

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы внешнего электроснабжения производства СБСК ООО  
«Тольяттикаучук»

Обучающийся

О.Н. Уздимаев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

## Аннотация

Темой выпускной квалификационной работы является «Реконструкция системы внешнего электроснабжения производства СБСК ООО «Тольяттикаучук»».

При планировании расширения производства бутилкаучука на предприятии были сформулированы требования, обязательные к исполнению при реконструкции сопутствующей энергетической инфраструктуры:

- обеспечение требований к надежности электроснабжения основных электроприемников, запитанных от распределительного устройства;
- запас по передаваемой мощности, способный удовлетворить выросшие объемы как при самом расширении производства, так и планируемое расширение в будущем;
- проверка устанавливаемых в распределительном устройстве аппаратов на термическую и электродинамическую устойчивость к максимально возможным значениям токов ненормальных режимов;
- обеспечение защиты электрооборудования путем использования передовых микропроцессорных устройств защиты, обладающих улучшенными характеристиками;
- выбор при проведении реконструкции устройства решений, обладающих технико-экономическими преимуществами по сравнению с известными и доступными аналогами.

Учет этих требований на всех этапах проектирования обновленного высоковольтного распределительного устройства позволил получить надежный элемент системы электроснабжения предприятия, способный обеспечить надежное электроснабжение ЭП, достаточный запас по пропускной способности и обладающий конкурентными преимуществами.

Объем работы составил 44 страницы пояснительной записки в которую входят 7 рисунков и 2 таблицы. Графическая часть работы состоит из 6 чертежей А1, выполненных в современных САПР.

## Содержание

Введение.....	4
1 Общая характеристика производственного объекта .....	6
2 Выбор схемы внутризаводского электроснабжения .....	11
3 Расчет токов КЗ .....	13
4 Выбор и проверка электрических аппаратов .....	19
4.1 Выбор высоковольтных выключателей в питающих ячейках ГПП .....	19
4.2 Выбор высоковольтных выключателей на отходящих к ТП линиях ....	23
4.3 Выбор и проверка измерительных ТТ на вводе в высоковольтный РП	27
4.4 Выбор и проверка измерительных ТТ на отходящих от высоковольтного РП линиях.....	29
4.5 Выбор и проверка измерительных ТН для подключения к шинам высоковольтного РП.....	32
5 Выбор микропроцессорных устройств РЗ для высоковольтного РП .....	35
6 Выбор типа системы оперативного тока в распределительном пункте .....	37
7 Определение нагрузок собственных нужд РП .....	38
8 Определение параметров защитного заземления .....	39
Заключение .....	41
Список используемых источников.....	43

## Введение

Электроэнергетическая отрасль обладает рядом особенностей, которые отличают ее от других отраслей и накладывают некоторые ограничения на ее функционирование [1, 2, 3]:

- единовременное производство электрической энергии на электростанциях, ее трансформация в более высокие классы напряжения, передача по проводам линий электропередач, зачастую на значительные расстояния, трансформация на более низкие классы напряжений, потребление электроприемниками предприятий;

- процессы которые протекают в системе электроснабжения могут быть как длительными (суточные изменения нагрузки, старение изоляции и т.д.), так и очень быстротечными и занимать всего лишь десятые или тысячные доли секунды (короткие замыкания, пробой изоляции и т.д.);

- электроэнергетика является основой функционирования всех других отраслей, без нее невозможна нормальная и продолжительная работа не одного промышленного производства.

Перечисленные факторы привели к возникновению определенных требований, предъявляемых к системам электроснабжения:

- применение для защиты электрооборудования специальных устройств защиты и коммутации, способных точно определять и прерывать ненормальные режимы функционирования электроприемников и аварийные процессы в самой системе электроснабжения;

- различные электроприемники используемые в технологическом процессе и условия эксплуатации потребовали разработки различных схемных и конструктивных решений реализации систем электроснабжения предприятий;

- в последние годы все более важной становится способность системы электроснабжения трансформироваться вслед за изменяющейся конфигурацией технологического процесса на современном предприятии.

Условно принято делить электроприемники по следующим признакам:

- величине номинальной мощности отдельного ЭП;
- уровню номинального напряжения на работу при котором рассчитан ЭП;
- род тока электроприемника, переменный или постоянный;
- в зависимости от важности выполняемых функций и способности оказывать влияние на жизнь и здоровье людей ЭП делятся на категории по надежности электроснабжения, что сказывается на требованиях к их источникам питания;
- режимам функционирования электроприемников, что влияет на методику расчетов.

Учет этих особенностей делает каждую систему электроснабжения неповторимой и приспособленной только к данному конкретному предприятию, ее перенос без изменений конфигурации и состава электроприемников на другое даже однотипное предприятие становится невозможным.

Цель ВКР заключается в проектировании вместо устаревшего высоковольтного РП новой электроустановки, снабженной современными устройствами коммутации и защиты, способными обеспечить бесперебойное электроснабжение ответственных потребителей производства бутылкаучука после расширения.

Задачи ВКР заключаются в проведении расчетов ожидаемых нагрузок по расширяемому производству, выборе коммутационных аппаратов по номинальным параметрам и их проверка на устойчивость к негативному воздействию токов коротких замыканий, а также выбор состава и элементов сопутствующих систем в РП 6 кВ.

## 1 Общая характеристика производственного объекта

«Основной продукцией «Тольяттикаучук» являются синтетические каучуки различных марок. Также предприятие производит углеводородные фракции, продукты органического и неорганического синтеза, мономеры, полимеры, присадки для автомобильных бензинов:

- Сополимерный каучук. Применяется в шинной, резинотехнической и других отраслях промышленности;

- Изопреновый каучук. Используется для изготовления шин и резинотехнических, медицинских изделий, резин, соприкасающихся с пищевыми продуктами.

- Бутилкаучук. Находит применение при изготовлении автокамер, диафрагм форматоров-вулканизаторов и прорезиненных тканей, изделий медицинского и пищевого назначения, в строительной промышленности.

- Метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ). Кислородсодержащая добавка, применяется в качестве высокооктанового компонента для получения неэтилированных, экологически чистых бензинов.

- Добавка высокооктановая метанольная (ДВМ). Применяется в качестве присадки к автомобильным бензинам (до 55% объема)» [4].

Поскольку электроприемники химического производства представляют опасность при их неправильном функционировании или незапланированной остановке при перерыве электропитания, то большая часть из них относится к первой категории по надежности электроснабжения и требует применения двух независимых источников питания. Расширение производства вызывает и рост потребляемых электрических нагрузок, увеличение числа и разнообразия электроприемников с различными режимами работы, которые способны оказывать существенное влияние на работу смежных ЭП.

Ориентировочный перечень ЭП, которые будут введены в эксплуатацию при расширении производства приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Ориентировочный перечень ЭП, которые будут введены в эксплуатацию при расширении производства

Перечень вновь вводимых ЭП на производстве	Кол-во, шт	$P_{ном1шт}$ , кВт
<p>Высоковольтные ЭП, вводимые в эксплуатацию при расширении производства</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- производственный цех БК №8. Центробежный компрессор Blue-C Baker Hughes</li> <li>- производственный цех БК №4. Центробежный компрессор Blue-C Baker Hughes</li> <li>- номинальная мощность группы ЭП <math>P_{ном.сум.}</math></li> <li>- расчетное максимальное значение нагрузки <math>P_{макс.}</math></li> </ul>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>1250</p> <p>800</p> <p>2050</p> <p>1743</p>
<p>Низковольтные ЭП, вводимые в эксплуатацию при расширении производства</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- трансформаторная подстанция №45 производственного цеха БК №6, участок дегазации</li> <li>- дегазатор STEP Oiltools</li> <li>- насосные установки Grundfos Multilift MD 32.3.2</li> <li>- номинальная нагрузка <math>P_{ном.сум.ЩСУ1}</math></li> <li>- номинальная нагрузка <math>P_{ном.сум.ЩСУ2}</math></li> <li>- расчетное максимальное значение нагрузки <math>P_{макс.ЩСУ1}</math></li> <li>- расчетное максимальное значение нагрузки <math>P_{макс.ЩСУ2}</math></li> </ul>	<p>1</p> <p>2</p>	<p>55</p> <p>40</p> <p>80</p> <p>55</p> <p>34</p> <p>33</p>

Продолжение таблицы 1

Перечень вновь вводимых ЭП на производстве	Кол-во, шт	$P_{\text{ном1шт}}$ , кВт
- трансформаторная подстанция №45 производственного цеха БК №5, участок полимеризации		
- полимеризатор POLYMAX-1	2	172
- полимеризатор POLYMAX-3	6	222
- номинальная мощность группы ЭП $P_{\text{ном.сум.}}$		1676
- расчетное максимальное значение нагрузки $P_{\text{макс.}}$		1341
- трансформаторная подстанция №118 производственного цеха БК №6, участок дегидратации и упаковки эластичного продукта		
- пресс-экструдер отжимной SJ-50	1	161
- конвейерная сушильная установка СД-150	1	75
- конвейер передаточный КСП-40	1	5,5
- распределительная конвейерная установка	1	4
- питатель прессы ОГМ-15	2	5,5
- автоматические весы Mettler Toledo	1	2
- брикетировочный пресс ПБ-1	2	49
- конвейерная установка для брикетов	10	0,4
- детектор металлов Garrett ACE 400i	1	0,55
- контрольные весы PCE Instruments	1	0,55
- упаковочная в пленку машина Hualian Machinery	1	5
- экструдер ES-500 AVTO	1	497
- компрессорная установка	1	55,4
- смесительная установка	1	30



Продолжение таблицы 1

Перечень вновь вводимых ЭП на производстве	Кол-во, шт	$P_{\text{ном1шт}}$ , кВт
- насосные установки Grundfos Multilift MD 32.3.2	4	40
- вентиляционная установка Breezart 3700 Lux	1	5,5
- вентиляционная установка Breezart 1200	1	0,75
Итоговые значения:		
- номинальная нагрузка $P_{\text{ном.сум.6кВ}}$	-	2050
- номинальная нагрузка $P_{\text{ном.сум.0,4кВ}}$	-	2926
- расчетное максимальное значение нагрузки $P_{\text{макс.6кВ}}$	-	1743
- расчетное максимальное значение нагрузки $P_{\text{макс.0,4кВ}}$	-	2300
Расчетный коэффициент загрузки СТ:		
T1 трансформаторной подстанции №45	-	0,34
T2 трансформаторной подстанции №45	-	0,5
T1 трансформаторной подстанции №118	-	0,16
T2 трансформаторной подстанции №118	-	0,37
Расчетное значение коэффициента мощности $tg\varphi$	-	0,88
Расчетное значение коэффициента мощности $tg\varphi_c$ учетом устройств компенсации	-	0,4
Мощность КУ, квар	-	925
Годовое потребление электрической энергии электроприемниками различных классов напряжения, МВт·ч:		
- высоковольтными	-	14390
- низковольтными	-	19000

Выводы по разделу: дана краткая характеристика выпускаемой продукции, приведены сведения о вновь устанавливаемом электрооборудовании и вызванном из-за этого, росте электрических нагрузок на производстве.

Так, согласно расчетам, мощность высоковольтных электроприемников увеличивается на 1,74 МВт, мощность низковольтных электроприемников возрастает на 2,3 МВт.

Поскольку рост реактивной нагрузки составляет значительную долю в полной мощности вновь устанавливаемых электроприемников, то предусматривается размещение автоматических устройств компенсации реактивной мощности.

На цеховых подстанциях предусматривается установка трансформаторов большей мощности для обеспечения нормальной работы при возросших нагрузках и запаса на предусмотренное долгосрочным планом развития расширение производства.

## 2 Выбор схемы внутриводского электроснабжения

Система внутриводского электроснабжения стыкуется с системой внешнего электроснабжения [2].

Рассматриваемый высоковольтный распределительный пункт на номинальное напряжение 6 кВ запитывается от ГПП4 предприятия при помощи двух кабелей марки АСБГ-3х(3х185). Территориально проектируемый высоковольтный РП будет размещаться в помещении цеха БК №8.

Система электроснабжения потребителей от высоковольтного РП будет построена по радиальному принципу и состоять из двух ступеней. В первую ступень войдут линии на номинальное напряжение 0,4 кВ от производственных электроприемников до цеховых трансформаторных подстанций или низковольтных распределительных пунктов. Ко второй ступени будут относиться линии напряжением 6 кВ от цеховых трансформаторных подстанций до проектируемого высоковольтного РП. Помещение РП будет укомплектовано 24 ячейками распределительного устройства высокой заводской готовности модели UniGear, снабженное выкатными ячейками с установленными на них вакуумными выключателями.

Схема РП представляет собой секционированную на две секции секционным выключателем системы шин с длительным током 3,15 кА.

Планируется установка в проектируемом РП современных коммутационных аппаратов, хорошо зарекомендовавших себя на других электроэнергетических объектах завода, а именно вакуумных выключателей фирмы АВВ, устройств БАВР, обеспечивающих минимальное время перерыва питания при переключении питания на резервный источник, а также микропроцессорных устройств релейной защиты фирмы АВВ.

«Питание трансформаторных подстанций от распределительного устройства осуществляется по радиальным линиям. При проектировании системы электроснабжения планируется обеспечение требуемой надежности электроснабжения потребителей при обеспечении минимальных потерь

электрической энергии и устройство системы электроснабжения таким образом, чтобы избежать необходимости коренного переустройства при дальнейшем расширении и модернизации производства.

Элементы системы не должны находится в холодном резерве, а должны быть постоянно задействованы, при этом загрузка элементов в нормальном режиме должна предусматривать возможность длительной перегрузки в послеаварийном режиме, без перерыва в электроснабжении ответственных потребителей первой категории по надежности электроснабжения» [5].

Для снижения токов КЗ все параллельно проложенные высоковольтные линии и трансформаторы на ТП работают по отдельности с разомкнутыми секционными выключателями, которые предусмотрены на сторонах 6 и 0,4 кВ и которые могут быть включены при перерыве электропитания или для проведения ремонтных работ.

При выборе кабелей для питания трансформаторных подстанций учитываются возросшие токи послеаварийных режимов, что позволяет выбранным кабелям функционировать продолжительное время при перегрузке без опасного перегрева [5, 6].

Выводы по разделу: рассмотрена схема питания реконструируемого в работе распределительного пункта, намечены основные пути реконструкции и планируемое к установке электрооборудование, описаны схемные решения и режимы работы распределительного пункта.

### 3 Расчет токов КЗ

«Короткие замыкания (КЗ) всех видов в электротехнических установках сопровождаются резким увеличением тока в цепи от источника питания до места КЗ. Поэтому все оборудование в системах электроснабжения проверяется на действие токов КЗ и должно быть устойчиво к ним. Различают следующие виды КЗ: трехфазное или симметричное - все три фазы соединяются между собой; двухфазное – две фазы соединяются между собой, не соединяясь при этом с землей; однофазное – одна фаза соединяется с заземленной нейтралью источника; двойное замыкание на землю – две фазы соединяются между собой и с землей. Основные причины возникновения токов КЗ: повреждение изоляции отдельных частей электроустановки; перекрытия токоведущих частей; неправильные действия обслуживающего персонала.

Следствия возникновения КЗ в системе ЭСПП могут быть следующие: нарушение нормального режима работы энергосистемы; прекращение электроснабжения ЭП, присоединенных к точке КЗ; нарушение нормальной работы смежных (с повреждениями) ЭП, присоединенных к общим шинам с поврежденным ЭП, в результате снижения напряжения на шинах.

Меры по повышению надежности работы электроустановок: устранение причин, вызывающих КЗ; применение быстродействующей релейной защиты и устройств АПВ и АВР для быстрого восстановления электроснабжения; правильное определение значений токов КЗ для выбора устройств релейной защиты, автоматики и электрооборудования, в том числе выбор оборудования для ограничения токов КЗ» [7-9].

Для расчета токов КЗ составляем две схемы: первую – расчетную (рисунок 1), на нее наносим все основные элементы системы электроснабжения, через которые будет протекать ток КЗ, а вторую – схему замещения (рисунок 2), на которой каждый элемент представляем в виде его

внутреннего сопротивления, что позволит провести расчеты суммарного сопротивления сети.

По данным замеров и проведенных ранее расчетов величина тока КЗ на шинах питающей рассматриваемый РП ГПП составляет 8,26 кА.

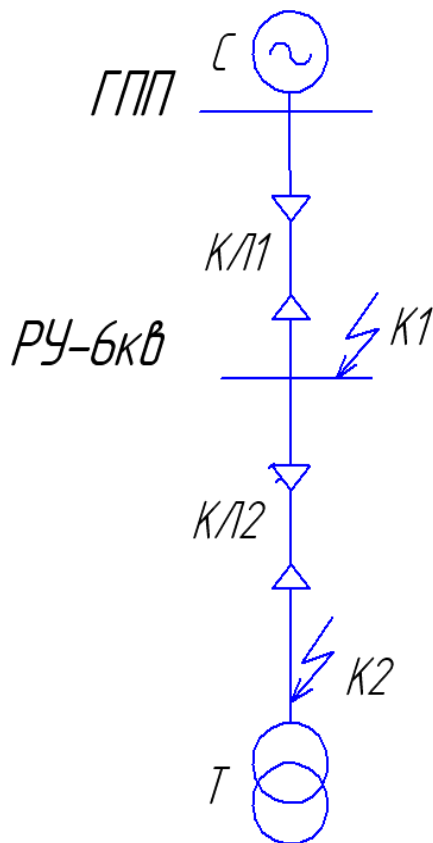


Рисунок 1 - Расчетная схема с указанием основных элементов системы электроснабжения

«Сопротивление системы найдем по формуле» [9]:

$$x_{*б,c} = \frac{E_{*c}''}{I_{no}^3} \cdot I_{б}; \quad (1)$$

$$x_{*б,c} = \frac{1}{8,26} \cdot 92 = 11,14;$$

где  $E_{*c}''$  – сверхпереходная ЭДС,

$I_{\bar{6}}$  - базисный ток;

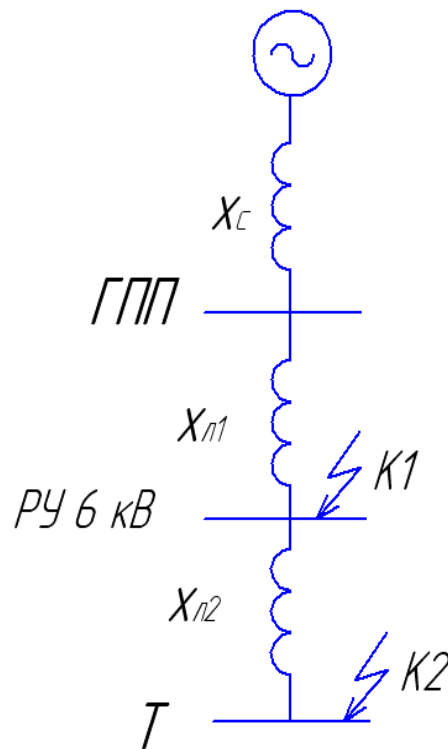


Рисунок 2 - Схема замещения на которой каждый элемент представлен собственным индуктивным сопротивлением

«Сопротивление кабельной линии Л1 найдем по формуле» [9]:

$$x_{*\bar{6},л1} = x_{y\partial} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{cp}^2}; \quad (2)$$

$$x_{*\bar{6},л1} = 0,073 \cdot \frac{2,3}{3} \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 1,41;$$

где  $x_{y\partial}$  - погонное сопротивление питающей линии,

$l$  - протяженность питающей линии от ГПП до РУ;

«Сопротивление кабельной линии Л2 найдем по формуле» [9]:

$$x_{*\bar{\sigma},n2} = x_{y\partial} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp}^2}. \quad (3)$$

$$x_{*\bar{\sigma},n2} = 0,074 \cdot 0,4 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 0,746.$$

Определяем значения тока короткого замыкания в первой расчётной точке.

«Суммарное сопротивление до точки К1 найдем по формуле» [9]:

$$x_{*рез(\bar{\sigma})} = x_{*\bar{\sigma},c} + x_{*\bar{\sigma},n1}. \quad (4)$$

$$x_{*рез(\bar{\sigma})} = 11,14 + 1,41 = 12,55.$$

«Значение базисного тока найдем по формуле» [9]:

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}}}. \quad (5)$$

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 92 \text{ кА}.$$

где « $S_{\bar{\sigma}}$  - значение базисной мощности,

$U_{\bar{\sigma}}$  - значение базисного напряжения» [9];

Начальное действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{*\bar{\sigma}}}{x_{*рез(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma}}. \quad (6)$$

$$I_{n,o}^3 = \frac{1}{12,55} \cdot 92 = 7,33 \text{ кА}.$$



«Значение ударного тока короткого замыкания найдем по формуле» [9]:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{no}^3 \cdot k_{y\delta}, \quad (7)$$

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 7,33 \cdot 1,4 = 14,51 \text{ кА},$$

Определяем значения тока короткого замыкания во второй расчётной точке.

Определяем итоговое значение индуктивного сопротивления до второй расчётной точки:

$$x_{*рез(\delta)} = x_{*\delta,c} + x_{*\delta,l1} + x_{*\delta,l2}. \quad (8)$$

$$x_{*рез(\delta)} = 11,14 + 1,41 + 0,746 = 13,296.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{*\delta}}{x_{*рез(\delta)}} \cdot I_{\delta}. \quad (9)$$

$$I_{n,o}^3 = \frac{1}{13,296} \cdot 92 = 6,92 \text{ кА}.$$

«Значение ударного тока короткого замыкания найдем по формуле» [9]:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot k_{y\delta}, \quad (10)$$

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 6,92 \cdot 1,4 = 13,7 \text{ кА}.$$

где  $k_{y\delta}$  – ударный коэффициент.

Выводы по разделу:

Для рассматриваемого в работе распределительного устройства составлена расчетная схема, на которой отмечены предполагаемые точки возникновения коротких замыканий, определены параметры входящих в схему элементов, выполнен расчёт максимальных значений трехфазного металлического тока короткого замыкания и ударного значения тока в начальный момент времени.

Полученные результаты расчётов будут использованы при выборе электрических аппаратов в распределительном пункте и проводников.

Расчёты произведены для двух точек, что позволяет по максимальным значениям токов КЗ проверить как электрические аппараты, установленные на вводе в распредустройство, так и аппараты, установленные на отходящих линиях потребителям.

## **4 Выбор и проверка электрических аппаратов**

«Электрические аппараты работают в условиях эксплуатации в трех основных режимах: в длительном режиме, в режиме перегрузки и в режиме короткого замыкания.

Аппараты и проводники первичных цепей должны удовлетворять следующим требованиям:

- соответствию окружающей среды и роду установки;
- необходимой прочности изоляции для надежной работы в длительном режиме и в при кратковременных перенапряжениях;
- допустимому нагреву токами длительных режимов;
- стойкости в режиме короткого замыкания;
- технико-экономической целесообразности;
- достаточной механической прочности;
- допустимым потерям напряжения в нормальном и послеаварийном режимах;
- допустимым потерям на коронирование для проводников напряжением 35 кВ и выше.

Изоляция аппаратов и проводников соответствующего рабочего напряжения может быть нормальная и облегченная. Для выбора целесообразного вида изоляции необходимо учитывать род установки (в помещении, на открытом воздухе, в земле, в воде), температуру окружающей среды, влажность и загрязненность ее, высоту установки оборудования над уровнем моря» [10].

### **4.1 Выбор высоковольтных выключателей в питающих ячейках ГПП**

На первом этапе выполним выбор и проверку высоковольтного выключателя, установленного в питающей ячейке главной понизительной

подстанции предприятия. Данный выключатель предназначен для защиты линии питающей рассматриваемый в работе РП.

Расчетное значение полной мощности, протекающей по линии составляет  $S_{ном} = 6 \text{ МВА}$ .

«Найдем значение максимального тока в послеаварийном режиме работы с учетом максимальной допустимой перегрузки равной 40%» [1]:

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S_{Тном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (11)$$

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 770 \text{ А.}$$

«Значение теплового импульса при продолжительности короткого замыкания 0,2 с найдем по формуле» [1]:

$$B_{к} = I_{н,о}^3 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (12)$$

$$B_{к} = 7,33^2 \cdot (0,2 + 0,12) = 17,19 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

где « $t_{откл}$  - полное время отключения выключателя,

$T_a$  - постоянная времени» [1].

Токи КЗ определенные в предыдущем разделе для отключения и на устойчивость к которым проверяется рассматриваемый выключатель:

$$I_{н,о}^3 = 7,33 \text{ кА}, \quad i_{уд} = 14,51 \text{ кА.}$$

По техническим характеристикам, указанным на сайте АВВ предварительно выбираем выключатель VM1–1600 и производим его дальнейшую проверку.

«Вакуумные выключатели. В вакуумных выключателях гашение электрической дуги осуществляется в вакууме. Выключатели снабжаются камерами с глубоким ( $10^4 - 10^6$  Па) вакуумом. Использование вакуума в дугогасительных устройствах обусловлено тем, что электрическая прочность вакуумного межконтактного промежутка во много раз больше, чем воздушного промежутка при атмосферном давлении. Это позволяет иметь расстояние между контактами при напряжениях до 35 кВ не более 10 мм» [2].

«Максимальное значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания найдем по формуле» [11, 12]:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{н.о} \cdot e^{-\tau/T_a}, \quad (13)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 7,33 \cdot 2,71^{-0,035/0,12} = 7,75 \text{ кА.}$$

где « $i_{a,\tau}$  – номинальное допустимое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени  $\tau = t_{рз} + t_{св}$ ,

$t_{рз} = 0,01$  с. – время действия релейной защиты;

$t_{св}$  – собственное время отключения выключателя;

$\beta_n$  – нормированное значение содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе» [11];

«Термическая устойчивость высоковольтного выключателя может быть найдена по формуле» [11]:

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = 20^2 \cdot 0,2 = 80 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

где  $I_T$  – «паспортный ток термической стойкости» [11].

На рисунке 3 приводится внешняя панель рассматриваемого вакуумного выключателя VM1 производства АВВ.



Рисунок 3 - Вид внешняя панель рассматриваемого вакуумного выключателя VM1 производства АBB

«Высоковольтный выключатель выбирается по номинальному напряжению сети в месте установки» [11]:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет. ном}}, \quad (14)$$
$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

«Высоковольтный выключатель выбирается по максимальному расчетному току, протекающему через него» [11]:

$$I_{\text{ном. дл.}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (15)$$
$$770 \text{ А} \leq 1600 \text{ А}.$$

«Выключатель проверяется на способность отключения максимального значения тока короткого замыкания» [11]:

$$I_{пт} \leq I_{откл.ном.}, \quad (16)$$
$$7,33 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}.$$

«Выключатель проверяется на электродинамическую стойкость по формуле» [11]:

$$i_{уд} \leq I_{прс}, \quad (17)$$
$$14,5 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА}.$$

«Выключатель проверяется на термическую стойкость по формуле» [11]:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (18)$$
$$17,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 80 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Выключатель соответствует всем условиям выбора и обладает большим запасом по динамической и термической устойчивости.

## **4.2 Выбор высоковольтных выключателей на отходящих к ТП линиях**

Суммарное значение расчетной мощности потребителей составляет  $S_{\max} = 2,5 \text{ МВА}$ .

«Найдем значение максимального тока в послеаварийном режиме работы с учетом максимальной допустимой перегрузки равной 40%» [11]:

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S_{Тном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (19)$$

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 321 \text{ A.}$$

«Значение теплового импульса при продолжительности короткого замыкания 0,2 с найдем по формуле» [11]:

$$B_{\kappa} = I_{н,о}^3 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (20)$$

$$B_{\kappa} = 6,92^2 \cdot (0,2 + 0,12) = 15,32 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Токи КЗ определенные в предыдущем разделе для отключения и на устойчивость к которым проверяется рассматриваемый выключатель:

$$I_{н,о}^3 = 6,92 \text{ кА}, \quad i_{уд} = 13,7 \text{ кА.}$$

По техническим характеристикам, указанным на сайте АВВ предварительно выбираем выключатель VM1–Т и производим его дальнейшую проверку.

На рисунке 4 изображен внешний вид вакуумного высоковольтного выключателя типа VM1-Т производства АВВ.

«Максимальное значение апериодической составляющей тока короткого замыкания найдем по формуле» [11]:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о} \cdot e^{-\tau/T_a}, \quad (21)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 6,92 \cdot 2,71^{-0,035/0,12} = 7,32 \text{ кА.}$$





Рисунок 4 – Передняя панель и органы управления вакуумного высоковольтного выключателя VM1-T производства ABB

«Термическая устойчивость высоковольтного выключателя может быть найдена по формуле» [11]:

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = 20^2 \cdot 0,2 = 80 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

«Высоковольтный выключатель выбирается по номинальному напряжению сети в месте установки» [11]:

$$U_{ном} \leq U_{сет. ном}, \quad (22)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

«Высоковольтный выключатель выбирается по максимальному расчетному току, протекающему через него» [11]:

$$I_{ном. дл.} \leq I_{ном}, \quad (23)$$

$$321 \text{ А} \leq 630 \text{ А}.$$

«Выключатель проверяется на способность отключения максимального значения тока короткого замыкания» [11]:

$$I_{пт} \leq I_{откл. ном.}, \quad (24)$$

$$6,9 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}.$$

«Выключатель проверяется на электродинамическую стойкость по формуле» [11]:

$$i_{уд} \leq I_{прс}, \quad (25)$$

$$13,7 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА}.$$

«Выключатель проверяется на термическую стойкость по формуле» [11]:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (26)$$

$$15,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 80 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Выключатель соответствует всем условиям выбора и обладает большим запасом по динамической и термической устойчивости.

#### **4.3 Выбор и проверка измерительных ТТ на вводе в высоковольтный РП**

Для подключения измерительных приборов, учета потребленной электроэнергии, устройств микропроцессорной защиты используют измерительные трансформаторы тока и напряжения, которые понижают величины тока и напряжения в первичной сети до величин, пригодных к передаче в перечисленные выше аппараты.

Поскольку все основное оборудование, ячейки КРУ и высоковольтные выключатели в распределительном пункте приемы производства АВВ, то и трансформаторы тока выбираем этого производителя, модель ТРУ4.

«Измерительные трансформаторы тока типа ТРУ4 залиты компаундом и спроектированы для работы в сетях с номинальным напряжением до 12 кВ. Модификации для работы в сетях с напряжением 3,6 кВ и 7,2 кВ имеют такие же габаритные размеры, как и модификация на 12 кВ. В некоторых случаях предъявляются повышенные требования к длине поверхностного тока утечки у трансформаторов тока. В этом случае есть возможность оформить заказ на трансформаторы тока со специальными перегородками, установленными на верхней крышке ТТ» [13, 14].

На рисунке 5 изображен внешний вид трансформатора тока типа ТРУ4 производства АВВ.



Рисунок 5 - Внешний вид трансформатора тока типа TPU4 производства АВВ

По техническим характеристикам, указанным на сайте АВВ предварительно выбираем трансформатор тока TPU4 со следующими характеристиками:  $I_{ном} = 1600 \text{ А}$ ,  $K_{эд} = 160$ ,  $K_m = 63$ ,  $t_m = 1 \text{ с}$ ,  $Z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом}$  и производим его дальнейшую проверку.

«Трансформатор тока выбирается по номинальному напряжению сети в месте установки» [11]:

$$U_{ном} \leq U_{сет. ном}, \quad (27)$$
$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

«Трансформатор тока выбирается по максимальному расчетному току, протекающему через него» [11]:

$$I_{ном.дл.} \leq I_{ном.} \quad (28)$$
$$770 \text{ A} \leq 1600 \text{ A}.$$

«Трансформатор тока проверяется на электродинамическую стойкость по формуле» [11]:

$$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном} \quad (29)$$
$$9,5 \text{ кА} \leq 453 \text{ кА}.$$

где « $K_{эд}$  – кратность электродинамической стойкости трансформатора тока» [11].

«Трансформатор тока проверяется на термическую стойкость по формуле» [11]:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{ном}^2 \cdot I_T \quad (30)$$
$$7,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 252 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

где « $K_T$  – кратность термической стойкости трансформатора тока» [11].

Рассмотренный трансформатор тока соответствует всем условиям выбора и обладает большим запасом по динамической и термической устойчивости.

#### **4.4 Выбор и проверка измерительных ТТ на отходящих от высоковольтного РП линиях**

Поскольку все основное оборудование, ячейки КРУ и высоковольтные

выключатели, вводные трансформаторы тока в распределительном пункте приемы производства АВВ, то и трансформаторы тока для отходящих линий выбираем этого производителя, модель ТРУ4.

По техническим характеристикам, указанным на сайте АВВ предварительно выбираем трансформатор тока ТРУ4 со следующими характеристиками:  $I_{1ном} = 400 \text{ А}$ ,  $K_{эд} = 160$ ,  $K_m = 63$ ,  $t_m = 1 \text{ с}$ ,  $Z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом}$  и производим его дальнейшую проверку.

«Трансформатор тока выбирается по номинальному напряжению сети в месте установки» [11]:

$$U_{ном} \leq U_{сет. ном}, \quad (31)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

«Трансформатор тока выбирается по максимальному расчетному току, протекающему через него» [11]:

$$I_{ном.дл.} \leq I_{ном.} \quad (32)$$

$$321 \text{ А} \leq 400 \text{ А}.$$

«Трансформатор тока проверяется на электродинамическую стойкость по формуле» [11]:

$$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном} \quad (33)$$

$$9,5 \text{ кА} \leq 90,5 \text{ кА}.$$

«Трансформатор тока проверяется на термическую стойкость по формуле» [11]:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot I_T \quad (34)$$

$$5,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 25,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Произведём проверку предварительно выбранного трансформатора тока по предельно допустимой нагрузке подключены приборов во вторичных цепях. Максимальное значение мощности подключенных приборов равно 3,1 ВА и наблюдается в фазе А.

«Сопротивление приборов в фазе с максимальной нагрузкой» [11]:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (35)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{3,1}{5^2} = 0,124 \text{ Ом.}$$

«Переходное сопротивление контактов принимается равным 0,1 Ом. С учетом этого сопротивление проводов может быть определено по формуле» [11]:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}}, \quad (36)$$

$$R_{\text{пр}} = 1,2 - 0,124 - 0,1 = 0,976 \text{ Ом.}$$

где « $Z_{2\text{ном}} = \frac{S_2}{I_2^2}$  – номинальное полное сопротивление нагрузки

(допустимая нагрузка) вторичной обмотки трансформатора тока в выбранном классе точности;

$R_{\text{к}}$  – переходное сопротивление контактов» [11].

При протяжённости вторичных цепей на данном классе напряжения равным 40 м минимальное сечение проводника, соответствующее заданному сопротивлению будет составлять:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}}, \quad (37)$$

$$s = \frac{0,0175 \cdot \sqrt{3} \cdot 40}{0,976} = 1,24 \text{ мм}^2.$$

где « $\rho$  – удельное сопротивление материала провода;

$l_p$  – расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока» [11].

По полученному расчётному минимальному сечению выбираем ближайшее большее стандартное сечение медного провода, которое составляет 1,5 мм<sup>2</sup>.

Рассмотренный трансформатор тока соответствует всем условиям выбора и обладает большим запасом по динамической и термической устойчивости.

#### **4.5 Выбор и проверка измерительных ТН для подключения к шинам высоковольтного РП**

«Трансформаторы напряжения применяются одно- и трехфазные, сухие и масляные, например, НОС - трансформатор напряжения, однофазный, сухой; НТМ - трансформатор напряжения, трехфазный, масляный. Для контроля изоляции применяют трансформаторы напряжения НТМИ - трансформатор напряжения, трехфазный, масляный, для контроля изоляции» [2].

Поскольку все основное оборудование, ячейки КРУ и высоковольтные выключатели, вводные трансформаторы тока и на отходящих линиях в распределительном пункте приеты производства АВВ, то и трансформаторы напряжения выбираем этого производителя, модель ТЈС4.

На рисунке 6 изображен внешний вид трансформатора напряжения типа ТЈС4 производства АВВ.





Рисунок 6 - Внешний вид трансформатора напряжения ТJS4 производства АВВ

Путем суммирования активных и реактивных мощностей измерительных устройств и устройств релейной защиты, подключенных к одной секции высоковольтного РП получаем значение суммарной нагрузки 90 Вт и 50 вар соответственно.

«Находим значение полной мощности подключенных к ТН потребителей» [11]:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \phi\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \phi\right)^2}, \quad (38)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{90^2 + 50^2} = 103 \text{ ВА}$$

где  $\sum S_{\text{приб}}$  - мощность приборов, подключенных к ТН.

«Трансформатор напряжения выбирается по номинальному напряжению сети в месте установки» [11]:

$$U_{ном} \leq U_{сет. ном}, \quad (39)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

«Трансформатор напряжения выбирается по классу точности» [11]:

$$\%_{расч} \geq \%_{ном}, \quad (40)$$

$$0,5 \geq 0,5.$$

«Трансформатор напряжения выбирается по величине вторичной нагрузки в выбранном классе точности по формуле» [11]:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (41)$$

$$103 \text{ ВА} \leq 400 \text{ ВА}.$$

Рассмотренный трансформатор напряжения соответствует всем условиям выбора и обладает большим запасом для подключения дополнительных потребителей при задействовании резервных ячеек высоковольтного РП.

Выводы по разделу: произведён выбор основного электрооборудования, которое будет устанавливаться в распределительном пункте. Выбранные высоковольтные вакуумные выключатели проверены на коммутационную способность и на стойкость к разрушительному воздействию токов короткого замыкания, выполнен выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения и произведена проверка на не превышение допустимой нагрузки во вторичных цепях.

## 5 Выбор микропроцессорных устройств РЗ для высоковольтного РП

В первую очередь в высоковольтном РП реализуются защиты отходящих линий, наиболее подверженных повреждениям. На выбор защит оказывают влияние схема распределения электроэнергии от РП, количество параллельно проложенных цепей, конструктивное выполнение отходящих линий.

«Для отходящих линий применяются:

- максимальная токовая защита;
- максимальная токовая защита каскадного действия в комбинации с защитой от понижения напряжения;
- средства автоматики в виде быстродействующего автоматического ввода резерва» [15-17].

Поскольку ячейки выбраны фирмы АВВ, то заводом изготовителем предлагается их укомплектовывать терминалами защиты REF 542 plus, внешний вид которых изображен на рисунке 7.



Рисунок 7 - Внешний вид терминала защиты АВВ типа REF 542plus

«Устройство защиты фидера REF 542plus представляет собой компактное цифровое решение по управлению присоединением. Оно может использоваться в сетях среднего напряжения для защиты фидеров, трансформаторов или двигателей.

Устройство защиты фидера REF 542plus, как и его предшественник REF 542, объединяет в себе функции измерения, контроля, защиты, управления и самодиагностики. Со встроенными протоколами связи устройство REF 542plus можно легко ввести в состав любой системы автоматизации подстанции от компании АББ или любых сторонних производителей.

Эти устройства нового поколения обеспечивают исключительную гибкость и масштабируемость, что позволяет создавать четкие интеллектуальные решения по сравнению с более традиционными подходами. Программное решение позволяет использовать REF 542plus во всех первичных распределительных устройствах компании АББ с воздушной или элегазовой изоляцией» [18].

Выводы по разделу: защита отходящих линий реализована на современных микропроцессорных блоках защиты REF 542 plus выпускаемых фирмой АББ. В данных блоках будут использованы следующие функции релейной защиты: максимальная токовая защита и максимальная токовая отсечка; МТЗ каскадного действия с пуском по напряжению; автоматика БАПР.

## **6 Выбор типа системы оперативного тока в распределительном пункте**

Система оперативного тока является одним из самых ответственных потребителей на подстанции или высоковольтном распределительном пункте, ведь без ее надежного функционирования невозможно обеспечить безотказную работу электротехнического оборудования в соответствии с требованиями по надежности. Посредством данной системы осуществляется управление приводами высоковольтных выключателей, систем сигнализации, защиты, автоматики и связи.

Для питания оперативных цепей может использоваться как переменный, так и постоянный ток, при этом постоянный ток может быть получен путем выпрямления из переменного или от аккумуляторных батарей, последний вариант считается самым надежным так как не зависит от внешнего электроснабжения и сохраняет свою работоспособность даже при перерыве внешнего электропитания [19, 20].

Исходя из требований надежности предъявляемых к запитанным от распредпункта устройствам принимаем систему постоянного оперативного тока для управления высоковольтными выключателями, расположенными на РП и выбранными в предыдущем разделе микропроцессорными устройствами релейной защиты.

Выбранный вариант является основным для подключения выбранных ранее терминалов защиты и позволяет обеспечить максимальный уровень надежности, когда от питающей сети осуществляется только подзарядка батарей.

Исходя из целей и задач проводимой реконструкции распределительного пункта, а также для выполнения требований по обеспечению надежного электроснабжения потребителей в работе выбрана система постоянного оперативного тока.

## 7 Определение нагрузок собственных нужд РП

Для питания потребителей собственных нужд в высоковольтном распределительном пункте при его реконструкции предусмотрена установка двух взаиморезервирующих трансформаторов [18].

В таблице 2 приводятся нагрузки потребителей электрической энергии в системе собственных нужд распределительного пункта.

Таблица 2 – Нагрузки потребителей электрической энергии в системе собственных нужд распределительного пункта

Наименования электроприемников и систем	Номинальная мощность $P_{ном}$ , кВт
Система электрического отопления и освещения внутри ячеек КРУ	10
Питание системы подзаряда аккумуляторных батарей	0,1
Система внутреннего освещения помещений распредпункта	0,2
Сумма мощностей	10,3
Нормативный коэффициент загрузки трансформаторов СН - 0,7	
Всего с учетом $K_3$	7,21

Выводы: определены нагрузки системы собственных нужд распределительного пункта, обеспечивающих питание системы электрического отопления и освещения внутри ячеек КРУ, питание системы подзаряда аккумуляторных батарей, системы внутреннего освещения помещений распредпункта.

## 8 Определение параметров защитного заземления

«Чтобы обеспечить безопасность людей, работающих на установках напряжением до 1000 В и выше, необходимо сооружать заземляющие устройства и заземлять металлические части электрического оборудования и электрических установок. Заземление электроустановки осуществляется преднамеренным электрическим соединением с заземляющим устройством, которое представляет собой совокупность заземлителя и заземляющих проводников» [10].

Рассматриваемый распределительный пункт имеет следующие геометрические размеры: длина составляет 18 м, а ширина равняется 6 м.

Находим электрическое сопротивление одиночного вертикального заземлителя выполненного с применением железного уголка с размером полки 50 мм и длиной одного заземлителя равной 3 м [21]:

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \left( \lg \cdot \frac{2l}{b} + 0,5 \cdot \lg \cdot \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right), \quad (42)$$

$$R_B = \frac{0,366 \cdot 1 \cdot 10^4}{300} \cdot \left( \lg \cdot \frac{2 \cdot 300}{5} + 0,5 \cdot \lg \cdot \frac{4 \cdot 200 + 300}{4 \cdot 200 - 300} \right) = 63,2 \text{ Ом.}$$

где « $\rho$  – удельное сопротивление грунта,

$l$  – длина вертикального заземлителя,

$d$  – диаметр стержневого заземлителя,

$t$  – глубина заложения вершины вертикального заземлителя» [21].

«Определим сопротивление горизонтальной полосы, соединяющей вертикальные заземлители по формуле» [21]:

$$R_r = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \lg \cdot \frac{2L^2}{b \cdot t}, \quad (43)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 1 \cdot 10^4}{600} \cdot \lg \cdot \frac{2 \cdot 600^2}{5 \cdot 50} = 48,6 \text{ Ом.}$$

где  $L$  – длина горизонтального заземлителя.

«Определим значение сопротивления заземляющего устройства, состоящего из 10 вертикальных заземлителей, соединённых полосой по формуле» [22]:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{K_{II} \cdot (N1 \cdot R_{\Gamma} + N2 \cdot R_B)}, \quad (44)$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{63,2 \cdot 48,6}{0,8 \cdot (10 \cdot 48,6 + 5 \cdot 63,2)} = 3,6 < 4,0 \text{ Ом.}$$

Поскольку полученное в результате расчетов значение сопротивления контура заземления не превышает нормируемого, то выбор системы заземления произведен верно.

Выводы по разделу: по результатам выполненных в разделе расчетов принимаем систему заземления, состоящую из десяти расположенных по контуру РП вертикальных заземлителей и соединенных в единый заземляющий контур соединительной металлической полосой.



## Заключение

Цель ВКР заключалась в проектировании вместо устаревшего высоковольтного РП новой электроустановки, снабженной современными устройствами коммутации и защиты, способными обеспечить бесперебойное электроснабжение ответственных потребителей производства бутилкаучука после расширения.

В работе дана краткая характеристика выпускаемой продукции, приведены сведения о вновь устанавливаемом электрооборудовании и вызванном из-за этого, росте электрических нагрузок на производстве.

Так, согласно расчетам, мощность высоковольтных электроприемников увеличивается на 1,74 МВт, мощность низковольтных электроприемников возрастает на 2,3 МВт.

Поскольку рост реактивной нагрузки составляет значительную долю в полной мощности вновь устанавливаемых электроприемников, то предусматривается размещение автоматических устройств компенсации реактивной мощности.

На цеховых подстанциях предусматривается установка трансформаторов большей мощности для обеспечения нормальной работы при возросших нагрузках и запаса на предусмотренное долгосрочным планом развития расширение производства.

Рассмотрена схема питания реконструируемого в работе распределительного пункта, намечены основные пути реконструкции и планируемое к установке электрооборудование, описаны схемные решения и режимы работы распределительного пункта.

Для рассматриваемого в работе распределительного устройства составлена расчетная схема, на которой отмечены предполагаемые точки возникновения коротких замыканий, определены параметры входящих в схему элементов, выполнен расчёт максимальных значений трехфазного

металлического тока короткого замыкания и ударного значения тока в начальный момент времени.

Все основное оборудование: ячейки КРУ и высоковольтные выключатели, вводные трансформаторы тока и на отходящих линиях в распределительном пункте, трансформаторы напряжения приемы производства АВВ. Рассмотренные в работе электрические аппараты соответствуют всем условиям выбора и обладают большим запасом по динамической и термической устойчивости.

Защита отходящих линий реализована на современных микропроцессорных блоках защиты REF 542 plus выпускаемых фирмой АВВ. В данных блоках будут использованы следующие функции релейной защиты: максимальная токовая защита и максимальная токовая отсечка; МТЗ каскадного действия с пуском по напряжению; автоматика БАПР.

В качестве оперативного тока в высоковольтном распределительном пункте выбран постоянный оперативный ток, который считается самым надежным так как не зависит от внешнего электроснабжения и сохраняет свою работоспособность даже при перерыве внешнего электропитания.

Определены нагрузки системы собственных нужд распределительного пункта, обеспечивающих питание системы электрического отопления и освещения внутри ячеек КРУ, питание системы подзаряда аккумуляторных батарей, системы внутреннего освещения помещений распредпункта.

По результатам выполненных в разделе расчетов принимаем систему заземления, состоящую из десяти расположенных по контуру РП вертикальных заземлителей и соединенных в единый заземляющий контур соединительной металлической полосой.

## Список используемых источников

1. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие. Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2017. 271 с.
2. Комиссаров Ю.А., Бабокин Г.И. Общая электротехника и электроника : учебник. 2-е изд., испр. и доп. М. : ИНФРА-М, 2017. 479 с.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
4. Кулеева Л.И., Митрофанов С.В., Семенова Л.А. Проектирование подстанции : учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. 111 с.
5. Куско А., Томпсон М. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. Саратов: Профобразование, 2017. 334 с.
6. Мельников М.А. Внутривзаводское электроснабжение: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 180 с.
7. Михайлов В.Е. Современная электросеть. СПб. : Наука и Техника, 2013. 256 с.
8. Официальный сайт завода по выпуску комплектующих для спецтехники [Электронный ресурс]. URL: <https://www.texoc.ru/index.php/biznes/proizvodstvo/proizvodstvennye-vozmozhnosti> (дата обращения: 15.01.2022).
9. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018. 462 с.
10. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов: учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2015. 384 с.
11. Старкова Л.Е. Справочник цехового энергетика : учебно-практическое пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2013. 352 с.
12. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358-90 от 1 августа 1993 г.

13. Ушаков В.Я., Чубик П.С. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политех. университета, 2015. 388 с.

14. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Технико-экономические расчеты распределительных электрических цепей: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 96 с.

15. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. 3-е изд. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 136 с.

16. Bobby Rauf S. Electrical Engineering for Non-electrical Engineers. Lulu Press. Inc, 2015. 235 p.

17. Bogdanov D., Farfan J., Sadovskaia K., Aghahosseini A., Child M., Gulagi A., Oyewo A.S., de Souza Noel Simas Barbosa L., Breyer C. Radical transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps // Nature Communications. 2019, №10 (1), p.p. 1077-1080.

18. IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 551. NY: IEEE, 2013. 300 p.

19. Roman K. The Digital Information Age: An Introduction to Electrical Engineering. Cengage Learning, 2014. 400 p.

20. Surya S., Wayne Beaty H. Standard Handbook for Electrical Engineers, Seventeenth Edition. McGraw Hill Professional, 2017. 368 p.

21. Yatsuk V., Mykyjchuk M., Bubela T. Ensuring the measurement efficiency in dispersed measuring systems for energy objects // Studies in Systems, Decision and Control. 2019. pp. 131-149.

22. Zhu J., Chen P., Qiu M., Liu C., Liu J., Zhang H., Zhang H., Ding K. Experimental investigation of a high temperature superconducting pancake consisted of the REBCO composite cable for superconducting magnetic energy storage system // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 2019. № 29 (5), pp. 59-63.