text{вр}} = 2,30 * 2,30 = 5,3 \text{ м}^2$ и одностворчатые двери (запасной выход) $A_{\text{дв}} = 2 * 0,7 = 1,4 \text{ м}^2$ выполненные из железа с утеплителем из пенополистирола в середине, толщиной 0,07 м, коэффициент теплопроводности пенополистирола $\lambda_{\text{пенпол}} = 0,037 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$,

Термическое сопротивление двери (7.1):

$$\text{Где: } \lambda_{\text{пенпол}} = 0,037 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}^{137}$$

$$\delta_{\text{дв}} = 0,07 \text{ (м)}$$

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,07}{0,037} = 1,89 \text{ (м}^2 * \text{ }^{\circ}\text{C/Вт)}$$

Сопротивление теплопередачи дверей (7.3):

$$R_{0 \text{ дв}} = R_{\text{si}} + R_{\text{k}} + R_{\text{se}} = \frac{1}{8,7} + 1,89 + \frac{1}{23} = 2,05 \text{ (м}^2 * \text{ }^{\circ}\text{C/Вт)}$$

Теплопотери через ворота и двери здания по (7.5).

Где: $A_{\text{дв}} = 5,3 \text{ м}^2 + 1,4 \text{ м}^2 = 6,7 \text{ (м}^2)$ - площадь ворот и дверей.

$$t_{\text{int}} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}; \quad t_{\text{ext}} = -28 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$Q_{\text{двери}} = \frac{n * (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) * A_{\text{дв}}}{R_0} = \frac{1 * (5 - (-28)) * 6,7}{2,05} = 108 \text{ (Вт)}$$

Теплопотери через ворота и двери здания.

7.11 Расчет теплопотерь на инфильтрацию (вентиляцию)

Составляющая нагрузка на систему отопления связана с нагревом поступающего холодного наружного воздуха, необходимого для вентиляции.

¹³⁷ СП-50-13330-2012 Тепловая защита зданий. Таблица 3.

Тепловой поток на нагрев приточного наружного воздуха (теплопотери на инфильтрацию):

$$Q_{\text{инф}} = \frac{L_{\text{пнв}} * \rho_{\text{пнв}} * c * (t_{\text{int}} * t_{\text{ext}})}{3,6} \quad (7.6)^{138}$$

Где: $Q_{\text{инф}}$ -тепловой поток на нагрев приточного наружного воздуха, Вт,

$L_{\text{пнв}} = A_{\text{дом}} * 3$ (м³/ч) - расход приточного воздуха.

Где: $A_{\text{об дом}} = A_{\text{дом}} + A_{\text{ман}} = 10 * 6 = 60$ (м²) – площадь здания

Тогда: $L_{\text{пнв}} = 60 * 3 = 180$ (м³/ч) -

3м³/ч - по нормативным нормам минимальный расход приточного воздуха в помещении на 1 м² площади помещений¹³⁹

$\rho = 1,441$ (кг/м³)-средняя массовая плотность нагреваемого воздуха, кг/м³, при $t_{\text{ext}} = -28$,

$c = 1,006$ (кДж/(кг·°C)) - теплоемкость воздуха, равная

$t_{\text{int}} = +5$ °C

$t_{\text{ext}} = -28$ °C

3,6-переводной коэффициент кДж в Вт.

$$Q_{\text{инф}} = \frac{180 * 1,441 * 1,006 * (5 - (-28))}{3,6} = 1667 \text{ (Вт)}$$

7.12 Теплопотери здания после утепления

Теплопотери здания определяют мощность отопительной установки:

$Q_{\text{от}} = Q_{\text{стены}} + Q_{\text{крыш}} + Q_{\text{ут пол}} + Q_{\text{неут пол}} + Q_{\text{двери}} + Q_{\text{инф}} = 599 + 660 + 687 + 1787 + 108 + 1667 = 5508$ (Вт). – требуемая мощность отопительной установки для утепленного здания ЗРУ-1.

Для обогрева ЗРУ-1 принимаем к установке электроконвекторы мощностью 1000 Вт каждый, в количестве 6 шт.

¹³⁸ Варфоломеев Ю.М, Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: учебник/ Варфоломеев Ю.М, Кокорин О.Я.-Москва: Издательский Дом «Инфра- М»,2010.-С 38

¹³⁹ СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Приложение К. Таблица К.1.

8 РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ЗРУ-1 ПО МЕТОДУ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА

8.1 Исходные данные помещений

Характеристика помещения.

Размеры: длина $a = 10$ м, ширина $b = 6$ м, высота подвеса светильника $h = 4$ м.

Отделка помещения: Потолок без отделки, бетон серого цвета. Стены-неоштукатуренные, силикатный кирпич цвет светло-серый. Пол- неокрашенный бетон с обработкой против пыли цвет тёмно серый.

Основным осветительным приборами помещения, являются светодиодные светильники серии ДСП 4001 100Вт 4000К IP65 алюминий ИЕК, приспособленные для высоких пролетов предназначены для общего освещения производственных помещений. Светильники являются энергоэффективной заменой устаревших с традиционными источниками света ДРЛ, ДНаТ, МГЛ, имеют длительный срок службы, не требуют замены ламп и дополнительных эксплуатационных расходов.

Высокая светоотдача светильника, 100 лм/Вт. Корпус из литого алюминия обеспечивает быстрое отведение тепла от диодов, что продлевает их срок службы. Высокий индекс цветопередачи $R_a > 80$: естественные цвета освещаемых объектов. Компактный размер. Подвесной способ монтажа: простая установка светильника.

Суммарной электрической мощности, $P_{\text{лам}} = n \text{ шт} * 100\text{Вт}$ и световым потоком светильника 100Вт $\Phi_{\text{лам}} = 10000$ ¹⁴⁰лм.

Коэффициент запаса: $MF = 0,71$ ¹⁴¹.

Коэффициенты отражения: потолка — 30, стен — 30, пола — 10

$E_{\text{норм}} = 200$ лк - для производственных помещений с характеристикой зрительной работы малой точности наименьший или эквивалентный размер объекта различения,

(1-5мм). Пребывание людей, в помещении периодическое, при общем наблюдении за инженерными коммуникациями¹⁴².

¹⁴⁰ Приложение 2 Технические характеристики светильника ДСП 4001 100Вт 4000К.

¹⁴¹ СП 52.13330.2016 Таблица 4.3

¹⁴² СП 52.13330.2016 Таблица 4.1

8.2 Индекс помещения

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} \quad (8.1)^{143}$$

Где: $a = 10\text{м}$ – длина помещения ЗРУ-1

$b = 6\text{м}$ – ширина помещения ЗРУ-1

$h = 4\text{м}$ – высота помещения ЗРУ-1

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{10 * 6}{4 * (10 + 6)} = 0,94$$

Определяем коэффициент использования, исходя из значений коэффициентов отражения и индекса помещения по таблице П.2.11. ВКР.

Коэффициент использования: $\eta = 0,36$.

8.3 Определяем требуемое количество светильников

Определяем требуемое количество светильников исходя из мощности выбранных ламп, и требуемых норм $E_{\text{норм}} = 200 \text{ лк}^{144}$

$$N = \frac{E_{\text{норм}} * S * 100}{U_{\text{сп}} * \text{КПД} * n * \Phi_{\text{лам}} * \text{MF}} \quad (8.2)^{145}$$

Где: $E_{\text{норм}} = 200 \text{ лк}$ - нормируемая освещенность;

$S = 60\text{м}^2$ - площадь помещения;

$U_{\text{сп}} = 0,36$ - коэффициент использования (определяется по таблице П.2.11. в зависимости от соотношения коэффициентов отражения (ρ) потолка, пола, стен и индексов помещения (i));

$\text{КПД} = 100\%$ - оптический КПД светового прибора¹⁴⁶;

$\Phi_{\text{лам}} = 10000 \text{ лм}$ - световой поток источника света;

$n = 1$ шт - кол-во источников света в световом приборе;

$\text{MF} = 0,71$ - коэффициент эксплуатации.

$$N = \frac{E_{\text{норм}} * S * 100}{U_{\text{сп}} * \text{КПД} * n * \Phi_{\text{лам}} * \text{MF}} = \frac{200 * 60 * 100}{0,36 * 100 * 1 * 10000 * 0,71} = 4,7 \approx 5 \text{ (шт)} -$$

Требуемое количество светильников для освещения ЗРУ.

¹⁴³ https://www.iiek.ru/products/standard_solutions/download/svetovye-pribory-iiek---tablicy-koehfficientov-ispolzovaniya.pdf

¹⁴⁴ СП 52.13330.2016 Таблица 4.1

¹⁴⁵ https://www.iiek.ru/products/standard_solutions/download/svetovye-pribory-iiek---tablicy-koehfficientov-ispolzovaniya.pdf

¹⁴⁶ Таблица П.2.11. ВКР

Принимаем для установки 6 светильников, по 3шт. в ряд, над проходами, между ячеек и стеной ЗРУ.

Суммарная мощность всех ламп, установленных в помещении составит $P_{уст}=6 \times 100 = 600$ Вт, $\Phi_{уст}=10 \text{ шт} \times 630 \text{ лм} = 6300 \text{ лм}$.

Рассчитаем освещенность помещения с помощью выбранного количества светильников.

$$\text{из 8.2} \quad E_{\text{пом}} = \frac{N}{\frac{S * 100}{U_{\text{сп}} * \text{КПД} * n * \Phi_{\text{лам}} * \text{МФ}}} = \frac{5}{\frac{60 * 100}{0,36 * 100 * 1 * 10000 * 0,71}} = 213(\text{лк})$$

Таблица 8.1. «Результаты расчета освещения помещения ЗРУ-1».

Наименование помещения	S м ²	E _{норм} лк	E _{пом} лк	N шт	Φ _{лам} лм	Φ _{уст} лм	P _{лампы} Вт	P _{уст} Вт
ЗРУ-1	60	200	213	6	10000	60000	100	600

8.4 Уличное освещение территории ЗРУ

Для уличного освещения территории ЗРУ примем к установке:

Светильники светодиодные консольные, ДКУ 1002-100Д 5000К IP65 серые ИЕК¹⁴⁷, в количестве двух штук.

Потребляемой электрической мощностью 100 Вт и мощностью светового потока 10000 Лм каждый.

Для внутреннего освещения ячеек принимаем светодиодные лампы мощностью 7 Вт. По количеству ячеек на ЗРУ-1 требуется 10 шт.

¹⁴⁷https://www.iek.ru/products/catalog/svetotekhnika/ulichnoe_i_arkhitekturnoe_osveshchenie/svetilniki_svetodiodnye_konsolnye_dku/dku_1002_d/svetilnik_svetodiodnyy_konsolnyy_dku_1002_100d_5000k_ip65_seryy_iek

9 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

9.1 Распределяемая электроэнергия, через ЗРУ-1 в год

Для расчета распределяемой электроэнергии будем принимать мощность, распределяемую ЗРУ-1, в нормальном режиме работы.

9.1.1 Распределяемая электроэнергия в зимний период

За зимний период принимаем, период, где среднесуточная температура воздуха не превышает + 8 °С.

Согласно СП 131.13330.2012, Таблица 3.1, для г. Кемь этот период составляет 255 дней.

$$W_{\text{зим}} = \frac{P_{\text{зим}} * t * n_{\text{зим}}}{1000} \text{ МВт} * \text{ч} \quad (9.1)$$

Где: $P_{\text{зим}} = S_{\text{зим}} * \cos\varphi = 912,8334 * 0,9 = 821,55$ (кВт)

(где: $S_{\text{зим}} = 912,8334$ кВ * А – полная распределяемая мощность в зимний период, из таблицы 2.1 ВКР)

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

$t = 24$ час – кол – во часов в сутках.

$n_{\text{зим}} = 255$ дней – кол-во дней, в зимний период.

$$W_{\text{зим}} = \frac{P_{\text{зим}} * t * n_{\text{зим}}}{1000} = \frac{821,55 * 24 * 255}{1000} = 5027,886 \text{ (МВт} * \text{ч)} –$$

Распределяемая электроэнергия в зимний период.

9.1.2 Распределяемая электроэнергия в летний период

$$W_{\text{лет}} = \frac{P_{\text{лет}} * t * n_{\text{лет}}}{1000} \text{ МВт} * \text{ч} \quad (9.2)$$

Где: $P_{\text{лет}} = S_{\text{лет}} * \cos\varphi = 593,4924 * 0,9 = 534,1432$ (кВт)

(где: $S_{\text{лет}} = 593,4924$ кВ * А – полная распределяемая мощность в летний период, из таблицы 2.1 ВКР).

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

$t = 24$ час – кол – во часов в сутках.

$n_{\text{лет}} = n_{\text{год}} - n_{\text{зим}} = 365 - 255 = 110$ (дней) – кол-во дней, в летний период.

$$W_{\text{лет}} = \frac{P_{\text{лет}} * t * n_{\text{лет}}}{1000} = \frac{534,1432 * 24 * 110}{1000} = 1410,1380 \text{ (МВт * ч) –}$$

Распределяемая электроэнергия в летний период.

9.1.3 Распределяемая электроэнергия, через ЗРУ-1 в год

$$W_{\text{год}} = W_{\text{зим}} + W_{\text{лит}} \text{ МВт * час} \quad (9.3)$$

$$W_{\text{год}} = W_{\text{зим}} + W_{\text{лит}} = 5027,886 + 1410,1380 = 6438,024 \text{ (МВт * ч) –}$$

годовое распределение электроэнергии через ЗРУ-1.

9.2 Капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1

Капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1, входят: стоимость полной замены электрооборудования, ремонт здания ЗРУ-1 (утепление, замена систем освещения, отопление), стоимость демонтажных и монтажных работ.

9.2.1 Материальные капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1

Расчёт материальных капиталовложений в модернизацию ЗРУ-1, выполним в виде таблицы.

Таблица 9.1 «Материальные капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1».

№ п/п	Наименование.	Кол-во.	Стоимость за ед.	Стоимость общая.
Кабели				
1.	кабель АСБ-3*150	30 м	1106 руб/м ¹⁴⁸	33180руб.
2.	кабель АСБ-3*95	35 м	871руб/м ¹⁴⁹	30485руб.
3.	кабелем АСБ-3*50	35 м	656 руб/м ¹⁵⁰	22960руб.
4.	кабель АСБ-3*35	30 м	591 руб/м ¹⁵¹	17730руб.
Ячейки КРУ				
5.	Шкаф КРУ (Так-как в свободном доступе, нет цен на выбранное нами оборудование, ориентировочная цена, взята на аналогичное оборудование фирмы «Арум»).	6 шт	=157000 руб. (Из них корпус 90243 руб.) ¹⁵²	942000руб.
6.	Выключатель вакуумный ISM15_LD_1	5 шт	=104400 руб. ¹⁵³	522000руб.
7.	Измерительный трансформатор тока. ТОЛ-10 0,5S/10P-***/5	5 ком	3шт.*11400руб. ¹⁵⁴ =34200 руб.	171000руб.
8.	Шкаф КРУ. (Для размещения измерительного трансформатора напряжения и трансформатора собственных нужд)	2 шт	90243 руб ¹⁵⁵	180486руб.
9.	Измерительный трансформатор напряжения. НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,2/0,5/3P-15 У2	2шт	55326 руб ¹⁵⁶ .	110652руб.
10.	Трансформатор собственных нужд. ТЛС-16	2 шт.	229200руб ¹⁵⁷	458400руб.
11.	Блок микропроцессорной релейной защиты «БМРЗ-100», плюс блок управления выключателем «Блок управления ВU/TEL-220-05А»	5 шт.	35700руб ¹⁵⁸ +8780р уб ¹⁵⁹ = 44480 руб.	222400руб.

¹⁴⁸ Парйс-лист «Кабель РФ» https://petrozavodsk.cable.ru/cable/kabel-3-zhily_150-mm_v_group-asb.php

¹⁴⁹ Парйс-лист «Кабель РФ» https://petrozavodsk.cable.ru/cable/marka-asb_3x95_10.php

¹⁵⁰ Парйс-лист «Кабель РФ» https://petrozavodsk.cable.ru/cable/marka-asb_3x50_10.php

¹⁵¹ Парйс-лист «Кабель РФ»

¹⁵² Парйс-лист «Арум» <https://arum.su/price/>

¹⁵³ Парйс-лист «Energo24.ru» <http://energo24.ru/vakuumnye-vyklyuchateli/>

¹⁵⁴ Парйс-лист «ПФК электрокомплекс» <https://el-komplex.ru/tol-10-i.html>

¹⁵⁵ Парйс-лист «Арум» <https://arum.su/price/>

¹⁵⁶ Парйс-лист «ЭДК Энергия динамика качество» <http://edk35.ru/catalog/transformator-nali-sjeshh-10-1-3/>

¹⁵⁷ Парйс-лист «ЭДК Энергия динамика качество» <http://edk35.ru/catalog/transformator-tls-16/>

¹⁵⁸ Парйс-лист «Energo24.ru» <http://energo24.ru/bloki-upravleniya/mehatronika/bmrz-100/>

¹⁵⁹ Парйс-лист «Energo24.ru» <http://energo24.ru/vakuumnye-vyklyuchateli/vakuumnye-vyklyuchateli/tavrida-elektrik/bu-tel-220-05a/>

Таблица 9.1 продолжение

«Материальные капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1».

№ п/п	Наименование.	Кол-во.	Стоимость за ед.	Стоимость общая.
Ячейки КРУ				
12.	Шкаф оперативного тока (ШОТ)	1 шт.	400000 руб ¹⁶⁰	400000руб.
13.	Счётчик эл. энергии	4шт.	14331руб ¹⁶¹	57342руб.
14.	Ограничитель перенапряжения	4 ком.	3*940 руб ¹⁶² =2820 руб.	11280руб.
Стоимость электрооборудования:				3179897руб.
Ремонт здания ЗРУ-1				
15.	Утеплитель «Урса» (стены+крыша) (Ursa Terra 50x610x1250 мм 7,63 м ²) слой 150 мм.	73пач	569 руб ¹⁶³	41537руб.
16	Профнастил. (стены+крыша)	93лис	250 руб ¹⁶⁴	23250руб.
17	Утеплитель (пол) пенополистирол экструдированный сверхпрочный ВАУФОАМ 75x585x1185 мм	73 лис	233 руб ¹⁶⁵	17009руб.
18	Бетонная стяжка (цемент М-500)	25 меш	375 руб ¹⁶⁶	9375руб.
19	Сетка арматурная 100x100 мм d5,5 мм 2x1,5 м	34 шт	692руб ¹⁶⁷	23528руб
20	Блоки бетонные, 2200*250*150 мм для установки ячеек (цемент М-500)	6шт	207руб	1242руб
Стоимость стройматериалов:				115941руб.

¹⁶⁰ <https://e-tmm.tiu.ru/g2542942-shkafy-operativnogo-toka>

¹⁶¹ Прайс-лист «ООО "Энерго-52» <http://electroschetchik.ru/psch-4tm.05mk/psch-4tm.05mk.00.php>

¹⁶² Прайс-лист «АВК-Энерго» <https://avkenergo.ru/catalog/opn/?yclid=2738763116757416654>

¹⁶³ https://petrozavodsk.petrovich.ru/catalog/1285/167887/?utm_campaign=835292&utm_medium=cpc&utm_source=YaMarket_PZV&utm_term=835292&ymclid=15900054404713808274100010

¹⁶⁴ <https://petrozavodsk.petrovich.ru/search/a7ace64f-1754-11ea-80c7-00155dfc0c4f/?q=%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BB%D0%B8%D1%81%D1%82>

¹⁶⁵ <https://petrozavodsk.petrovich.ru/search/e9e4aa48-e397-11e6-95f7-00259036a192/?q=%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%BB>

¹⁶⁶ <https://petrozavodsk.petrovich.ru/catalog/12111/149143/>

¹⁶⁷ <https://petrozavodsk.petrovich.ru/catalog/245800736/637173/>

Таблица 9.1 продолжение

«Материальные капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1».

№ п/п	Наименование.	Кол-во.	Стоимость за ед.	Стоимость общая.
Освещение и обогрев:				
21.	Конвектор электрический КМ 1000 Вт	бшт.	1529руб ¹⁶⁸	9174руб.
22.	Светильник: ДСП 4001 100Вт 4000К IP65 алюминий IEK (помещение)	бшт.	3178руб ¹⁶⁹	19067руб.
23.	Светильник: ДКУ 1002-100Д 5000К IP65 серый IEK (уличное освещение)	2шт.	3419 руб ¹⁷⁰	6838руб.
Стоимость системы освещения и обогрева:				35079руб.
Итого:				3330917руб

Количество утеплителя для стен и крыши ЗРУ-1.

Утеплитель «Урса» реализуется в пачках, с толщиной листов 50мм позволяющими перекрыть площадь 7,63 м².

Для утепления стен, ЗРУ-1 127,7 м², толщиной 150мм (в три слоя по 50мм) (п.7.7) требуется: $127,7 \text{ м}^2 * 3 \text{ слоя} / 7,63 \text{ м}^2 = 50,2 = 51$ -пачка, утеплителя.

Для утепления крыши ЗРУ-1 92 м² (с учётом склона и свесов), толщиной 100мм (в два слоя по 50мм) (п.7.8) требуется: $92 \text{ м}^2 * 2 \text{ слоя} / 7,63 \text{ м}^2 = 24,1 = 25$ -пачек, утеплителя.

Количество профнастила для стен и крыши ЗРУ-1.

Профнастила реализуется листами площадью 2,4 м².

Для стен ЗРУ-1, 127,7 м², требуется: $127,7 \text{ м}^2 / 2,4 \text{ м}^2 = 53 = 54$ -листа, профнастила.

Для крыши ЗРУ-1, 92 м² (с учётом склона и свесов), требуется:
 $92 \text{ м}^2 / 2,4 \text{ м}^2 = 38,3 = 39$ -листов, профнастила.

Количество утеплителя для пола ЗРУ-1.

Утеплитель пенополистирол экструдированный сверхпрочный, ВАУFOAM 75мм x 585мм x 1185мм, реализуется листами площадью 0,69 м².

Для утепленного пола ЗРУ-1, 49,9 м² (п.7.9) требуется:
 $49,9 \text{ м}^2 / 0,69 \text{ м}^2 = 72,3 = 73$ -листа, утеплителя.

¹⁶⁸ <https://petrozavodsk.petrovich.ru/catalog/10167/156044/>

¹⁶⁹ Прайс-лист «ООО "Энепро-52» <http://electroschetchik.ru/psch-4tm.05mk/psch-4tm.05mk.00.php>

¹⁷⁰ https://pek24.ru/catalog/svetilniki/svetilnik_dlya_osveshcheniya_ulits_i_ploshchadey/

Количество материалов для заливки утеплённого пола ЗРУ-1.

Для заливки пола будем использовать бетон из расчёта 1 к 4 (три части песчано-гравийной смеси одна часть цемента), армированного арматурной сеткой в два слоя. Толщина слоя заливки 75мм, площадь 49,9 м².

Для заливки пола требуется: $V = 0,075\text{м} * 49,9\text{м}^2 = 3,75\text{м}^3$ – бетона.

Для приготовления 3,75 м³ бетона, из расчёта 1 к 4, потребуется $3,75\text{ м}^3/3 = 0,93\text{ м}^3$ – цемента.

Цемент реализуется мешками по 50 кг.

Для практических расчетов принимается средняя плотность цемента 1300 кг/м³. Соответственно 50 кг цемента занимает: около 0,038м³. Отсюда $0,93\text{ м}^3/0,038\text{м}^3=24,5=25$ мешков.

Сетка арматурная 100x100 мм d5,5 мм 2м x1,5м, площадью 3м² реализуется по штучно.

Для пола требуется: $49,9\text{м}^2/3\text{м}^2 * 2 = 33,3 = 34$ шт. – арматурной сетки.

Ячейки устанавливаются на блоки из бетона собственного изготовления, из расчёта 1 к 4 (три части песчано-гравийной смеси одна часть цемента).

Для изготовления одного блока, 2200*500*150 мм, требуется:

$1,1\text{м}*0,25\text{м}*0,15\text{м} = 0,083\text{м}^3$ - бетона.

Для приготовления 0,041м³ бетона потребуется $0,083\text{м}^3/4=0,021\text{м}^3$ -цемента, с учётом, что один мешок 50 кг около 0,038м³, 375руб, то для изготовления одного блока потребуется цемента на стоимость 207 руб.

9.3 Капиталовложения в модернизацию ЗРУ-1, для оплаты производства работ

9.3.1 Производство электромонтажных работ

Согласно действующей сметно-нормативной базе и фактически заданным условиям определяем нормы времени на перечень необходимых работ для демонтажа старого оборудования ЗРУ-1 и монтажа нового оборудования.

Таблица 9.2 Расчёт трудозатрат на реконструкцию ЗРУ-1

Наименование работ	Наименование оборудования	Количество	Норма времени, чел/час	Разряд	Общие трудозатраты, чел/час
Подготовка кабель каналов в помещении ЗРУ-1		4	2	6(маст.) 4(эл.МОНТ) 4(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ)	8
Прокладка кабеля в траншее (до существующих опор ВЛ)	АСБ-3*150	15	0,4	6(маст.) 4(эл.МОНТ) 4(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ) 4(экс.)	6
Прокладка кабеля в траншее (до существующих опор ВЛ)	АСБ-3*95	20	0,4	6(маст.) 4(эл.МОНТ) 4(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ) 4(экс.)	8
Прокладка кабеля в траншее (до существующих опор ВЛ)	АСБ-3*50	20	0,4	6(маст.) 4(эл.МОНТ) 4(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ) 4(экс.)	8
Прокладка кабеля в траншее (до существующих опор ВЛ)	АСБ-3*35	15	0,4	6(маст.) 4(эл.МОНТ) 4(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ) 3(эл.МОНТ) 4(экс.)	6
Демонтаж старого оборудования.	Ячейки КСО-10	8	2	6(маст.) 4(кран.) 4(эл-МОНТ) 4(эл-МОНТ) 3(вод.груз) 3(эл-МОНТ) 3(эл-МОНТ)	16
Укладка бетонных блоков для установки ячеек.	Блок бетонный (2200*250*150 мм)	6	1,33	6(маст.) 4(эл-МОНТ) 4(эл-МОНТ) 3(эл-МОНТ) 3(эл-МОНТ)	8

Таблица 9.2 продолжение Расчёт трудозатрат на реконструкцию ЗРУ-1

Наименование работ	Наименование оборудования	Количество	Норма времени, чел/час	Разряд	Общие трудозатраты, чел/час
Монтаж шкафов КРУ (ячеек КРУ)	КРУ «Классика» D-12P	10	1,6	6(маст.) 4(эл-монт) 4(эл-монт) 3(эл-монт) 3(эл-монт) 4(кран.) 3(вод.груз.)	16
Прокладка кабелей в кабель каналы и подключение их к выключателям и монтаж на опору ВЛ, без подключения.	АСБ-3*150 АСБ-3*95 АСБ-3*50 АСБ-3*35	4	2	6(маст.) 44(эл-монт) 4(эл-монт) 3(эл-монт) 3(эл-монт) 4(маш.под.)	8
Протяжка контактных соединений в шкафах КРУ (ячейках КРУ)	КРУ «Классика» D-12P	10	0,8	6(маст.) 4(эл-монт) 4(эл-монт) 3(эл-монт) 3(эл-монт)	8
Высоковольтные испытания кабелей	АСБ-3*150 АСБ-3*95 АСБ-3*50 АСБ-3*35	4	1	6(маст.) 4(эл-монт) 4(эл-монт)	4
Высоковольтные испытания оборудования КРУ		1	8	6(маст.) 4(эл-монт) 4(эл-монт)	8
Настройка уставок на БМРЗ Наладка устройств РЗиА (БМРЗ – 5 шт и ШОТ – 1 шт)	БМРЗ и ШОТ	6	1,3	6(эл-монт РЗиА.) 4(эл-монт РЗиА)	8
Подключение кабелей на опоре ВЛ	Опора ВЛ и кабель	4	1	6(маст.) 4(эл-монт) 3(эл-монт) 4(маш.под.)	4
Ввод в работу нового оборудования ЗРУ-1	Оборудование ЗРУ-1	1	4	6(эл-монт РЗиА.) 6(маст.) 4(эл-монт РЗиА) 4(эл-монт) 4(эл-монт)	4

Таблица 9.2 продолжение Расчёт трудозатрат на реконструкцию ЗРУ-1

Наименование работ	Наименование оборудования	Количество	Норма времени, чел/час	Разряд	Общие трудозатраты, чел/час
Монтаж системы освещения.	Системы освещения	1	16	6(маст.) 4(эл-монт) 4(эл-монт) 3(эл-монт)	16
Монтаж системы обогрева	Системы обогрева	1	8	6(маст.) 4(эл-монт) 4(эл-монт) 3(эл-монт)	8

Расчёт оклада работников, согласно тарифа, по штатному расписанию и времени на производства работ, по реконструкции ЗРУ-1.

Таблица 9.3 Расчет тарифного фонда заработной платы, на реконструкцию ЗРУ-1.

№	Профессия	Разряд	ТС руб/час	Трудозатраты час	Тарифный фонд руб
1	Мастер	6	73	136	9928
2	Электромонтер (РЗиА)	6	73	12	876
3	Электромонтер (РЗиА)	4	60	12	720
4	Электромонтер	4	60	136	8160
5	Электромонтер	4	60	128	7680
6	Электромонтер	3	55	132	7260
7	Электромонтер	3	55	104	5720
8	Водитель грузовой машины	3	55	16	880
9	Машинист автокрана	4	60	16	960
10	Машинист автоподъёмника	4	60	12	720
11	Машинист экскаватора.	4	60	28	1680
				Итого:	38632

Расчёт заработной платы, согласно оклада, при производстве работ по реконструкции ЗРУ-1.

Таблица 9.4 Расчет заработной платы, на реконструкцию ЗРУ-1.

№ П/П	Профессия	Тарифный заработок	Премия 50%	РК 40%	СН 80%	ФЗП
1	Мастер	9928	14892,00	20848,8	26805,6	62546,40
2	Электромонтер (РЗиА)	876	1314,00	1839,6	2365,2	5518,80
3	Электромонтер (РЗиА)	720	1080,00	1512	1944	4536,00
4	Электромонтер	8160	12240,00	17136	22032	51408,00
5	Электромонтер	7680	11520,00	16128	20736	48384,00
6	Электромонтер	7260	10890,00	15246	19602	45738,00
7	Электромонтер	5720	8580,00	12012	15444	36036,00
8	Водитель грузовой машины	880	1320,00	1848	2376	5544,00
9	Машинист автокрана	960	1440,00	2016	2592	6048,00
10	Машинист автоподъёмника	720	1080,00	1512	1944	4536,00
11	Машинист экскаватора	1680	2520,00	3528	4536	10584,00
						280879,20

9.3.2 Производство строительных работ по утеплению здания ЗРУ-1

Производство строительных работ, по утеплению здания ЗРУ-1, будет проводиться силами подрядной организации. Стоимость проводимых работ зависит от объёма работ и цены за единицу объёма.

Для определения ориентировочной цены работ будем использовать интернет ресурсы.

Таблица 9.5 Расчёт трудозатрат на реконструкцию ЗРУ-1(строительная часть)

Наименование работ	Наименование материала	Количество	Цена за ед.объёма	Стоймость работы ¹⁷¹
Стены				
Монтаж обрешётки из металлических профилей	Металлических профил.	127,7 м ²	170 руб. м ²	21709 руб.
Монтаж стенового утеплителя на спец. крепежи	Утеплитель	127,7 м ²	200 руб. м ²	25540 руб.
Монтаж металлического сайдинга (проф листа)	Металлический сайдинг (проф лист)	127,7 м ²	270 руб. м ²	34479 руб.
Пол				
Утепление пола пенопластом (пенополистиролом)		49,9 м ²	155 руб. м ² (¹⁷²)	7735 руб.
Устройство армирования под стяжку	Арматурная сетка, 2 слоя.	49,9 м ²	25 руб. м ²	2495 руб.
Бетонные (цементно-песчаная стяжка) толщиной до 100 мм от 20 м кв.	Цементно-песчаная смесь	49,9 м ²	200 руб. м ²	9980 руб.
Крыша (по стоимости стен).				
Монтаж обрешётки из металлических профилей	Металлических профил.	92 м ²	170 руб. м ²	15640 руб.
Монтаж утеплителя от 50 мм.	Утеплитель (100 мм)	92 м ²	70 руб. м ² *2	12880 руб.
Монтаж металлического сайдинга (проф листа)	Металлический сайдинг (проф лист)	92 м ²	270 руб. м ²	24840 руб.
Итого:				155298 руб.

¹⁷¹ РФГ (ремонт и строительство) <https://www.rfgstroy.ru/price/>

¹⁷² СТК МИГ <https://stkmg.ru/uteplenie-sten-i-polov/>

9.4 Годовое техническое обслуживание ЗРУ-1

Для надёжной работы электрооборудования и устройств РЗиА, на ЗРУ-1, ежегодно проводятся техническое обслуживание оборудования и устройств, в течение 8 часов.

Расчет тарифного фонда заработной платы, на годовое обслуживание ЗРУ-1.

Таблица 9.6 Расчет тарифного фонда заработной платы, на техобслуживание ЗРУ-1

№ п/п	Профессия	Разряд	ТС руб/час	Трудозатраты час	Тарифный фонд руб
1	Мастер	6	73	8	584
2	Электромонтер (РЗиА)	6	73	8	584
3	Электромонтер (РЗиА)	4	60	8	480
4	Электромонтер	4	60	8	480
5	Электромонтер	4	60	8	480
6	Электромонтер	3	55	8	440
Итого:					2568

Расчёт заработной платы, согласно оклада, при производстве работ по реконструкции ЗРУ-1.

Таблица 9.7 Расчет заработной платы, на реконструкцию ЗРУ-1.

№ п/п	Профессия	Тарифный заработок руб.	Премия 50% руб.	РК 40% руб.	СН 80% руб.	ФЗП руб.
1	Мастер	584	876,00	1226,4	1576,8	3679,20
2	Электромонтер (РЗиА)	584	876,00	1226,4	1576,8	3679,20
3	Электромонтер (РЗиА)	480	720,00	1008	1296	3024,00
4	Электромонтер	480	720,00	1008	1296	3024,00
5	Электромонтер	480	720,00	1008	1296	3024,00
6	Электромонтер	440	660,00	924	1188	2772,00
Итого:						19202,40

9.5 Расчет приведенных затрат на реконструкцию ЗРУ-1

Сумма затрат по предлагаемому проекту определяется по формуле:

$$I_{\Pi} = I_{\text{ЭО}} + I_{\text{Сч}} + I_{\text{ОО}} + I_{\text{ЭМ}} + I_{\text{СР}} \quad (9.4)$$

Где: I_{Π} – Полные издержки на осуществление проекта тыс. руб.

$I_{\text{ЭО}} = 3179897 \text{руб.} = 3179,897 \text{ тыс. руб.}$ – стоимость электрооборудования ЗРУ-1

$I_{\text{Сч}} = 115941 \text{руб.} = 115,941 \text{ тыс. руб.}$ – стоимость строительных материалов для утепления здания ЗРУ.

$I_{\text{ОО}} = 35079 \text{руб.} = 35,079 \text{ тыс. руб.}$ – стоимость оборудования освещения и обогрева.

$I_{\text{ЭМ}} = 280879,20 \text{ руб.} = 280,879 \text{ тыс. руб.}$ – издержки на заработную плату электромонтажников с учетом отчислений на социальные нужды тыс. руб.

$I_{\text{СР}} = 155298 \text{ руб.} = 155,298 \text{ тыс. руб.}$ – расходы на строительные работы, подрядной организации.

$$\begin{aligned} I_{\Pi} &= I_{\text{ЭО}} + I_{\text{Сч}} + I_{\text{ОО}} + I_{\text{ЭМ}} + I_{\text{СР}} = \\ &= 3179,897 + 115,941 + 35,079 + 280,879 + 155,298 = \\ &= 3767,094 \text{ (тыс. руб.)} - \end{aligned}$$

приведенные затраты на реконструкцию ЗРУ-1.

9.6 Расчёт времени окупаемости затрат на реконструкцию ЗРУ-1

ЗРУ-1 предназначено для распределения электрической электроэнергии конечному потребителю. Стоимость одного кВт*ч составляет 3,68 руб¹⁷³.

Электрическая энергия, распределяемая ЗРУ-1, вырабатывается мощностями генерирующих компаний, распределяется федеральными и межрегиональными сетевыми компаниями.

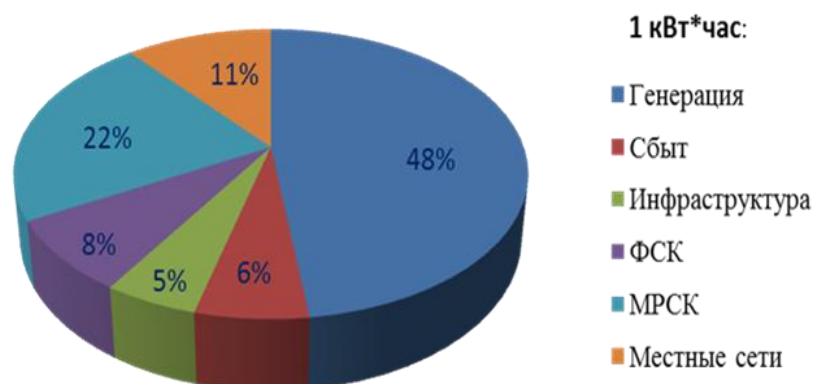


Рис 9.1 Усредненная структура тарифа на электроэнергию¹⁷⁴.

¹⁷³ ТНСэнерго <https://karelia.tns-e.ru/population/tariffs/tariff-table/>

Как видно из диаграммы на рис. 9.1, доля АО «ПСК» (местные электрические сети), из общего тарифа на электроэнергию, составляет примерно 11%.

9.6.1 Расчёт стоимости электроэнергии распределяемой АО «ПСК», через ЗРУ-1

$$З_{\text{Год}} = (W_{\text{Год}} - W_{\text{НО}}) * Ц_{\text{Э}} \quad (9.5)$$

Где:

$W_{\text{Год}} = 88296,8424$ МВт * ч – количество электроэнергии распределяемой ЗРУ-1 за год.

$$W_{\text{НО}} = \frac{P_{\text{Лет}} * t * n_{\text{Лет}}}{1000} = \frac{534,1432 * 8 * 1}{1000} = 4,2731 \text{ (МВт * ч)} -$$

Недоотпуск электроэнергии, по причине плановых ремонтных работ на электрооборудовании ЗРУ-1 (плановые ремонтные работы проводятся преимущественно в летний период).

$Ц_{\text{Э}} = 3,68$ руб. (кВт * ч) = 3680руб. (МВт * ч) – стоимость электроэнергии за 1 МВт*ч.

$$З_{\text{Год}} = (W_{\text{Год}} - W_{\text{НО}}) * Ц_{\text{Э}} = (88296,8424 - 4,2731) * 3680 = 32813615 \text{ руб.} -$$

стоимость электроэнергии распределяемой, АО «ПСК», через ЗРУ-1.

9.6.2 Расчёт доли АО «ПСК» в общей стоимости распределяемой электроэнергии через ЗРУ-1 за год

$З_{\text{Год (ПСК)}} = З_{\text{Год}} - 89\% = 32813615 - 89\% = 3609498$ (руб.) = 3609,489 (тэс. руб) – доля АО «ПСК» в общей стоимости распределяемой электроэнергии через ЗРУ-1 за год.

9.6. Расчёт времени окупаемости затрат на реконструкцию ЗРУ-1.

$$T_{\text{Оку}} = \frac{И_{\text{П}}}{З_{\text{Год (ПСК)}}} * 12 \text{ (мес)} \quad (9.6)$$

Где:

$И_{\text{П}} = 3767,094$ тыс. руб. – приведённые затраты на модернизацию ЗРУ-1

$З_{\text{Год (ПСК)}} = 3609,489$ (тэс. руб) – доля АО «ПСК» в общей стоимости распределяемой электроэнергии через ЗРУ-1 за год.

¹⁷⁴ <http://geproject.sdep.ru/services/mini-tets-na-baze-gazoporshnevykh-elektrostantsiy>

$$T_{\text{Оку}} = \frac{I_{\text{П}}}{Z_{\text{Год}}(\text{ПСК})} * 12 = \frac{3767,094}{3609,489} * 12 = 12,5 \text{ (мес)} -$$

примерное время окупаемости денежных средств потраченных на реконструкцию ЗРУ-1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе был произведён расчёт мощности электроэнергии распределяемой устройством «ЗРУ-1», в настоящее время. За основу расчёта были взяты данные полученные из результатов замеров летних и зимних нагрузок на трансформаторных подстанциях данного энергетического района, города Кемь. Нагрузки рассматривались как в нормальном, так и в аварийно-ремонтном режимах.

На основании проведённых расчётов было установлено, что для ЗРУ-1 самыми тяжёлым режимом является, ремонтно-аварийный режим зимнего максимума, где:

$S_{\text{ЗРУ-1 (Зим) РА}} = 1660,3042 \text{ (кВ * А)}$ – мощность через ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в ремонтно-аварийном режиме.

$I_{\text{ЗРУ-1 (Зим) РА}} = 95,8577 \text{ (А)}$ – ток нагрузки ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в ремонтно-аварийном режиме.

А самым тяжёлым нормальным режимом является, нормальный режим зимнего максимума, где:

$S_{\text{ЗРУ-1 (Зим) Н}} = 912,8334 \text{ (кВ * А)}$ – мощность через ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

$I_{\text{ЗРУ-1 (Зим) Н}} = 52,7025 \text{ (А)}$ – ток нагрузки ЗРУ-1 в зимний максимум нагрузок, в нормальном режиме.

По рассчитанным, нынешним токам нагрузки, в самом тяжёлом нормальном режиме работы, были предварительно выбраны, кабели для вводов, ЗРУ-1. Произведена проверка по экономической плотности тока, существующих кабелей и провода воздушных линий в самом тяжёлом, нормальном режиме работы.

Для ввода Л-10-02, в Яч.-2 ЗРУ-1, по экономической плотности тока, предварительно был выбран кабель марки АСБ-3*50.

Проводники: уже построенной кабельно-воздушной линии Л-10-02, выполненной кабелями марки ААБ-3*150, АСБ-3*150 и проводом АС-70 (алюминий/сталь, 70/11 мм²), удовлетворяют экономическому сечению проводников.

Для ввода Л-1-5, в Яч.-3 ЗРУ-1 по экономической плотности тока, предварительно был выбран кабель марки АСБ-3*16.

Сечение проводов, уже построенной, воздушной линии Л-1-5, выполненной проводом АС-50 (алюминий/сталь, 50/8 мм²), удовлетворяют экономическому сечению.

Для ввода Л-1-7, в Яч. ЗРУ-1 по экономической плотности тока, предварительно был выбран кабель марки АСБ-3*16.

Сечение проводов, уже построенной, воздушной линии Л-1-7, выполненной проводом АС-50 (алюминий/сталь, 50/8 мм²), удовлетворяют экономическому сечению.

Для ввода Л-10-08, в ЗРУ-1, по экономической плотности тока, предварительно был выбран кабель марки АСБ-3*50.

Проводники: уже построенной кабельно-воздушной линии Л-10-08, выполненной кабелями марки ААБл-3*150 и проводом АС-70 (алюминий/сталь, 70/11 мм²), удовлетворяют экономическому сечению проводников.

После проверки, по предельно допустимому току в ремонтно-аварийном режиме, предварительно выбранных кабелей и существующих проводов ВЛ и кабелей, для Л-10-08 был выбран кабель большего сечения (АСБ-3*35).

Остальные КЛ и ВЛ удовлетворяют экономическому сечению проводников, по состоянию нагрузки на сегодняшний день.

Учитывая дальнейшее развитие данного энергетического района, выбирать кабели для вводов ЗРУ-1, по существующим нагрузкам нецелесообразно. Поэтому в данной работе окончательный выбор марки кабеля, для вновь сооружаемых вводов ЗРУ-1, производился по мощности и количеству ТП, с учётом коэффициента одновременности. По экономической плотности тока в нормальном режиме и дальнейшей проверке по длительно допустимому току в ремонтно-аварийном режиме. По этим параметрам были проверены и уже существующие воздушные и кабельные линии.

На основании проведённых расчётов были сделаны следующие выводы:

Кабельно-воздушная линия Л-10-02 состоящая из: КЛ выполненных кабелем ААБ-3*150, АСБ-3*150 проходит по экономической плотности тока и участков ВЛ выполненных проводом АС-70, не проходит по экономической плотности тока на участке ВЛ выполненной проводом АС-70.

Проверку по предельно допустимому току проводники Л-10-02 выдержали.

Кабельно-воздушная линия Л-17-08 состоит из: участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*150; участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*95; участка ВЛ выполненного проводом АС-70; проходит по экономической плотности тока. Проверку по предельно допустимому току проводники Л-10-08 выдержали.

Кабельно-воздушная линия Л-1-05 состоит из: участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*35, участка ВЛ выполненного проводом АС-50 проходит по экономической плотности тока. Проверку по предельно допустимому току проводники Л-1-05 выдержали.

Кабельно-воздушная линия Л-1-07 состоит из: участка КЛ выполненного кабелем АСБ-3*50, участка ВЛ выполненного проводом АС-50, проходит по экономической плотности тока. Проверку по предельно допустимому току проводники Л-1-07 выдержали.

На основании выше изложенного следует вывод, что линия Л-10-02 на участке выполненном проводом АС-70 нуждается в реконструкции.

На основании расчётов токов трёхфазного КЗ, на концах кабельных вводов, произведена проверка выбранных кабелей по условию термической стойкости току КЗ.

Для повышения надёжности электроснабжения и повышения гибкости схемы, данного энергетического района «ЗРУ-1 РП-17», при реконструкции ЗРУ-1 спроектирована с двумя секциями шин и секционным выключателем.

Расположение I и II секции параллельное. Ячейки расположены задними стенками друг другу. Такая компоновка распределительного устройства облегчит его дальнейшую модернизацию.

На основании расчётов токов трёхфазного КЗ на шинах ЗРУ-1, были приняты к установке ячейки (шкаф) КРУ «Классика» D-12P серийно выпускаемые ООО «ЭТЗ «Вектор» (г. Воткинск) по ТУ 3414-001-81247165-2009 (с силовым выключателем ISM15_LD_1).

В КРУ «Классика» серий D-12P(PT) выключатели, устанавливаются на кассетных выдвижных элементах (КВЭ).

На основании проведённых расчётов токов КЗ нагрузки ТТ и ориентируясь на техническую информацию по КРУ-12-PT ООО «ЭТЗ «Вектор», принимаем к установке измерительные трансформаторы тока серии ТОЛ-10 0,5S/10P-*/5 У2, устанавливающее данное оборудование в шкафы КРУ своего производства.

Выбирая трансформаторы напряжения, будем ориентироваться на техническую информацию по КРУ-12-PT, ООО «ЭТЗ «Вектор» устанавливающее данное оборудование в шкафы КРУ своего производства¹⁷⁵.

После проведения расчетов нагрузок для измерительного трансформатора напряжения. Принимаем к установке два трансформатора напряжения типа НАЛИ-СЭЦ-10_-0,2/0,5/3P. из расчёта по одному на каждую секцию сборных шин.

В качестве основных средств защиты электрооборудования от коммутационных и грозовых перенапряжений, вместо ранее используемых вентильных разрядников, при

¹⁷⁵ Техническая информация КРУ-12-PT ООО «ЭТЗ «Вектор» Раздел 5 Основное встраиваемое оборудование
<https://www.tavrida.com/upload/iblock/192/192bcea7e74b4310cdba459bec427231.pdf>

проектировании, эксплуатации, техническом перевооружении и реконструкции электроустановок, рекомендуется применять ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН), соответствующих классов напряжения.

Выбирая ограничители перенапряжения, будем ориентироваться на техническую информацию по КРУ-12-РТ, ООО «ЭТЗ «Вектор», устанавливающее данное оборудование в шкафы КРУ своего производства.

К установке принимаем ОПН марки «ОПН-РТ/TEL -10/11,5 УХЛ2».

Для электроснабжения основного и вспомогательного оборудования ЗРУ, на основании проведённых расчётов, мощности собственных нужд

ЗРУ-1 и руководствуясь технической информацией по КРУ-12-РТ, ООО «ЭТЗ «Вектор», принимаем к установке к установке два трансформатора собственных нужд марки ТЛС-16 (Трансформатор сухой с литой изоляцией мощностью 16 кВА).

Для выбора ТСН и повышения энергоэффективности здания ЗРУ-1 был проведён его тепловой расчёт. По результатам расчётов был сделан вывод, что для снижения тепловых потерь здания ЗРУ-1, нуждается в утеплении.

Требуемая мощность отопительной установки для не утеплённого здания составляет - 21757 Вт. Требуемая мощность отопительной установки для утеплённого здания составляет - 5508 Вт.

Снижение тепловых потерь снижает, потребление электроснабжения и требуемую мощность ТСНов, и повышает энергоэффективность здания.

Расчёт освещения помещения ЗРУ-1 произведен по методу коэффициента использования светового потока.

На основании расчёта, для освещения помещения ЗРУ-1, принимаем 6 светодиодных светильников, серии ДСП 4001 100Вт 4000К IP65 ИЕК, по 3шт. в ряд, над проходами, между ячеек и стеной ЗРУ.

Суммарная мощность всех ламп, установленных в помещении, составит

$$P_{уст} = 6 \times 100 = 600 \text{ Вт}, \quad \Phi_{уст} = 10 \text{ шт} \times 630 \text{ лм} = 6300 \text{ лм}.$$

Рассчитанная освещенность помещения с помощью выбранного количества светильников составляет 213 лк.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПУЭ-7
 2. РД 153-34.0-20.527-98
 3. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий Тепловая защита зданий»
 4. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»
 5. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»
 6. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
 7. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
 8. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».
 9. Варфоломеев Ю.М, Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: учебник/
Варфоломеев Ю.М, Кокорин О.Я.-Москва: Издательский Дом «Инфра- М», 2010
год.
 10. Л. Д. Рожкова В. С. Козулин Электрооборудование станций и подстанций.
Москва Энергоатомиздат 1987год.
 11. Руководство по эксплуатации «ДИВГ.648228.014 РЭ» «БЛОК
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ БМРЗ»
 12. Руководство по эксплуатации ВВ/TEL-10.
 13. Руководство по эксплуатации ПСЧ-4ТМ.05МК
 14. СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ ОАО "ФСК ЕЭС"
 15. СТО ДИВГ* -058-2017 Методические указания. «Расчет токов коротких замыканий
и замыканий на землю в распределительных сетях.
- (* СТО ДИВГ – шифр для техдокументации ООО «НТЦ «Механотроника» который
разрабатывает и серийно выпускает микропроцессорные устройства релейной
защиты.)
16. Техническая информация КРУ-12-РТ ООО «ЭТЗ «Вектор»
 17. Технические характеристики светильника ДСП 4001 100Вт 4000К
 18. [https://www.iek.ru/products/catalog/svetotekhnika/ulichnoe_i_arhitekturnoe_osveshche
nie/svetilniki_svetodiodnye_konsolnye_dku/dku_1002_d/svetilnik_svetodiodnyy_konso
lnyy_dku_1002_100d_5000k_ip65_seryy_iek](https://www.iek.ru/products/catalog/svetotekhnika/ulichnoe_i_arhitekturnoe_osveshchenie/svetilniki_svetodiodnye_konsolnye_dku/dku_1002_d/svetilnik_svetodiodnyy_konso_lnyy_dku_1002_100d_5000k_ip65_seryy_iek)
 19. [https://www.iek.ru/products/standard_solutions/download/svetovye-pribory-iek---
tablicy-koehfficientov-ispolzovaniya.pdf](https://www.iek.ru/products/standard_solutions/download/svetovye-pribory-iek---tablicy-koehfficientov-ispolzovaniya.pdf)
 20. http://www.energobastion.ru/f/tip_solution/bb_tel_02/shema_1.pdf
 21. <http://audit-energy.ru/d/1396545/d/psch-4tm05mk.pdf>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

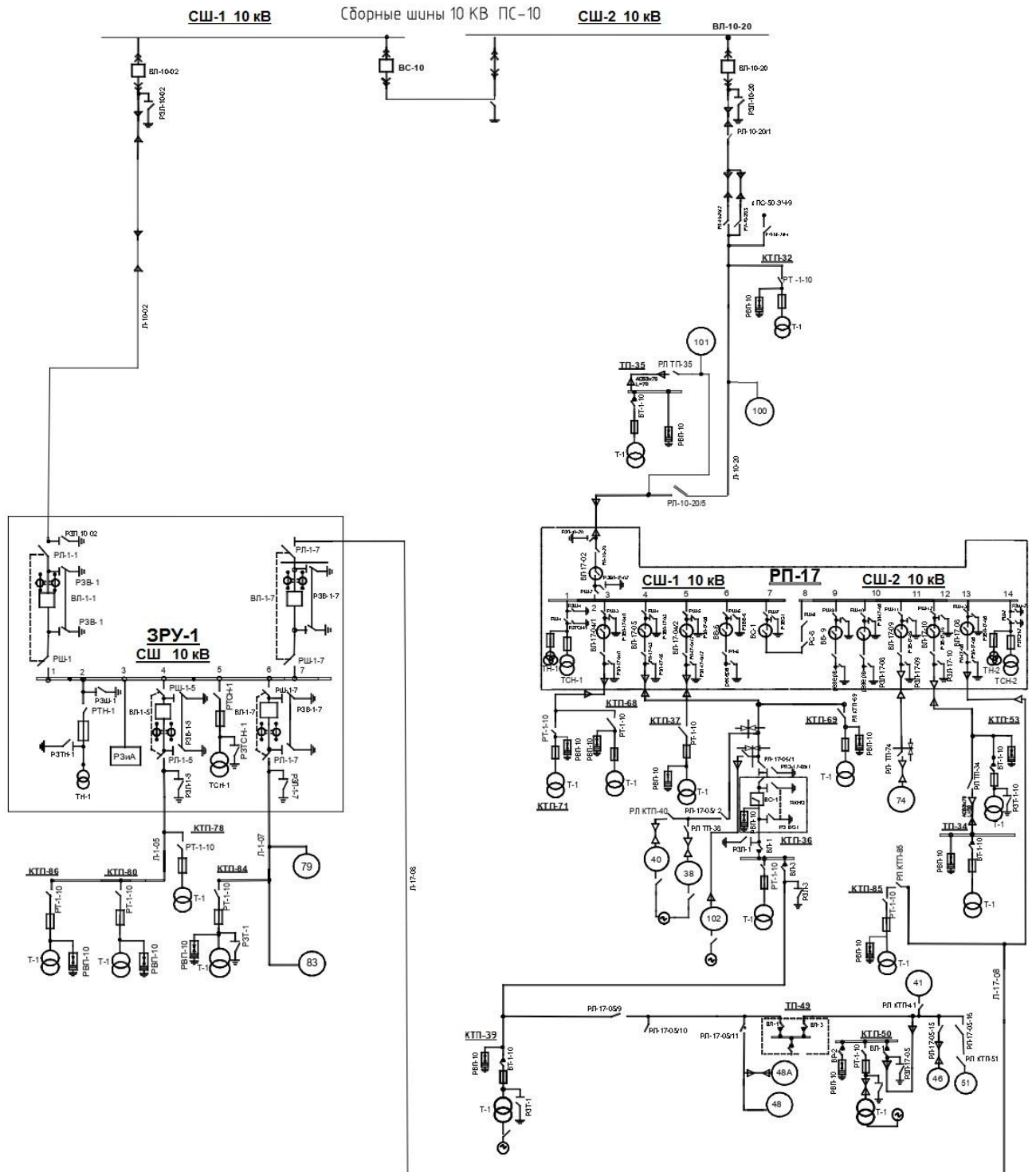


Рис III «Схема электросети 10 кВ «ПС-10 ЗРУ-1 РП-17» до модернизации»

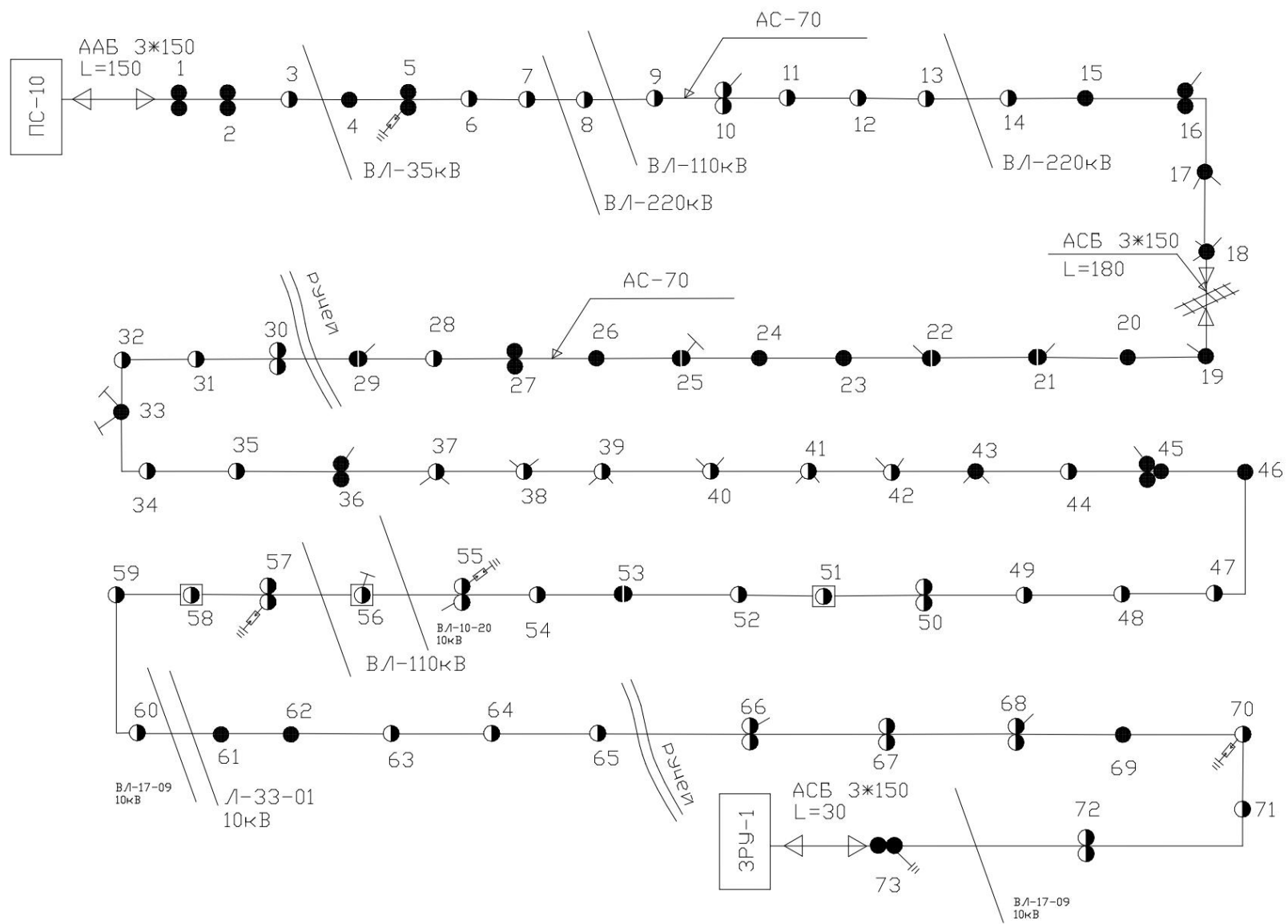


Рис П.1 «Поопорная схема воздушно-кабельной линии Л-10-02».

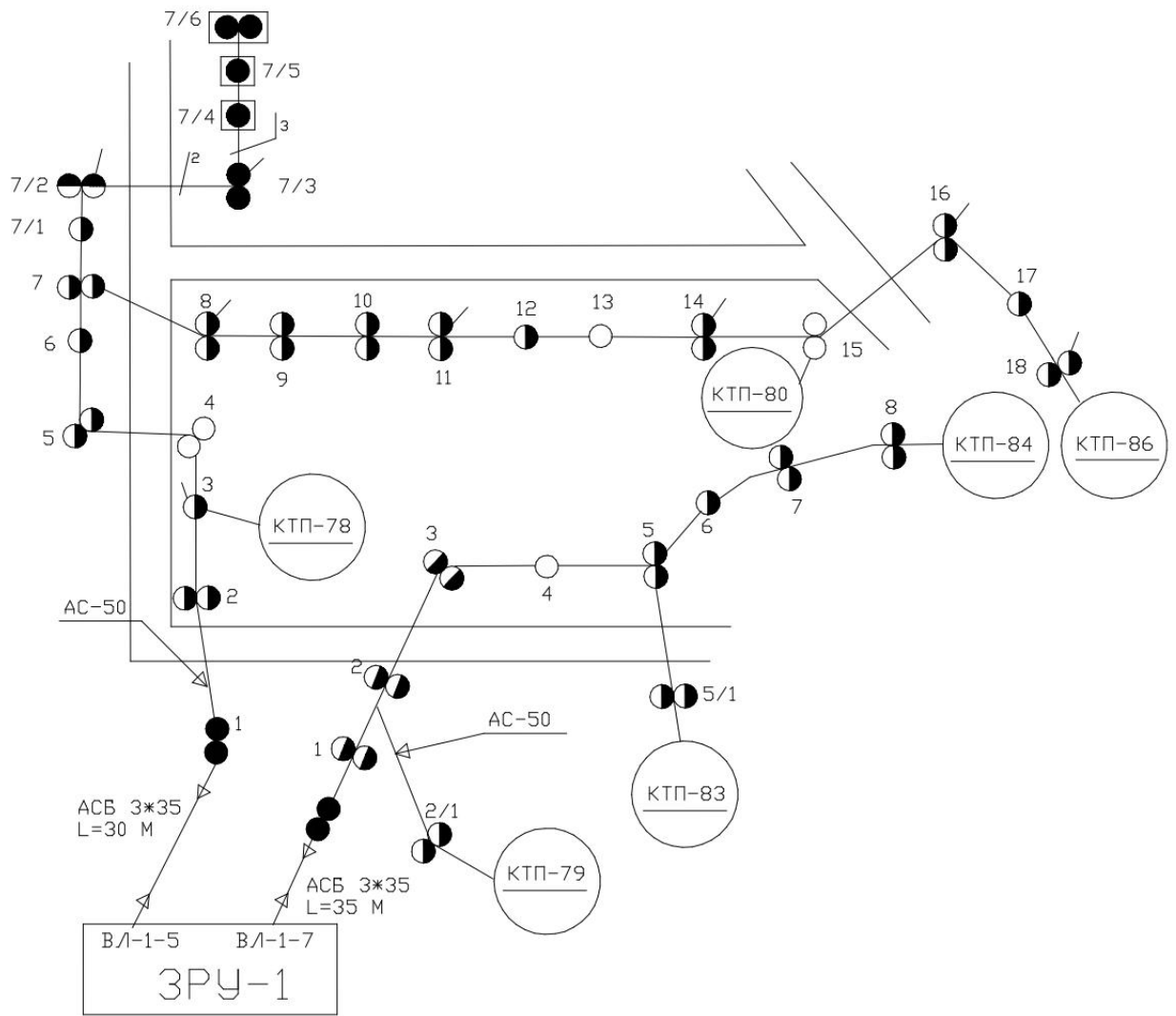


Рис П.1 «Поопорная схема воздушно-кабельных линий Л-1-5 и Л-1-7»

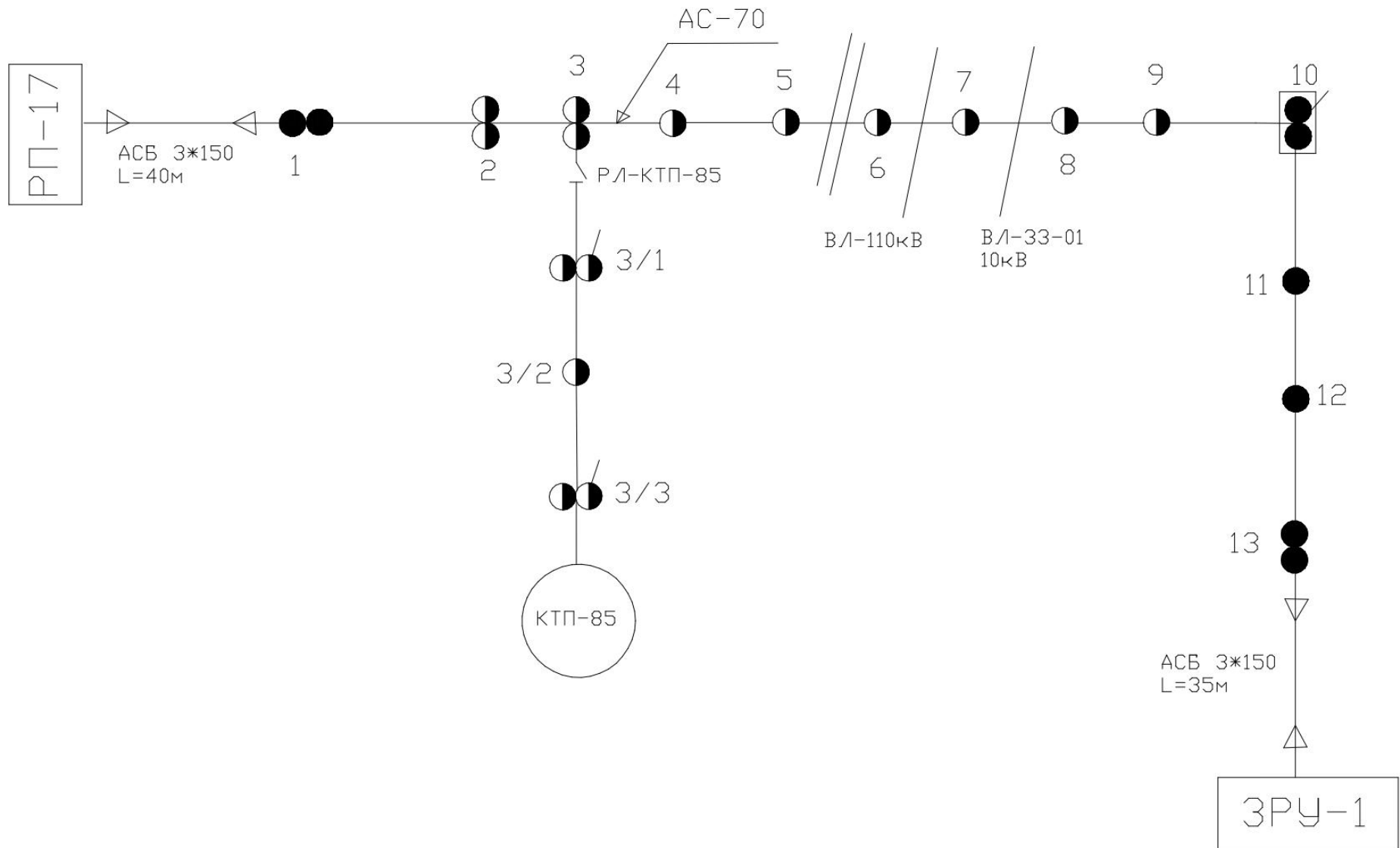


Рис П.1 «Поопорная схема воздушно-кабельных линий Л-17-08».

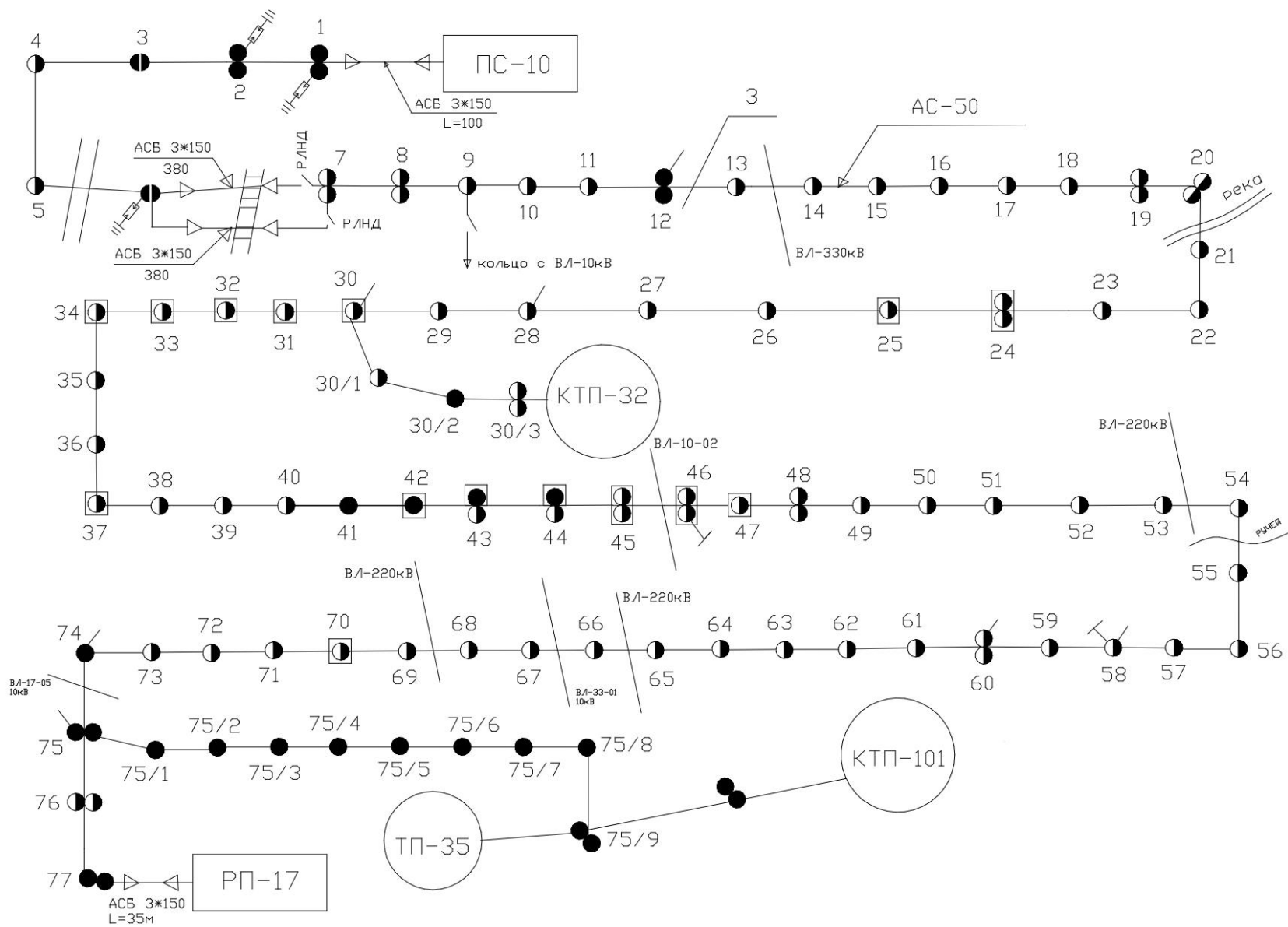


Рис П1 «Поопорная схема воздушно-кабельной линии Л-10-20

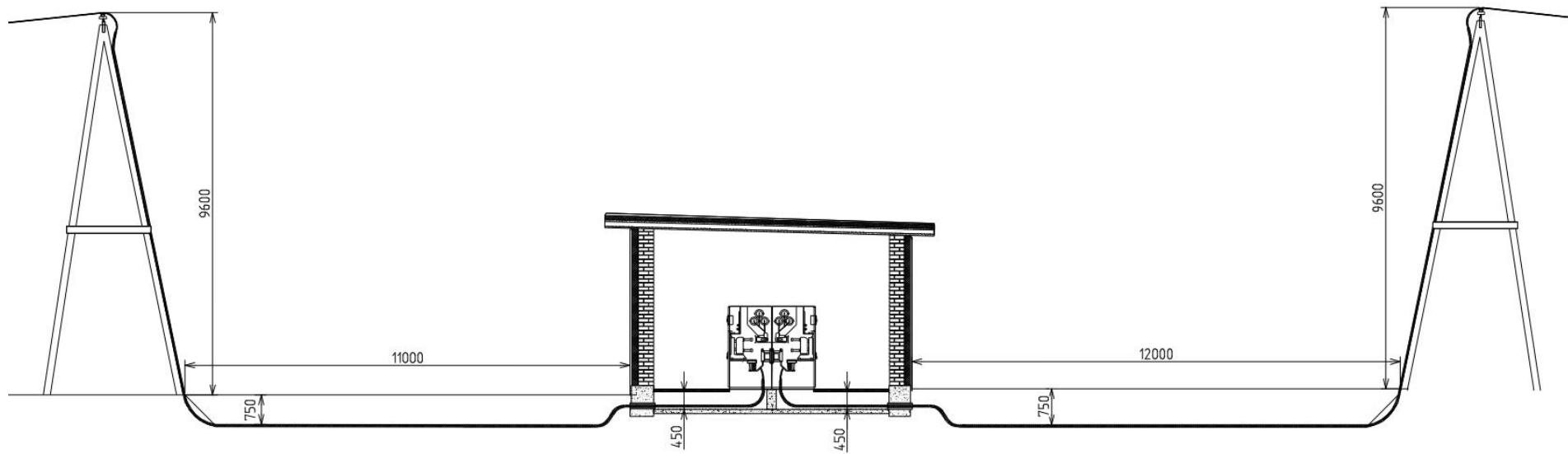


Рис П1. «Поперечный разрез ЗРУ-1 по ячейкам выключателей линий».

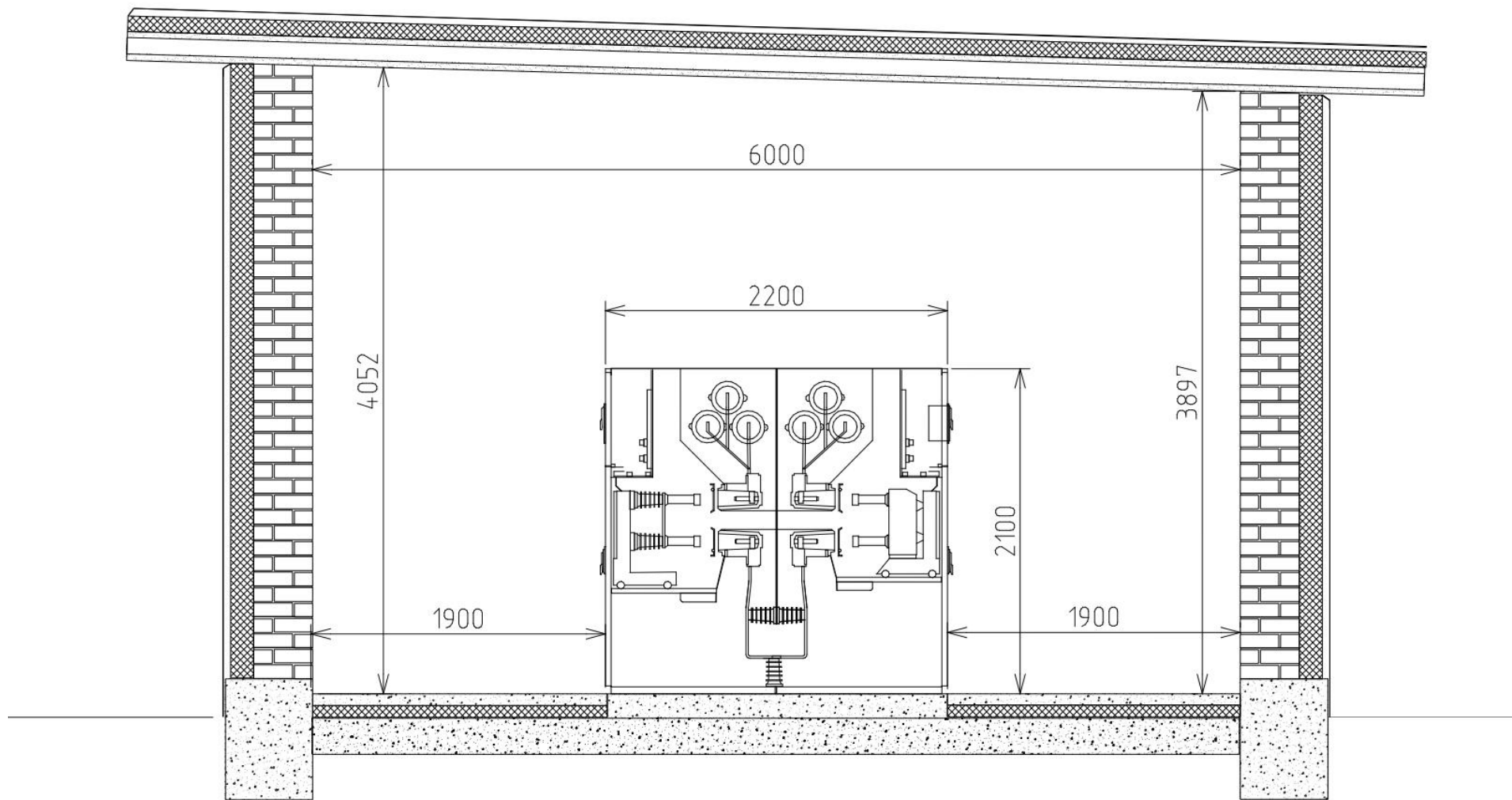


Рис III. «Поперечный разрез ЗРУ-1 по ячейке секционного выключателя и разъединителя».

Приложение 2

Таблица П 2.1. Экономическая плотность тока¹⁷⁶.

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинил-хлоридной изоляцией с жилами:			
медными	3,0	2,5	2,0
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

Таблица П2.2 Среднее число часов использования максимальной нагрузки для различных категорий потребителей и отраслей промышленности.¹⁷⁷

Потребители	T, ч
По категориям потребителей	
Внутреннее освещение городов	1 500-2 500
Наружное освещение городов	2 000-3 600
Промышленные предприятия, работающие:	
1) в одну смену	2 000-3 000
2) в две смены	3 000-4 500
3) в три смены	4 500-7 000
По отраслям промышленности	
Металлургическая	6500
Химическая	6200
Горнорудная	5000
Машиностроительная	4000
Бумажная	5500
Пищевая	5000
Полиграфическая	3000
Текстильная	4500
Обувная	3000
Деревообрабатывающая	2500
Холодильная	4000

¹⁷⁶ ПУЭ п.1.3.27 Таблица 1.3.36.

¹⁷⁷ https://www.websor.ru/vjbor_po_ekonom_plotnosti.html

Таблица П2.3 Коэффициенты одновременности для суммирования электрических нагрузок в сетях 6 - 20 кВ¹⁷⁸

Количество ТП	2	3	5	10	20	25 и более
Коэффициент одновременности (КО)	0,9	0,85	0,8	0,75	0,70	0,65

Таблица П2.4 Расчётные характеристики кабелей с бумажной изоляцией¹⁷⁹.

Сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление прямой последовательности $X_{1уд}$ и емкостная проводимость $b_{уд}$ кабеля напряжением, кВ							
			6		10		20		35	
	Медь	Алюминий	$X_{1уд}$, Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См·км	$X_{1уд}$, Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См·км	$X_{1уд}$, Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См·км	$X_{1уд}$, Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См·км
10	1,84	3,1	0,11	62,8	—	—	—	—	—	—
16	1,15	1,94	0,102	72,2	0,113	—	—	—	—	—
25	0,74	1,24	0,091	88	0,099	72,2	0,135	53,5	—	—
35	0,52	0,89	0,087	97,2	0,095	85	0,129	60	—	—
50	0,37	0,62	0,083	114	0,09	91	0,119	66	—	—
70	0,26	0,443	0,08	127	0,086	97,5	0,116	75,5	0,137	56,5
95	0,194	0,326	0,078	134	0,083	110	0,110	81,5	0,126	63
120	0,153	0,258	0,076	146	0,081	116	0,107	100	0,120	75,5
150	0,122	0,206	0,074	162	0,079	138	0,104	110	0,116	81,5
185	0,099	0,167	0,073	169	0,077	141	0,101	119	0,113	88
240	0,077	0,129	0,071	185	0,075	144	—	—	—	—
300	0,061	0,103	—	—	—	—	0,095	—	0,097	—
400	0,046	0,077	—	—	—	—	0,092	—	—	—

Таблица П2.5 Расчетные параметры проводов марок АС, АСКП, АСКС, АСК¹⁸⁰

Номинальное сечение, мм ²	Расчетные параметры проводов марок АС, АСКП, АСКС, АСК										
	Сечение алюминий/сталь, мм ²	Диаметр, мм		Электрическое сопротивление 1 км провода постоянному току при 20 °С, Ом, не более	Разрывное усилие, Н, не менее	Масса 1 км провода, кг					
		провода	стального сердечника			алюминиевой части	стального сердечника	провода без смазки	Смазки для проводов марок		Смазки / пленки для провода марки АСК
(10/1,8)	10,6/1,77	4,5	1,5	2,7064	4089	28,9	13,8	42,7	1,0	1,0	
(16/2,7)	16/2,69	5,6	1,9	1,7818	6220	44,0	20,9	64,9	1,0	1,0	-/0,56
(25/4,2)	24,9/4,15	6,9	2,3	1,1521	9296	67,9	32,4	100,3	1,5	1,5	-/0,56
(35/6,2)	36,9/6,15	8,4	2,8	0,7774	13524	100,0	48,0	148,0	2,5	2,5	-/0,84
40/6,7	40/6,7	8,74	2,91	0,7172	14400	-	-	161,3	-	-	-
(50/8,0)	48,2/8,04	9,6	3,2	0,5951	17112	132,0	63,0	195,0	3,0	3,0	-/0,84
63/10,5	63/10,5	10,97	3,66	0,4553	21630	-	-	254,0	-	-	-
(70/11)	68/11,3	11,4	3,8	0,4218	24130	188,0	88,0	276,0	4,5	4,5	1/1,12
(70/72)	68,4/72,2	15,4	11,0	0,4194	96826	188,0	567	755,0	38,0	38,0	19/3

¹⁷⁸ РД 34.20.178. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ

¹⁷⁹ РД 153-34.0-20.527-98 Таблица П.8

¹⁸⁰ ПРОВОДА НЕИЗОЛИРОВАННЫЕ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ Технические условия ГОСТ 839-80

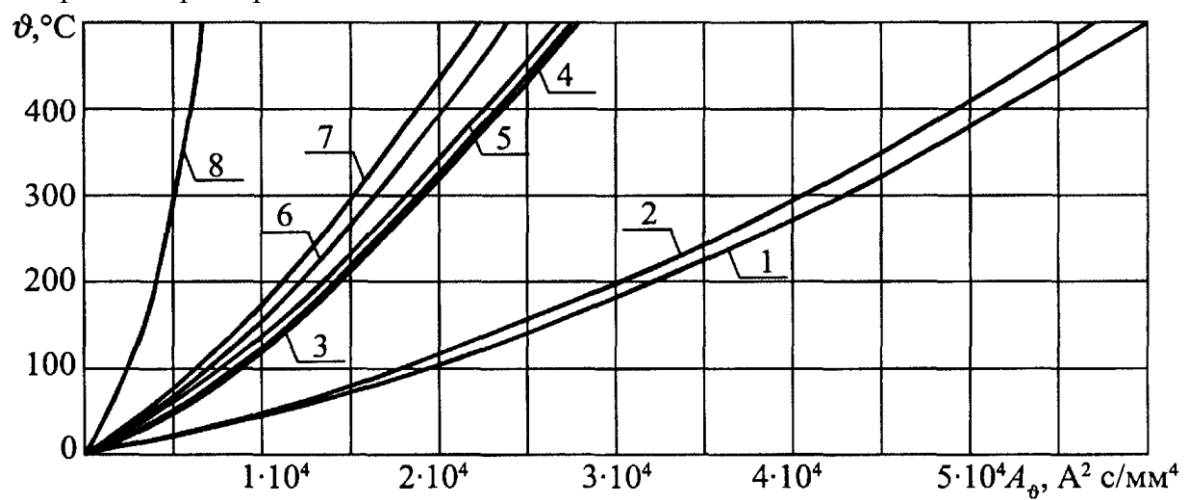
Номинальное сечение, мм ²	Расчетные параметры проводов марок АС, АСКП, АСКС, АСК										
	Сечение алюминий/сталь, мм ²	Диаметр, мм		Электрическое сопротивление 1 км провода постоянному току при 20 °С, Ом, не более	Разрывное усилие, Н, не менее	Масса 1 км провода, кг					
		провода	стального сердечника			алюминиевой части	стального сердечника	провода без смазки	Смазки для проводов марок		Смазки / пленки для провода марки АСК
									АСК С	АСК П	
(95/16)	95,4/15,9	13,5	4,5	0,3007	33369	261,0	124	385,0	6,0	6,0	-/1,4
(95/141)	91,2/141	19,8	15,4	0,3146	180775	251,0	1106	1357,0	69,0	63,0	25/4
100/16,7	100/16,7	13,82	4,61	0,2868	34333	-	-	403,2	-	-	-
(120/19)	118/18,8	15,2	5,6	0,2440	41521	324,0	147,0	471,0	11,0	35,0	9/2
(120/27)	114/26,6	15,4	6,6	0,2531	49465	320,0	208,0	528,0	14,0	37,0	12/2

Таблица П2.6 Значение постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ и ударного коэффициента.¹⁸¹

Элементы и части энергосистемы	T _а , с	K _у
Турбогенераторы мощностью:		
12-60 МВт	0,16-0,25	1,94-1,955
100-1000 МВт	0,4-0,54	1,975-1,98
Блоки, состоящие из турбогенератора мощностью 60 МВт и трансформатора (на стороне ВН), при номинальном напряжении генератора:		
6,3 кВ	0,2	1,95
10 кВ	0,15	1,935
Блоки, состоящие из турбогенератора и повышающего трансформатора, при мощности генераторов:		
100-200 МВт	0,26	1,965
300 МВт	0,32	1,977
500 МВт	0,35	1,983
800 МВт	0,3	1,967
Система, связанная с шинами, где рассматривается к.з., воздушными линиями напряжением:		
35 кВ	0,02	1,608
110-150 кВ	0,02-0,03	1,608-1,717
220-330 кВ	0,03-0,04	1,717-1,78
500-750 кВ	0,06-0,08	1,85-1,895
Система, связанная со сборными шинами 6-10 кВ, через трансформаторы мощностью:		
80 МВА в единице и выше	0,06-0,15	1,85-1,935
32-80 МВА в единице	0,05-0,1	1,82-1,904
Ветви, защищенные реактором с номинальным током:		
1000 А и выше	0,23	1,956
630 А и ниже	0,1	1,904
Распределительные сети напряжением 6-10 кВ.	0,01	1,369

¹⁸¹ Л. Д. Рожкова В. С. Козулин Электрооборудование станций и подстанций. Москва Энергоатомиздат 1987год. Таблица 3.8. §3.3, стр.150.

Рисунок П2.7. Кривые для определения температуры нагрева проводников из различных материалов при коротких замыканиях.¹⁸²



Материалы проводников: 1-ММ; 2-МТ; 3-АМ; 4-АТ; 5-АДО, АСТ; 6-АДЗ1Т1; 7-АДЗ1Т; 8-Ст.

¹⁸² РД 153-34.0-20.527-98. Рисунок 8.8.

Таблица П.2.7 Технические характеристики трансформатора тока ТОЛ-10*.

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10 или 11
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальная частота переменного тока, Гц	50-60
Номинальный вторичный ток, А	1;5
Номинальный первичный ток, А	10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000
Число вторичных обмоток	2 или 3
Класс точности:	
вторичной обмотки для измерений	0,5; 0,5S, 0,2; 0,2S
вторичной обмотки для защиты	10P
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos\varphi = 0,8$, ВА	
вторичной обмотки для измерений	до 30
вторичной обмотки для защиты	15
Номинальная предельная кратность вторичной обмотки для защиты, не менее	10
Односекундный ток термической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А:	
50	4,9
100	9,7
150	12,5
200	17,5
300-2000	31,5
2500	61
3000	61
Ток электродинамической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А:	
50	17,5
100-200	52
300-2000	100
2500	152,5
3000	152,5
Испытательное напряжение, кВ:	
одноминутное промышленной частоты	42
грозового импульса полного	75

*Расшифровка маркировки:

Т — трансформатор тока;

П — проходной (отсутствие буквы П указывает на то, что трансформатор опорный);

О — одновитковый;

Л — с литой смоляной изоляцией;

Таблица П.2.8 Основные параметры трансформаторов трехфазной группы

Наименование параметра	Значение параметра	
	НАЛИ-СЭЩ-6-1 (4, 6, 11, 14, 16)	НАЛИ-СЭЩ-10-1 (4, 6, 11, 14, 16)
	3xНОЛ-СЭЩ-6-2 + ТНП-СЭЩ-3	3xНОЛ-СЭЩ-10-2 + ТНП-СЭЩ-6
1	2	3
1 Класс напряжения по ГОСТ 1516.3-96, кВ	6	10
2 Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12
3 Номинальное линейное напряжение на вводах первичной обмотки, В	6000 6300 6600 6900	10000 10500 11000
4 Номинальное линейное напряжение на вводах основных вторичных обмоток, В	100	
5 Напряжение на вводах цепей, предназначенных для контроля изоляции: - при симметричном номинальном первичном фазном напряжении, В, не более, - при приложенном симметричном линейном напряжении, и последующем замыкании одной из фаз на землю, В	3 90 – 110	
6 Номинальная мощность обмоток цепей контроля изоляции*, В·А	30	
7 Классы точности основных вторичных обмоток	0,2; 0,5; 1,0; 3,0	
8 Класс точности дополнительных вторичных обмоток	3, 3Р, 6Р	
9 Номинальная трехфазная мощность основных вторичных обмоток при измерении линейных напряжений и симметричной нагрузке*, В·А в классе точности:	0,2 5, 10, 15, 25, 30, 45, 50, 60, 75 0,5 5, 10, 15, 25, 30, 45, 50, 60, 75, 90, 100, 150, 200, 225 1,0 150, 225, 300, 450 3,0 450, 600, 900	
10 Предельная трехфазная мощность обмоток, В·А - первичной - вторичной основной - с одной основной обмоткой - с двумя вторичными обмотками - вторичной дополнительной - вторичной ТНП-СЭЩ	1000 900 450 100 или 200 100	
11 Схема и группа соединения обмоток: - измерительных трансформаторов - с одной основной обмоткой - с двумя основными обмотками - трансформатора ТНП-СЭЩ	Y _n /Y _n /π-0 Y _n /Y _n /Y _n /π-0-0 1/1-0	
12 Номинальное напряжение первичной обмотки ТНП-СЭЩ, В	3000/√3	6000/√3

13 Номинальное напряжение вторичной обмотки ТНП-СЭЩ, В	$100/\sqrt{3}$
14 Номинальная частота, Гц	50 или 60**
15 Масса группы, кг, не более	110 (115***)

Таблица П.2.9 Значение емкостного тока кабельной линии с бумажной изоляцией¹⁸³.

Сечение жил кабеля мм ²	Удельное значение емкостного тока I _C , А/км при напряжении сети	
	6 кВ	10 кВ
16	0,40	0,55
25	0,50	0,65
35	0,58	0,72
50	0,68	0,80
70	0,80	0,92
95	0,90	1,04
120	1,00	1,16
150	1,18	1,30
185	1,25	1,47
240	1,45	1,70

Таблица П.2.10 Теплопроводность материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Теплопрово- дность, Вт/(м*С)			
			Минвата	100	0.056
			Минвата	50	0.048
			Пенополистирол	33	0.031
			Пенополистирол экструдированный	45	0.036
			Пенополистирол	150	0.05
Железобетон	2500	1.69	Пенополистирол	100	0.041
Бетон	2400	1.51	Пенополистирол	40	0.038
Керамзитобетон	1800	0.66	Пенопласт ПВХ	125	0.052
Керамзитобетон	500	0.14	Пенополиуретан	80	0.041
Кирпич красный глиняный	1800	0.56	Пенополиуретан	60	0.035
Кирпич, силикатный	1800	0.70	Пенополиуретан	40	0.029
Кирпич керамический пустотелый (брутто1400)	1600	0.41	Пенополиуретан	30	0.020
Кирпич керамический пустотелый (брутто1000)	1200	0.35	Керамзит	800	0.18
Пенобетон	1000	0.29	Керамзит	200	0.10
Пенобетон	300	0.08	Песок	1600	0.35
Гранит	2800	3.49	Пеностекло	400	0.11
Мрамор	2800	2.91	Пеностекло	200	0.07
Сосна, ель поперек волокон	500	0.09	Ацп	1800	0.35
Дуб поперек волокон	700	0.10	Битум	1400	0.27
Сосна, ель вдоль волокон	500	0.18	Полиуретановая мастика	1400	0.25
Дуб вдоль волокон	700	0.23	Полимочевина	1100	0.21
Фанера клееная	600	0.12	Рубероид, пергамин	600	0.17
Дсп, осп	1000	0.15	Полиэтилен	1500	0.30
Пакля	150	0.05	Асфальтобетон	2100	1.05
Гипсокартон	800	0.15	Линолеум	1600	0.33
Картон облицовочный	1000	0.18	Сталь	7850	58
Минвата	200	0.070	Алюминий	2600	221
			Медь	8500	407
			Стекло	2500	0.76

¹⁸³ <https://raschet.info/raschet-ustavok-sinhronnogo-dvigatelja-moshhnostju-800-kvt/>

Таблица П.2.11 Коэффициент использование светового потока для светильника ДСП 4001 КПД 100%¹⁸⁴.

i	ρ						
	80	80	70	50	50	30	0
	80	50	50	50	30	30	0
	30	30	20	10	10	10	0
0,4	0,32	0,13	0,12	0,12	0,08	0,08	0,04
0,6	0,54	0,28	0,26	0,25	0,18	0,18	0,11
0,8	0,70	0,41	0,40	0,37	0,30	0,29	0,22
1	0,81	0,50	0,49	0,46	0,38	0,36	0,29
1,2	0,87	0,60	0,56	0,52	0,43	0,44	0,34
1,5	0,94	0,67	0,63	0,58	0,51	0,51	0,42
2	0,98	0,74	0,69	0,63	0,56	0,54	0,46
2,5	1,04	0,84	0,75	0,70	0,64	0,61	0,55
3	1,09	0,89	0,81	0,73	0,68	0,66	0,58
4	1,11	0,92	0,83	0,77	0,72	0,70	0,62
5	1,15	0,99	0,89	0,82	0,77	0,76	0,68

Технические характеристики светильника ДСП 4001 100Вт 4000К¹⁸⁵

Тип лампы:	Светодиод. источник света (LED)
Мощность лампы:	100 Вт
Световой поток:	10000 лм
Цветовая температура:	4000 К
Материал корпуса:	Алюминий
Класс защиты:	I
Степень защиты - IP:	IP65
Температура эксплуатации:	-20...+40 °С
Высота или глубина:	75.0 мм
Диаметр:	276 мм
Номин напряжение:	230 В
Тип монтажа:	Подвесной
Материал отражателя:	Стекло
Средн номин срок службы:	50000 ч
Частота:	50 Гц
Коэф пульсации светового потока:	5 процентов
Индекс цветопередачи - Ra:	80-89 (класс 1B)
Угол раскрытия светового потока:	110 град

¹⁸⁴ https://www.iek.ru/products/standard_solutions/download/svetovye-pribory-iek--tablicy-koehfficientov-ispolzovaniya.pdf

¹⁸⁵ https://www.iek.ru/products/catalog/svetotekhnika/promyshlennoe_osveshchenie/svetilniki_dlya_vysokikh_prolet_ov/svetilniki_dsp_4001_4006/svetilnik_svetodiodnyy_dsp_4001_100vt_4000k_ip65_alyuminiy_iek

