

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

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование кафедры)

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

Электроснабжение  
(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Реконструкция электрической части подстанции 35/10 кВ «Джоли»

Студент	<u>У.А. Едаршоева</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>О.В. Самолина</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>А.В. Кириллова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В. Вахнина \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Тольятти 2019

## АННОТАЦИЯ

Задача и основной целью выпускной квалификационной работы является повышение энергоэффективности электрооборудования электрической части подстанции «Джоли» 35/10 кВ. Пояснительная записка содержит:

- Основная характеристика подстанции 35/10 кВ «Джоли»;
- Расчет электрических нагрузок ПС «Джоли» ;
- Выбор оптимальной мощности трансформаторов на подстанции 35/10 «Джоли»;
- Расчёт токов КЗ на подстанции 35/10 кВ «Джоли»;
- Выбор оборудования для ПС 35/10 кВ «Джоли» ;
- Релейная защита;
- Расчет заземления и молниезащиты.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 44 листа и 6 чертежей формата А1

## ABSTRACT

The title of the graduation work is «The reconstruction of the electrical part at the 35/10 kV "Jomi" substation».

The key issue of the senior thesis is the reconstruction of the electrical part at the 35/10 kV "Jomi" substation.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions.

The main task of the given graduation work is a technique of short circuit current calculation, the analysis of power transformers, a technique of the basic equipment choice, the system of relay protection, lightning protection and grounding. Much attention is given to the technical standards and requirements.

Special part of the senior thesis is devoted to the main methods of designing the substation electrical part.

We first consider the main characteristic of the 35/10 kV "Jomi" substation. Then we calculate the electric loads and short-circuit currents of substation "Jomi". We also elucidate the choice of transformers optimum capacity and the equipment at 35/10 kV "Jomi" substation. We study the relay protection and perform the calculation of grounding and lightning protection.

The graduation work consists of an explanatory note on 44 pages and the graphic part on 6 A1 sheets.

The work is of interest for wide circle of readers.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Основная характеристика подстанции 35/10кВ «Джоли» .....	6
2 Расчет электрических нагрузок ПС «Джоли» .....	8
3 Выбор оптимальной мощности трансформаторов на подстанции 35/10 кВ «Джоли».....	12
4 Расчёт токов КЗ на подстанции 35/10 кВ «Джоли».....	18
5 Выбор оборудования для ПС 35/10 кВ «Джоли».....	233
6 Релейная защита .....	322
7 Оперативный ток на подстанции «Джоли» .....	3535
8 Расчет заземления подстанции «Джоли».....	37
Заключение .....	4141
Список используемых источников.....	42

## ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергия используется во всех сферах народного хозяйства и в быту. Это упрощается благодаря универсальности и простоте использования. Энергетика занимает важное место среди отраслей народного хозяйства. В наиболее обобщенном виде уровень развития энергетики и электрификации отражает технический и экономический потенциал страны.

Несмотря на спад производства и другие неблагоприятные факторы, энергетический сектор все еще развивается, необходимо построить новые подстанции, используемые для распределения и передачи электроэнергии.

Передача и распределение электрической энергии должны выполняться с высокой надежностью и эффективностью. Это означает, что подстанция должна быть оснащена современным надежным оборудованием для обеспечения ее стабильной работы, а, следовательно, и потребителем, который ими питается. Отказ подстанции может привести к серьезным последствиям, таким как потеря производства, дефекты качества, а также может привести к смерти. Таким образом, необходима постоянная и своевременная модернизация оборудования подстанции, что позволяет избежать нежелательных последствий, которые могут возникнуть в случае сбоя питания.

Целью этой ВКР является реконструкция подстанции Джоли в связи с тем, что подстанция работает с 1979 года. Ее оборудование полностью изношено и нуждается в замене.

## **1 Основная характеристика подстанции 35/10 кВ «Джоли»**

Оценка состояния электрической части покажет объем реконструкции подстанции «Джоли». В этом разделе будет рассмотрен ряд вопросов, решение которых позволит определить необходимый объем работ по улучшению технического состояния существующей подстанции.

В ходе реконструкции необходимо проанализировать следующие основные моменты:

- 1) надежность, простота и удобство эксплуатации принципиальной схемы;
- 2) состояние оборудования подстанции;
- 3) Возможно ли установить новое оборудование.

### **1.1 Схема электрических соединений ПС 35/10кВ «Джоли»**

Подстанция 35/10 кВ «Джоли» - это электрическая установка, используемая для преобразования и распределения электрической энергии. Подстанция имеет распределительное устройство, два силовых трансформатора (ТМН-4000/35/10), установки для управления всем оборудованием. Подстанция питается от сети из 3 воздушных линий 35 кВ и является тупиковой подстанцией.

На рисунке 1.1 показана принципиальная схема подстанции 35/10 кВ «Джоли». «Со стороны ОРУ-35 кВ использовалась мостовая схема с двумя секционными разъединителями в перемычке и разделителями в цепях трансформатора» [4]. Есть также секционные разъединители (QS3, QS4), которые обычно разомкнуты.

На стороне НН 10 кВ схема с одной секционированной системой шин. В случае отказа трансформатора или отключения линии электропитания, включается АВР и включается автоматический выключатель между шинами, контакты которых разомкнуты в нормальном режиме.

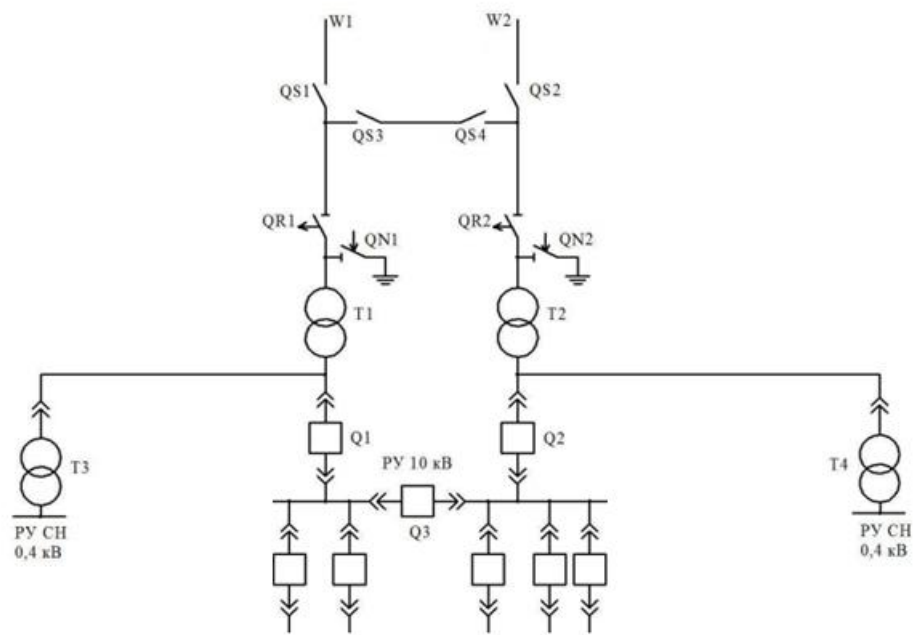
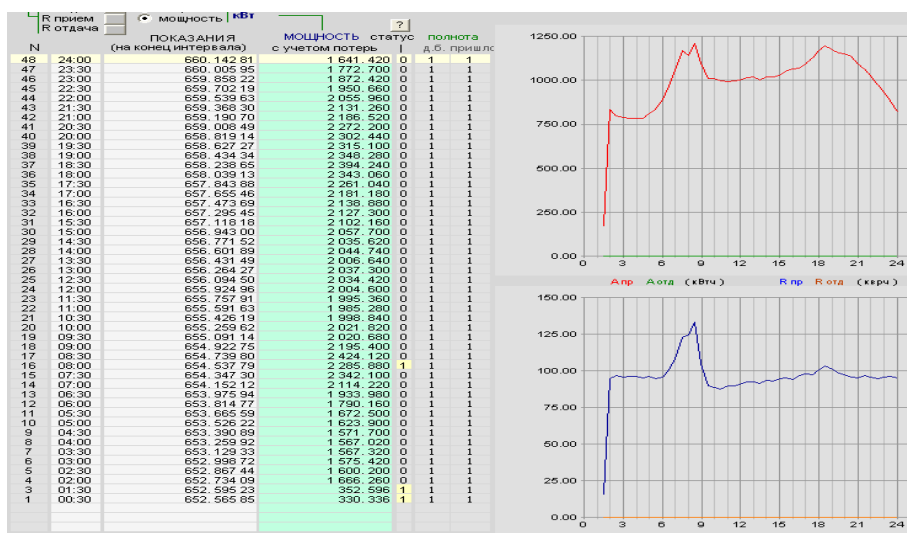


Рисунок 1.1 – Упрощенная электрическая схема подстанции  
35/10 кВ «Джоли»

От подстанции питаются жилые дома и бюджетные организации; по надежности электроснабжения эти потребители попадают в категории II и III.

## 2 Расчет электрических нагрузок ПС «Джоли»

«В соответствии с суточными графиками нагрузки потребителей электрической энергии при напряжении 10 кВ мы строим график суточной нагрузки».



Летний график нагрузки ПС Джоми

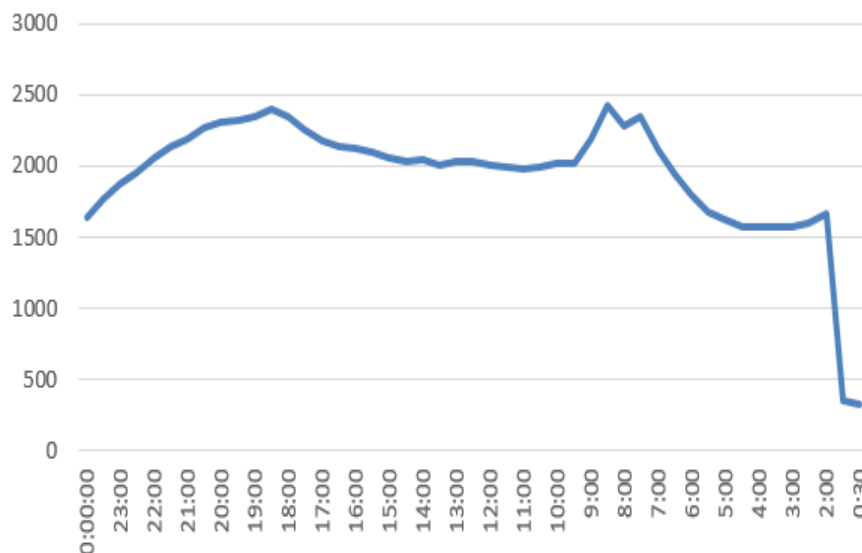
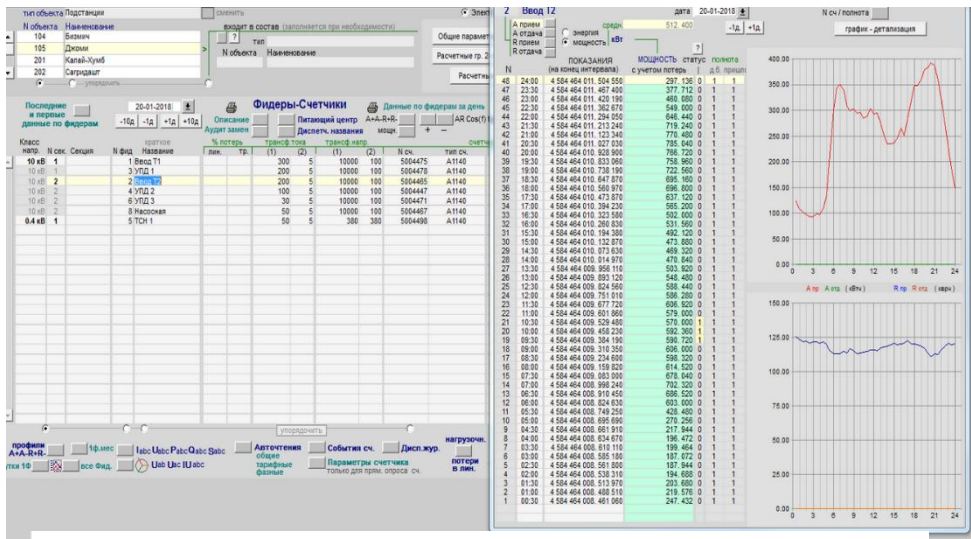
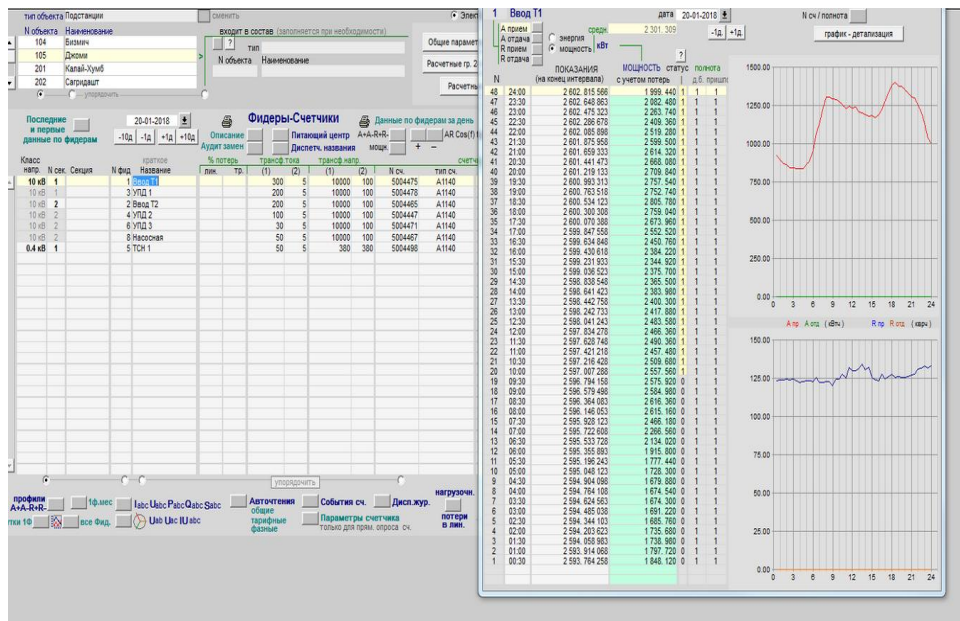


Рисунок 2 – Суточный летний график нагрузки Ввод1





Зимний график нагрузки ПС Джоми

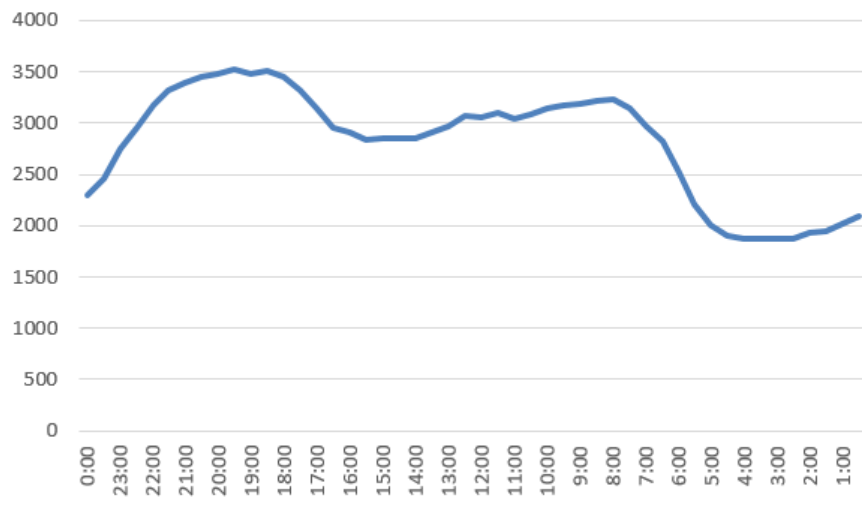


Рисунок 3 – Суточный график зимней нагрузки Ввод1и Ввод2

«Основываясь на графике суточной нагрузки (рисунок 2-3), мы строим график годовой нагрузки для продолжительности(рисунок 4)»[2].

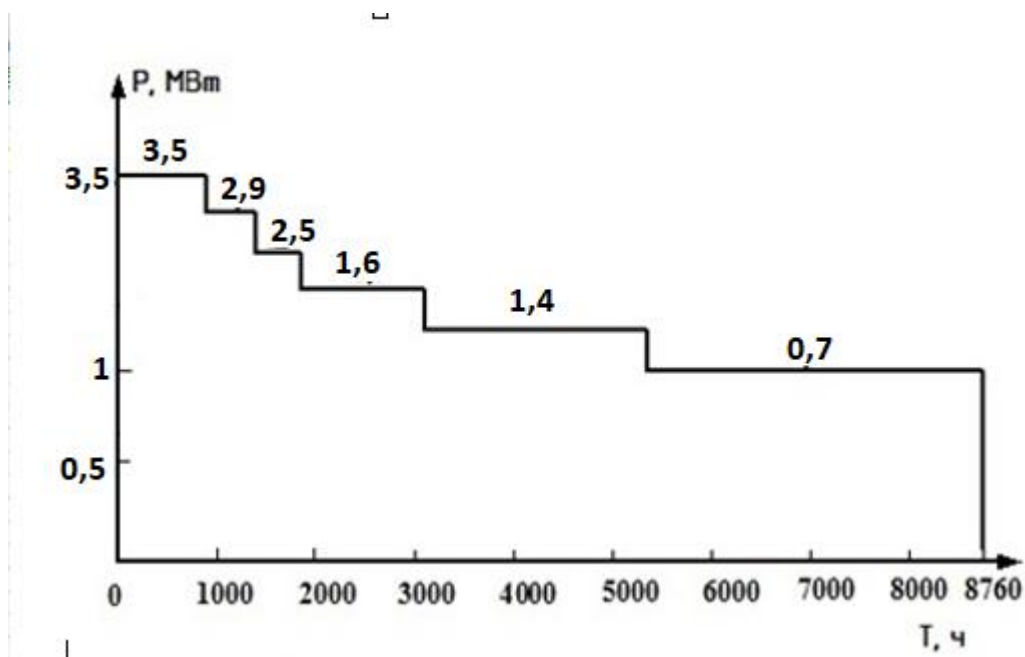


Рисунок 4 – Годовой план загрузки с продолжительностью

«Согласно годовому плану загрузки с продолжительностью цикла (рисунок 3) рассчитываем технико-экономические показатели подстанции» [2].

Энергия потребляется в течение одного года

$$W_n = \sum P_i T_i,$$

где « $P_i$  – активная мощность  $i$ -той ступени графика нагрузки, МВт;

$T_i$  – продолжительность  $i$ -той ступени графика нагрузки, ч»[3].

$$\begin{aligned} W_n &= 3,5 \cdot 915 + 2,9 \cdot 364 + 2,5 \cdot 546 + 1,6 \cdot 1281 + 1,4 \cdot 2196 + 0,7 \cdot 3458 = \\ &= 13167,7 \text{ МВт} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

Среднегодовая нагрузка:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_n}{T_{\Gamma}},$$

где  $T_{\Gamma}$  - количество часов в году, ч ( $T_{\Gamma} = 8760$  ч),

$$P_{\text{ср}} = \frac{13167,7}{8760} = 1,5 \text{ МВт}$$

Полная смесь годового состава автомобиля:

$$K_{\text{эпг}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{макс}}},$$

где  $P_{\text{макс}}$  — максимальный уровень этого напряжения МВт.

$$K_{\text{эпг}} = \frac{1,5}{3,5} = 0,43$$

### 3 Выбор оптимальной мощности трансформаторов на подстанции 35/10 кВ «Джоли»

Рассчитаем мощность для выбора трансформатора: [6,8,9]

$$S_{ном.Т} \geq \frac{S_{max ПС} \cdot K_{1-2}}{K_{пер} \cdot (n-1)} \quad (3.1)$$

$$S_{ном.Т} \geq \frac{3,5 \cdot 0,8}{1,4} = 2 \text{ МВА}$$

Выберите 2 ближайших к трансформатору. Должно быть ТМ – 4000/35/10 и ТМ – 2500/35/10.

Мы проведем технико-экономический расчет по подбору трансформаторов.

#### 3.1 Технико-экономический расчет ТДН – 4000/35/10 и ТМ – 2500/35/10

Таблица 3.1 - Паспортные параметры трансформатора по [6]

Тип трансформатора	$S_{ном.Т}$ , МВА	Каталожные данные					
		$U_{ном}$ обмоток, кВ		$u_k$ , %	$\Delta P_x$ , кВт	$\Delta P_k$ , кВт	$I_x$ , %
		ВН	НН				
ТМ- 4000/35	4	35	10,5	7,5	6,7	33,5	1
ТМ- 2500/35	2,5	35	10,5	6,5	5,1	26	1,1

Расчёт потерь реактивной мощности трансформатора в режиме х.х.:

ТМ- 4000/35/10:

$$Q_x = \frac{I_x}{100} \cdot S_{номТ} \quad (3.2)$$

$$Q_x = \frac{1}{100} \cdot 4000 = 40 \text{ квар}$$

ТМ- 2500/35/10:

$$Q_x = \frac{I_x}{100} \cdot S_{ном.Т} \quad (3.3)$$

$$Q_x = \frac{1,1}{100} \cdot 2500 = 27,5 \text{ квар}$$

Расчёт потери реактивной мощности трансформатора в режиме к.з.:

ТМ- 4000/35/10:

$$Q_{\kappa} = \frac{u_{\kappa}(\%)}{100} \cdot S_{ном.Т} \quad (3.4)$$

$$Q_{\kappa} = \frac{7,5}{100} \cdot 4000 = 300 \text{ квар.}$$

ТМ- 2500/35/10:

$$Q_{\kappa} = \frac{u_{\kappa}(\%)}{100} \cdot S_{ном.Т} \quad (3.5)$$

$$Q_{\kappa} = \frac{6,5}{100} \cdot 2500 = 162,5 \text{ квар.}$$

Коэффициент загрузки:

ТМ- 4000/35/10:

$$K_3 = \frac{S_{\max}}{S_{ном.Т}} \quad (3.6)$$

$$K_3 = \frac{3500}{4000} = 0,875$$

ТМ- 2500/35/10:

$$K_3 = \frac{S_{\max}}{S_{ном.Т}} \quad (3.7)$$

$$K_3 = \frac{3500}{2500} = 1,4$$

Расчет потери активной мощности короткого замыкания трансформатора:[25]

ТМ- 4000/35/10:

$$P'_k = \Delta P_k + k_{un} \cdot Q_k \quad (3.8)$$

$$P'_k = 33,7 + 0,05 \cdot 300 = 48,7 \text{ кВт.}$$

ТМ- 2500/35/10:

$$P'_k = \Delta P_k + k_{un} \cdot Q_k \quad (3.9)$$

$$P'_k = 26 + 0,05 \cdot 162,5 = 34,13 \text{ кВт.}$$

Расчет приведенные потери мощности трансформатора в режиме х. х.;

ТМ- 4000/35/10:

$$P'_x = \Delta P_x + k_{un} \cdot Q_x, \quad (3.10)$$

$$P'_x = 10 + 0,05 \cdot 40 = 12 \text{ кВт.}$$

ТМ- 2500/35/10:

$$P'_x = \Delta P_x + k_{un} \cdot Q_x, \quad (3.11)$$

$$P'_x = 5,1 + 0,05 \cdot 27,5 = 6,48 \text{ кВт.}$$

Расчёт приведённых потерь мощности:

ТМ- 4000/35/10:

$$P'_T = P'_x + k_3^2 \cdot P'_k, \quad (3.12)$$

$$P'_T = 12 + 0,875 \cdot 48,7 = 54,61 \text{ кВт.}$$

ТМ- 2500/35/10:

$$P'_T = P'_x + k_3^2 \cdot P'_k, \quad (3.13)$$

$$P'_T = 6,48 + 1,4 \cdot 34,13 = 54,26 \text{ кВт.}$$

Экономическая нагрузка трансформаторов:

ТМ- 4000/35/10:

$$S_{\text{Э.ПС}} = S_{\text{НОМ.Т}} \cdot \sqrt{n \cdot \left( \frac{P'_x}{P'_k} - 1 \right)} \quad (3.14)$$

$$S_{\text{Э.ПС}} = 4000 \cdot \sqrt{2 \cdot \left( \frac{12}{48,7} - 1 \right)} = 2808 \text{ кВА.}$$

ТМ- 2500/35/10:

$$S_{\text{Э.ПС}} = S_{\text{НОМ.Т}} \cdot \sqrt{n \cdot \left( \frac{P'_x}{P'_k} - 1 \right)} \quad (3.15)$$

$$S_{\text{Э.ПС}} = 2500 \cdot \sqrt{2 \cdot \left( \frac{6,48}{34,13} - 1 \right)} = 1540,5 \text{ кВА.}$$

Потери электроэнергии на подстанции определим по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta W_{nc} &= \sum \Delta W_{xi} + \sum W_{ki} = \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{k.v.i} = \\ &= \sum n_i \cdot P'_x \cdot T_i + \sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{n} \cdot P'_{к.в} \cdot k_{3.v.i}^2 \cdot T_i \right) \end{aligned}$$

Расчетные данные о потерях электроэнергии в трансформаторе сведены в таблицу 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 – ТМ- 4000/35/10:

$i$	$S_{Bi}$ , МВА	$n_i$	$T_i$ , ч	$\Delta W_{xi}$ , кВт·ч	$k_{3.v.i}$	$\Delta W_{ki}$ , кВт·ч
1	3500	2	915	21960	0.875	17058
2	2900	2	364	8736	0.725	4658.8
3	2500	2	546	13104	0.625	5193
4	1600	2	1281	30744	0.4	4991
5	1400	2	2196	52704	0.35	6550
6	700	2	3458	82992	0.175	2579
				$\sum \Delta W_{xi} = 210240$	$\sum \Delta W_{ki} = 41030$	
				$\sum \Delta W_{nc} = 251270$		

Таблица 3.3– ТМ- 2500/35/10:

$i$	$S_{Bi}$ , МВА	$n_i$	$T_i$ , ч	$\Delta W_{xi}$ , кВт·ч	$k_{з.в.i}$	$\Delta W_{ki}$ , кВт·ч
1	3500	2	915	11858	1.4	30604
2	2900	2	364	4717	1.16	8359
3	2500	2	546	7076	1	9318
4	1600	2	1281	16602	0.64	8954
5	1400	2	2196	28460	0,56	11752
6	700	2	3458	44816	0,28	4626
				$\sum \Delta W_{xi} = 113529$		$\sum \Delta W_{ki} = 73613$
				$\sum \Delta W_{\text{ПС}} = 187142$		

Средняя цена за электроэнергии в ГБАО составляет 3,25\$ (Рассчитаем стоимость 1 кВт · ч электроэнергии)

$$C_{\text{э}} = \frac{\alpha}{T_m} + \beta \quad (3.16)$$

Определим стоимость годовых потерь в трансформаторах:

ТМ- 4000/35/10:

$$I_{\text{э}} = \Delta W_{\text{ПС}} \cdot C_{\text{э}} \quad (3.17)$$

$$I_{\text{э}} = 251270 \cdot 0.0325 = 8166,3\$.$$

ТМ- 2500/35/10:

$$I_{\text{э}} = \Delta W_{\text{ПС}} \cdot C_{\text{э}} \quad (3.18)$$

$$I_{\text{э}} = 187142 \cdot 0,0325 = 6082,1\$$$



Годовые отчисления определим по формуле:

$$I_o = p_{\text{сум}} \cdot K. \quad (3.19)$$

$$I_o = 0,094 \cdot 38219 = 3592,6\$.$$

ТМ- 2500/35/10:

$$I_o = p_{\text{сум}} \cdot K. \quad (3.20)$$

$$I_o = 0,094 \cdot 32455 = 3051\$.$$

Рассчитаем годовые эксплуатационные издержки:

ТМ- 4000/35/10:

$$I = I_o + I_{\text{э}} \quad (3.21)$$

$$I = 8166,3 + 3592,6 = 11759.$$

ТМ- 2500/35/10:

$$I = I_o + I_{\text{э}} \quad (3.22)$$

$$I = 6082,1 + 3051 = 9133,1 \$.$$

Экономическая целесообразность выбора трансформатора:

ТМ- 4000/35/10:

$$Z_{\text{ТР}} = E_H \cdot K + I \quad (3.23)$$

$$Z_{\text{ТР}} = 0,15 \cdot 38219 + 11759 = 17492\$.$$

ТМ- 2500/35/10:

$$Z_{\text{ТР}} = E_H \cdot K + I \quad (3.24)$$

$$Z_{\text{ТР}} = 0,15 \cdot 32455 + 9133,1 = 14001\$.$$

По техническим результатам было обнаружено, что трансформатор ТМ – 2500/35/10, но из-за более надежного и будущего (поскольку город Хорог все еще развивается, строятся новые дома), мы выбираем ТМ-4000/35/10кВ.

## **4 Расчёт токов КЗ на подстанции 35/10 кВ «Джоли»**

Практическое использование электрооборудования подразумевает возникновение токов короткого замыкания в электроустановках любой степени сложности, что объясняется естественным старением изоляции, заводскими дефектами, ошибками персонала или другими причинами. Короткое замыкание - это любое случайное короткое замыкание между фазами или в системах с заземленной нейтралью, между одной или несколькими фазами и землей (или нейтралью). [10,15,20,]

Последствия таких коротких замыканий включают в себя: резкое увеличение токов в токонесущих частях, как следствие, падение напряжения в цепи, а в некоторых случаях - возникновение электрической дуги, которая приводит к повреждению оборудования и пожару. Протекание сильноточных токов приводит к перегреву токонесущих частей и, в некоторых случаях, к их механической деформации. Следствием вышесказанного являются перебои в электроснабжении, нарушение технологических режимов. [16,19]

Предотвращение коротких замыканий в электросетях является одной из приоритетных задач проектирования системы.

### **4.1 Рассчитать токи КЗ**

Этот расчет проводится для того, чтобы выбрать и проверить электрические устройства и проводники, а также выполнить проектирование заземляющих устройств и другого оборудования.

Составить расчетную схему ПС и обозначить рассчитанные баллы КЗ (рисунок 4.1 – 4.2)

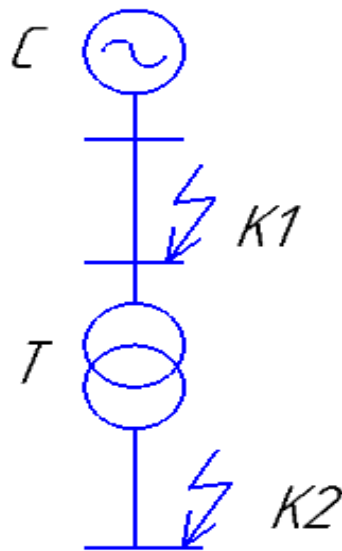


Рисунок 4.1– Расчетная схема

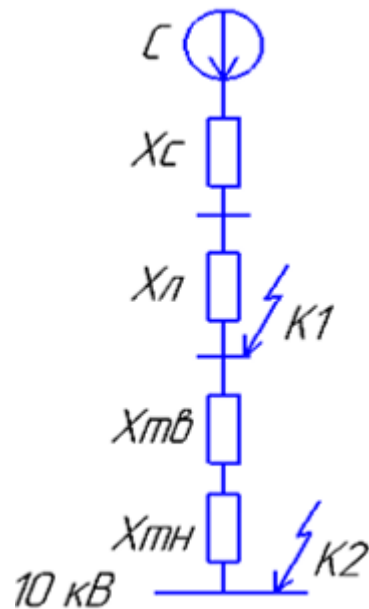


Рисунок 4.2– Схема замещения

Исходные данные:

Система:  $U = 35 \text{ кВ}$ ,  $S_{кз} = 80 \text{ МВА}$

Воздушная линия электропередач:  $U_n = 35 \text{ кВ}$ ,  $X_{уд} = 0,4 \text{ Ом/км}$ ,  $l = 3$

км.

Трансформатор:  $S_{ном.Т} = 4000 \text{ МВА}$ .

Определение параметров при:  $S_0 = 100 \text{ МВА}$ .

Определим базисный ток для каждой стороны напряжения:

$$I_{16} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}}, \quad (4.1)$$

$$I_{16} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 16,5 \text{ кА},$$

$$I_{16} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,98 \text{ кА},$$

Рассчитаем сопротивления всех элементов схемы замещения.

Система:

$$X_c = \frac{I_{\bar{6}}}{S_k} \quad (4.2)$$

$$X_c = \frac{1000}{80} = 12,5 \text{ о.е.}$$

Обмотки трансформатора:

$$X_{TB} = \frac{u_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_H} \quad (4.3)$$

$$X_{TB} = \frac{0,5 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{1000}{4} = 13,13 \text{ о.е.}$$

$$X_{TH} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{4} = 26,25 \text{ о.е.}$$

Воздушная линия:

$$X_{Л} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_H^2}, \quad (4.4)$$

$$X_{Л} = 0,4 \cdot 3 \cdot \frac{1000}{35^2} = 0,98 \text{ о.е.}$$

Расчет 3-х фазных КЗ:

Для точки К1:

Расчет результирующего сопротивления до точки К1:

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_l, \quad (4.5)$$

$$X_{\Sigma 1} = 12,5 + 0,98 = 13,48 \text{ о.е.}$$

Периодическая составляющая тока КЗ в точке К1:

$$I_{\text{по}}^{(3)} = \frac{E''_{\delta}}{X_{\Sigma 1}} \cdot I_{\delta}, \quad (4.6)$$

$$I_{\text{по}}^{(3)} = \frac{1}{13,48} \cdot 16,5 = 1,22 \text{ кА.}$$

Расчет ударного тока КЗ:

$$K_{\text{уд}} = 1,8$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}}^{(3)} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (4.7)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 1,22 \cdot 1,8 = 3,1 \text{ кА.}$$

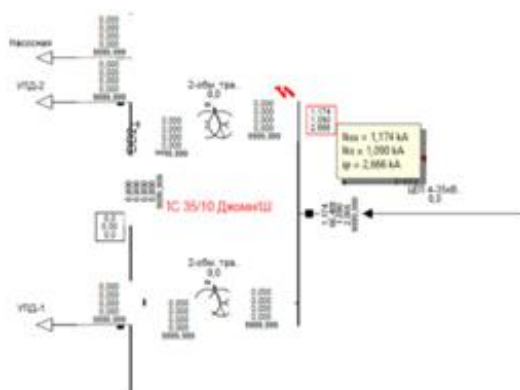


Рисунок 4.3— расчетный модель ПС Джозли в ПК **DigsilentPowerFactory**

Все расчеты приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты расчетов

Точки кз	Ikз 3-ф, кА	Ikз 2-ф, кА	Ikз 1-ф, кА	Ikз 2-ф на землю, кА	iуд, кА
<b>К1</b>	1,174	1,107	0,037	1,107	2,666
<b>К2</b>	2,477	2,252	0	2,253	5,767

## **5 Выбор оборудования для ПС 35/10 кВ «Джоли»**

Все элементы электрической системы могут находиться в трех основных режимах работы: в режиме номинальной нагрузки (при непрерывной работе), при перегрузках (40%) и в режиме короткого замыкания. в зависимости от характера установки.

При номинальных условиях эксплуатации надежная работа оборудования зависит от правильного выбора их номинального тока и напряжения. В ненормальных условиях, когда значение полной нагрузки превышает допустимое (номинальное) значение надежной работы, оборудование ограничено по долготе, и истекшее время работы оборудования в этом состоянии зависит исключительно от значений тока и напряжения. Так что для каждого элемента электрической системы существует диапазон значений тока и напряжения, который гарантированно работает, не нарушая его целостности.[5,7]

### **5.1 Выбор высоковольтного выключателя**

Высоковольтные выключатели - это электрические устройства, которые служат для изменения состояния высоковольтного сетевого элемента (это может быть линия, секция шины и т. Д.), А также «вкл / выкл» для оперативного управления системой электроснабжения. а также защита и распределение высокого качества или части сети в чрезвычайных ситуациях. [5,7]

Конструкция выключателя позволяет отключать токи короткого замыкания в несколько десятков тысяч ампер, токи нагрузки, а также относительно небольшие индуктивные и емкостные токи.

Средой пожаротушения в элегазовом выключателе является гексафторид серы SF<sub>6</sub> (SF<sub>6</sub>). Эти коммутаторы характеризуются высокой коммутационной способностью и небольшими размерами, основным недостатком которых является высокая стоимость.

### На стороне 35кВ

По [11,9] выбираем ВБЭС–35Ш–25/1600 УХЛ 1

По [11,9] выбираем ВБЭС–35Ш–25/1600 УХЛ 1

Таблица 5.1– Расчетные и каталожные данные выключателя

Условия для выбора	Расчетные данные
1	2
$U_{\text{нои}} \leq U_{\text{сет.ном}}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 92 \text{ А}$
$I_{\text{кз}} \leq I_{\text{откл}}$	$I_{\text{кз}} = 1,122 \text{ кА}$
$i_{a,\tau} \leq i_{a,\text{ном}}$	$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{кз}} \cdot e^{-\tau/T_a} =$ $= \sqrt{2} \cdot 1,122 \cdot e^{\frac{-0,032}{0,12}} = 1,321 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{прс}}$	$i_{\text{уд}} = 2,666 \text{ кА}$
$B_k \leq B_{\text{к.ном}}$	$B_k = I_{\text{кз}}^2 \cdot t_{\text{откл.ном}} + T_a =$ $= 1,122^2 \cdot 0,022 + 0,12 = 0,211 \text{ кА} \cdot \text{с}$

Выбранный выключатель подходит по всем параметрам.

### На стороне 10кВ

По [9,11] выбираем ВВ/TEL-10-31,5/2000 У2

Таблица 5.2– Расчетные и каталожные данные выключателя

Условия для выбора	Расчетные данные	Каталожные данные: ВВ/TEL-10-31,5
1	2	3
$U_{\text{нои}} \leq U_{\text{сет.ном}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 323,4 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
$I_{\text{кз}} \leq I_{\text{откл}}$	$I_{\text{кз}} = 2,477 \text{ кА}$	$I_{\text{откл}} = 31,5 \text{ кА}$
$i_{a,\tau} \leq i_{a,\text{ном}}$	$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{кз}} \cdot e^{-\tau/T_a} =$ $= \sqrt{2} \cdot 2,477 \cdot e^{\frac{-0,032}{0,12}} = 2,68 \text{ кА}$	$i_{a,\text{ном}} = 22,74 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{прс}}$	$i_{\text{уд}} = 5,767 \text{ кА}$	$i_{\text{прс}} = 80 \text{ кА}$



Продолжение таблицы 5.2

$B_k \leq B_{\text{к.ном}}$	$B_k = I_{\text{кз}}^2 \cdot t_{\text{откл.ном}} + T_a =$ $= 2,477^2 \cdot 0,022 + 0,12 = 0,871 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$B_{\text{к.ном}} = 480 \text{ кА} \cdot \text{с}$
-----------------------------	---	--

Выбранный выключатель подходит по всем параметрам.

### 5.2 Выбор разъединителя

Выбираем РГП–35/2000УХЛ.[9]

Термическая стойкость:

$$B_k = I_{\text{кз}}^2 \cdot t_{\text{откл.ном}} + T_a \quad (5.1)$$

$$B_k = 1,174^2 \cdot 0,022 + 0,12 = 0,195 \text{ кА} \cdot \text{с}$$

Таблица 5.3 – Расчетные и каталожные данные разъединителя

Условия для выбора	Расчетные данные	Каталожные данные: РГП–35/2000УХЛ
1	2	3
$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 35 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 9,24 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{прс}}$	$i_{\text{уд}} = 2,666 \text{ кА}$	$i_{\text{прс}} = 31,5 \text{ кА}$
$B_k \leq B_{\text{к.ном}}$	$B_k = I_{\text{кз}}^2 \cdot t_{\text{откл.ном}} + T_a =$ $= 1,172^2 \cdot 0,022 + 0,12 = 0,195 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$B_{\text{к.ном}} = 1200 \text{ кА} \cdot \text{с}$

Выбранный разъединитель подходит по всем параметрам.

### 5.3 Выбор трансформаторов тока

На стороне 35кВ

Расчетный ток продолжительного режима:

$$I_{\max} = \frac{S_{T.\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (5.2)$$

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 92,4 \text{ A}$$

Выбранный выключатель имеет встроенный ТТ-30/75/100/5[5]

Таблица 5.4 – Расчетные и каталожные данные

Условия для выбора	Расчетные данные	Каталожные данные: ТТ-30/75/100/5
1	2	3
$U_{\text{нои}} \leq U_{\text{сет.ном}}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 35 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 9,24 \text{ A}$	$I_{\text{ном}} = 30 \text{ A}$
$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{прс}}$	$i_{\text{уд}} = 2,666 \text{ кА}$	$i_{\text{прс}} = 31,5 \text{ кА}$
$B_k \leq B_{\text{к.ном}}$	$B_k = I_{\text{кз}}^2 \cdot t_{\text{откл.ном}} + T_a =$ $= 1,172^2 \cdot 0,022 + 0,12 = 0,195 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$B_{\text{к.ном}} = 1200 \text{ кА} \cdot \text{с}$

Таблица 5.5 – Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка В·А, фазы		
		А	В	С
Амперметр	Э-365	0,1	-	-
Ваттметр	Э-365	0,1	-	0,1
Варметр	Э-365	0,1	-	0,1
Счетчики активной и реактивной энергии	A1805-RAL (ElsterMetronica)	0,5	-	0,5
Итого		0,8	-	0,7

Общее сопротивление приборов фаз:

$$Z_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (5.3)$$

$$Z_{\text{приб}} = \frac{0,7}{5^2} = 0,03 \text{ Ом.}$$

Сопротивление проводов:

$$Z_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{приб}} - Z_{\text{к}} \quad (5.4)$$

$$Z_{\text{пр}} = 1,2 - 0,03 - 0,1 = 1,07 \text{ Ом}$$

Сечение проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{Z_{\text{пров}}} \quad (5.5)$$

$$s = \frac{0,018 \cdot 120}{1,07} = 2,02 \text{ мм}^2$$

Принимаем стандартное сечение 2,5 мм<sup>2</sup> для медного провода.

### На стороне 10 кВ

По [9,11] выбираем ВВ/TEL-10-31,5/2000 У2

Таблица 5.6– Расчетные и каталожные данные выключателя

Условия для выбора	Расчетные данные	Каталожные данные: ВВ/TEL-10-31,5
1	2	3
$U_{\text{нои}} \leq U_{\text{сет.ном}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном.дл}} = 1,4 \cdot \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 323,4 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
$I_{\text{кз}} \leq I_{\text{откл}}$	$I_{\text{кз}} = 2,477 \text{ кА}$	$I_{\text{откл}} = 31,5 \text{ кА}$
$i_{a,\tau} \leq i_{a,\text{ном}}$	$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{кз}} \cdot e^{-\tau/T_a} =$ $= \sqrt{2} \cdot 2,477 \cdot e^{\frac{-0,032}{0,12}} = 2,68 \text{ кА}$	$i_{a,\text{ном}} = 22,74 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{прс}}$	$i_{\text{уд}} = 5,767 \text{ кА}$	$i_{\text{прс}} = 80 \text{ кА}$

Продолжение таблицы 5.6

$B_k \leq B_{\text{к.ном}}$	$B_k = I_{\text{кз}}^2 \cdot t_{\text{откл.ном}} + T_a =$ $= 2,477^2 \cdot 0,022 + 0,12 = 0,871 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$B_{\text{к.ном}} = 480 \text{ кА} \cdot \text{с}$
-----------------------------	---	--

Выбранный выключатель подходит по всем параметрам.

### При 10 кВ

Принимаем к установке трансформатор напряжения типа НАМИ-10.[5] Максимальное число устанавливаемых приборов равно 11. Проверим данное количество по нагрузке вторичной обмотки и сведем в таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Приборы	Тип прибора	Число приборов	Потребляемая мощность, ВА
Счетчики активной и реактивной энергии	СЭТ-4ТМ.03.01	8	0,8
Итого			0,8

Данный трансформатор в классе точности 0,2 имеет номинальную мощность 75 ВА. Таким образом, данный ТН подходит по всем параметрам.

### 5.4 Выбор гибких шин

Произведем расчет на стороне 35кВ.[8]

Расчетный ток продолжительного режима:

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{T.\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (5.6)$$

$$I_{\text{max}} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 65,98 \text{ А.}$$

Сечение выбираем по экономической плотности тока  $j_э = 1 \text{ А/мм}^2$ :

$$s = \frac{I_{ном}}{j_{эк}}, \quad (5.7)$$

$$s = \frac{65,98}{1} = 65,98 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод АС 95/16с  $I_{доп} = 330 \text{ А}$ .

Проверяем провода по длительно допустимому току:

$$I_{max} = 65,98 \text{ А} \leq I_{дл.доп} = 330 \text{ А}$$

«При напряжении 35 кВ и выше необходима проверка по условиям коронирования.

Максимальное значение начальной критической напряженности электрического поля:»[8]

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right), \quad (5.8)$$

где: « $m = 0,82$  – коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности;  
 $r_0$  – радиус провода, см.»[8]

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,26}} \right) = 31,46 \text{ кВ/см.}$$

Напряженность электрического поля около провода:

$$E = \frac{0,354 \cdot U_{ном}}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_0}}, \quad (5.9)$$

где: « $D_{cp}$  = среднее геометрическое расстояние между проводами фаз, см»[3].

$$D_{cp} = 1,26 \cdot D \quad (5.10)$$

где: « $D$  – расстояние между соседними фазами, см»[8].

$$D_{cp} = 1,26 \cdot 250 = 315 \text{ см},$$
$$E = \frac{0,354 \cdot 115}{1,26 \cdot \lg \frac{315}{1,26}} = 14,17 \text{ кВ/см}.$$

«При горизонтальном расположении проводов напряженность на среднем проводе примерно на 7% увеличивается. Провода не будут коронировать, если наибольшая напряженность поля у поверхности любого провода не более  $0,9E_0$ . Таким образом, должно выполняться условие:»[8]

$$1,07 \cdot E \leq 0,9 \cdot E_0, \quad (5.11)$$
$$15,72 \text{ кВ/см} \leq 28,31 \text{ кВ/см}.$$

Следовательно, провод АС 95/16 не коронирует и удовлетворяет всем условиям.

### **Рассчитаем ошиновку на стороне 10кВ.**

Расчетный ток продолжительного режима:[9]

$$I_{\max} = \frac{S_{T.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (5.12)$$
$$I_{\max} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 219,94 \text{ А}.$$

Выбираем ошиновку 3хАС – 120/39 с  $I_{доп} = A$

Проверим провод на термическую устойчивость при к. з. Так как в ошиновке три провода на фазу, расчетный ток к. з. на один провод составит:[24]

$$I_{кз1} = \frac{I_{кз}}{3}, \quad (5.13)$$

$$I_{кз1} = \frac{2477}{3} = 825,7 \text{ A.}$$

$$S_{\min} = \frac{I_{кз1}}{C} \cdot \sqrt{t_{ср.з}}, \quad (5.14)$$

где:  $C = 91$  – термический коэффициент при нормальных условиях;  
 $t_{ср.з} = 0,5$  с – время срабатывания защиты

$$S_{\min} = \frac{825,7}{91} \cdot \sqrt{0,5} = 6,42 \text{ мм}^2 \quad (5.15)$$

Выбранный провод удовлетворяет всем условиям.

## 6 Релейная защита

«Основное назначение релейной защиты – отключение поврежденного элемента электрической сети при коротких замыканиях и других ненормальных режимах для предотвращения значительных повреждений оборудования или предупреждение персонала о необходимости отключения оборудования или принятия мер по предупреждению повреждений, связанных с ненормальными режимами. В зависимости от характера ненормальных режимов и опасности их для оборудования релейная защита может действовать на сигнал или отключение.» [20].

«Силовые масляные трансформаторы – самые дорогостоящие элементы оборудования распределительных подстанций. Трансформаторы рассчитаны на продолжительный срок службы, но при условии, что они будут работать в нормальном режиме, и не будут подвергаться недопустимым токовым перегрузкам, перенапряжениям и другим нежелательным режимам работы.» [10]

Для предотвращения повреждения трансформатора, продления его срока службы и обеспечения его работы в нормальном режиме нужны различные устройства защиты и автоматики.

«Газовая защита является одной из основных защит трансформатора. Данная защита предназначена для отключения трансформатора 110 кВ от сети в случае возникновения внутренних повреждений в баке силового трансформатора.» [10]

«Срабатывание газового реле может быть также по причине значительного снижения уровня масла в баке силового трансформатора, что свидетельствует о полном отсутствии масла в расширителе. То есть данное устройство также выступает в роли защиты от чрезмерного снижения уровня масла в трансформаторе.» [10]

Зона действия дифференциальной защиты - трансформаторы тока каждой из сторон напряжения силового трансформатора. Например, в



трехобмоточном трансформаторе 4000/35/10 кВ зона действия защиты помимо самого трансформатора включается в себя ошиновку (кабель), которая идет от вводов трансформатора до трансформаторов тока 35 кВ и 10 кВ.[10,23]

Рассчитать дифференциальный трансформатор тока. [15]

Таблица 6.1 – Расчет ДЗТ

Название значение	Обозначение и метод определения	Числовое значение для стороны	
		35 кВ	10,5 кВ
В настоящее время в сочетании с выступающими трансформаторами, А	$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.ср}}$	$\frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 65,98$	$\frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 219,94$
Коэффициент регулировки КТ	$K_I$	100/5	300/5
Схема подключения ТТ, коэфф. планы.	$K_{сх}$	$\Delta$ $\sqrt{3}$	$Y$ 1
Теперь сценарий защищает растения, А	$I_{ном.втор} = \frac{I_{ном} \cdot K_{сх}}{K_I}$	$\frac{65,98 \cdot \sqrt{3}}{100/5} = 5,71$	$\frac{219,94 \cdot 1}{300/5} = 3,67$
Принятое значение	$I_{ном.ВН}, I_{ном.НН}$	5,71	3,67
РПН стекло, %	Размах РПН	$\frac{100 \cdot (126 - 96,5)}{2 \cdot 111,25} = 13$	

Согласно [15], реальная возможность регулирования мощности - от 96,5 кВт до 126 кВт. В этом случае середина диапазона:

$$\frac{96,5 + (126 - 96,5)}{2} = 111,25 \text{ кВт}$$

$$I_{кз.вн.макс*} = \frac{I_{кз}}{I_{ном}} \quad (6.1)$$

$$I_{кз.вн.макс*} = \frac{1107}{65,98} = 16,78 \text{ A}$$

Уставка токовой отсечки равна:

$$\frac{I_{диф}}{I_{ном}} \geq 1,2 \cdot 0,7 \cdot 16,78 = 14,09$$

$$I_{диф} = K_{отс} \cdot K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рпн} + \Delta f_{добав} \quad (6.2)$$

где:  $K_{отс} = 1,3$ ;  $K_{пер} = 2,0$ ;  $K_{одн} = 1,0$ ;  $\varepsilon = 0,1$

$$I_{диф} = 1,3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,13 + 0,04 = 0,481$$

$$K_{сн.т} = \frac{I_{торм}}{I_{скв}} = 1 - 0,5 \cdot K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рпн} + \Delta f_{добав} \quad (6.3)$$

$$K_{сн.т} = 1 - 0,5 \cdot 0,37 = 0,815$$

Коэффициент торможения:

$$K_{торм} \geq \frac{100 \cdot I_{диф}}{I_{торм}} = \frac{100 \cdot K_{отс} \cdot K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рпн} + \Delta f_{добав}}{K_{сн.т}} \quad (6.4)$$

$$K_{торм} = \frac{100 \cdot 0,481}{0,815} = 59$$

## 7 Оперативный ток на подстанции «Джоли»

«Операционная система постоянного тока - это устройство, которое исходит от источников питания, правил, батарей, навигации, систем наблюдения, беспроводной защиты и т. Д. [1].

Аккумулятор, состоящий из 52 элементов, например, класса 12 GroE 300. Кроме того, этот тип батареи может работать с различными внутренними и бытовыми электрическими и электронными устройствами в течение 25 лет, чтобы обеспечить непрерывную линию обслуживания - от 25 до 30 лет и надежную надежность в чрезвычайных ситуациях. Существует контрольная комната для батареи с системой отопления и отопления. Все батареи в 2 ряда собраны в кольца, поставляемые с батарейными блоками.

### 7.1 Собственные нужды подстанции «Джоли»

Для электроснабжения подстанции устанавливаются трансформаторы собственных нужд. Выбор ТСН приведен в таблице 7.1.[11]

Таблица 7.1 – Мощность электроприемников

Наименование потребителей	Общая потребляемая мощность $P_{С.Н.}$ , кВт, при установленной мощности трансформаторов ПС 4 МВА
Подогрев выключателей	3,6
Подогрев приводов разъединителей	4,8
Подогрев шкафов КРУН	15
Подогрев релейного шкафа	10
Освещение, отопление, вентиляция КРУН	5,5
Освещение ОРУ 35кВ	5
Итого	43,9

Суммарная нагрузка составляет 43,9 кВт.

Мощность трансформатора:

$$S_{\text{номТЧН}} = 0,7 \cdot P_{\text{с.н.}} \quad (7.1)$$

$$S_{\text{номТЧН}} = 0,7 \cdot 43,9 = 30,79$$

Для подстанции принимаем к установке два трансформатора собственных нужд, типа ТМ-63/10/0,4-У1

## 8 Расчет заземления подстанции «Джоли»

Все электроустановки, а в частности, их части, не находящиеся под напряжением должны заземляться. Для формирования заземления используется сложный заземлитель, который состоит из вертикальных заземлителей, а также продольных и поперечных относительно подстанции заземляющих полос, электрически объединяемых в единый контур. [1,22]

Для  $\tau = 0,04$  с, находим  $U_{\text{пр.доп}} = 500$  В

Сложные заземлители рассчитаются по формуле:

$$K_{\Pi} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_v \cdot L_z}{a \cdot \sqrt{S}}\right)^{0,45}} \quad (8.1)$$

где: « $M = 0,5$  параметр, зависящий от  $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ , т. к. грунт принят однородным, то

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = 1,$$

$l_v = 5$  м – длина вертикального заземлителя;

$L_z = 129$  м – длина горизонтальных заземлителей;

$a = 5$  м – расстояние между вертикальными заземлителями;

$S = 240 \text{ м}^2$  – площадь заземляющего устройства.» [6].

$$K_{\Pi} = \frac{0,5 \cdot 0,88}{\left(\frac{5 \cdot 128}{5 \cdot \sqrt{12 \cdot 20}}\right)^{0,45}} = 0,17$$

«Коэффициент, определяемый по сопротивлению тела человека  $R_{\text{ч}}$  и сопротивлению растекания тока от ступней  $R_{\text{с}}$ :

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + R_c} \quad (8.2)$$

где:  $R_q = 1000 \text{ Ом}$ ,  $R_c = 1,5 \cdot \rho_{в.с}$ ,  $\rho_{в.с}$  – удельное сопротивление верхнего слоя грунта, в данном случае  $\rho_{в.с} = 84 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .» [6].

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 84} = 0,88$$

Напряжение на заземлителе  $U_3$ , В найдено по формуле :

$$U_3 = \frac{U_{нр.дон}}{K_{II}} \quad (8.3)$$

$$U_3 = \frac{500}{0,17} = 2941 \text{ В}$$

В пределах допустимого (ниже 10 кВ)

Сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з.дон} \leq \frac{U_3}{I_3} \quad (8.4)$$

$$R_{з.дон} = \frac{2941}{6170} = 0,48 \text{ Ом}$$

Модель конструкция заземлителя представляет собой квадрат со стороной:

$$\sqrt{S} = \sqrt{12 \cdot 20} = 15,5 \text{ м}$$

Количество ячеек :

$$m = \frac{L_2}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1 \quad (8.5)$$

$$m = \frac{128}{2 \cdot 15,5} - 1 = 3,1$$

Следовательно  $m = 3$ .

Общее расстояние полос в предполагаемом заземлителе:

$$L'_2 = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m + 1) \quad (8.6)$$

$$L'_2 = 2 \cdot 15,5 \cdot 4 = 124 \text{ м}$$

Длина сторон ячейки:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m} \quad (9.7)$$

$$b = \frac{15,5}{3} = 5,2 \text{ м}$$

«Вертикальные электроды наилучшим образом используются при расположении их в основном по периметру заземлителя.

Число вертикальных заземлителей, расположенных по периметру контура, при условии  $a/l_B = 1$ :»[6].

$$n_\epsilon = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_\epsilon} \quad (8.8)$$

$$n_\epsilon = \frac{15,5 \cdot 4}{5} = 12,4$$

Необходимое количество  $n_B = 12$

Длина вертикальных заземлителей:

$$L_6 = l_6 \cdot n_6 \quad (8.9)$$

$$L_6 = 5 \cdot 12 = 60 \text{ м}$$

Относительная глубина погружения вертикальных электродов:

$$\frac{l_6 + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{15,5} = 0,368 \geq 0,1$$

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot \frac{l_6 + t}{\sqrt{S}} \quad (8.10)$$

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot 0,368 = 0,293$$

Общее сопротивление сложного заземлителя:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_2 + L_6} \quad (8.11)$$

$$R_3 = 0,293 \cdot \frac{84}{15,5} + \frac{84}{124 + 60} = 2,03 \text{ Ом}$$

Полученное значение меньше  $R_{3,\text{доп}} = 0,48 \text{ Ом}$ , как и должно быть.

Сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{3,\text{доп}} \leq \frac{U_3}{I_3} \quad (8.12)$$

$$R_{3,\text{доп}} = \frac{10000}{6170} = 1,62 \text{ Ом}$$

Полученное значение меньше  $R_{3,\text{доп}} = 1,62 \text{ Ом}$ , как и должно быть.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках этой бакалаврской работы была реконструирована подстанция 35/10 кВ «Джоли». Расчеты сделаны из электрических нагрузок. Были рассмотрены различные варианты силовых трансформаторов, в результате которых на основе набора технико-экономических показателей был выбран трехфазный двухобмоточный трансформатор ТМ-4000/35/10. В следующем разделе рассчитываются симметричные и несбалансированные токи короткого замыкания в ПК DigsilentPowerFactory. В соответствии с полученными данными, оборудование подстанции было рассчитано и выбрано:

- На стороне 35кВ: выключатель вакуумный ВБЭС–35III–25/1600 УХЛ 1, разъединитель РГП–35/2000УХЛ, трансформатор тока ТТ-30/75/100/5, Трансформатор напряжения ЗНОЛ-35-III У1.

- На стороне 10 кВ: выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-31,5, трансформатор тока ТПОЛ-10. Трансформатор напряжения НАМИ-10.

После выбор оборудования рассчитана дифференциальная релейная защита, выбран постоянный оперативный ток, определены собственные нужды подстанции, для обеспечения которых выбран трансформатор ТМ-63/10/0,4 кВ. Также рассчитано заземление и молниезащита подстанции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- a. Правила проведения электроустановок (ПУЭ-7) [Текст]: утв. М-Энергетика Российской Федерации. 08.07.02 № 204: ввод в эксплуатацию. Действует с 01.01.03. Изменения и дополнения на 2017 год.
- b. Афонин В.В. Набатов К.А. Электростанции и подстанции: учебное пособие. Тамбов: 2015. 89 с.
- c. Баселян Е. М. Вопросы практической молниезащиты. М : ИМАГ, 2015. 208 с.
- d. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Разработка схем электроустановок: учебник для вузов. М .: МЭИ, 2016. 288 с.
- e. Балдин М.Н. Основное оборудование электрических сетей: справочник / под ред. I.G. Karpetyan. М .: ЭНАС, 2014. 208 с.
- f. Бохан А.Н. Проектирование подстанции электроснабжения: учебное пособие. Гомель: ГГТУ, 2017. 311 с.
- g. Дроздовский Ю.В., Куличенков В.П., Романов Р.В. Новое электрооборудование подстанций и распределительных устройств электростанций: учебное пособие. Минск: БНТУ, 2014. 210 с.
- h. Ефанов А.В. Расчет и проектирование электрических подстанций: учебники для реализации курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции». Ставрополь: АРГУС, 2014. 70 с.
- i. Земцов А.И., Вокин И.А. Проектирование главной понижающей подстанции предприятия: учебное пособие. Самара: СГТУ, 2015. 101 с.
- j. Киреева Е.А., Цирук С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. М .: Академия, 2013. 288 с.
- k. Кокин С.Е., Дмитриев С.А. Проектирование подстанций распределительного сетевого комплекса: учебное пособие. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2018. 192 с.

l. Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Халясмаа А.И. Схемы подключения электрических подстанций: учебное пособие. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцин, 2015. 100 с.

m. Коробов Г.В., Картавцев В.В., Черемисинова Н.А. Электроснабжение. Дизайн курса: учебное пособие. СПб.: Лан, 2014. 192 с.

n. Крючков И.П., Пираторов М.В., Старшинов В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие для вузов / под ред. И.П. Крючков. М.: Издательство МЭИ, 2015. 138 с.

o. Салтыкова О.А. Релейная защита низковольтной трансформаторной подстанции: учебное пособие для курсовых и дипломных проектов / В.В. Вахнина О.В. Самолина. Тольятти: ТГУ, 2007. 47 с.

p. Скопинцев В.А. Качество электроэнергетических систем. Надежность, безопасность, эффективность, живучесть. М.: Машиностроение, 2015. 352 с.

q. Титков В.В. Перенапряжение и молниезащита: пособие для студентов вузов / Ф. Х. Халилов. СПб и др.: Лан, 2016. 221 с.

r. Ушаков В.Я. Электроэнергетические системы и сети: учебное пособие. М. Юрайт, 2016. 448 с.

s. Хрущев Ю.В. Электроэнергетические системы и сети. Электромеханические переходные процессы: учебное пособие / К.И. Заповодников А.Ю. Юшков. М.: Юрайт, 2016. 154 с.

t. Чернобровов Н. В. Релейная защита. М.: Книга по требованию, 2013. 624 с.

u. Анвер Али Сахито. Смягчение гармоник напряжения через гибридный фильтр активной мощности, 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://doaj.org/article/e3fa511ef48248108260b08b3f20568d> (дата обращения 03/20/2018).

22. Парвин Кумар Гоял. Система защитных и функциональных приложений, 2016 [Электронный ресурс] URL: .http:

[//www.iiste.org/Journals/index.php/JETP/article/view/34199/35170](http://www.iiste.org/Journals/index.php/JETP/article/view/34199/35170) (дата апелляции 5.04.2018).

23. Гоминг Ма Линии передачи на основе волоконной решетки Брэгга, 2016. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/6/922> (дата контакта 05.09.2008).

24. Малик Н. Х. Расчет распределения электрического поля на высоковольтных кабельных окончаниях, 2011 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iiste.org/Journals/index.php/JETP/article/view/1177/1098> (дата контакта 13/05/2018) ..

25. Окакву К. Оценка стоимости удаленного трансформатора из-за сбалансированной и несбалансированной нагрузки, 2015 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iiste.org/Journals/index.php/JETP/article/view/21690/21801> (дата реферала 4.06.2018).