

Аннотация

В работе рассмотрена реконструкция электрической части подстанции 220 кВ филиала ПАО «ФСК ЕЭС» - МСК Волги – подстанции «Васильевская».

Объект работы – подстанция 220 кВ «Васильевская» ПАО «ФСК ЕЭС» - МСК Волги.

Предмет работы – электрическая часть подстанции 220 кВ «Васильевская».

В настоящее время в ПАО «ФСК ЕЭС» принята стратегия развития компании до 2030 г., где сформулированы основные принципы, обеспечивающие успешное и устойчивое развитие компании: автоматизация процессов передачи электроэнергии; рациональное размещение подстанций на территории страны с учетом месторасположения источников энергии и потребителей; централизованное электроснабжение потребителей; постепенная замена модернизация электрооборудования сетевой компании; максимальное использование местных ресурсов и др. за счет привлечения инвестиций в модернизацию существующих и строительство новых электросетевых объектов – подстанций нового поколения

Цель работы: предложение альтернативного варианта замены электрической части подстанции 220 кВ «Васильевская» для обеспечения правильной работы системы бесперебойного обеспечения потребителей электрической энергией.

Задачи работы: анализ действующей схемы подстанции 220 кВ «Васильевская»; разработка альтернативного варианта замены электрооборудования подстанции 220 кВ «Васильевская»; выбор главной электрической схемы и конструктивных решений по подстанции 220 кВ «Васильевская»; обоснование вложенных инвестиций в проект реконструкции электрической части подстанции; экологичность и безопасность объекта проектирования

Содержание

	стр.
Введение	4
1 Описание действующей схемы подстанции 220 кВ «Васильевская»	7
3 Выбор числа и мощности автотрансформаторов подстанции 220 кВ «Васильевская»	12
3 Расчет токов короткого замыкания	20
4 Выбор электрооборудования ОРУ 220 кВ, ОРУ 110 кВ подстанции 220 кВ «Васильевская»	23
4.1 Выбор и проверка коммутационного электрооборудования ОРУ 220 кВ и ОРУ 110 кВ	23
4.2 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения	25
4.3 Выбор и поверка ОПН 220 кВ и ОПН 110 кВ	27
5 Расчет собственных нужд подстанции 220 кВ «Васильевская»	31
6 Дифференциальная высокочастотная защита ВЛ 220 кВ ОРУ 220 кВ подстанции «Васильевская»	35
7 Расчет молниезащиты подстанции 220 кВ «Васильевская»	38
8 Экономическая эффективность работы	41
Заключение	45
Список использованных источников	47

Введение

В осуществлении современного технического прогресса важное место принадлежит электрофикации всех субъектов рынка электроэнергетики РФ. Развитие электроэнергетической отрасли позволяет увеличить интенсификацию труда, добиться высокого уровня автоматизации всех производственных процессов. Мощная современная электроэнергетическая отрасль служит надежной предпосылкой развития всех отраслей промышленности, сельского хозяйства, транспорта, социальной сферы. Но это невозможно без качественного и бесперебойного снабжения потребителей всех уровней электрической энергией, будь крупный промышленный холдинг или небольшой населенный пункт. Это особенно важно стало в период экономического кризиса, так как сократились инвестиции в модернизацию электроэнергетической отрасли.

По данным РАО ЕЭС парковый ресурс выработало более 60% трансформаторного оборудования.

Современные подстанции 220 кВ и 110 кВ имеют до 15-20 присоединений к линиям электропередач различного класса, трансформаторное оборудование, что значительно усложняет их электрические схемы. В этих условиях подстанции должны обеспечивать надежное функционирование всех потребителей, бесперебойную передачу электрической энергии в энергосистему РФ и не допускать аварийных ситуаций по различным причинам, начиная от работы электрооборудования подстанции, до действий обслуживающего персонала.

В настоящее время в ПАО «ФСК ЕЭС» принята стратегия развития компании до 2030 г., где сформулированы основные принципы, обеспечивающие успешное и устойчивое развитие компании: автоматизация процессов передачи электроэнергии; рациональное размещение подстанций на территории страны с учетом месторасположения источников энергии и потребителей; централизованное электроснабжение потребителей;

постепенная замена модернизация электрооборудования сетевой компании; максимальное использование местных ресурсов и др. за счет привлечения инвестиций в модернизацию существующих и строительство новых электросетевых объектов – подстанций нового поколения [23].

Основные требования к подстанциям нового поколения:

- компактность, комплектность, высокая степень заводской готовности;
- надежность за счет применения электрооборудования современного технического уровня;
- удобство эксплуатации, технического обслуживания и ремонте;
- безопасность эксплуатации;
- обеспечение цифровыми каналами связи для передачи сигналов управления и информации о состоянии электротехнического оборудования в диспетчерские службы;
- on-line мониторинг системы передачи электроэнергии;
- экологическая безопасность.

В связи с этим, целью выпускной квалификационной работы является – предложение альтернативного варианта замены электрической части подстанции 220 кВ «Васильевская» для обеспечения правильной работы системы бесперебойного обеспечения потребителей электрической энергией. От стабильной работы зависит энергоснабжение таких крупных промышленных потребителей г.Тольятти, как АО «АвтоВАЗ», ПАО «Сибур», АО «Волгоцеммаш».

Объект работы – подстанция 220 кВ «Васильевская».

Предмет работы – электрическая часть подстанции 220 кВ «Васильевская».

В соответствии с поставленной целью задачами работы являются:

- анализ действующей схемы подстанции 220 кВ «Васильевская»;
- разработка альтернативного варианта замены электрооборудования подстанции 220 кВ «Васильевская»;

- выбор главной электрической схемы и конструктивных решений по подстанции 220 кВ «Васильевская»;
- расчет релейной защиты и автоматики подстанции;
- обоснование вложенных инвестиций в проект реконструкции электрической части подстанции;
- экологичность и безопасность объекта проектирования.

1 Описание действующей схемы подстанции 220 кВ «Васильевская»

Подстанция (ПС) 220 кВ «Васильевская» мощностью 400 МВА введена в эксплуатацию в конце 70-х годов XX века. Располагается селе Васильевка Ставропольского района Самарской области. Она отвечает за электроснабжение юго-западной части Самарской области, в том числе таких крупных промышленных потребителей, г.Тольятти, как АО «АвтоВАЗ», ПАО «Сибур», АО «Волгоцеммаш». ПС 220 кВ входит в состав филиала ПАО «ФСК ЕЭС» - МСК Волги.

ПС 220 кВ «Васильевская» предназначена для осуществления транзита по ВЛ 220 кВ транзита электрической энергии, а также для приема и распределения электрической энергии потребителям. ПС 220 кВ состоит из двух открытых распределительных устройств 220 кВ и 110 кВ, двух автотрансформаторов, питаемых по двум ВЛ 220 кВ «Васильевская-1» и «Васильевская-2»: АТ1 запитан от воздушной линии 220 кВ «Васильевская-1», АТ2 – от воздушной линии 220 кВ. ОРУ 220 кВ и ОРУ 110 кВ являются надежными составляющими системы.

ОРУ 220 кВ выполнено по схеме мостика. В состав ОРУ 220 кВ входят:

- три выключателя типа У-220-2000-40;
- двенадцать разъединителей типа РНДЗ-16-220/1000-У1 и РНДЗ-2-220-1000-У1, шесть трансформаторов тока типа ТФЗМ-220,
- два трансформатора напряжения типа НКФ-220, применяемых в схемах измерений, релейной защиты и автоматики и для учета электрической энергии;
- шесть разрядников РВМГ-220М,
- конденсаторы связи и высокочастотные заградители, применяемы для высокочастотных каналов защит, телемеханики и телефонной связи по схеме передачи провод ВЛ-земля.

ОРУ 220 кВ должно обеспечивать надежный транзит ВЛ-220 кВ, так как каждая отходящая от подстанции ВЛ 220 кВ имеет по своему выключателю, при выходе выключателя в ремонт транзит сохраняется.

ОРУ 110 кВ выполнено по схеме двух рабочих шин с одной обходной. В такой схеме можно выводить выключатели линий в ремонт с переводом на обходной выключатель. В состав ОРУ 110 кВ входят:

- восемнадцать выключателей типа У-110-2000;

- семьдесят разъединителей типа РНДЗ-110-1000/2000;

- четыре трансформатора напряжения типа НКФ -110, трансформаторы тока типа ТФЗМ -110, применяемых в схемах измерений, релейной защиты и автоматики и для учета электрической энергии;

- шесть разрядников РВС-110,

- каналы связи и высокочастотные заградители, устанавливаемые на каждой отходящей ВЛ-110 кВ.

На подстанции имеются собственные нужды, представляющие собой два комплектных КРУН серии К-2Н, от которых осуществляется питание потребителей собственных нужд подстанции. На ПС 220 кВ установлено три трансформатора собственных нужд типа ТМ-630/10/0,4, из них два рабочих, один резервный. На подстанции также предусмотрена установка аккумуляторных батарей типа СК-8 для питания постоянным током цепей релейной защиты и автоматики, аварийного освещения и устройств связи.

На ПС 220 кВ установлены компрессорная установка с тремя двигателями типа ВШВ-3/40. Схема компрессорной установки имеет два щита сборки компрессов.

На подстанции предусмотрена диспетчерская связь по кабелям связи подстанциями «Васильевская» и подстанция «Левобережная». Резервирование осуществляется через ТoТЭЦ и подстанцию 500 кВ «Куйбышевская».

На подстанции предусмотрен склад масла открытого типа на два блока по 30 м³ с аппаратной.

Принципиальная однолинейная электрическая схема ПС 220 кВ приведена на рисунке 1.1.

Сметная стоимость подстанции «Васильевская» приведена в таблице 1.1.

Таким образом, требуется разработка варианта замены электрической части подстанции 220 кВ «Васильевская» для обеспечения правильной работы системы бесперебойного обеспечения потребителей электрической энергией.

Таблица 1.1 - Сметная стоимость подстанции «Васильевская»

Наименование электрооборудования		<i>n</i>	<i>K, тыс.руб.</i>		<i>I_{СМР}, тыс.руб</i>		
			<i>K_{оборПС}</i>	<i>I_{СМР}</i>	<i>I_{СМР_К}</i>	<i>I_{СМР_Тек}</i>	<i>I_{СМР_Экспл}</i>
АТДЦТН-200000/220/110		2	19620	3924	5886	7848	7455,60
Коммутационное оборудование ОРУ 220 кВ ОРУ 110 кВ	У-220-2000	3	2500	500	750	1000	950,00
	У-110-2000	18	2000	400	600	800	760,00
	РНДЗ-220-1000/2000	12	70	14	21	28	26,60
	РНДЗ-110-1000/2000	70	50	10	15	20	19,00
	РНДЗ-35-1000	2	35	7	10,5	14	13,30
Трансформаторы напряжения	НКФ-220	2	321	64,2	96,3	128,4	121,98
	НКФ-110	4	215	43	64,5	86	81,70
Разрядники	РВМГ-220	6	120	24	36	48	45,60
	РВС-110	6	69	13,80	20,7	27,6	26,22
	РВП-10	6	1,2	0,24	0,36	0,48	0,46
ТТ	ТФЗМ-220	6	210	42	63	84	79,80
	ТФЗМ-110	88	114	23	54	72	67,6

Продолжение таблицы 1.1

Наименование электрооборудования	<i>n</i>	<i>K, тыс.руб.</i>		<i>I_{СМР}, тыс.руб</i>		
		<i>K_{оборПС}</i>	<i>I_{СМР}</i>	<i>I_{СМР_К}</i>	<i>I_{СМР_Тек}</i>	<i>I_{СМР_Экспл}</i>
ТН ЗНОМ-35	2	40	8,00	12	16	15,20
Предохранители ПК-10	3	0,268	0,05	0,0804	0,1072	0,10
Аккумуляторная батарея СК-8 120	1	800	160,00	240	320	304,00
Трансформаторы собственных нужд ТМ 630/10/0,4	3	92,2	18,44	27,66	36,88	35,04
КС с 3-мя компрессорами ВШВ-3/40	1	895,08	179,02	268,524	358,032	340,13

2 Выбор числа и мощности автотрансформаторов подстанции 220 кВ «Васильевская»

График годовых нагрузок трансформаторов ПС 220 кВ представлен на рисунке 2.1.

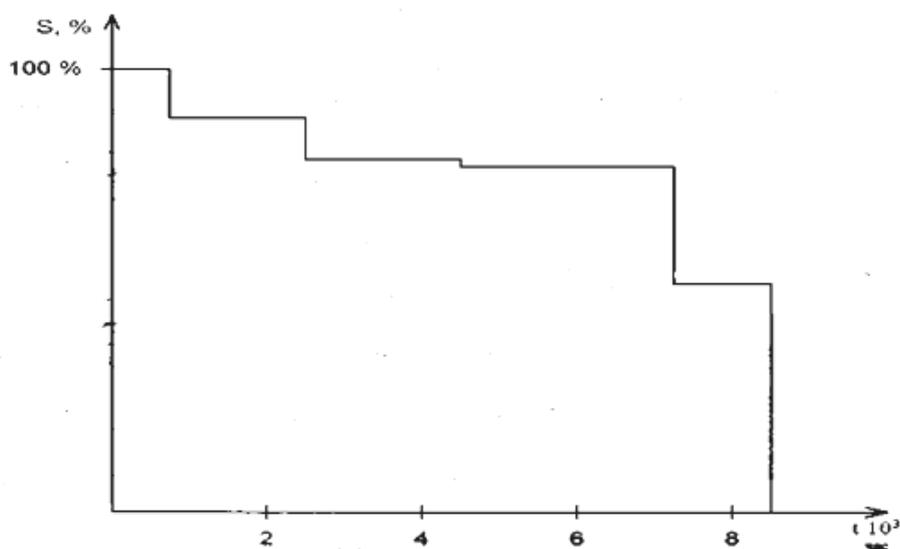


Рисунок 2.1 – Годовой график нагрузок

Полный расчет нагрузок ПС 220 кВ выполнен по данным графиков нагрузок ВЛ 220 кВ и приведен в таблице 2.1.

Номинальная мощность трансформаторов выбирается по выражению:

$$S_{ном} \geq 0,7 S_{ПС} = 0,7 \cdot 285417,7 = 199800 \text{кВА.}$$

К установке принимаем два варианта:

1. два автотрансформатора типа АДЦТН 200000/230/115/10,5 [13,24];
- 2 два трансформатора типа АДЦТН 250000/230/115/10,5 [13,24]

Таблица 2.1 - Расчет электрических нагрузок подстанции 220 кВ «Васильевская»

Наименование ВЛ	P_{MAX}	$S_{in}(t) = \frac{P_{in}(t)}{\cos\varphi_{in}}$					$W_{in}, MBA \cdot ч$				
		n_i					n_i				
	MVA	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
L1 Васильевская -1	120	125	112.5	100	92.5	50	99960	198072	159936	177600	68496
L2 Васильевская -1	65	67.70	60.93	54.16	50.10	27.08	54145	107289	86632	96200	37102
$W_{\Sigma} = \sum W_{in}$										1607613	
$P, кВт$										274	
S, MBA										285.417	
$T_M, час$										5867.2	
$K_{зан}$										0.66977	

Выбор автотрансформаторов на подстанции 220 кВ выполним по методу приведенных затрат [11].

Для этого выполним расчет потерь мощностей и электроэнергии автотрансформаторов.

Таблица 2.2 - Результаты расчета потерь мощности в автотрансформаторах по варианту 1 и варианту 2

Расчетная величина	Единица измерения	Результат	
		Вариант1	Вариант2
I_x	%	0,5	0,4
$Q_x = \frac{I_x (\%) \cdot S_{ном.т}}{100}$	квар	1000	1250
P_x	кВт	125	145
P_K	кВт	430	520
$U_{КВН-СН}$	%	11	11
$U_{КВН-НН}$	%	32	32
$U_{КСН-НН}$	%	20	20
$U_{КВ}$	%	11,5	11,5
$U_{КН}$	%	20,5	20,5
$U_{КС}$	%	0	0
$K_{зВ} = K_{зС}$	-	0,67	0,51
$K_{зН}$	-	0,25	0,19
$P'_x = P_x + K_{III} \cdot Q_x$	кВт	175,2	207,5
$Q_{КВ} = U_{КВ} (\%) \cdot S_{НОМ.Т} / 100$	квар	2300	28750
$Q_{КС} = U_{КС} (\%) \cdot S_{НОМ.Т} / 100$	квар	1003,1	1250
$Q_{КН} = U_{КН} (\%) \cdot S_{НОМ.Т} / 100$	квар	41006	51250
$P_{КВ} = P_{КС} = P_{КН} = 0.5 \cdot P_{К.ВН-СН}$	кВт	215	318
$P'_{К.В} = P_{КВ} + K_{III} \cdot Q_{КВ}$	кВт	1365	1697,5
$P'_{КС} = P_{КС} + K_{III} \cdot Q_{КС}$	кВт	165	197,2

Продолжение таблицы 2.2

Расчетная величина	Единица измерения	Результат	
		Вариант1	Вариант 2
$P'_{KH} = P_{KH} + K_{III} \cdot Q_{KH}$	кВт	2265	2822,5
$P'_T = P'_X + K_3^2 \cdot P'_K$	кВт	914,2	794,1
$S_{эnc} = S_{ном} \cdot \sqrt{n \cdot (n-1) \cdot \frac{P'_x}{P'_k}}$	МВА	107,8	114,9

Расчеты потерь электроэнергии в трансформаторах выполнены по методике [15]:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{ПС}} &= \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{Ki} = \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{K.Bi} + \sum \Delta W_{K.Ci} + \sum \Delta W_{K.Hi} = \\ &= \sum n_i \cdot P'_X \cdot T_i + \sum_{1-i}^k (T_i \cdot K_{3.Bi}^2 \cdot P'_{K.B} / n + T_i \cdot K_{3.Ci}^2 \cdot P'_{K.C} / n + T_i \cdot K_{3.Hi}^2 \cdot P'_{K.H} / n) \end{aligned}$$

Расчет потерь электроэнергии для трансформаторов вариантов 1 и 2 приведен в таблицах 2.3 и 2.4.

Приведенные затраты на установку трансформаторов.

Вариант 1

$$Z_{\text{пр}1} = \varepsilon_n \cdot K_1 + I_{\Delta W_{\text{ПС}1}} = 0,15 \cdot 39,24 + 19,146 = 27,943 \text{ млн. руб.}$$

Вариант 2

$$Z_{\text{пр}2} = \varepsilon_n \cdot K_2 + I_{\Delta W_{\text{ПС}2}} = 0,15 \cdot 46,12 + 16,7631 = 30,713 \text{ млн. руб.}$$

Здесь ε_n - нормативный коэффициент отчислений;

K_1 и K_2 - стоимость трансформаторов по варианту 1 и 2;

$I_{\Delta W_{\text{ПС}1}}$ и $I_{\Delta W_{\text{ПС}2}}$ - стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах

по варианту 1 и 2.

Так как приведенные затраты по варианту 1 ниже, то к установке принимаем АТДЦТН 200000/230/115 производства ООО «Гольяттинский трансформатор» [24].

Таблица 2.3 - Расчет потерь электроэнергии в силовых трансформаторах АТДЦТН-200000/230/115/10,5 (Вариант 1)

№	S_i	n_i	T_i час	$\Delta W_{x.i.}$ кВт · час	K_{3B}	K_{3C}	K_{3H}	ΔW_{KB} кВт · час	ΔW_{KC} кВт · час	ΔW_{KH} кВт · час
1	142,5	2	833	291550	0,67	0,67	0,25	355326,82	42951,56	235843,13
2	131,3	2	1834	641900	0,56	0,56	0,23	704084,06	85109,06	467326,13
3	122,1	2	1666	291550	0,50	0,50	0,20	1137045,00	137445,00	754698,00
4	105,7	1	3000	525000	0,46	0,46	0,19	1893937,50	228937,50	1257075,00
5	72,1	1	1427	249725	0,25	0,25	0,10	486963,75	58863,75	323215,50

$$\Sigma \Delta W_{\text{ТС1}} = 5037882 \text{ кВтч.}$$

Таблица 2.4 - Расчет потерь электроэнергии в силовых трансформаторах АТДЦТН-250000/230/115/10,5 (Вариант 2)

№	S_i	n_i	T_i час	$\Delta W_{x.i.}$ кВт · час	K_{3B}	K_{3C}	K_{3H}	ΔW_{KB} кВт · час	ΔW_{KC} кВт · час	ΔW_{KH} кВт · час
1	142,5	2	833	3456950	0,51	0,51	0,19	353504,3	41129,3	235114,5
2	131,3	2	1834	3805550	0,45	0,45	0,18	1400946,7	162996,7	931763,0
3	122,1	2	1666	345695	0,40	0,40	0,1 6	1131214,2	131614,2	752365,2
4	105,7	1	3000	622500	0,3 7	0,37	0,15	1884225,3	219225,1	1253190,1
5	72,1	1	1427	296102	0,20	0,20	0,08	484466,5	56366,5	322216,3

$$\Sigma \Delta W_{\text{ПС2}} = 4898699 \text{ кВтч.}$$

3 Расчет токов короткого замыкания

Для расчетов ток КЗ в соответствии с рисунком 1.1 составим расчетную схему с указанием выбранных точек КЗ и схему замещения (рисунки 3.1 и 3.2) [3,14].

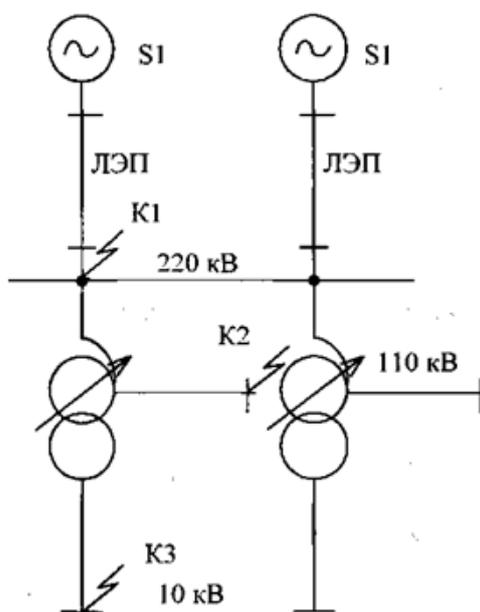


Рисунок 3.1 - Расчетная схема для расчета токов КЗ

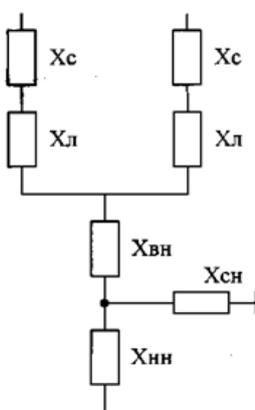


Рисунок 3.2 – Расчетная схема замещения

Технические данные расчетной схемы замещения [3,14]:

Система: $U_H=230$ кВ; $S_{КЗ\ 110} = 14100$ МВА

Линия ВЛ 110 кВ «Васильевская-1»: $U_H=230$ кВ, $X_0 = 0,41$ Ом/км,
 $l=23$ км.

Трансформатор: $S_H = 200000$ кВА

В расчетах принимаем:

$S_{\sigma}=1000$ МВА;

$U_{\sigma}=230$ кВ.

Расчет сопротивлений расчетной схемы замещения сведен в таблицу

3.1.

Таблица 3.1 - Расчет сопротивлений расчетной схемы замещения
 (рисунок 3.2)

Точка КЗ	x^*	Расчетная формула	Значение
К1	x_c^*	$x_c^* = S_{\sigma} / S_{\kappa}$	0,0001
	$x_{л1}^*$	$x_{л1}^* = x_0 \cdot l \cdot S_{\sigma} / U_H^2$	0,271
	$x_{л2}^*$	$x_{л2}^* = x_0 \cdot l \cdot S_{\sigma} / U_H^2$	0,310
	$x_{1\Sigma}^*$	$x_{1\Sigma}^* = x_c + x_{л1}$	0,144
К2	x_{amB}^*	$x_T^* = U_{KB} \% \cdot S_{\sigma} / 100 \cdot S_H$	0,057
	x_{amC}^*	$x_T^* = U_{KC} \% \cdot S_{\sigma} / 100 \cdot S_H$	0
	$x_{2\Sigma}^*$	$x_{2\Sigma}^* = x_{1\Sigma} + x_{amC}$	0,144
К3	x_{amH}^*	$x_T^* = U_{KH} \% \cdot S_{\sigma} / 100 \cdot S_H$	0,1025
	$x_{2\Sigma}^*$	$x_{2\Sigma}^* = x_{1\Sigma} + x_{amH}$	0,246

Результаты расчетов токов КЗ по схеме замещения 3.2 сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчета токов КЗ (точки К1, К2, К3)

Элемент схемы замещения	$I_{к1}^{(3)}$	i_{y01}	$I_{к2}^{(3)}$	i_{y02}	$I_{к3}^{(3)}$	i_{y03}
	кА	кА	кА	кА	кА	кА
Система 1	34,7	58,9	13,43	22,1	45,7	73,14
Система 2	32,5	54,6	12,15	19,62	43,14	69,72

4 Выбор электрооборудования ОРУ 220 кВ, ОРУ 110 кВ подстанции 220 кВ «Васильевская»

4.1 Выбор и проверка коммутационного электрооборудования ОРУ 220 кВ и ОРУ 110 кВ

Согласно требованиям [2,14], выбор электрооборудования подстанции 220 кВ «Васильевская» производится по условиям трехфазного КЗ.

Выбор и проверка коммутационного электрооборудования ОРУ 220 кВ и ОРУ 110 кВ подстанции приведена в таблице 5.1.

Таблица 4.1 - Выбор и проверка коммутационного электрооборудования ОРУ 220 кВ и ОРУ 110 кВ подстанции

ОРУ	Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
ОРУ 220 кВ	Выключатель 242 РМ 40 баковый 220 кВ	$U_{\text{Сном}} \leq U_{\text{ном}}$	230 кВ	245кВ
		$I_p \leq I_{\text{ном}}$	938 А	4000 А
		$I_{\text{откл}} \leq I_K$	34,7 кА	40кА
		$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$	58,9 кА	125 кА
		$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_T$	1034 кА ² ·с	2567 кА ² ·с
	Разъединитель РНДЗ 220-1000	$U_{\text{Сном}} \leq U_{\text{ном}}$	230 кВ	245кВ
		$I_p \leq I_{\text{ном}}$	938 А	4000 А
		$I_{\text{откл}} \leq I_K$	34,7 кА	40кА
		$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$	58,9 кА	125 кА
		$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_T$	1034 кА ² ·с	2567 кА ² ·с
ОРУ 110 кВ	145 РМ 40 баковый 110 кВ	$U_{\text{Сном}} \leq U_{\text{ном}}$	110 кВ	121 кВ
		$I_p \leq I_{\text{ном}}$	955 А	3000 А

ОРУ	Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
		$I_{откл} \leq I_K$	22,1 кА	40 кА
		$i_{уд} \leq i_{пр.с}$	32,5	100 кА
		$B_K \leq I_{тер}^2 \cdot t_T$	256 кА ² ·с	1018 кА ² ·с
	Разъединитель РНДЗ-110/1000-У-1	$U_{сном} \leq U_{ном}$	110 кВ	121 кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	955 А	1000 А
		$I_{откл} \leq I_K$	22,1 кА	40 кА
		$i_{уд} \leq i_{пр.с}$	32,5	80 кА
		$B_K \leq I_{тер}^2 \cdot t_T$	256 кА ² ·с	1018 кА ² ·с

Выбранный элегазовый выключатель 242 РМ компании приведен на рисунке АВВ [18].



Рисунок 4.1 – Элегазовый выключатель 242 РМ 40 баковый

Габаритные размеры разъединителя РНДЗ 220-1000 приведены на рисунке 4.2 [17,21].

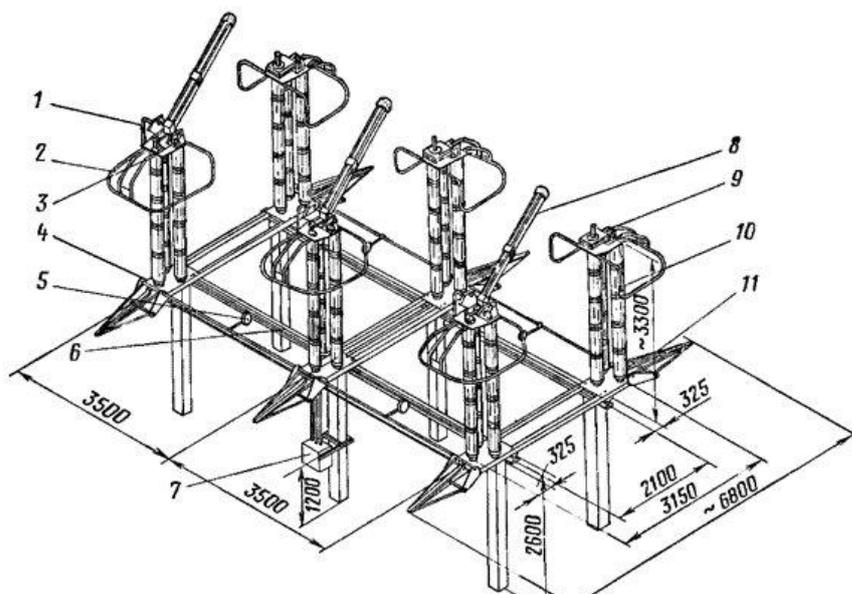


Рисунок 4.2 - Габаритные размеры разъединителя РНДЗ 220-1000

4.2 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения

Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения ОРУ 220 кВ и ОРУ 110 кВ КРУ приведен в таблице 4.2 [19].

Таблица 4.2 – Выбор трансформатора тока и напряжения 110 кВ и 6 кВ

ОРУ	Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
ОРУ 220 кВ	Трансформатор тока ТФМЗ-220	$U_{\text{Сном}} \leq U_{\text{ном}}$	230 кВ	252 кВ
		$I_p \leq I_{\text{ном}}$	938 А	1000 А
		Номинальный вторичный ток	5 А	
		$I_{\text{откл}} \leq I_K$	34,7 кА	40кА
		$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$	58,9 кА	100 кА
		$B_k \leq I_{\text{мер}}^2 \cdot t_T$	1034 кА ² ·с	1198 кА ² ·с
		Класс точности	0,5/10Р	

Продолжение таблицы 4.2

ОРУ	Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
	Трансформатор тока ТВТ-220	$U_{\text{СНОМ}} \leq U_{\text{НОМ}}$	230 кВ	245кВ
		$I_p \leq I_{\text{НОМ}}$	938 А	1000 А
		Номинальный вторичный ток	5 А	
		$I_{\text{откл}} \leq I_K$	34,7 кА	40кА
		$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$	58,9 кА	100 кА
		$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_T$	1034 кА ² ·с	1198 кА ² ·с
		Класс точности	0,5/10Р	
ОРУ 110 кВ	Трансформатор тока ТФМЗ-110	$U_{\text{СНОМ}} \leq U_{\text{НОМ}}$	110 кВ	126 кВ
		$I_p \leq I_{\text{НОМ}}$	955 А	3000 А
		$I_{\text{откл}} \leq I_K$	22,1 кА	34 кА
		$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$	32,5	80 кА
		$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_T$	256 кА ² ·с	1018 кА ² ·с
		Номинальный вторичный ток	5 А	
		Класс точности	0,5/10Р	
ОРУ 220кВ	Трансформатор напряжения НКФ-220	$U_{\text{СНОМ}} \leq U_{\text{НОМ}}$	220 кВ	230 кВ
		$S_{\sum \text{пр}} \leq S_{\text{НОМ}}$	209 ВА	250 ВА
ОРУ 110кВ	Трансформатор напряжения НКФ-110	$U_{\text{СНОМ}} \leq U_{\text{НОМ}}$	110 кВ	121 кВ
		$S_{\sum \text{пр}} \leq S_{\text{НОМ}}$	143 ВА	250 ВА

4.3 Выбор и проверка ОПН 220 кВ и ОПН 110 кВ

В настоящее время на ОРУ 220 кВ и ОРУ 110 кВ ПС 220 кВ «Васильевская» для ограничения от атмосферных и коммутационных перенапряжения электрооборудования установлены РВМГ-220 и РВС-110. Взамен установим ограничители перенапряжения нелинейные типа ОПН-220 и ОПН-110 [8,9,22]. Выбор и проверка ОПН приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Выбор и проверка ОПН 220 кВ и ОПН 110 кВ

ОРУ	Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
ОРУ 220 кВ	ОПН-220	Наибольшее длительное допустимое напряжение	146 кВ	1628 кВ
		Номинальный разрядный ток	1 кА	10 кА
		Наибольший ток в режиме коммутационных перенапряжений	314 А	2000 А
		Значение остающегося напряжения	315 кВ	352 кВ
		Максимальное значение тока при грозовых перенапряжениях	3,15 кА	15 кА

Продолжение таблицы 4.3

ОРУ	Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
ОРУ 110 кВ	ОПН -110	Наибольшее длительное допустимое U	73 кВ	88 кВ
		Номинальный разрядный ток	1 кА	10 кА
		Максимальное значение тока при грозовых перенапряжениях	1,61 кА	10 кА
		Значение остающегося напряжения	222 кВ	286 кВ
		Наибольший ток в режиме коммутационных перенапряжений	220 А	1000 А
		Максимальное значение тока при грозовых перенапряжениях	3,33 кА	10 кА
		Энергоемкость ОПН	1,353 кДж	1,775 кДж

Габаритные размеры выбранных ОПН-220 приведены на рисунке 4.3.

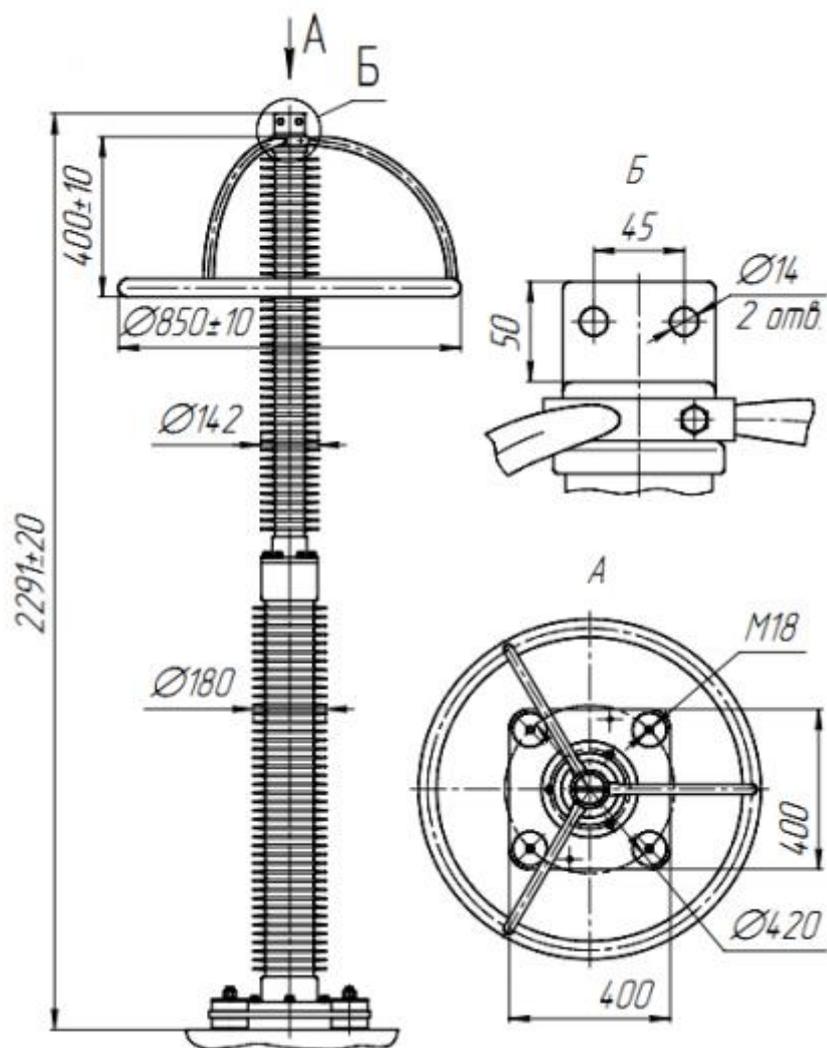


Рисунок 4.3 - Габаритные размеры ОПН-220

Таким образом, на ПС 220 кВ «Васильевская» установлено оборудование:

- на ОРУ 220 кВ:

элегазовые выключатели типа 242 РМ 40

разъединители типа РНДЗ-220/1000

ОПН-220

трансформаторы тока типа ТФЗМ 220 и ТВТ-220

трансформаторы напряжения типа НКФ- 220

- на ОРУ 110 кВ:

элегазовые выключатели типа 145 РМ 40

разъединители типа РНДЗ-110/1000

ОПН-110

трансформаторы тока типа ТФЗМ 110

трансформаторы напряжения типа НКФ- 110

5 Расчет собственных нужд подстанции 220 кВ «Васильевская»

Основными потребителями ПС 220 кВ являются:

- Освещение ОРУ-220, ОРУ-110;
- Освещение ОРУ-110 АТ-1, АТ-2;
- Отопление, освещение ОПУ;
- Обогрев выключателей 220 кВ и 110 кВ;
- Охлаждение АТ-1, АТ-2;
- Привод РПН;
- Компрессорная станция;
- Насосы пожаротушения;
- Маслохозяйство;
- Электрокотельная;
- ЩСУ;
- Сварочное оборудование и т.д.

Суммарная расчетная нагрузка собственных нужд:

$$S_{сн} = 897,6 \text{ кВА}.$$

На подстанции 220 кВ «Васильевская» устанавливаем для питания собственных нужд три трансформатора собственных нужд типа ТМ-630кВА производства ООО «Гольяттинский трансформатор»[24].

Для питания собственных нужд ПС 220 кВ «Васильевская» применяется секционированный щит собственных нужд (ЩСН), с питанием каждой секции от отдельного трансформатора собственных нужд ТМ-630-10/0.4 кВ. ЩСН предназначен для ввода и распределения электроэнергии переменного тока 0,4 кВ [12].

ЩСН включают в себя следующее оборудование:

- коммутационное (автоматы и т.д.);
- защиты;
- управление и автоматика;
- контроль и сигнализация;

- формирования в АСУ ТП необходимой информации.

Щит СН собран на 5 панелях: I секция физически расположена на 1,2 панели, II секция на 4,5 панели. На 2 и 4 панелях расположены вводные автоматы А-9ТС и А-10ТС. На панели №3 расположен секционный автомат АС.

В качестве секционного и вводных используются автоматы серии АВМ. Вводные и секционные автоматы выполнены в выкатном исполнении с шасси, и оборудованы мотором–редуктором. На секционном автомате выполнен АВР.

Автоматы отходящих линий имеют выдвижное исполнение.

Отходящие фидеры подключаются через автоматы серии ВА с электронными расцепителями и блок – контактами состояния.

Релейная схема управления, сигнализации и АВР собрана на панелях №2,3,4. На панели №5 также образуются цепи оперативной блокировки ±ЕВ: ключ SAC3 – подача питания с Iсек. (автомат SF4-1/п.1) или IIсек. (автомат SF1-2/п.5) ЩСН на выпрямительное устройство UGV1 (БПН1002), автоматы ВА питания цепей оперативной блокировки, устройство контроля изоляции сети оперативной блокировки. При отсутствии напряжения на ЩСН питание автоматически переводится на 1 сек. ЩПТ (автомат SF8-1).

На панелях №2 и 4 имеются амперметры контроля тока на вводах ЩСН и вольтметры контроля напряжения на секциях.

Отключение автомата ВА от защит сигнализирует красный флажок на вспомогательном контакте SD, чтобы сквитировать достаточно поднять защелку вверх.

Оперативное питание цепей управления и сигнализации автоматов 1, 2, 3 подается с ЩПТ через рубильники 1, 3 (2 – секционирование шинки ±ЕС), расположенные на панели №3 ЩСН.

На двери панели №3 имеются ключи: SAC1 «Дистанционное управление автоматом» для оперирования автоматами АВМ дистанционно через АСУ, SAC2 «АВР» для ввода и вывода из работы схемы АВР.

Все сигналы сигнализации с ЩСН поступают в АСУ (автоматизированная система управления).

Схема АВР запускается при снижении напряжения на вводе ниже уставки. По истечении 8 секунд отключается вводной автомат и включается секционный автомат, срабатывает бликер КН1 «включение СВ от АВР». При восстановлении напряжения на вводе включается вводной автомат и отключается СВ без перерыва в питании, срабатывает бликер КН2 «Отключение СВ по восстановлению U на вводе». Имеется блокировка от ошибочной работы АВР, если отключен автомат питания реле контроля напряжения SF1 или SF3. Секционный автомат не включится от АВР, если вводной автомат отключился аварийно от защит – блокировка от включения на короткое замыкание на шинах. В случае отключения вводного автомата от защит ТСН стороны 10 кВ, т.е. повреждение внутри трансформатора, АВР отработывает.

Вводные автоматы имеют следующие встроенные защиты:

- защита от перегрузок;
- селективная токовая отсечка;
- мгновенная токовая отсечка;
- защита от замыкания на землю.

Секционный автомат имеет следующие встроенные защиты:

- защита от перегрузок;
- селективная токовая отсечка;
- мгновенная токовая отсечка;

Сигнализация:

- положение автоматического выключателя (вкл/откл);
- положение шасси (вклено/выклено);
- испытательное положение шасси;
- аварийное отключение;
- неисправность цепей управления;
- неисправность цепей напряжения;

- АВР введено, выведено;
- включение секционного автомата от АВР;
- отключение секционного автомата по восстановлению U на вводе;
- местная световая сигнализация состояния оборудования.

Измерения:

- Блок Micrologic P установленный на вводных автоматах вычисляет в реальном времени все электрические величины (V , A , W , var , $V \cdot A$, $W \cdot ч$, $var \cdot ч$, $V \cdot A \cdot ч$, $Гц$), коэффициенты мощности и коэффициенты амплитуды.

- Блок Micrologic P вычисляет также средние значения тока и мощности за регулируемый промежуток времени. Для каждого измерения предусмотрен измеритель минимальных и максимальных значений.

- При отключении на повреждение осуществляется запоминание тока отключения.

6 Дифференциальная высокочастотная защита ВЛ 220 кВ ОРУ 220 кВ подстанции «Васильевская»

Релейная защита и автоматика ОРУ 220 кВ ПС «Васильевская» выполнена на основе шкафов микропроцессорных защит линий, трансформаторов и шин производства ООО НПП «ЭКРА» [20] (рисунок 6.1).



Рисунок 6.1 -Шкафы микропроцессорных защит линий, трансформаторов и шин производства ООО НПП «ЭКРА»

Основные функции панелей:

- защита и автоматика обходных выключателей 220 кВ ВО-1, ВО-2 с применением шкафов ШЭ2607 014022 и двух панелей перевода присоединений на работу через ВО-1, ВО-2;
- резервные защиты и автоматика линий 220 кВ с применением шкафов ШЭ2607 012021;
- защита и автоматики стороны 220 кВ автотрансформаторных группы

1ТГ, 6 - 8ТГ с применением шкафов ШЭ2607 071;

- защита и автоматика секционного выключателя 220 кВ ВС с применением шкафа ШЭ2607 015.

Для ВЛ 220 кВ «Васильевская -1» питание основной высокочастотной защиты (ДФЗ) выполняется от ШОТ-1 через соответствующий автомат;

- на панели ДФЗ установлен ключ 2КР выбора цепей напряжения от В-Вол-2 или от ВО;

- на панели ДФЗ установлен ключ 1КР выбора действия ДФЗ на отключение и пуск УРОВ;

-В-2 или ВО;

- на панели ДФЗ установлены испытательные блоки SG1 (в нормальном режиме установлена выемная часть «с цепью»), и SG2 (в нормальном режиме установлена выемная часть «без цепи») для подключения ДФЗ к ТТ В-Вол-2 или ТТ ВО-1(2) соответственно;

- на коммутаторной панели 7Р установлены испытательные блоки SG3 и SG4 для выбора;

- подключения основных защит (ДФЗ) к ТТ ВО-1 или ВО-2 соответственно.

Для оперативного вывода ДФЗ необходимо установить в положение «снято» накладки на панели ДФЗ:

- В1 - пуск УРОВ от ДФЗ;

- В2 - отключение через ЭМО-1 от ДФЗ;

- В3 - отключение через ЭМО-2 от ДФЗ.

Для оперативного ввода ДФЗ необходимо установить в положение «введено» накладки на панели ДФЗ:

- В2 - отключение через ЭМО-1 от ДФЗ;

- В3 - отключение через ЭМО-2 от ДФЗ;

- В1 - пуск УРОВ от ДФЗ.

Вывод ДФЗ в ремонт (ввод в работу) осуществляется по ТП вывода в ремонт (ввода в работу) ДФЗ.

При выводе ДФЗ ВЛ «Васильевская-1» в ремонт вводится ускорение резервных защит ВЛ 220 кВ или ВО-1,2 (в случае перевода ВЛ на ВО-1 с выведенной в ремонт ДФЗ).

Цепи сигнализации ДФЗ (звуковая и световая) выведены на ППУ. При неисправности ДФЗ на панели МП резервных защит ВЛ 220 кВ загорается лампа НL2 – неисправность, при срабатывании ДФЗ загорается лампа НL3. При этом на панели ЦС загораются соответствующие светодиоды и табло.

7 Расчет молниезащиты подстанции 220 кВ «Васильевская»

ПС 220 кВ «Васильевская» располагается в районе со среднегодовой продолжительностью гроз от 60 до 80 часов и относится к специальным объектам с ограниченной опасностью, поэтому принимаем допустимый уровень надежности от прямых ударов молнии равным 0,9 [4,5,6,7,16]. Исходя из этого выбраны тип, высота устанавливаемых молниеотводов.

Защита здания и электрооборудования ПС 220 кВ «Васильевская» от прямых ударов молнии выполнено молниеприемниками, установленными на прожекторных башнях высотой 30 м и порталах 220 кВ - М1-М9. Для расчета зон защиты принимаем высоту $h_{x1}=11,5$ м – высота порталов 110 кВ.

Расчет молниезащиты подстанции 220 кВ «Васильевская» приведен в таблице 7.1.

№ участка	1	2	3
Расчетный параметр			
S	0,0012 км ²	0,0016 км ²	0,0016 км ²
N_2	9,6125	9,6125	9,6125
h	30 м	30 м	19 м
h_x	18,5 м	18,5 м	18,5 м
h_{x1}	11,5 м	11,5 м	11,5 м
$h_a = h - h_x$	18,5	18,5	18,5
X	7 шт.	7 шт.	7 шт.
$r_x = 1,6 \cdot h_a \cdot p / (1 + h_x / h)$	21,39	21,39	21,39

Примеры зон защит для участка №1 и участка №2 для ПС 220 кВ приведены на рисунках 7.1 и 7.2.

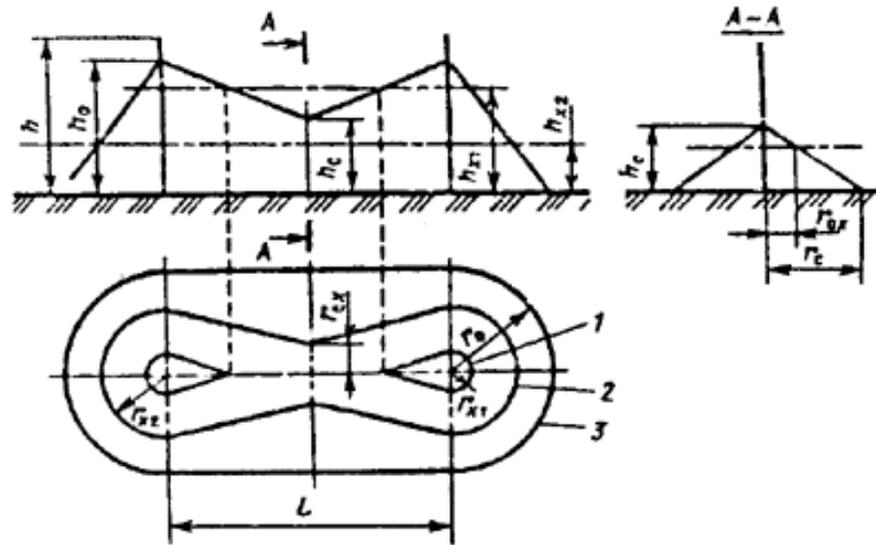


Рисунок 7.1 - Зона защиты участка 1 ПС 220 кВ

1 - граница зоны защиты на уровне h_x ; 2 - то же на уровне h_{x1} ;

3 - то же на уровне земли

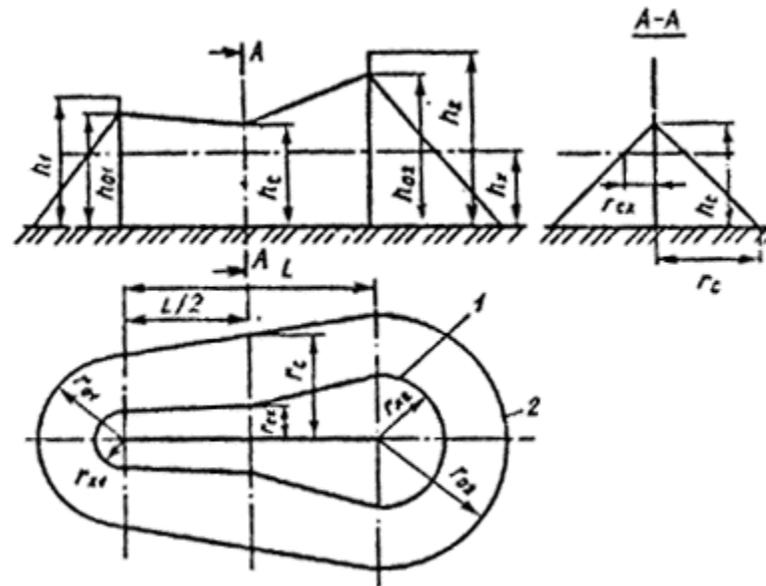


Рисунок 7.2 - Зона защиты участка 2 ПС 220 кВ

1 - граница зоны защиты на уровне h_x ; 2 - то же на уровне h_{x1} ;

3 - то же на уровне земли

8 Экономическая эффективность проекта

Для технико-экономического обоснования выбора вариантов оборудования подстанции 220 кВ «Васильевская» выполнено сравнение двух вариантов установки электрооборудования на ОРУ 220 кВ и ОРУ 110 кВ – ОРУ с баковыми элегазовыми выключателями и ОРУ с существующими масляными выключателями.

1 вариант (расчетный):

- установка трансформаторов АТДЦТН-200000/115/10,5;
- установка на ОРУ 220 кВ элегазовых выключателей типа 242 РМ 40; разъединителей типа РНДЗ-220/1000; ОПН-220; трансформаторов тока типа ТФЗМ 220 и ТВТ-220; трансформаторов напряжения типа НКФ- 220;
- установка на ОРУ 110 кВ элегазовых выключателей типа 145 РМ 40; разъединителей типа РНДЗ-110/1000; ОПН-110; трансформаторов тока типа ТФЗМ 110; трансформаторов напряжения типа НКФ- 110.

2 вариант (альтернативный):

- установка трансформаторов АТДЦТН-230000/115/10,5;
- установка на ОРУ 220 кВ масляных выключателей типа У-220-2000; разъединителей типа РНДЗ-220/1000; РВМГ-220; трансформаторов тока типа ТФЗМ 220 и ТВТ-220; трансформаторов напряжения типа НКФ- 220;
- установка на ОРУ 110 кВ масляных выключателей типа У-110-2000; разъединителей типа РНДЗ-110/1000; РВС-110; трансформаторов тока типа ТФЗМ 110; трансформаторов напряжения типа НКФ- 110.

Капитальные затраты на реконструкцию подстанции «КПД» составили:

$K_1 = 69015,04$ тыс.руб.

$K_2 = 114953,86$ тыс. руб.

Капитальные затраты для базового варианта 1 рассчитаны по [15] и

приведены в таблице 8.1.

Капитальные затраты для варианта 2 рассчитаны по [15] и приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.1 - Капитальные затраты на реконструкцию подстанции «КПД» для варианта 1

Наименование оборудования	Единиц оборудов ания	Капитальные затраты с учетом СМР, тыс. руб.
АТДЦТН-230000/115/10,5- 230000 кВА	2	47088
Элегазовый выключатель 242 PM 40	3	9000
Элегазовый выключатель 145 PM 40	20	48000
РНДЗ-220-1000/2000	12	1008
РНДЗ-110-1000/2000	78	4680
РВО-10/1000 УХЛ2	2	84
ТН-110	2	770
ОПН-220	4	1032
ОПН-110	6	288
ТФЗН-220	6	165
ТН-110	2	252

Таблица 8.2 - Капитальные затраты на реконструкцию подстанции «КПД» для варианта 2

Наименование оборудования	Единиц оборудования	Капитальные затраты с учетом СМР, тыс. руб.
АТДЦТН-230000/115/10,5-200000 кВА	2	40920
Масляный выключатель У-220-2000	3	14819,5
Масляный выключатель У-110-2000	20	53731
РНДЗ-220-1000/2000	12	1008
РНДЗ-110-1000/2000	78	4680
РНДЗ-35-1000	2	7,78
НКФ-220	2	1032
ТН-110	4	288
РВМГ-220	6	165,6
РВС-110	6	165
ТФЗН-220	2	252

Укрупненный расчет годовых эксплуатационных расходов на схему электроснабжения для вариантов 1 и 2 приведен в таблице 10.3.

Таблица 8.3 - Укрупненный расчет годовых эксплуатационных расходов на схему электроснабжения для вариантов 1 и 2

I_i	Вариант 1	Вариант2
Иам	1954,81 тыс. руб.	1550,57 тыс. руб.
Ифот	588,09 тыс. руб.	580,14 тыс. руб.
Ирем	2484,5 тыс. руб.	4601,93 тыс. руб.
Ипот	973,41 тыс. руб.	973,41 тыс. руб.
Итб	13,5 тыс. руб.	13,5 тыс. руб.
I_{Σ}	37016,52 тыс. руб.	54876,2 тыс. руб.

Вариант с элегазовыми выключателями оказался более экономичным. Экономический эффект от вложенных инвестиций составит 8092,3 тыс. руб., срок окупаемости вложения инвестиции 1 составит 4,9 лет.

Поэтому на ПС 220 кВ «Васильевская» к установке окончательно принимаем:

- 2 автотрансформатора АДЦТН-200000/115/10,5;
- установку на ОРУ 220 кВ элегазовых выключателей типа 242 РМ 40; разъединителей типа РНДЗ-220/1000; ОПН-220; трансформаторов тока типа ТФЗМ 220 и ТВТ-220; трансформаторов напряжения типа НКФ- 220;
- установку на ОРУ 110 кВ элегазовых выключателей типа 145 РМ 40; разъединителей типа РНДЗ-110/1000; ОПН-110; трансформаторов тока типа ТФЗМ 110; трансформаторов напряжения типа НКФ- 110.

Заключение

В выпускной квалификационной работе разработаны мероприятия по реконструкции электрической части подстанции 220 кВ «Васильевская» ПАО «ФСК ЕЭС» МСК Волги.

Подстанция 220 кВ «Васильевская» мощностью 400 МВА введена в эксплуатацию в конце 70-х годов XX века. Она отвечает за электроснабжение юго-западной части Самарской области, в том числе таких крупных промышленных потребителей, г.Тольятти, как АО «АвтоВАЗ», ПАО «Сибур», АО «Волгоцеммаш».

Разработаны мероприятия по реконструкции электрической части подстанции: замена силовых трансформаторов на подстанции; замена электрооборудования на ОРУ 220 кВ, ОРУ 110 кВ, КРУН 10 кВ. В ходе реконструкции показана необходимость замены устаревшего оборудования на новое. Электрическая схема подстанции заменена на новую более совершенную на современных элегазовых выключателях производства компании АBB.

На реконструируемой подстанции 220 кВ «Васильевская» приняты к установке:

- 2 автотрансформатора АДЦТН-200000/115/10,5;
- на ОРУ 220 кВ
элегазовые выключатели типа 242 РМ 40;
разъединители типа РНДЗ-220/1000;
ОПН-220;
- трансформаторы тока типа ТФЗМ 220 и ТВТ-220;
- трансформаторы напряжения типа НКФ- 220;
- на ОРУ 110 кВ
элегазовые выключатели типа 145 РМ 40;
разъединители типа РНДЗ-110/1000; ОПН-110;
- трансформаторы тока типа ТФЗМ 110;

трансформаторы напряжения типа НКФ- 110.

Современные устройства снизят время переключений и надежны в эксплуатации.

Реконструкция электрической части подстанции 220 кВ «Васильевская» будет проводиться на действующем объекте, без ограничения электроснабжения потребителей.

В работе были также выбраны трансформаторы собственных нужд подстанции, рассмотрены вопросы релейной защиты и автоматики на отходящих линиях ВЛ 220 кВ.

Выполнен расчет молниезащиты ПС 220 кВ «Васильевская».

Список использованных источников

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты от 24 июля 2013 г. № 328н.
2. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. - СПб.: Энергготомиздат, 2009.
3. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – М.: Издательство стандартов, 2007.
4. ГОСТ Р 12.0.006-2002. Система стандартов безопасности труда. Общие требования к управлению охраной труда в организации.
5. РД.34.20.501-95. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. - М.: СПО ОРГРЭС, 2003.
6. РД 34.21.122. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. Утв. Приказом Минэнерго РФ от 30.06.2003 № 280.
7. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений / Под ред. Тиходеева Н.Н. - СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.
8. Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110–750 кВ. - М.: Изд-во НТК «Электропроект», 2013.
9. Александров, Г.Н. Применение управляемых шунтирующих реакторов и нелинейных ограничителей перенапряжений в электрических сетях высокого напряжения/ Г.Н.Александров, А.И.Афанасьев. - СПб.: ПЭИПК, 2014.
10. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов / В.А. Андреев. - М.: Высшая школа, 2015.

11. Конюхова, Е.А. Электроснабжение : учебник для вузов / Е.А. Конюхова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
12. Киреева, Э.А. Полный справочник по электрооборудованию систем электроснабжения (с примерами расчетов) : справочное издание / Э.А. Киреева; под общ. ред. С.Н. Шерстнева. - М.: КНОРУС, 2017.
13. Киреева, Э.А. Электрооборудование электрических станции и подстанций / Э.А. Киреева. – М.: КНОРУС, 2017.
14. Короткие замыкания и выбор электрооборудования : учебное пособие для вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев и др.; под ред. И.П. Крючкова, В.А. Старшинова. – М. : Изд. дом МЭИ, 2012.
15. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. – М.: Изд. дом МЭИ, 2013.
16. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов/ Б.Н.Неклепаев, И.П.Крючков. – М.: Энергоатомиздат, 2014.
17. Высоковольтные выключатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pokroff.com/v> (30.03.17).
18. Каталог продукции концерна АВВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.abb.ru/product/ru> (30.03.17).
19. Каталог продукции измерительных трансформаторов тока и напряжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kers.su/files/transformators.pdf> (14.04.2017).
20. Каталог продукции ООО НПП «ЭКРА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ekra.ru/> (10.05.2017).
21. Каталог продукции ООО «Элэнергомаш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elenergomash.nethouse.ru> (14.04.2017).
22. Ограничители перенапряжения нелинейные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forca.ru/spravka/razryadniki-i-opn/opn> (30.03.17).

23. Официальный сайт ПАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fsk-ees.ru> (14.04.2017).

24. Официальный сайт ООО «Тольяттинский трансформатор». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bktr.ru>
<http://transformator.com.ru/>(16.05.17).