

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 электроснабжения собственных нужд  
подстанции 110/35/6 «Савельевская»

Студент

А.Н. Горбунов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

Тольятти 2020

## АННОТАЦИЯ

Важнейшим условием успешного развития народного хозяйства нашей страны является обеспеченность всех его отраслей энергоресурсами, особенно, нефтепродуктами. В свою очередь, эффективная работа нефтедобывающей промышленности зависит от ее надежного электроснабжения.

Месторождения нефти и газа оснащены сложным и разнообразным оборудованием, которое зачастую не допускает отключений электроэнергии. Трансформаторные подстанции месторождений, кроме основного оборудования, содержат множество резервных и дополнительных устройств, перечень которых постоянно расширяется и обновляется. Система обеспечения собственных нужд таких подстанций должна быть гибкой и адаптироваться ко всем обновлениям. Вышеизложенные соображения актуальны для многих объектов нефтедобывающей промышленности, в том числе, для подстанции «Савельевская» 110/35/6 кВ АО «Оренбургнефть».

В бакалаврской работе проведен анализ современного состояния системы собственных нужд подстанции «Савельевская» и сделан вывод о необходимости ее реконструкции. На основе этого анализа обоснованы требования к названной системе и сформулированы технические предложения по ее реконструкции. Полученные результаты могут найти применение на других объектах системы энергоснабжения страны.

Работа содержит 64 страницы текста и 6 чертежей формата А1.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Краткое описание объекта реконструкции.....	6
1.1. Назначении подстанции. ....	7
1.2. Основные потребители в электроэнергии подстанции 110/35/6 кВ «Савельевская» .....	7
1.3. Характеристика потребителей собственных нужд ПС 110/35/6 .....	11
2. Общие требования к системе собственных нужд подстанции.....	<b>Ошибка!</b>
<b>Закладка не определена.</b>	
2.1 Требования к трансформаторам собственных нужд. <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.2 Выбор схемы электроснабжения собственных нужд.....	17
3. Расчет токов короткого замыкания в системе собственных нужд. ....	19
4. Выбор коммутационной аппаратуры .....	23
4.1. Расчетные условия для выбора электрических аппаратов .....	23
4.2 Выбор коммутационной аппаратуры для системы собственных нужд подстанции «Савельевская» .....	24
4.3. Выбор трансформаторов тока. ....	27
4.4 Выбор трансформаторов напряжения.....	29
5. Требование к релейной защите и автоматике электродвигателей собственных нужд. ....	31
5.1. Назначение и выполнение защит.....	32
5.2. Применение современных микропроцессорных защит. ....	34
5.3. Описание и работа устройства «Сириус 21-Д».....	35
6. Кабельное хозяйство.....	38

7. Освещение.....	39
8. Техника безопасности при эксплуатации электроустановок собственных нужд .....	41
8.1 Опасные и вредные производственные факторы в РУСН-6кВ.....	41
8.2. Воздействие производственных факторов на организм человека. ....	42
8.3. Электробезопасность .....	45
8.4 Противопожарные мероприятия на подстанции.....	47
9. Расчет экономической эффективности реконструкции РУСН 6кВ.....	48
9.1 Расчет капитальных затрат на реконструкцию .....	48
9.2 Смета накладных расходов .....	49
9.3 Эффективность реконструкции .....	53
9.4 Снижение ущерба.....	53
9.5 Срок окупаемости реконструкции .....	55
Заключение. ....	57
Список используемых источников.....	58
Приложение А Экономический анализ.....	63

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время затраты на эксплуатацию энергетического оборудования в нефтедобывающей промышленности составляют 8-15% от себестоимости добычи нефти и газа. Поэтому от эффективности использования этого оборудования зависит надежность и устойчивость работы нефтедобывающих предприятий в целом.

Важным звеном работы электроподстанции являются ее собственные нужды, которые обеспечивают функционирование всех систем подстанции, а также ее безопасную и бесперебойную работу в нормальных и аварийных условиях. Основными требованиями к системе собственных нужд считаются эффективность и экономичность, то есть собственные нужды подстанции должны обеспечиваться при небольших капиталовложениях, расходовать небольшое количество электроэнергии, но при этом обеспечивать надёжность работы системы.

Целью данной работы было повышение эффективности функционирования системы собственных нужд подстанции «Савельевская». Для достижения этой цели потребовалось решить ряд задач, направленных на повышение надежности ее работы в аварийных режимах. В частности, потребовалось усовершенствовать систему автоматического ввода резерва и модернизировать оборудование, обеспечивающее питание от аккумуляторов. Также было признано необходимым обеспечение возможности вывода в ремонт отдельных элементов системы собственных нужд без отключения питания других потребителей.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был обоснован наименее затратный метод доработки действующей схемы электроснабжения, а также рассчитаны токи короткого замыкания для выбора коммутационных аппаратов, терминалов релейной защиты и автоматики.

## 1 Краткое описание объекта реконструкции

Понизительная подстанция 110/35/6 кВ «Савельевская» расположена в селе Савельевка сельского поселения Лабазинский сельсовет Курманаевского района Оренбургской области. Она принадлежит нефтедобывающему Акционерному обществу «Оренбургнефть» и обслуживает Бобровское газонефтяное месторождение. Подстанция введена в эксплуатацию в 1978 году. Местонахождение подстанции на территории Курманаевского района показано на рисунке 1.

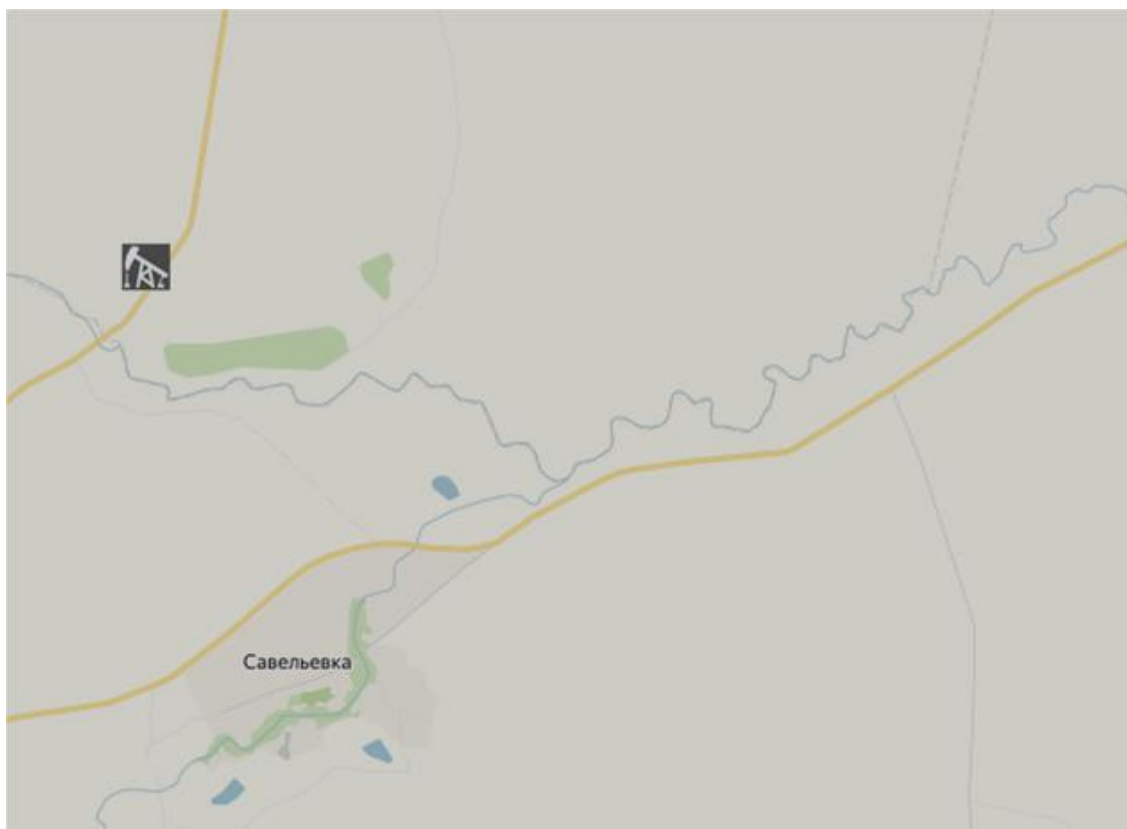


Рисунок 1 – Бобровское газонефтяное месторождение Оренбургской области

Питание подстанции «Савельевская» осуществляется по двум линиям: «ЛЭП 110 Росташинская» и «ЛЭП 110 Бузулукская». Подстанция имеет открытое распределительное устройство (ОРУ), предназначенное для приема электрической энергии напряжением 110 кВ и его трансформации в 35 и 6 кВ.

## **1.1 Назначение подстанции**

Питание электроэнергией большинства потребителей нефтедобывающих месторождений, буровых установок, и цехов по подготовке и переработке нефти и газа осуществляется от собственных электрических подстанций (ПС) напряжением 110 или 35 кВ. Реконструируемая ПС 110/35/6 «Савельевская» снабжает электроэнергией потребителей Бобровского нефтяного месторождения.

Бобровское месторождение по добычи нефти и газа занимает 4 место среди 130 месторождений, разрабатываемых в Акционерном обществе «Оренбургнефть». В действующем фонде Бобровского месторождения находится 25 добывающих скважин. Электроэнергия на месторождении распределяются сетью 35/6 кВ непосредственно на распределительные устройства или комплектные трансформаторные подстанции (КТП) кустовых буровых установок по добыче нефти и газа.

Большая часть потребителей Бобровского нефтяного месторождения относятся к первой и второй категории надёжности электроснабжения, поэтому на подстанции установлены два силовых трехобмоточных трансформатора Т1Т и Т2Т типа ТДТН-16000/110-У1, оборудованных устройством переключения под нагрузкой (РПН):9х1,5% с классом напряжения 110/35/6 кВ.

## **1.2 Основные потребители электроэнергии подстанции 110/35/6 кВ «Савельевская»**

Электрооборудование кустовых установок, газокompрессорных станций, дожимных насосных станций, установок подготовки и перекачки нефти составляет основу внешнего электроснабжения Бобровского месторождения по добыче нефти и газа, и газового конденсатора. Основные потребители электроэнергии приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные потребители электроэнергии

Наименование	№ ТП	Наименование ПС 6/0,4кВ	Тип ПС
Бобровское нефтяное месторождение	45	«Нефтеналив»	КТПН(1*63)кВа
	108	«Котельная	КТПН (1*40)кВа КТПН
	86	ГС»	(1*400)кВа КТПН (1*400)
	95	«К-175»	кВа КТПН (1*400) кВа
	93	«ДНС»	КТПН (1*400) кВа КТПН
	54	«ГКС»	(1*400) кВа КТПН (1*400)
	78	«БКНС»	кВа КТПН (1*400) кВа
	101	«УПН»	КТПН (1*400) кВа
	53	«ЦППН»	
	71	«УПСВ»	
89	«НЭН»		
Савельевский купол	15	«К-15»	КТПН (1*400) кВа
	16	«К-18»	КТПН(1*400) кВа
	17	«К-17»	КТПН(1*250) кВа
	18	«К-87»	КТПН(1*400) кВа
	19	«К-89»	КТПН(1*250) кВа
	20	«К-16»	КТПН(1*400) кВа
	21	«К-13»	КТПН(1*400) кВа КТПН
	22	«К-103»	(2*160) кВа

Основными потребителями подстанции «Савельевская» являются:

- насосные станции по перекачке воды,
- буровые установки,
- установки подготовки нефти,
- насосные станции внутри промысловой перекачки нефти,
- газокompрессорные установки с газокompрессорами на электроприводе,



- осветительная нагрузка,
- центральный пункт подготовки нефти ЦППН,
- газокompрессорные станции ГКС,
- дожимные насосные станции ДНС с электродвигателями единой мощности (150/1250 кВт),
- жилые и бытовые зоны для персонала.

Электроприемники установок по добыче, подготовке, переработке и транспортировке нефти относятся к потребителям первой и второй категории надежности и имеют следующую специфику:

- распределенность по значительной территории,
- большое число электродвигателей,
- повышенные требования к надежности электроснабжения.

Территориальная рассредоточенность системы электроснабжения обуславливает необходимость поиска технических решений, минимизирующих потери при транспортировке электроэнергии. Большое количество электрических машин существенно снижает коэффициент мощности и, следовательно, увеличивает потери. Для борьбы с этим нужны соответствующие организационно-технические меры.

Существующая электрическая однолинейная схема подстанции 110/35/6 кВ «Савельевская» представлена на рисунке 2.

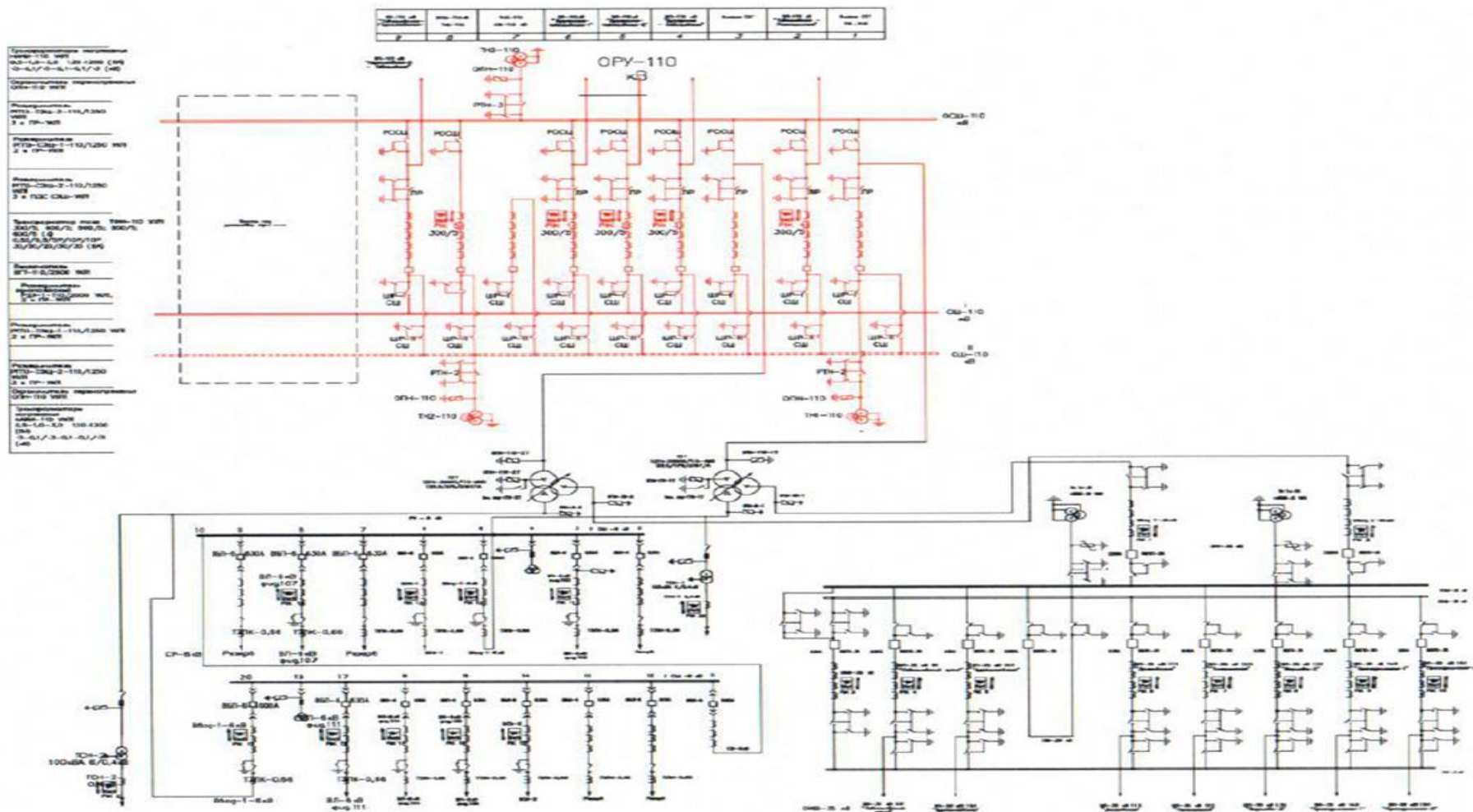


Рисунок 2 – Электрическая однолинейная схема подстанции 110/35/6 кВ «Савельевская»

### 1.3 Характеристика потребителей собственных нужд ПС 110/35/6

Основу системы собственных нужд составляют трансформаторы собственных нужд (ТСН), которые понижают высокое напряжение до требуемого значения 0,4 кВ. Потребителями этого класса напряжения являются:

- система охлаждения силовых трансформаторов,
- приборы обогрева выключателей масляного оборудования и отсеков релейной защиты,
- устройства дуговой защиты и контроля изоляции,
- осветительные приборы,
- системы пожарной сигнализации,
- регуляторы напряжения под нагрузкой,
- автоматика и компрессоры воздушных систем,
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования распределительных устройств.

В проекте реконструкции предусмотрена модернизация систем электроснабжения электроприемников первой, второй и третьей категории, предусмотренных ПУЭ (издание седьмое, п. 1.2.18).

Наиболее важными устройствами, питающимися от трансформаторов собственных нужд, являются аппараты управления, релейная защита и автоматика, пожарно-охранная сигнализация, предупредительная сигнализация и телемеханика. От них зависит надежная работа электроустановки. При их кратковременном отключении возможно частичное или полное прекращение подачи электроэнергии по линиям.

К электроприемникам I категории относятся: аварийное освещение, пожарно-охранная сигнализация, релейная защита и автоматика. Перерыв электроснабжения данных электроприемников первой категории не превышает времени автоматического ввода резерва.

К электроприемникам II категории относятся: система электрообогрева высоковольтной коммутационной аппаратуры, электродвигатели заводки пружин приводов высоковольтных выключателей, электродвигатели приводов разъединителей. При этом их подключение предусматривается к разным секциям щита собственных нужд, а перерыв электроснабжения допускается на время, необходимое для включения резервного питания оперативным персоналом.

К электроприемникам III категории электроснабжения относятся: электрические обогреватели ящиков и шкафов наружной и внутренней установки, системы отопления, вентиляции и кондиционирования пунктов управления ОПУ 110/35.

При проектировании системы собственных нужд должно сохраняться питание переменным током подстанции от существующего щита собственных нужд, находящегося в помещении. Этот щит получает энергию от трансформаторов собственных нужд ТСН-1 и ТСН-2 6/0,4 кВ мощностью 630кВА каждый. Согласно проекту реконструкции, подключение проектируемых нагрузок собственных нужд переменного тока подстанции к существующему щиту производится без замены ТСН-1 и ТСН-2 или установки дополнительного трансформатора.

Подключение проектируемых нагрузок собственных нужд переменного тока подстанции к щиту собственных нужд предусматривается через существующие резервные и проектируемые, устанавливаемые вместо существующих, автоматические выключатели.

Подключение проектируемой нагрузки питания электродвигателей приводов выключателей и разъединителей 110 кВ, а также электрообогрева высоковольтного оборудования и шкафов наружной установки открытой части подстанции предусматривается по кольцевой схеме с двухсторонним питанием от разных секций.

## 2 Общие требования к системе собственных нужд подстанции

### 2.1 Характеристика трансформаторов собственных нужд

Характеристики основных элементов системы собственных нужд подстанции показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Нагрузка собственных нужд подстанции при  $K_c=0,8$

Электроприемник	Номинальная мощность, кВт	Количество, шт.	Суммарная мощность кВт
Двигатели обдува трансформатора	3	6	18
<u>Системы обогрева:</u>			
Релейных шкафов	0,9	20	18
Шкафов КРУН	0,5	12	6
Подогрев приводов высоковольтной аппаратуры	0,9	12	10,8
Отопление и освещение оперативного персонала	5,7	2	11,4
Отопление ЗРУ 6 кВт	28	1	28
Освещение ОРУ	4	1	4
Нагрузка потребляемая оперативными цепями	2,8	1	2,8
Итого:			99

Для питания потребителей собственных нужд подстанции главным образом служат трансформаторы напряжением 6/0.4 кВ внутренней установки (КТП), их электрооборудование и токоведущие части находятся в закрытых оболочках.

От сети собственных нужд ПС питание сторонних потребителей не допускается. С другой стороны, в схеме собственных нужд ПС присоединение трансформаторов собственных нужд предусмотрено к разным источникам питания (обмоткам разных трансформаторов, различным секциям РУ) На стороне низкого напряжения трансформаторы собственных нужд должны работать отдельно с АВР. Для сети собственных нужд переменного тока необходимо применять напряжение 380/220В с заземленной нейтралью системы TN-S. Питание сети оперативного тока от шин собственных нужд должно осуществляться через стабилизаторы с напряжением на выходе 220 В.

Количество ТСН влияет на затраты на установку распределительных устройств и монтаж внутренних электрических сетей.

$$S_{\text{расч}} = 0,8 * = 79,2 \text{кВт} \quad (1)$$

В нашем случае, в соответствии с техническими условиями проектирования, выбираем для собственных нужд два масляных трансформатора 6/0,4кВ мощностью 63 кВА. При отключении одного из них нагрузка второго составит  $79,2/63 = 1,26$ . Это меньше допустимых 40 процентов.

Выбор кабеля для питания трансформатора собственных нужд выберем по току в нормальном и утяжеленном режимах.

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{36,5}{\sqrt{3} \cdot 6} = 3,52 \text{ А} \quad (2)$$

$$I_{\text{утяж}} = \frac{S_{\text{утяж}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{73}{\sqrt{3} \cdot 6} = 7,1 \text{ А} \quad (3)$$

При времени работы в режиме максимальной нагрузки в течение 6000 ч в год плотность тока  $J_{\text{эк}}$  должна быть не более 1.2 А/мм<sup>2</sup>. Для алюминиевых кабелей с бумажной изоляцией сечение рассчитаем по формуле

$$q_{расч} = \frac{I_{норм}}{j_{ЭК}} = \frac{3,52}{1,2} = 2,9 \quad (4)$$

Предварительно выбираем сечение  $q = 16 \text{ см}^2$ . Длительно допустимый ток  $I_{доп}$  при прокладке в земле, согласно ПУЭ, составляет 75А при температуре 15°C. Учтем следующие поправочные коэффициенты.

Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды  $v_{окр} = 20\text{С}$   $K_1 = 0,96$

Поправочный коэффициент на количество параллельно проложенных кабелей  $K_2 = 0,91$

Поправочный коэффициент на вид почвы (песок влажности более 9%)  $K_3 = 1,05$ . С учетом данных коэффициентов получим допустимый ток

$$I'_{доп} = K_1 * K_2 * K_3 * I_{доп} = 0,96 * 0,91 * 1,05 * 75 = 68,8 \quad (5)$$

Рассчитаем термический импульс короткого замыкания:

$$B_k = I_{но}^2 * t_{кз} = 3,9^2 * 1,3 = 20,1 \text{кА}^2 * \text{с} \quad (6)$$

Минимальное термически стойкое сечение:

$$q_{мин} = \frac{\sqrt{B_k}}{c} = \frac{\sqrt{20,1}}{90} = 49,8 \text{мм}^2 \quad (7)$$

Ближайшее большее сечение, удовлетворяющее термической стойкости  $q = 20 \text{ мм}^2$ .

Выбираем кабель марки АБ-3х50 с  $I_{доп} = 140 \text{ А}$

Выбор предохранителей для защиты трансформаторов собственных нужд выберем, исходя из следующих условий:

1. Номинальное напряжение предохранителя должно соответствовать номинальному напряжению установки:

$$U_{уст} \leq U_n \quad (8)$$

2. Номинальный ток не должен превышать ток длительного режима:

$$I_{max,раб} \leq I_{ном} \quad (9)$$

3. Отключающая способность не должна превышать номинальную

$$I_{но} \leq I_{отк.ном} \quad (10)$$

При выборе номинального тока плавкой вставки предохранителя следует учитывать избирательность защиты, пусковые токи двигателей, а также броски намагничивающих токов трансформаторов.

Предварительно принимаем предохранитель типа ПК-10:

$$U_{уст} = 6 \text{ кВ} \leq U_n = 6 \text{ кВ} \quad (11)$$

$$I_{max,раб} 16 \text{ А} \leq I_{ном} = \frac{160}{\sqrt{3} * 6} = 9,23 \text{ А} \quad (12)$$

$$I_{но} = 3,9 \text{ кА} \leq I_{отк.ном} = 10 \text{ кА}. \quad (13)$$

Окончательно принимаем ПК–10 с характеристиками

$$I_{пл} = 16 \text{ А}, I_{откл} = 10 \text{ кА}. \quad (14)$$



## 2.2 Выбор схемы электроснабжения собственных нужд

Для обеспечения надежного функционирования электрической подстанции, в значительной степени зависящего от надежности источников собственных нужд, приняты следующие решения. В подстанции «Савельевская» установки собственных нужд должны быть запитаны электроэнергией от силовых трансформаторов Т1Т и Т2Т по низкой стороне (6 кВ). К сборным шинам их распределительного устройства 6 кВ подключаются трансформаторы собственных нужд.

При выборе схемы электроснабжения собственных нужд должны соблюдаться следующие требования строительных норм СН 174 – 74.

«В случае, если объекты системы электроснабжения нефтяного месторождения относятся к потребителям I категории надежности, нормальная работа подстанции и ее безопасное обслуживание возможны только при условии надежной работы системы собственных нужд» [9].

«Надежность электроснабжения предполагает выполнение следующих условий:

- применение быстродействующей релейной защиты, позволяющей уменьшить опасность снижения напряжения в системе собственных нужд при коротких замыканиях во внешней сети и вызванного этим торможения электродвигателей, следовательно, уменьшения производительности рабочих машин,

- автоматическое регулирование возбуждения генератора, обеспечивающее быстрое восстановление нормального напряжения после устранения короткого замыкания,

- использование для привода рабочих машин асинхронных электродвигателей с короткозамкнутыми роторами, легко разворачивающихся после кратковременного снижения частоты вращения,

- рациональное построение схемы электроснабжения системы собственных нужд, в основу которой положено секционирование с

присоединением группы электроприемников, относящихся к каждому агрегату (блоку, котлу), к отдельной секции РУ с отдельным рабочим трансформатором. Благодаря этому короткие замыкания в сети собственных нужд вызывают понижение напряжения только у соответствующей группы электроприемников» [18].

При выборе схем электрических соединений собственных нужд подстанций предусматриваются меры, повышающие их надежность: установка на подстанции не менее двух трансформаторов собственных нужд секционирование шин собственных нужд. Применение автоматического ввода резерва (АВР) на секционном выключателе, резервирование со стороны низшего напряжения и другие. Вариант схемы электроснабжения собственных нужд представлен на рисунке.3.

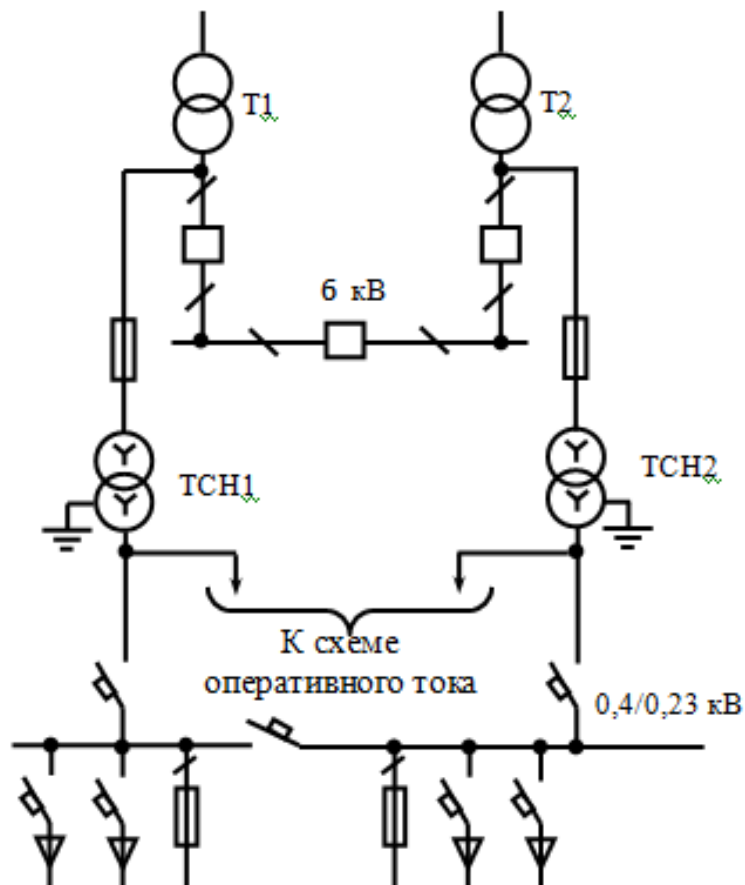


Рисунок 3 – Схема питания собственных нужд подстанции с оперативным переменным током

### 3 Расчет токов короткого замыкания в системе собственных нужд

«При коротких замыканиях в системе собственных нужд электростанций существенное влияние на характер процесса и значения тока оказывают группы электродвигателей, включенных вблизи места повреждения» [51].

«Составляющую тока короткого замыкания от электродвигателей необходимо учитывать при проверке аппаратов и проводников РУСН, а также при расчете уставок релейной защиты оборудования 6 кВ» [51].

«Для указанных целей достаточно обычно знать начальное значение периодической составляющей, ударный ток, значение периодической и аperiodической составляющих тока короткого замыкания в момент  $t$  размыкания контактов выключателей» [14].

«К секциям собственных нужд подстанции подключаются различное количество электродвигателей разных типов и мощностей» [51].

При оценке результирующего влияния всех электродвигателей на ток короткого замыкания в месте повреждения в сети 6 кВ целесообразно все электродвигатели заменить одним эквивалентным двигателем.

Действующие нормативы [11] рекомендуют следующие значения параметров эквивалентного двигателя:

- КПД  $\eta_d = 0.94$ ,
- коэффициент мощности  $\cos\varphi_d = 0.87$ ,
- постоянная времени периодической составляющей тока  $T_d = 0,07\text{с.}$ ,
- постоянная времени аperiodической составляющей тока  $T_d = 0,04\text{с.}$ ,
- ударный коэффициент  $k_{y,d} = 1,65$ ,
- кратность пускового тока  $i_{\text{пуск}} = 5,6$ .

Расчет токов короткого замыкания в сети 6 кВ собственных нужд будет проводиться в именованных единицах при базовом напряжении  $U_6 = 6,3$  кВ в следующем порядке:

1) составление расчетной схемы, принимая при этом во внимание лишь те электродвигатели, которые имеют с местом короткого замыкания прямую электрическую связь.

2) составление схемы замещения для определения тока короткого замыкания от внешней сети (энергосистемы) и расчет начального значения периодической составляющей.

3) определение начального значения периодической составляющей тока электродвигателей:

$$I_{n0,d} = I_{*пуск} \cdot \frac{\sum P_{ном.д}}{\eta_d \cdot \cos \varphi_{1d} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 5,6 \cdot \frac{\sum P_{ном.д}}{0,94 \cdot 0,87 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2,57}{U_{ном}} \cdot \sum P_{ном.д} \quad (15)$$

где,  $I_{n0,d}$  начальное значение периодической составляющей тока электродвигателей, кА.

$\sum P_{ном.д}$  – суммарная номинальная мощность всех электродвигателей, электрически связанных с местом короткого замыкания, МВт

$U_{ном}$  – номинальное напряжение электродвигателей, кВ.

4) нахождение начального значения периодической составляющей суммарного тока короткого замыкания  $I_{n0}$ :

$$I_{n0} = I_{n0,c} + I_{n0,d} \quad (16)$$

Вычисление периодической составляющей тока короткого замыкания к моменту времени  $\tau = 0,04$  с. (собственное время отключения выключателя  $0,03$  с +  $0,01$  с ) производится по формуле:

$$I_{n,\tau} = I_{n0,c} + I_{n0,d} \cdot e^{-\tau/Td} = I_{n0,c} + I_{n0,d} \cdot e^{-\tau/0,04} \quad (17)$$

Определение аperiodической составляющей тока короткого замыкания к моменту времени  $\tau$  производится по формуле:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n0.c} \cdot e^{-\tau/Tc} + \sqrt{2} \cdot I_{n0.d} \cdot e^{-\tau/Td} = \sqrt{2} \cdot I_{n0.c} \cdot e^{-\tau/Tc} + \sqrt{2} \cdot I_{n0.d} \cdot e^{-\tau/0,04} \quad (18)$$

где  $T_{a.c.}$  определяется по кривым на рисунке «Типовые кривые для определения токов КЗ от эквивалентных АД» [3] в зависимости от мощности питания обмотки трансформатора собственных нужд.

5) для нахождения ударного тока короткого замыкания используем выражение:

$$i_y = i_{y,c} + i_{y,d} = \sqrt{2} \cdot I_{n0.c} \cdot k_{y,c} + \sqrt{2} \cdot I_{n0.d} \cdot k_{y,c} = \sqrt{2} \cdot I_{n0.c} \cdot k_{y,c} + \sqrt{2} \cdot I_{n0.d} \cdot 1.65 \quad (19)$$

где  $k_{y,c}$  определяется по кривым на рисунке «типовые кривые для определения токов КЗ от эквивалентного АД» [8]

Определение сопротивления энергосистемы представляет значительные трудности. Однако известно, что среднее начальное значение периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания в различных точках ОРУ 110 кВ составляет 5,02 кА. Поэтому для определения индуктивного сопротивления энергосистемы вычислим мощность короткого замыкания за трансформаторами ТСН:

$$S_K = \sqrt{3} \cdot I_{n0.ОРУ} \cdot U_{cp} = \sqrt{3} \cdot 5.02 \cdot 115 = 1000 \text{ МВ} \cdot \text{А} \quad (20)$$

При расчете токов короткого замыкания в сети 6 кВ собственных нужд сопротивление кабельных линий не учитываются, так как их длина незначительна.

Определим начальное значение периодической составляющей тока электродвигателей:

$$I_{n0.d} = I_{*нук} \cdot \frac{\sum P_{ном.d}}{\eta_d \cdot \cos \varphi_{1d} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 5,6 \cdot \frac{\sum P_{ном.d}}{0,94 \cdot 0,87 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 4,4 \text{ кА} \quad (21)$$

Найдем начальное значение периодической составляющей суммарного тока короткого замыкания  $I_{n0}$ :

$$I_{n0} = I_{n0.c} + I_{n0.d} = 7,87 + 4,4 = 12,27 \text{ кА} \quad (22)$$

Вычислим периодическую составляющую тока короткого замыкания к моменту времени  $\tau$ :

$$\begin{aligned} i_{a,\tau} &= \sqrt{2} \cdot I_{n0.c} \cdot e^{-\tau/Tc} + \sqrt{2} \cdot I_{n0.d} \cdot e^{-\tau/Td} = \sqrt{2} \cdot I_{n0.c} \cdot e^{-\tau/Tc} + \sqrt{2} \cdot I_{n0.d} \cdot e^{-\tau/0,04} = \\ &= \sqrt{2} \cdot 7,41 \cdot 0,135 + \sqrt{2} \cdot 1,83 \cdot 0,128 = 2,28 \text{ кА} \end{aligned} \quad (23)$$

Рассчитаем ударный ток короткого замыкания:

$$\begin{aligned} i_y = i_{y,c} + i_{y,d} &= \sqrt{2} \cdot I_{n0.c} \cdot k_{y,c} + \sqrt{2} \cdot I_{n0.d} \cdot k_{y,c} = \sqrt{2} \cdot I_{n0.c} \cdot k_{y,c} + \sqrt{2} \cdot I_{n0.d} \cdot 1,65 = \\ &= \sqrt{2} \cdot 1,82 \cdot 1,83 + \sqrt{2} \cdot 1,65 \cdot 9,24 = 29,59 \text{ кА} \end{aligned} \quad (24)$$

Результаты расчета токов короткого замыкания сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Токи коротких замыканий

Место (ячейка) короткого замыкания	Ток КЗ $I_{n0}$	Ударный ток $I_y$ , кА	Периодическая составляющая т.к.з. $I_{п,\tau}$ , кА	Апериод. Составляющая тока КЗ. $I_{п,\tau}$ , кА
Яч. № 1 РУСН – 6 кВ	12,27	29,59	26,08	2,28
Яч. № 2 РУСН – 6 кВ	14,05	34,45	33,45	2,6
Яч. № 3 РУСН – 6 кВ	12,78	31,01	29,64	2,37
Яч. № 4 РУСН – 6 кВ	13,01	31,6	30,59	2,42
Яч. № 5 РУСН – 6 кВ	18,5	44,61	42,5	3,44
Яч. № 6 РУСН – 6 кВ	17,03	40,87	39,1	3,16
Яч. № 7 РУСН – 6 кВ	13,71	32,97	28,9	2,51
Яч. № 8 РУСН – 6 кВ	14,11	33,86	29,2	2,53

## **4 Выбор коммутационной аппаратуры**

### **4.1 Расчетные условия для выбора электрических аппаратов**

«Все электрические аппараты, токоведущие части и изоляторы на станциях и подстанциях должны быть выбраны по условиям длительной работы и проверены по условиям короткого замыкания в соответствии с указаниями "Правил устройств электроустановок" [1] и "Руководящих указаний по расчету коротких замыканий, выбору и проверке аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания" [2]. Выбор аппаратов и проводников для проектируемой установки начинают с определения по заданной электрической схеме расчётных условий, а именно: расчётных рабочих токов присоединений, расчётных токов короткого замыкания» [50].

«Расчетные величины сопоставляют с соответствующими номинальными параметрами аппаратов и проводников, выбираемыми по каталогам и справочникам. При выборе аппаратов необходимо учитывать род установки (наружная или внутренняя), температуру окружающего воздуха, влажность и загрязненность помещения, а также габариты, вес, стоимость аппарата, удобство его размещения в распределительном устройстве» [50].

Различают четыре режима работы установок: нормальный, аварийный, ремонтный, и послеаварийный.

При выборе проводников и аппаратов необходимо знать максимальные длительные токи нормального режима, ремонтного режима, послеаварийного режима. Наибольший из двух последних токов, если он больше номинального может быть назван максимальным длительным током. Кроме того, при выборе проводов и аппаратов необходимо знать токи при расчетных условиях короткого замыкания.

## 4.2 Выбор коммутационной аппаратуры для системы собственных нужд подстанции «Савельевская»

Коммутационная аппаратура – это выключатели и разъединители, которые выбираются из соответствия следующим условиям:

- 1) «номинальное напряжение электроустановки  $U_{уст}$  меньше или равно номинальному напряжению  $U_{ном}$  выключателя, т.е.:

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (25)$$

- 2) ток утяжеленного режима меньше или равен номинальному току выключателя, т.е.

$$I_{утяж} \leq I_{ном} \quad (26)$$

- 3) начальное значение периодической составляющей тока к.з. меньше или равно действующему значению тока электродинамической стойкости, т.е.

$$I_{n,0} \leq I_{эд} \quad (27)$$

- 4) ударный ток к.з. меньше или равен амплитудному значению тока электродинамической стойкости, т.е.

$$i_{уд} \leq I_{эд,max} \quad (28)$$

- 5) импульс квадратичного тока меньше или равен номинальному импульсу квадратичного тока, определяемого квадратом тока термической стойкости и временем его протекания, т.е.

(29)

$$B \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$$



б) действующее значение периодической составляющей тока к.з. в момент расхождения контактов меньше или равно номинальному току отключения выключателя, т.е.

$$I_{n,\tau} \leq I_{отк} \quad (30)$$

Полный ток к.з. к моменту расхождения контактов меньше или равен номинальному асимметричному току отключения, т.е.

$$(\sqrt{2}I_{n,\tau+ia,\tau}) \leq \sqrt{2}I_{отк}(1+\beta_{ном}). \quad (31)$$

где  $\beta_{ном}$  – номинальное относительное содержание аperiodической составляющей.

При выборе электрических аппаратов РУ с  $U_{ном}$  35 кВ все выключатели РУ устанавливаются однотипными» [17].

К установке в распределительном устройстве приняты вакуумные выключатели серии ВВ/TEL-10, внешний вид которых представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид выключателя ВВ/TEL-10

Проверка выключателя в присоединении двигателей производится по следующим формулам:

$$I_{нор} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 367A \quad (32)$$

$$I_{нор} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot 0,95} = 386A \quad (33)$$

Сравнение выключателей приведено в таблице 4, а технические данные сведены в таблицу 5.

Таблица 4 – Выбор выключателей 6 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	
	ВВ/TEL-10-20/1000	ВВ/TEL-10-20/1600
Uуст = 6 кВ	Uном = 10кВ	Uном = 10кВ
Iном = 369А	-	-
Imax = 396А	Iном = 1000А	Iном = 1600А
Iп,τ = 18,46 кА	Iотк,н = 20 кА	Iотк,н = 20 кА
ia,τ = 3.44 кА	Ia,ном = $\sqrt{2\beta} \cdot I_{отк,н} = 4,65$ кА	Ia,ном = $\sqrt{2\beta} \cdot I_{отк,н} = 6,85$ кА
Iп,о = 18,5 кА	Iпр,ск = 20 кА	Iпр,ск = 20 кА
Iу = 44,61 кВ	Iпр,ск = 51 кА	Iпр,ск = 51 кА
Вк = $I_{н,о}^2 \cdot (t+T_a) = 67.843 \text{ кА}^2$	$I_{терм}^2 \cdot I_{терм} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ к}$ А <sup>2</sup> *с	$I_{терм}^2 \cdot I_{терм} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ к}$ А <sup>2</sup> *с

Таблица 5 – Технические данные вакуумных выключателей ВВ/TEL [16]

Номинальное напряжение $U_{НОМ}$		6 кВ
Номинальный ток $I_{НОМ}$		1000 А; 1600 А
Номинальный ток отключения $I_{откл}$ при $\cos\varphi=0.7$		20 кА
Предельный сквозной ток	амплитуда $i_{пр.с}$	51 кА
	действующее значение $I_{пр.с}$	20 кА
Номинальный ток включения	амплитуда $i_{вкл}$	20 кА
	действующее значение $I_{вкл}$	20 кА
Предельный ток термической стойкости $I_{пр.т}$		20 кА
Допустимое время действия предельного тока термической стойкости $t_{пр.т}$		3 с
Полное время отключения выключателя $t_{откл}$		0,05 с
Собственное время отключения выключателя $t_{с.в}$		0,03 с
Тип привода		Электромагнитный
Номинальное напряжение ЭВ, ЭО		$\approx 220$ В, $=220$ В
Габаритные размеры		$\approx 220$ В, $=220$ В
Масса		30 кг
Исполнение		УЗ

### 4.3 Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока уменьшают токи первичной обмотки высокого напряжения до значений гораздо более низкого, этим самым позволяют удобно и безопасно измерять большие электрические нагрузки в сетях переменного тока высокого напряжения.

Основной характеристикой трансформатора тока является номинальный коэффициент трансформации. Он указывается в виде отношения номинального тока первичной и вторичной обмоток. Обычно

номинальный ток во вторичной обмотке приводят к значению 1А, 5А и реже 2 А.

Трансформаторы тока делятся по назначению на измерительные и защитные и у них разный класс точности: для измерительных цепей и цепей релейной защиты классы точности будут разными. Трансформаторы тока для измерений должны соответствовать одному из классов точности, согласно ГОСТ: 0,1, 0,2S, 0,2, 0,5, 0,5S, 1, 3, 5, 10. Трансформаторы тока для защиты имеют классы точности – 5Р и 10Р.

По напряжению трансформаторы тока делятся на две группы - до 1000В и выше 1000в. Кроме обычных трансформаторов тока бывают специальные, например, трансформаторы тока нулевой последовательности.

Предварительно выбираем и проверяем трансформаторы тока ТОЛ СЭЩ – 6. Производства завода «Самарский электроцит» Сравнение его расчетных и номинальных параметров проведем в таблице 6.

Таблица 6 – Расчетные и номинальные данные трансформатора тока ТОЛ – 6

Расчетные параметры	Номинальные данные	Условия выбора
$U_{уст}=6 \text{ кВ}$	$U_{ном}=6 \text{ кВ}$	$U_{уст} \leq U_{ном} (6 \text{ кВ} = 6 \text{ кВ})$
$I_{max}=2015 \text{ кВ}$	$I_{ном}=2500 \text{ кВ}$	$I_{max} \leq I_{ном} (2015 \text{ кВ} < 2500 \text{ кВ})$
$i_{уд}=26.73 \text{ кА}$	$i_{дин}=100 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{дин} (26.73 \text{ кВ} < 100 \text{ кВ})$
$B_k=96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k=4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq B_k (96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с})$

Из таблицы видно, что расчетные данные не превышают номинальных, следовательно, устанавливаем предварительно выбранные трансформаторы тока ТОЛ – СЭЩ- 6.

#### 4.4 Выбор трансформаторов напряжения

Назначение трансформаторов напряжения — это понижение высокого напряжения первичной обмоткой до напряжения, удобного для измерения, а также для отделения цепей защиты и измерений от высоких напряжений. Вторичное напряжение на трансформаторе напряжения может быть 100В,  $100/\sqrt{3}$  В, 100/3 В. Трансформаторы с классом точности 0,1; 0,2; 0,5 применяется для измерений, а с классом точности 1,0; 3,0; 3Р или 6Р — для защиты, управления, автоматики или сигнализации.

Выбираем трансформатор напряжения (ТН) НАМИ – 6 кВ завода изготовителя ЗАО «Самарский Электроцит». На стороне 6 кВ у него имеются вольтметр, фазометр, частотомер. Их характеристики приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Контрольно-измерительные приборы во вторичной цепи

Прибор	Тип прибора	Р <sub>потр.</sub> катушки ВА	Число катушек	cos φ	sin φ	Количество	S	
							Р, Вт	Q, вар
Вольтметр	Э-351	2,0	1	1	0	1	2	---
Ваттметр	Ц-301/1	2,0	1	1	0	1	2	--
Счетчик активной энергии	СЭТ-4ТМ	2	2	0,38	0,925	1	1,52	3,7
Счетчик реактивной энергии	СЭТ-4ТМ	2	2	0,38	0,925	1	1,52	3,7
Итого							7,04	7,04

Номинальную мощность трансформатора рассчитаем по формуле:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cos\varphi)^2 + (\sum S_{\text{приб}} \sin\varphi)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (34)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{7,04^2 + 7,04^2} = 9,91 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Выбранный мною ТН НАМИ – 6 имеет номинальную мощность 75 ВА.

Таким образом:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}} \quad (35)$$

Из произведенных расчетов делаем вывод о возможности установки трансформатора НАМИ – 6кВ так как технические параметры удовлетворяют все условия проверки.

Окончательно принимаем трансформатор напряжения (ТН) НАМИ – 6 кВ завода изготовителя ЗАО «Самарский Электроцит».

## **5 Требование к релейной защите и автоматике электродвигателей собственных нужд**

Релейная защита представляет собой автоматически работающее устройство, комплектуемое из специальных автоматов – реле, воздействующих на устройства отключения или сигнализации элементов электрической системы при возникновении в последних повреждения или нарушения нормального режима работы энергосистемы.

«В процессе эксплуатации электродвигателей в них возможны повреждения различных видов. Повреждение электродвигателей вызывается старением изоляции обмоток, дефектами заводского изготовления, попаданием влаги и масла, коммутационными перенапряжениями и, некачественным ремонтом, а также неправильным обслуживанием.

Межфазные короткие замыкания в обмотках статора электродвигателя являются основными видами повреждений электродвигателей переменного тока. Они сопровождаются большими токами, значительно превосходящими номинальный ток электродвигателя. Эти аварийные токи вызывают большие разрушения обмоток и стали электродвигателя. Повреждение кабеля, соединяющего электродвигатель с выключателем или на выводах электродвигателя, вызывает значительное понижение напряжения на шинах собственных нужд, что нарушает нормальную работу других потребителей.

Витковые замыкания – это замыкания между витками одной обмотки статора двигателя. Этот вид повреждения сопровождается также протеканием большого тока в месте повреждения, который, в зависимости от числа замкнутых витков в обмотке двигателя, может достичь значения тока как при межфазных коротких замыканиях.

Также проблемы создают ненормальные режимы работы электродвигателей. Основным видом ненормального режима работы для ряда электродвигателей собственных нужд является перегрузка их токами, превышающими нормальные токи электродвигателей. Длительное

протекание значительных токов перегрузки в обмотке статора представляет опасность для двигателя, так как они вызывают нагрев его обмотки, что приводит к износу изоляции и выходу из строя. Поэтому для электродвигателей при повреждениях и ненормальных режимах работы предусматриваются различные виды защит с действием на отключение поврежденного электродвигателя, сигнализацию и разгрузку приводимого им механизма» [10].

### **5.1 Назначение и выполнение защит**

Релейная защита предназначена для быстрого отключения поврежденного участка сети, причем неповрежденные участки должны остаться в работе. Это достигается за счет селективности защит.

Если аварийная ситуация не грозит немедленному разрушению или повреждению защищаемого объекта, то защита может действовать не на отключение поврежденного участка, а на сигнал дежурному персоналу (предупредительная сигнализация), например, перегрузка, газовая защита первой ступени и т.п.

К защите предъявляют следующие требования: селективность, чувствительность, быстродействие, надежность.

«Токовая отсечка нашла наибольшее применение для защиты электродвигателей собственных нужд 6кВ от междуфазных к.з. в обмотках и на выводах электродвигателя. Она представляет собой максимальную токовую защиту без выдержки времени, действующую на отключение электродвигателей от сети только в случае возникновения в нем междуфазных к.з. Это достигается условием выбора тока срабатывания токовой отсечки, который должен быть больше пускового тока электродвигателя во избежание его отключения от защиты при включении в сеть» [52].



«Дифференциальная защита, по сравнению с токовой отсечкой, обладает значительно большей чувствительностью к повреждениям в электродвигателе, так как по принципу своего действия она не реагирует на токи в электродвигателе в нормальном режиме работы или при пуске. Поэтому ток срабатывания дифференциальной защиты не должен отстраиваться от этих токов, что позволяет выбрать его меньшим, чем у токовой отсечки» [52]. Пример схемы дифференциальной защиты представлен на рис.5.

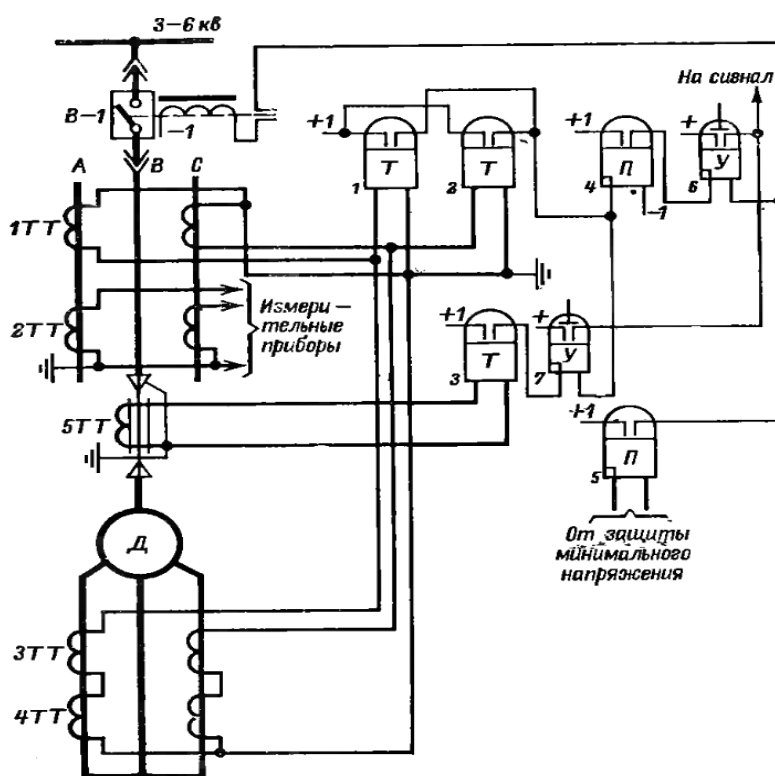


Рисунок 5 – Устройство дифференциальной защиты электродвигателя

«Защита от перегрузки устанавливается на электродвигателях собственных нужд, которые могут подвергаться длительным перегрузкам по разным причинам. Она не устанавливается на электродвигателях собственных нужд не подверженных технологической перегрузке» [52].

## 5.2 Применение современных микропроцессорных защит

В настоящее время микропроцессорные системы защиты начали вытеснять остальные, выполненные на полупроводниковых, статических, индуктивных и электромеханических реле. Использование микропроцессорной защиты позволило повысить надежность и удобство работы, а также сократить время обслуживания.

Всего в одном блоке микропроцессорной РЗА (на примере семейства SPAC 810) имеются функции релейных защит и автоматики, такие как:

- максимальная токовая защита (МТЗ) как направленная, так и ненаправленная,
- ускорение второй ступени МТЗ,
- защита от замыканий на землю (направленная токовая и на высших гармониках),
- защита от несимметрии нагрузки/небаланса,
- защита от перегрузки двигателя («псевдотепловая» модель),
- защита пусковых режимов двигателя,
- защита минимальная токовая (от потери нагрузки),
- защита минимального напряжения (однофазная),
- защита минимального и максимального напряжений (трёхфазная),
- защита по напряжению нулевой и обратной последовательностей,
- групповая защита минимального напряжения секции,
- автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматический ввод резерва (АВР),
- логическая защита шин.

Одним из главных преимуществ микропроцессорной релейной защиты является постоянная самодиагностика всех узлов и немедленное информирование дежурного и обслуживающего персонала об отклонениях или аварийных ситуациях. Система защиты оснащена устройством хранения информации, в котором сохраняются подробные данные о всех нарушениях

нормального режима работы. Оперативная информация, выводимая на табло, позволяет персоналу своевременно распознавать или даже предотвращать аварийные ситуации. Основные электрические величины на табло показываются пофазно, что позволяет контролировать равномерность нагрузки и состояние контактов коммутационных аппаратов.

Существенным недостатком данной защиты является сравнительно маленький диапазон рабочих температур. Для корректной и надежной работы микропроцессорных устройств устанавливается климатическое оборудование. (обогрев, охлаждение.)

Принимая во внимание стоимость и многофункциональность новейших защит, выбор предпочтительнее отнести к отечественным микропроцессорным блокам защит серии «Сириус», выпускаемых фирмой ЗАО «Радиус Автоматика».

### **5.3 Описание и работа устройства «Сириус 21-Д»**

Одним из современных и надежных способов релейной защиты является установка устройства «Сириус 21-Д».

Устройство «Сириус 21-Д» устанавливается в релейных отсеках КРУ, КРУН и КСО, на панелях и в шкафах в релейных залах и пультах управления подстанций 6-36 кВ. Внешний вид панели управления устройства представлен на рис. 6.

«Устройство является комбинированным микропроцессорным терминалом релейной защиты и автоматики. Применение в устройстве модульной мультипроцессорной архитектуры наряду с современными технологиями поверхностного монтажа обеспечивают высокую надежность, большую вычислительную мощность и быстродействие, а также высокую точность измерения электрических величин и временных интервалов, что дает возможность снизить ступени селективности и повысить чувствительность терминала» [35].

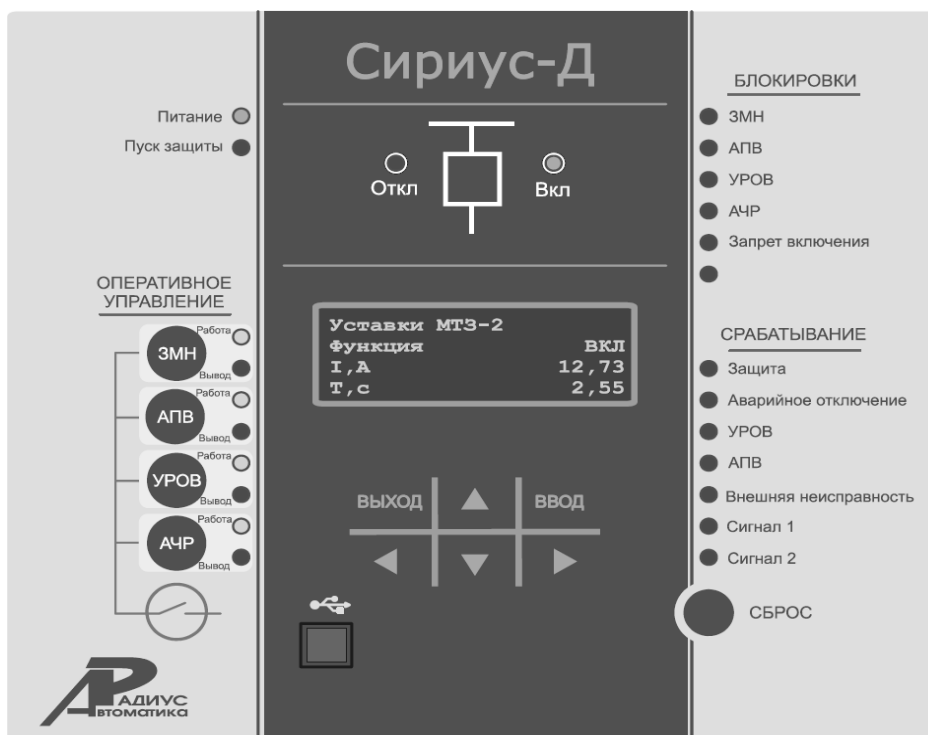


Рисунок 6 – Внешний вид МУРЗ «Сириус»

«Данное устройство используется как микропроцессорный терминал релейной защиты и автоматики.

Современные тенденции таковы, что в быстроразвивающихся технологиях, поверхностный монтаж модульной мультипроцессорной архитектуры обеспечивает высокую надежность, оперативную скорость действия и высокую точность измерений подконтрольных величин» [35].

Сириус производит измерение электрических параметров входных аналоговых сигналов фазных токов и напряжений и тока нулевой последовательности.

При измерениях осуществляется компенсация апериодической составляющей, а также фильтрация высших гармоник входных сигналов.

Устройство совместимо со всеми устройствами защиты и автоматики множества производителей. При аварийном отключении, данные сразу же поступают на компьютер, с которого возможно управление выключателем и мониторинг состояния устройства.

Структурная схема устройства представлена на рисунке 7.

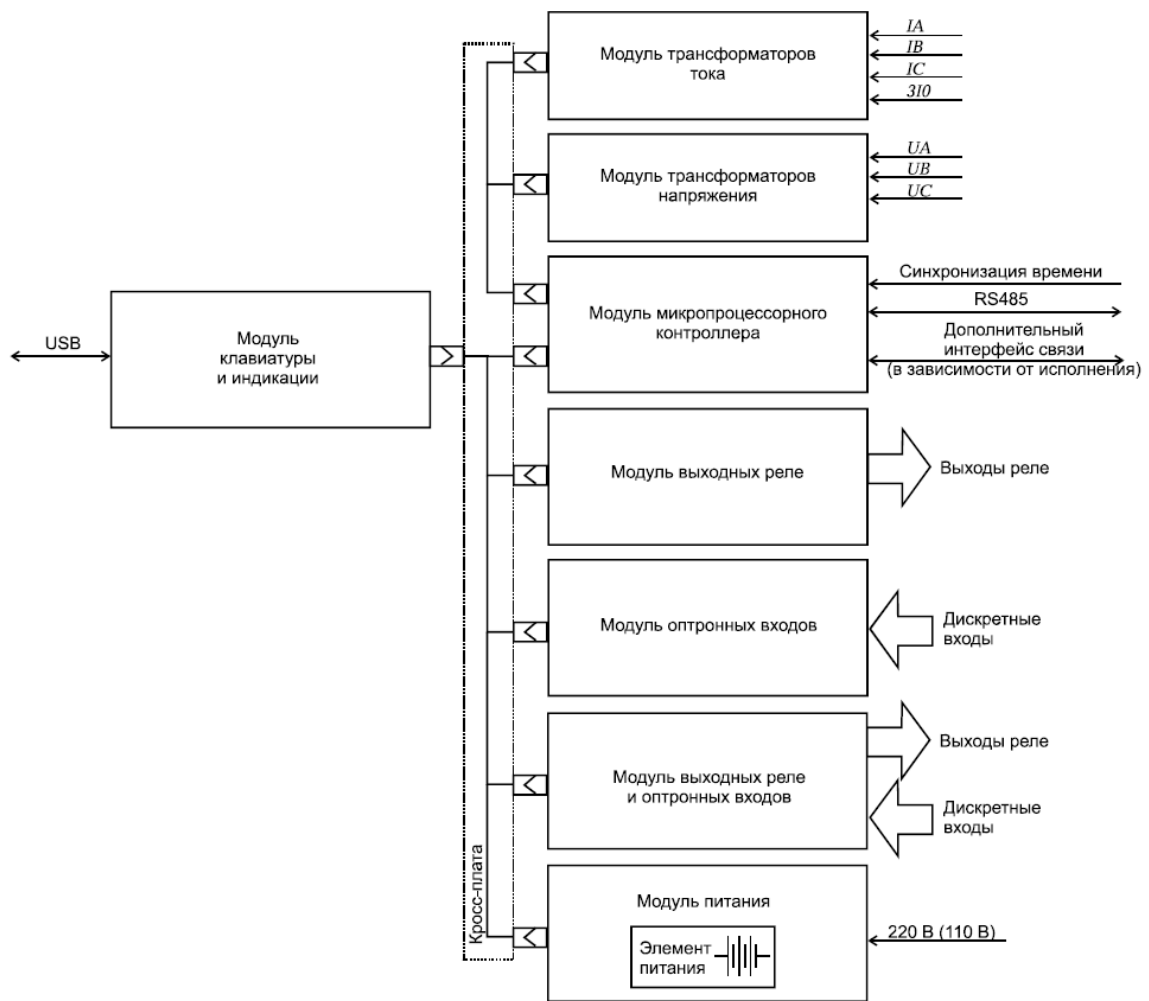


Рисунок 7 – Структурная схема устройства «Сириус»

## **6 Кабельное хозяйство**

Для того чтобы произвести работы по прокладке новых контрольных кабелей, либо заменить уже существующие, но непригодные для эксплуатации, проводится реконструкция кабельных трасс.

Для реконструкции в работу идут только кабели с изоляцией, не распространяющее горение (с индексом НГ-LS). Прокладка кабеля на ОРУ осуществляется в наземных лотках и металлических коробах с соответствующей прочностью. Для прокладки одиночных кабелей применение защитных лотков не требуется, укладка осуществляется прямо в земле. Учитывая возможность повреждения защитных шкафов и коробов, необходимо предусмотреть автоматическое отключение питания, путем присоединения к нулевым защитным РЕ-проводникам питающих кабелей.

На ПС 110 кВ и выше целесообразна установка двух трансформаторов с комплектацией кабельного хозяйства учитывающего возможность возникновения пожара и минимизации в этом случае выхода из строя обоих трансформаторов одновременно.

При замене высокочувствительной к импульсам аппаратуры нужно соблюдать рекомендации по защите вторичных цепей от импульсных помех. Время автоматического отключения питания в сетях электроснабжения силового электрооборудования соответствует требованиям ПУЭ.

При размещении кабелей, на электростанциях трассы кабельных линий должны выбираться с учетом:

- предотвращения перегрева кабелей от нагретых поверхностей технологического оборудования,
- предотвращения повреждений кабелей при выхлопах (возгораниях и взрывах) пыли через предохранительные устройства пылесистем,
- недопущения прокладки транзитных кабелей в технологических туннелях гидрозолоудаления, помещениях химводоочистки.

## 7 Освещение

Питание аппаратуры освещения осуществляется от сети 380/220 В. На подстанции применяются светильники I класса защиты от поражения электрическим током.

Все освещение подстанции делится на рабочее и аварийное. Рабочее является основным видом освещения и предусмотрено во всех помещениях, а также и на открытых участках территории.

Аварийное освещение выполняется в помещениях, щитах управления релейных панелей и силовых панелей собственных нужд ЗРУ 6 кВ, аппаратной связи.

Для освещения ПС используются светодиодные лампы и прожекторы.

Проектом по реконструкции собственных нужд подстанции 110/35/6 кВ «Савельевская» предусмотрена реконструкция старого рабочего освещения и установка дополнительного аварийного освещения.

В особо ответственных местах можно применить схемы осветительной сети с питанием от двух разных трансформаторов.

Для аварийного освещения требуется самостоятельная электрическая сеть. В нашем случае аварийное освещение, как и рабочее, питается от общего трансформатора собственных нужд.

При аварии на подстанции аварийное освещение автоматически переходит на питание от аккумуляторной батареи, встроенной в сами светильники. Питание аккумуляторов аварийных светильников хватает примерно на 5-7 часов, этого достаточно для восстановления основного питания.

Освещение помещений вспомогательных зданий предусматривается светильниками, скрытого монтажа за фальшивым потолком. Здесь используются квадратные светодиодные светильники мощностью 36 Вт. Параметры освещения на рабочих местах соответствуют требованиям

СанПиН 2.2.2/2.4.1240-30 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

Питание нагрузок внутреннего освещения, так же, как и территории перед зданиями предусматривается от щитов освещения ЩО№1 и ЩО№2, находящихся в здании. Кабельная линия системы освещения выполняется кабелем с изоляцией поливинилхлоридных композиций пониженной пожароопасности и низким дымовыделением ВВГ 3×1,5 НГ LS с медными жилами.

Питающие кабели сети освещения зданий по открытой части ПС прокладываются в кабельных лотках и трубах (под дорогами). Кабели групповой сети в зданиях прокладываются за гипсокартонным и подвесным потолком и скрыты в гофрированных трубах.



## **8 Техника безопасности при эксплуатации электроустановок собственных нужд**

Безопасность труда обеспечивается всеми работодателями независимо от численности персонала. Для юридических и физических лиц, сфера деятельности которых связана с эксплуатацией электроустановок, их ремонтом и осмотром, предусмотрены единые нормативы по охране труда. Ответственность за соблюдение необходимого уровня безопасности возлагается на работодателя. Законодательно утвержденные правила и имеющиеся дополнительные требования к технике безопасности на рабочих объектах компаний должны быть отражены в локальных инструкциях по охране труда.

Каждый работник знакомится с нормами поведения и порядком эксплуатации электрооборудования, аппаратуры, вырабатывающей или трансформирующей электроэнергию. Факт проведения инструктажа подтверждается подписями сотрудников.

### **8.1 Опасные и вредные производственные факторы в РУСН-6кВ**

Все производственные факторы подразделяют на вредные и опасные факторы. Они имеют следующие принципиальные отличия.

«Опасный производственный фактор – фактор, воздействие которого может привести к травме или другому резкому внезапному ухудшению здоровья. Вредный производственный фактор – фактор, воздействие которого может привести к снижению работоспособности, заболеванию или профессиональному заболеванию» [21].

Физические опасные производственные факторы - это:

- движущиеся машины и механизмы,
- подвижные части производственного оборудования,

- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Физические вредные производственные факторы это:

- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны,
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны,
- повышенный уровень шума на рабочем месте,
- повышенный уровень статического электричества,
- повышенный уровень электромагнитных излучений,
- недостаточная освещенность рабочей зоны,
- повышенная пульсация светового потока,
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола).

Физические перегрузки, бывают статическими (длительное сохранение определенной позы) и динамическими (повышенная двигательная активность). Нервно-психические перегрузки могут вызываться умственным перенапряжением, перенапряжением деятельности анализаторов, монотонностью труда и эмоциональными перегрузками.

## **8.2 Воздействие производственных факторов на организм человека**

«Запыленность, загазованность воздуха рабочей зоны. Вредными являются вещества, которые при контакте с организмом человека могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе работы, так и отдалённые сроки жизни настоящего и последующих поколений ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества, классификация и общие требования безопасности». В санитарно-гигиенической практике принято разделять вредные вещества на химические вещества и производственную пыль» [49].

«Производственный шум. Многочисленными исследованиями установлено, что шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на все органы и системы организма человека. Наиболее полно изучено влияние шума на слуховой орган человека. Интенсивный шум при ежедневном воздействии приводит к возникновению профессионального заболевания – тугоухости, основным симптомом которого является постепенная потеря слуха на оба уха, первоначально лежащая в области высоких частот (4000 Гц), с последующим распространением на более низкие частоты, определяющие способность воспринимать речь» [49].

«Кроме непосредственного воздействия на орган слуха шум влияет на различные отделы головного мозга, изменяя нормальные процессы высшей нервной деятельности. Это так называемое неспецифическое воздействие шума может возникнуть даже раньше, чем изменения в органе слуха. Характерными являются жалобы на повышенную утомляемость, общую слабость, раздражительность, апатию, ослабление памяти, потливость» [49].

«Повышенные уровни напряжения в электрической цепи. Электрические установки, представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаружить наличие электрического напряжения на оборудовании. Проходя через тело человека, электрический ток оказывает сложное воздействие, являющееся совокупностью термического (нагрев тканей и биологических сред), электролитического (разложение крови и плазмы) и биологического (раздражение и возбуждение нервных волокон) воздействий. Наиболее сложным является биологическое действие, свойственное только живым организмам» [49].

«Биологическое действие электромагнитных полей (ЭМП) более высоких частот связывают в основном с их тепловым и аритмическим эффектом. Тепловое действие может привести к повышению температуры тела и местному избирательному нагреву тканей, органов, клеток вследствие

перехода электромагнитной энергии в тепловую. Биологическая активность ЭМП увеличивается с возрастанием частоты колебаний и является наибольшей в области СВЧ. Облучение ЭМП большой интенсивности может привести к разрушительным изменениям в тканях и органах. Тяжелые поражения возникают только в аварийных случаях и встречаются крайне редко. Длительное хроническое воздействие ЭМП небольшой интенсивности (не вызывающих теплового эффекта) приводит к различным нервным и сердечно-сосудистым расстройствам (головной боли, утомляемости, нарушению сна, боли в области сердца и т.п.). Возможны нарушения со стороны эндокринной системы и изменение состава крови. На ранних стадиях нарушения в состоянии здоровья носят обратимый характер» [49].

«В зависимости от диапазона частот в основу гигиенического нормирования электромагнитных излучений положены разные принципы. Критерием безопасности для человека, находящегося в электрическом поле промышленной частоты, принята напряженность этого поля» [49].

«Освещенность рабочей зоны. Свет является одним из важнейших условий существования человека, так как влияет на состояние его организма. Правильно организованное освещение стимулирует процессы нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму. Согласно статистике 5% производственных травм происходят из-за такого профессионального заболевания, как рабочая миопия (близорукость), которая возникает в результате недостаточного или нерационального освещения. Спектральный состав света влияет на производительность труда. Исследования показывают, что если выработку человека при естественном освещении принять за 100%, то при красном и оранжевом освещении она составит лишь 76%» [27].

«Гигиенические требования к производственному освещению, основаны на психофизических особенностях восприятия света и его влиянии на организм человека, могут быть сведены к следующим:

- спектральный состав света, создаваемого искусственными источниками, должен приближаться к солнечному свету,
- уровень освещенности должен быть достаточным и соответствовать гигиеническим нормам,
- должна быть обеспечена равномерность и устойчивость уровня освещенности на рабочем месте,
- освещение не должно создавать блёклости на рабочем месте» [27].

### **8.3 Электробезопасность**

Электробезопасность – это система организационно-технических мероприятий и средств, направленных для защиты людей от опасного и вредного воздействия электрического тока.

В большинстве случаев поражение электрическим током возникает из-за нарушения изоляции (старение изоляции). Старение изоляции происходит из-за температуры и влажности окружающей среды, солнечных лучей, присутствия химически активных элементов и другие факторы.

Во время проведения работ по монтажу и эксплуатации электрооборудования собственных нужд существует возможность поражения электрическим током. Происходит это в следующих случаях:

- пробой изоляции и замыкании её на те части оборудования, которые нормально под напряжением не находятся (на корпус),
- ошибочные действия персонала.

В распределительных устройствах собственных нужд токопроводящие полы выполненные из металла поэтому они относятся к помещениям с повышенной опасностью.

Для безопасности обслуживающего персонала электроустановок выполняют разные способы защиты от поражения электрическим током. Выполняют защиту от прямого и косвенного прикосновения к токоведущим частям.

Для защиты от прямого прикосновения применяют следующие меры:

- основная изоляция токоведущих частей,
- ограждения и оболочки,
- установка барьеров,
- размещение вне зоны досягаемости,
- применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Дополнительную защиту от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ при необходимости обеспечивают с помощью дифференциальных УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

Защиту от косвенного прикосновения обеспечивают с помощью:

- защитного заземления,
- автоматического отключения питания,
- уравнивания потенциалов,
- выравнивания потенциалов,
- двойной или усиленной изоляции,
- сверхнизкого (малого) напряжения,
- защитного электрического разделения цепей,
- изолирующих (непроводящих) помещений, зон, площадок.

Защита от ошибочных действий персонала выполняется за счет:

- электромагнитной блокировкой коммутационного оборудования, обеспечивающей исключение ошибочных действий персонала при производстве оперативных переключений в распределительных устройствах,
- обеспечением нормативных промежутков между фазами и, между токоведущими и заземлёнными частями,

- применением оградительных устройств, знаков безопасности, средств защиты и предохранительных приспособлений.

#### **8.4 Противопожарные мероприятия на подстанции**

В системе собственных нужд присутствуют пожароопасные элементы, например, релейные шкафы, тэны обогрева помещений, также коммутационной аппаратуры щитов управления и распределения, кабельные конструкции, аккумуляторные и конденсаторные батареи. Это обусловлено присутствием легко воспламеняющихся материалов, использующих в качестве изоляции (лаков и компаундов, масла, битума, канифоли).

В соответствии с НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение РУСН относится к категории — В4.

Для предотвращения пожароопасных ситуаций на электрической подстанции предусматривают следующие требования:

- кабельные наземные лотки должны выполняться из негорючих материалов: ЖБ плит, уплотнений в виде песчаного насыпа 0,3 метра через каждые 50 м. с нанесением красных полос на крышке лотка в месте насыпи,
- осмотр всего кабельного хозяйства должен производиться по графику с занесением в оперативный журнал результатов осмотра,
- содержание кабельных сооружений в чистоте,
- соблюдение номинальных режимов работы трансформаторов в соответствии с заводскими рекомендациями
- содержание стационарных установок пожаротушения в исправном состоянии. Система трубопроводов и запорная арматура должна быть окрашена в красный цвет. Пожарный водоем должен быть заполнен и не заграждены подъездные пути к нему.

## 9 Расчет экономической эффективности реконструкции РУСН 6кВ

Для того, чтобы проследить срок окупаемости проекта по реконструкции системы электроснабжения собственных нужд подстанции «110/35/6 кВ Савельевская», сделаем необходимые расчеты, отображающие экономическую эффективность.

### 9.1 Расчет капитальных затрат на реконструкцию

Капитальные затраты на реконструкцию складываются из капиталовложений на единицу оборудования:

$$K_{\Sigma} = \sum K_{уд} * n \quad (36)$$

где  $K_{уд}$  - удельные капиталовложения на единицу оборудования;

$n$  – требуемое количество единиц этого оборудования.

Результаты расчета представлены в приложении А – таблице А1.

«Учет местных условий производства электромонтажных работ производим начислением дополнительного коэффициента на заработную плату:» [54].

$$K = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_{НР} = 1,6 * 1,38 * 1,1 * 1,1 * 2 = 5,34 \quad (37)$$

«где  $K_1 = 1,6$  - районный коэффициент;

$K_2 = 1,38$  - коэффициент, учитывающий условия труда;

$K_3 = 1,1$  – работа на высоте;

$K_4 = 1,1$  – выслуга лет;

$K_{НР} = 2$  – накладные расходы» [54].



## 9.2 Смета накладных расходов

Смета накладных расходов состоит из следующих частей:

- амортизация оборудования,
- техническое обслуживание и ремонт оборудования,
- содержание оборудования,
- транспортные расходы.

Амортизационные отчисления рассчитываются по установленным нормам на реновацию, в % от первоначальной стоимости электротехнического оборудования, по следующей формуле:

$$I_A = N_{Ai}^{PEH} * P \quad (38)$$

где P – первоначальная стоимость оборудования;

$N_{Ai}^{PEH}$  - норма отчислений на реновацию

«Для силового электротехнического оборудования и РУ до 150 кВ:»

$N_{Ai}^{PEH} = 0,035$  [54]. Тогда отчисления составят

$$I_A = 0,035 * 35159,26 = 1230,57 \text{ тыс.руб.}$$

Подобным способом осуществляются отчисления в ремонтный фонд.

$$I_{PEM} = N_{Ai}^{PEM} * P \quad (39)$$

где  $N_{Ai}^{PEM}$  - норма отчислений в ремонтный фонд:

Для силового электротехнического оборудования и РУ до 150 кВ:

$$N_{Ai}^{PEM} = 0,029 * I_{PEM} = 0,029 * 35159,26 \text{ тыс.руб.}$$

$$H_{Ai}^{PEM} = 0,029 * I_{PEM} = 0,029 * 35159,26 \text{ тыс.руб} \quad (40)$$

Расходы на содержание оборудования складываются из заработной платы ремонтного персонала, обслуживающего подстанцию.

Баланс рабочего времени приведен в таблице 8.

Суммарные единицы ремонтной сложности и трудоемкости по схеме электроснабжения промышленного предприятия приведены в приложении А – таблице А2.

Таблица 8 – Баланс рабочего времени

Наименование статей баланса	Значение	
	Дни	Часы
Календарный фонд рабочего времени	365	8760
Нерабочие дни всего, в том числе	115	-
Праздничные	10	-
Выходные	105	-
Средняя продолжительность рабочего дня	-	8
Номинальный фонд рабочего времени	250	2000
Неиспользуемое время:	23,75	-
Основного и дополнительного отпуска	5	-
Отпуска учащихся	1,25	-
Невыхода по болезни		
Внутрисменные потери	1,25	
Действительный фонд рабочего времени	218,75	1750
Коэффициент использования рабочего времени	0,875	-

Трудоемкость текущих и средних ремонтов определяется по формулам:

$$T_{TPi} = N_i * EPC_i * n_i^{TP} * t_{TP} \quad (41)$$

$$T_{CPI} = N_i * EPC_i * c * t_{CP} \quad (42)$$

где  $N_i$  – количество единиц  $i$ -ого оборудования;

$n_i^{TP}$ ,  $n_i^{CP}$  - число текущих и средних ремонтов, соответственно;

$t_{CP}=1,2$ ;  $t_{CP}=7$  - норма времени для текущего и среднего ремонтов.

Число рабочих мест для эксплуатационного персонала определится по формуле:

$$R_{PM}^{\text{Э}} = \frac{\sum EPC}{K}, \text{ чел} \quad (43)$$

где  $K=800$  – норма обслуживания в единицах ремонтной сложности, приходящаяся на человека.

$$R_{PM}^{\text{Э}} = \frac{3662}{800} = 4,5 \approx 5 \text{ чел.}$$

Списочная численность эксплуатационного персонала определяется:

$$R_{\text{СПИС}}^{\text{Э}} = \frac{R_{\text{ЯВ}}^{\text{Э}}}{K_{\text{ИГР}}} = \frac{5}{0,875} = 5,7 \approx 6 \text{ чел} \quad (44)$$

где  $K_{\text{ИГР}}=0,875$  - коэффициент использования рабочего года

Численность ремонтного персонала определяется:

$$R_{\text{РЕМ}} = \frac{\sum T}{\Phi_{\text{Д}} * K_{\text{ВН}}} = \frac{24707,1}{1750 * 1,1} = 12,8 \approx 13 \text{ чел} \quad (45)$$

где  $\sum T=24707,1$  - суммарная трудоемкость ремонтной работы;

$\Phi_{\text{Д}}=1750$  действительный фонд рабочего времени;

$K_{ВН}=1,1$  - коэффициент выполнения нормы.

Основная заработная плата рабочих эксплуатационников, разряд которых принимаем равным 5, определится как:

$$И_{З.П.Э.}^O = \beta * \Phi_d * R_{СПИС}^Э * Z_i * K_{ТЕР} = 1,3 * 1750 * 6 * 151 * 1,6 = 1113,84 \text{ тыс.руб} \quad (46)$$

где  $\beta=1,3$  - коэффициент, учитывающий премиальные выплаты;

$Z_i=151$  руб/час - часовая тарифная ставка, для рабочих эксплуатационников пятого разряда.

$K_{ТЕР} = 1,6$  - территориальный коэффициент.

Основная заработная плата ремонтных рабочих определится по формуле:

$$И_{ЗПР}^O = \sum T * Z_i * K_{ТЕР} = 24707,1 * 151 * 1,6 = 2,16,099 \text{ тыс.руб} \quad (47)$$

где  $Z_i=151$  руб/час - часовая тарифная ставка, для рабочих 5 разряда;

$K_{ТЕР}=1,6$  - территориальный коэффициент.

Дополнительная заработная плата составляет 10 % от основной заработной платы.

Таким образом, общий годовой фонд заработной платы по рабочим составляет:

$$И_{ЗПР}^{\Sigma} = И_{ЗПЭ}^O + И_{ЗПЭ}^Д + И_{ЗПР}^O + И_{ЗПР}^Д = 1113,84 + 1113,84 * 10\% + 2016,099 + 2016,099 * 10\% = 3442,92 \text{ тыс.руб.} \quad (48)$$

Отчисления на социальное страхование производится в соответствии с существующими нормативами во внебюджетные социальные фонды (пенсионный, фонд социального страхования, занятости, обязательного медицинского страхования).

Отчисления на социальные нужды определяются по формуле:

$$I_{\text{СН}} = \alpha_{\text{СН}} * I_{\text{ЗПР}} = 34\% * 3442,92 = 1170,59 \text{ тыс.руб.} \quad (49)$$

где  $\alpha_{\text{СН}} = 34\%$  - норма отчисления на социальные службы.

Транспортные расходы определяем по формуле:

$$A_{\text{ТРАС}} = 0,025 * A_{\text{СОБ}} = 0,025 * 35159,26 = 878,98 \text{ тыс.руб.} \quad (50)$$

где  $A_{\text{СОБ}}$  - собственная стоимость оборудования.

Расходы на охрану труда определяем по формуле:

$$A = I_{\text{А}} + I_{\text{РЕМ}} + I_{\text{ЗПР}} + I_{\text{СН}} + A_{\text{ТРАС}} + A_{\text{ОТ}} = 1170,59 + 878,98 + 123,057 + 1230,57 + 1019,61 + 3442,92 = 7865,72 \text{ тыс.руб.} \quad (51)$$

### 9.3 Эффективность реконструкции

Заключительным этапом экономического расчета является оценка экономической эффективности предложенной реконструкции.

Экономическая выгода от реконструкции заключается в:

- уменьшении ущерба,
- уменьшении затрат,
- повышении надежности.

### 9.4 Снижение ущерба

При плановом ремонте оборудования, а также при возможных авариях, некоторое время потребители остаются без электроснабжения.

Ущерб от перерыва электроснабжения рассчитывается по формуле:

$$Y_{\text{НД}} = y_{\text{О}} * W_{\text{НД}} \quad (52)$$

где  $y_{\text{О}} = 2,9 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}} * \text{ч}$  - удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии;

$W_{\text{НД}}$  - энергия недоотпущения в год.

$$W_{\text{НД}} = \frac{T_{\Sigma}^* \cdot W_{\text{год}}}{8760} \quad (53)$$

где  $W_{\text{год}} = 90598$  МВт\*ч - это энергия потребляемая потребителем за год;

$T_{\Sigma}^*$  - суммарное время простоя оборудования.

«В результате реконструкции суммарное время простоя уменьшается. Принимаем 3 как коэффициент увеличения срока простоя оборудования для полностью выработавшего свой ресурс оборудования;» [54].

$$T_{\text{Стар}}^* = 72 \cdot 3 \cdot \alpha_{\text{ИЗН}} = 72 \cdot 3 \cdot 0,6 = 129,6 \text{ ч} \quad (54)$$

где  $\alpha_{\text{ИЗН}} = 0,6$  - коэффициент износа оборудования;

72 ч. – нормальное время простоя оборудования в год.

«Для нового оборудования принимаем номинальное время простоя:» [54].

$T_{\text{Нов}}^* = 72$  ч.

Получаем разницу во времени простоя оборудования до и после реконструкции:

$$T_{\Delta} = T_{\text{Стар}}^* - T_{\text{Нов}}^* = 129,6 - 72 = 57,6 \text{ ч} \quad (55)$$

«Разница в годовом недоотпуске электроэнергии до и после реконструкции определяется по формуле:» [54].

$$W_{\Delta\text{НД}} = \frac{T_{\Delta} \cdot W_{\text{год}}}{8760} = \frac{57,6 \cdot 90598}{8760} = 595,71 \text{ МВт*ч} \quad (56)$$

Снижение экономического ущерба от недопоставки электроэнергии до и после реконструкции определяется по формуле:

$$У_{\Delta\text{НД}}=у_0 \cdot W_{\Delta\text{НД}}=2,9 \cdot 595,71=1727,55 \text{ тыс.руб.} \quad (57)$$

«Затраты на капитальный ремонт нового оборудования - 30% от амортизационных отчислений:» [54].

$$З_{\text{КАП}}^{\text{НОВ}}=0,3 \cdot I_A=0,3 \cdot 120,57=369,17 \text{ тыс.руб.} \quad (58)$$

«Затраты на текущее обслуживание - 25% от затрат на капитальный ремонт:» [54].

$$З_{\text{КАП}}^{\text{НОВ}}=0,25 \cdot З_{\text{КАП}}^{\text{НОВ}}=0,25 \cdot 369,17=92,29 \text{ тыс.руб.} \quad (59)$$

«Учитывая то, что практически все старое оборудование выработало больше половины ресурса, оно требует к себе с каждым годом все большего внимания.

Затраты на капитальный ремонт старого оборудования - 30% от общей стоимости оборудования:» [54].

Оценим старое оборудование приблизительно в 40 млн.руб.

$$З_{\text{КАП}}^{\text{СТАР}}=0,25 \cdot З_{\text{КАП}}^{\text{СТАР}}=0,25 \cdot 1,2=300,0 \text{ тыс.руб} \quad (60)$$

## 9.5 Срок окупаемости реконструкции

Результирующая разница в затратах на эксплуатацию старого и нового оборудования составляет:

$$W_{\text{ГОД}}^{\text{Экон}}=W_{\text{ГОД}}^{\text{стар}}-W_{\text{ГОД}}^{\text{нов}}=90589-87880=2718 \text{ МВт*ч} \quad (61)$$

Экономическая эффективность нового оборудования составляет:

$$\mathcal{E}_{\text{ГОД}}=у_0 \cdot W_{\text{ГОД}}^{\text{Экон}}=2,9 \cdot 2718=7882 \text{ тыс.руб} \quad (62)$$

Определяем срок окупаемости оборудования:

$$D_{\text{окуп}} = \frac{P_{\text{об}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}} = \frac{42542,94}{7882} = 5,39 \approx 5,5 \quad (63)$$

Реконструкция окупит себя через 5,5 лет.

Вывод: Реконструкция системы собственных нужд является экономически эффективной т.к. число отключений в год уменьшится, что приведет к снижению экономического ущерба от недопоставки электроэнергии на 1727,55 тыс. руб. в год.

Основными ожидаемыми результатами реконструкции должны стать:

1. Повышение надежности электроснабжения объектов, обеспечиваемых подстанцией «Савельевская».
2. Снижение количества аварийных отключений электроэнергии.
3. Экономия средств при проведении плановых ремонтов, за счет более совершенной системы собственных нужд, позволяющей выводить в ремонт свои элементы с минимальным отключением других потребителей.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был предложен вариант реконструкции системы электроснабжения собственных нужд подстанции «Савельевская» 110/35/6 кВ. Основой реконструкции стала оценка качества обеспечения подстанции переменным, выпрямленным и постоянным током. Было выявлено множество недостатков, основные из которых обусловлены возросшими потребностями оборудования собственных нужд в токе различного рода. Также было выявлено недостаточно эффективное управление системой собственных нужд, что обусловило актуальность внедрения в нее средств автоматизации.

По результатам анализа состояния названной системы были сформулированы технические предложения по ее реконструкции и выполнены необходимые расчеты.

Для выбора элементов системы релейной защиты по известным методикам были найдены токи короткого замыкания. Это позволило выбрать коммутационные аппараты и кабельную продукцию с наиболее подходящими характеристиками.

Самыми критичными коммутационными аппаратами в распределительном устройстве 6 кВ были признаны высоковольтные выключатели. Для повышения надежности их работы и повышения устойчивости устойчивости работы всего оборудования было принято решение применить вакуумные выключателями марки ВВ/TEL.

Для эффективной защиты от перегрузок были рассчитаны уставки защит основных потребителей РУСН 6кВ, а также выбраны трансформаторы тока ТОЛ-6. С целью повышения эффективности управления энергообеспечением собственных нужд предложено вместо старой электромеханической системы защиты электродвигателей собственных нужд использовать микропроцессорное устройство «Сириус-21-Д».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анчарова, Т.В., Рашевская, М.А., Стебунова, Е.Д. Электроснабжение зданий и сооружений. М.: ФОРУМ; НИЦ ИНФРА-М, 2012.
2. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб. метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2015.
3. Вахнина, В.В. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко, Т.А. Рыбалко. - Тольятти: ТГУ, 2015.
4. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс]: электрон. учеб. метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2016.
5. ГОСТ 12.1.019-79 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
6. ГОСТ 27514-87 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1кВ
7. ГОСТ 30323-95 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания.
8. Дубинский, Г. Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением выше 1000В / Г.Н. Дубинский, Л.Г. Лев ин. - М.: Солон- Пресс, 2018. - 538 с.
9. Дубинский, Г. Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением до 1000 В / Г.Н. Дубинский, Л.Г. Левин. - М.: Солон- Пресс, 2016. - 400 с.
10. Дьяков, В. И. Типовые расчеты по электрооборудованию, практическое пособие - 9-е изд., пер. и доп. -М. Высш.шк.,2011 - 160с.
11. Низковольтные автоматические выключатели: учебное пособие / А.В Кабышев, Е.В. Тарасов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 346с.
12. Вводно - распределительные устройства серии ВРУ-1 ГОСТ Р 51321.1- 2000. Каталог «Стандарт Энерго», - 2013. – 51с.

13. Кабышев, А.В., Обухов, С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Учебное пособие и справочные материалы для курсового и дипломного проектирования – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – 248с.
14. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М.: КНО РУС, 2011.
15. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания – М: Изд-во Форум, 2018, - 120 с.
16. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие для среднего профессионального образования / Е.А. Конюхова. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 320 с.
17. Маньков, В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения
18. Мельников, М. А. Внутривзаводское электроснабжение: Учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.
19. Мельников, М. А. Внутрицеховое электроснабжение: Учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2002
20. Неклепаев, Б.Н., Крючков И. П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2019. – 608 с.: ил.
21. Сибикин, Ю. Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учеб. пособие / Ю.Д. Сибикин. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. - 384 с.
22. Справочник по проектированию электрических сетей / Под редакцией Д.Л. Файбисовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2016. – 352с.: ил.
23. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под общей редакцией А.А. Федорова – М: Изд-во ДЕАН, 2016.

24. Справочная книга для проектирования электрического освещения. / Под ред. Г.Б. Кнорринга. – М.: Энергия, 2016
25. Салтыков, В.М. Проектирование электрической части подстанций в энергосистемах / В.М. Салтыков // Учеб. Пособие - Тольятти: ТГУ, 2002.
26. Самгин, Э.Б. Освещение рабочих мест. – М.: МИРЭА, 2009. –186с.
27. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Естественное и искусственное освещение.
28. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
29. СП31-110—2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. Госстрой России, 2003.
30. Справочник по энергосбережению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий // С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин, С.А. Цырук. М.: Издательский дом МЭ И, 2010.
31. Проектирование систем электроснабжения: практикум по курсовому проектированию / сост. Ю. П. Свиридов. –Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 40с
32. Правила устройства электроустановок - 7 изд. С Пб.: Издательство ДЕАН, 2016 - 704 с.
33. Вакуумные выключатели ВВ/TEL среднего класса напряжения 6–20 кВ. Каталог «Таврида Электрик», 2016. – 16с.
34. Пункты распределительные П Р11. Номенклатурный каталог «Стандарт Энерго», 2016. – 8с.
35. Руководство по эксплуатации вакуумных выключателей ВВ/TEL
36. Руководство по эксплуатации микропроцессорного устройства защиты электродвигателей «Сириус-21-Д».
37. Федоров, А.А., Каменева, В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 2004.
38. Хорольский, В.Я. Надежность электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов — Санкт- Петербург, Форум, Инфра-М, 2013 г

39. Цифровые устройства релейной защиты электродвигателей. Алгоритмы и уставки ч.2. – М.: НТФ Энергопрогресс, 2013. – 82с.
40. Шеховцов, В. П. «Расчет и проектирование схем электроснабжения. Метод. Пособие для курсового проектирования», Изд. 2. Изд.: Форум, 2018.
41. Шеховцов, В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В. П. Шеховцов - М.: Форум, Инфра-М, 2014. - 136 с.
42. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования: ВСН 59—88 / Госкомархитектуры. М.: ГУП ЦПП, 2009.
43. Электроснабжение и электрооборудование цехов / Э.А. Киреева, В.И. Григорьев, В.А. Миронов [ и др.]. М.: Энергоатомиздат, 2003
44. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования/ Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 448с.
45. <https://www.elec.ru/news/2018/02/14/na-ps-110356-kv-avelevskayaustanovili-elektroteh.html>
46. <http://www.news.elteh.ru/arh20117208.html>
47. Piątek, L. Frequency and outage duration in electric power systems /L. Piątek, A. Burmutaew // Electrical Review. – 2009. – Vol. R85. – Nr. 3. – P.220-222.
48. Endrenyi, J. Reliability evaluation of transmission systems with switching after faults – approximation and a computer program // J. Endrenyi, P.Maenhaut, L. Payne / IEEE Transactions on power apparatus and systems. – 2013. – Vol. PAS-92. – № 6. – P. 1863-1875.
49. Безопасность условий труда на рабочем месте определяется наличием опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ), электронный ресурс. <https://vikidalka.ru/2-172524.html>
50. Выбор электрических аппаратов и проводников: Учебное пособие. /Р.В. Гайсаров. - Челябинск: ЮУрГУ. - 58 с
51. Рожкова, Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

52. Байтер, И.И. Защита и АВР электродвигателей собственных нужд.1980

53.[https://studbooks.net/1553837/matematika\\_himiya\\_fizika/proektirovanie\\_vozdushnoy\\_linii\\_elektroperedachi\\_110\\_kv.html](https://studbooks.net/1553837/matematika_himiya_fizika/proektirovanie_vozdushnoy_linii_elektroperedachi_110_kv.html)

54. <https://referatbank.ru/market/referat/i/199922/diplom-modernizaciya-yacheyki-linii-podstancii-sushchevo-mrsk-centr-kostromaenergo-vnedreniem-sepey-vtorichnoy-kommutacii.html>

Приложение А

**Экономический анализ**

Таблица А.1 – Стоимость капитальных затрат и единицы ремонтной сложности реконструкции

№	Наименование	Кол-во шт.	Стоимость единицы руб.		Общая стоимость тыс. руб.	
			Стоимость	Монтаж. работы	Стоимость	Монтаж. работы
1	Выключатель ВВ/TEL-10-20/1000	201	105900	22239	21285,9	4470,03
2	Выключатель ВВ/TEL-10-20/1600	32	114800	24108	3673,6	771,45
3	Тр-ры тока ТОЛ-10	465	15700	3297	7300,5	1533,1
4	МУРЗ «Сириус-21-Д»	42	69030	14502	2899,26	609,08
	<b>Сумма:</b>				<b>35159,26</b>	<b>7383,68</b>
	<b>Итого:</b>				<b>42542,94</b>	

Таблица А.2 – Расчет ремонтной сложности

№	На именование	N	Е Р С	Е РС Сумм .	$n_{TP}$	$n_{CP}$	$T_{TP}$	$T_{CP}$	$T_{\Sigma}$
1	Выключатель ВВ/TEL-10- 20/1000	201	6	1206	1,67	0,6	2416,8	14098,1	16514,96
2	Выключатель В В/TEL-10- 20/1600	32	5	160	1,67	0,6	320,6	1870,4	2191
3	Тр- ры тока ТОЛ -10	465	2	2296	1	-	931,8	3255	4186,8
4	МУРЗ «Сириус-21-Д»	42	8	336	1	0,6	403,2	1411,2	1814,4
	<b>Всего</b>			<b>3998</b>			<b>4072,4</b> <b>2</b>		<b>24707,1</b>

где:

$n_{TP}$  - число текущих ремонтов;

$n_{CP}$  - число средних ремонтов;

$T_{TP}$  - трудоемкость текущих ремонтов;

$T_{CP}$  - трудоемкость средних ремонтов;

$T_{\Sigma}$  - суммарная трудоемкость.