

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

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

Электроснабжение  
(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП автозавода»

Студент(ка)

В.В. Уразов

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Руководитель

В.П. Тараканов

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Консультанты

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## **Аннотация**

В выпускной квалификационной работе рассмотрена реконструкция электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП прессового производства автозавода. Выполнен анализ существующей схемы электроснабжения ГПП, электрооборудования ЗРУ 10 кВ ГПП. Для обоснования выбора силовых трансформаторов ГПП рассчитаны ожидаемые электрические нагрузки прессового производства. Разработаны мероприятия по реконструкции электрооборудования ЗРУ 10 кВ ГПП. Для проверки выбранного электрооборудования ЗУ 10 кВ на динамическую и термическую стойкость рассчитаны токи КЗ. Выполнено технико-экономическое обоснование реконструкции электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП,

Выпускная работа выполнена в объеме 53 страницы. Графическая часть представлена на 6 листах формата А1.

## Содержание

	Стр.
Введение.....	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования.....	6
2 Расчет электрических нагрузок ГПП.....	8
2.1 Расчет силовых электрических нагрузок.....	8
2.2 Расчет нагрузок от освещения.....	9
3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов на ГПП .....	15
4 Расчет токов короткого замыкания .....	20
5 Разработка мероприятий по реконструкции электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП.....	23
5.1 Выбор кабелей.....	23
5.2 Выбор КРУ.....	24
5.3 Выбор выключателей 10 кВ.....	24
5.4 Выбор ограничителя перенапряжений на стороне 10 кВ.....	36
5.5 Выбор трансформаторов напряжения на стороне 10 кВ.....	37
5.6 Выбор трансформаторов тока.....	38
6 Молниезащита и заземление ГПП.....	40
6.1 Молниезащита ГПП.....	40
6.2 Заземление ГПП.....	40
7 Экономическая эффективность схемы электроснабжения.....	42
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	51

## **Введение**

Бесперебойное электроснабжение потребителей является важной задачей энергетического комплекса страны. Однако в последнее время обеспечить требуемую надежность электроснабжения потребителей в соответствии с требованиями ПУЭ и других нормативных документов [1-8] затруднено из-за следующих причин:

- возрастает зависимость надежности электроснабжения потребителей из-за усложнения технологических процессов в промышленности, внедрения информационных технологий. Перерыв в электроснабжении на несколько секунд таких потребителей, как химические предприятия, может привести к взрывам, пожарам, загрязнению окружающей среды. Величина ущерба может исчисляться миллионами рублей;

- происходит постоянное старение электрооборудования генерирующих и сетевых компаний, а также самих предприятий, что ведет к росту вероятности возникновения отказов и развитию аварий, часто переходящих в системные. Износ электрооборудования сетевого комплекса страны в настоящее время по оценкам специалистов превышает 70-80%.

Поэтому первостепенной задачей для обеспечения надежного функционирования систем электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий является замена физически и морально устаревшего электрооборудования электрических сетей.

Рассматриваемая в выпускной работе ГПП находится в северной части автозавода и предназначена для электроснабжения потребителей пресового производства. ГПП находится в эксплуатации более 45 лет. Естественно встает вопрос о реконструкции электрической части ГПП.

В связи с вышесказанным, целью выпускной квалификационной работы является повышение надежности потребителей ГПП автозавода.

Задачи работы:

- краткая характеристика объекта проектирования;

- анализ существующей электрической части ГПП автозавода;
- расчет ожидаемых электрических нагрузок ГПП;
- выбор типа, числа и мощности трансформаторов на ГПП;
- разработка мероприятий по реконструкции электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП;
- обоснование экономической эффективности схемы электроснабжения с учетом замены устаревшего электрооборудования на новое.

## **1 Краткая характеристика объекта проектирования**

Рассматриваемая в работе ГПП предназначена для обеспечения надежного электроснабжения потребителей 0,4 кВ и 10 кВ прессового производства автозавода. Располагается в северной части автозавода.

На ГПП установлены три силовых трансформатора типа ТРДНЦК 63000/110/10/10, питание которых осуществляется маслонаполненными кабелями напряжением 110 кВ марки МССВ с ячеек 7,12, 27 ОРУ 110 кВ ОАО «ТЭЦ ВАЗа». Кабели 110 кВ по территории завода проложены в туннелях.

Открытое распределительное устройство на ГПП отсутствует – кабели 110 кВ присоединяются к силовым трансформаторам через глухие вводы.

На территории ГПП расположено закрытое распределительное устройство ЗРУ 10 кВ. Кабельные линии 10 кВ выполнены кабелем марки ААШв и проложены по территории завода в основном по проходным или полупроходным туннелям. Принятая схема электроснабжения прессового производства завода – двухступенчатая радиальная с установкой отдельного РП5 для питания компрессной станции напряжением 10 кВ. Так как большая часть электроприемников производства относится ко II категории надежности электроснабжения, то для обеспечения надежного бесперебойного электроснабжения потребителей предусмотрено АРВ на всех ступенях схемы электроснабжения – на стороне 10 кВ ГПП и РП-5. В нормальном режиме работы секции ЗРУ 10 кВ ГПП и РП-5 работают раздельно.

ЗРУ 10 кВ выполнено двухрядным ячейками КРУ типа КР-10/31,5-У3 с масляными выключателями ВМПЭ-10. Количество ячеек КРУ – 88. Для питания цепей измерения и релейной защиты в ячейках КРУ установлены трансформаторы тока типа ТПШЛ – 10 и трансформаторы напряжения типа НТМИ-10-66У3. Защита от перенапряжений выполнена разрядниками типа РВС-10, установленных в ячейках совместно с трансформаторами

напряжения. Все электрооборудование КРУ - комплектное с выкатными тележками. Все высоковольтное электрооборудование ЗРУ 10 кВ ГПП унифицировано. В здании ЗРУ 10 кВ размещен также щит релейной защиты и автоматики, рассчитанный на работу силовых трансформаторов ГПП.

Тип электрооборудования ЗРУ 10 кВ ГПП, год изготовления приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Электрооборудование ЗРУ 10 кВ ГПП прессового производства автозавода до реконструкции

Наименование	Тип	Год выпуска
Силовые трансформаторы	ТРДНЦК 63000/110/10/10	1969
Кабель 110 кВ	МССВ 1x150	1970
Кабель 10 кВ	ААШв	1969, 1970, 1980
Трансформаторы собственных нужд	ТМ-100/10/0,4	1969
Ячейки КРУ	КР-10/31,5-УЗ	1969, 1982
Выключатели 10 кВ	ВМПЭ-10	1969, 1982
Трансформаторы тока	ТПШЛ – 10	1969, 1982
Трансформаторы напряжения	НТМИ-10-66УЗ	1969
Разрядники	РВС-10	1970
Изоляторы проходные	ИПУ-10	1970, 1982, 1990
Предохранители	ПКТ 101-10-8-20 У1	1969, 1982
Шины жесткие алюминиевые	2x(100x6)	1969, 1982

Из таблицы 1 следует, что электрооборудование ЗРУ 10 кВ ГПП автозавода физически и морально устарело, большая часть электрооборудования находится в эксплуатации более 45 лет. Поэтому требуется реконструкции электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП.

## 2 Расчет электрических нагрузок ГПП

ГПП предназначено для электроснабжения потребителей прессового производства автозавода. Для обоснования выбора силовых трансформаторов ГПП необходимо выполнить расчет электрических нагрузок производства.

### 2.1 Расчет силовых электрических нагрузок

Расчетные нагрузки от силовых группы электроприемников определяются по методу упорядоченных диаграмм, для чего необходимо знать номинальные мощности и количество в группе всех электроприемников, их режим работы. Расчетная нагрузка определяется в соответствии с [9,10] по формулам:

$$P_P = K_M \cdot K_{II} \cdot P_{ном} = K_M \cdot P_{CP};$$

$$Q_P = K_M \cdot Q_{CP} = K'_M \cdot P_{CP} \cdot tg\varphi;$$

$$K_M = f(n_{\text{Э}}, K_{II\text{CP}});$$

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{H.\text{max}}};$$

$$K_{II\text{CP}} = P_{CP} / \sum P_H;$$

$$K'_M = 1,1, \text{ если } n_{\text{Э}} \leq 10 \text{ и } K'_M = 1,0, \text{ если } n_{\text{Э}} > 10.$$

Здесь  $K_u$  – коэффициент использования группы электроприемников;

$K_M$  – коэффициент максимума;

$K'_M$  – коэффициент максимума реактивной нагрузки;

$n_{\text{Э}}$  – эффективное число электроприемников;

$tg\varphi$  – коэффициент реактивной мощности.

Для отдельных электроприемников или групп электроприемников средняя активная и реактивная мощности определяются по формулам [11,16]:

$$P_{cp} = \sum P_{H\sum i} \cdot \kappa_u;$$

$$Q_{cp} = \sum P_{H\sum i} \cdot \kappa_u \cdot tg\varphi,$$



где  $k_{и}$  – коэффициент использования отдельного электроприемника.

Номинальная мощность электроприемника, совершающая работу, указывается в паспортных данных электроприемника и определяется по формуле:

$$P_{н} = P_{наст.}$$

$$\text{Полная расчётная нагрузка } S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

$$\text{Расчётный ток } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}.$$

Следует отметить, что расчет нагрузок не может быть достаточно точным вследствие возможных изменений технологического процесса и неточности расчетных коэффициентов (учитывая динамику изменения коэффициентов во времени).

Расчетные и исходные данные занесены в таблицу 1, где приведен подробный расчет нагрузок приведен для ТП 165. Для остальных ТП 162-180 расчет электрических нагрузок выполнен по укрупненным данным.

## 2.2 Расчет нагрузок от освещения

Расчет электрических нагрузок для освещения выполнен по методу коэффициента использования светового потока [12].

Исходными данными являются:

длина ( $A=274$  м) и ширина помещения ( $B=180$  м); площадь прессового производства  $S = 49320$  м<sup>2</sup>; общая площадь с учетом бытовых помещений  $S_{общ} = 250376$  м<sup>2</sup>;

высота помещения  $h_{общ.} = 12$  м;  $h_{местн.} = 3$  м;

индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

где  $i=5$ ;  $z = E_{ср}/E_{min}=1,15$ .

В качестве источников света используются промышленные светодиодные светильники [27] типа Оптолюкс-Скай-100М (рисунок 1) с характеристиками:  $U=100 - 250$  В;  $P_{\text{потр}} = 100$  Вт; эффективность 112 Лм/Вт, гарантийный срок эксплуатации 5 лет; расчетный срок службы светодиодов  $T_{\text{расч}}=50000$  час [28].



Рисунок 1 - Промышленный светодиодный светильник  
типа Оптолюкс-Скай-100М

К установке принято общее количество светильников  $N_{\text{общ}} = 475$  шт.;  
 $N_{\text{мест}}=8137$  шт.

Расчетная нагрузка на освещение прессового производства составляет:

- для рабочего освещения - 25533,6 кВА;

для аварийного освещения – 2553,36 кВт.

Фактическая освещенность составляет:

для общего освещения  $E_{\text{факт.общ}} = 175$  Лк;

для местного освещения  $E_{\text{факт.мест}}=250$  Лк.

Расчет нагрузок освещения по всем ТП прессового производства сведен в таблицу 2.

Таблица 2 - Расчет электрических нагрузок ГПП

Наименование ЭП и узлов питания	п	Руст = Рном к ПВ=100%		m	Ки	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка		п <sub>эф.</sub>	Км	Максимальная расчетная нагрузка			
		Рн	ΣРн					Рср,кВт	Qср,квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, КВА	Ip, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТП - 165															
<b>ШМА 165</b>															
Термолечебница (06/6)		73,40	73,4		0,85	1,00	0,00	62,39	0,0			62,39	0,00	62,39	0,0901
Эл. мостовые краны (06/6)	2	70,50	141,0		0,30	0,60	1,33	42,30	56,3			42,30	61,88	74,96	0,1082
пресс 2601(210.004.21)	1	62,20	62,2		0,17	0,65	1,17	10,57	12,4			10,57	13,61	17,23	0,0249
<i>ИТОГО по ШМА 165/1</i>	3	14-73,4	276,6	>3	0,4			115,26	68,6	3	1,75	201,71	75,49	215,38	0,31
<b>ШМА 165</b>															
Мостовой кран Q=30 т	1	27,25	27,3		0,10	0,50	1,73	2,73	4,7			2,73	5,19	5,86	0,0085
Эл. силовые шкафы РС	3	40,00	120,0		0,80	0,95	0,48	96,00	46,1			96,00	50,69	108,56	0,1567
Вентиляция (06/6)	3	1,10	3,3		0,65	0,80	0,75	2,15	1,6			2,15	1,77	2,78	0,0040
<i>ИТОГО по ШМА 165/2</i>	7	1,1-85,8	150,6	>3	0,5			100,87	52,4	4	1,32	133,15	57,64	145,09	0,2094
<b>Ф-3 (аварийное освещение)</b>		110,00	110,0		0,85	1	0	93,50	0,0			93,50	0,00	93,50	0,13
<b>ШМА 165</b>															
Троллей 2-го сев. Пролета	3	57,00	171,0		0,05	0,50	1,73	8,55	14,8			8,55	16,27	18,38	0,0265
Пресс 2501 (207.508.22)	1	160,00	160,0		0,17	0,65	1,17	27,20	31,8			27,20	35,01	44,33	0,0640
<i>ИТОГО по ШМА 165/4</i>	4	57-256	331,0	>3	0,1			35,75	46,6	3	3,3	117,98	51,28	128,64	0,19
<b>Ф-5</b>															
Освещение (12" - 5 оси)		120,00	126,0		0,85	1	0	107,10	0,0			107,10	0,00	107,10	0,1546
Освещение (06/6)		80,00	85,8		0,90	0,95	0,48	77,22	37,1			77,22	40,77	87,32	0,1260
<i>Итого по Ф - 5</i>		80-120	211,8		0,9			184,32	37,1			184,32	40,77	188,78	0,272
<b>ШМА 165</b>															
Многопоз.автомат 2602	1	165,00	165,0		0,17	0,65	1,17	28,05	32,8			28,05	36,10	45,72	0,0660
Пресс "Эрфурт"	1	85,00	85,0		0,17	0,65	1,17	14,45	16,9			14,45	18,60	23,55	0,0340
<i>ИТОГО по ШМА 165/6</i>	4	73,4-320	396,8	>3	0,2			67,46	78,9	2	2,4	161,89	86,82	183,70	0,27
<b>ШМА 165</b>															
Освещение зап. рампы		24,50	24,5		0,90	0,95	0,48	22,05	10,6			22,05	11,64	24,93	0,0360
<i>ИТОГО по ШМА 165</i>	5	0,8-35,6	105,5	>3	0,8			85,75	44,6	5	1,15	98,61	49,05	110,14	0,16
<b>ИТОГО ПО ТП - 165</b>	23	0,8-320	1582,3	>3	0,54			682,91	328,2	17	1,25	853,64	328,23	914,57	1,32

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ИТОГО ПО ТП - 166	70	0,8-541	3080	>3	0,7			1203,06	1010,2	16	1,22	1467,73	1010,24	1781,80	2,57
ИТОГО ПО ТП - 167	96	1,25- 194	5999	>3	0,3			1296,11	1436,5	62	1,1	1464,61	1436,51	2051,50	2,96
ИТОГО ПО ТП - 168	111	0,8-219	4239	>3	0,61			1274,91	1159,5	39	1,2	1555,39	1159,51	1940,03	2,80
ИТОГО ПО ТП - 169	69	3-328	3142,8	>3	0,71			969,98	1255,4	19	1,27	1231,87	1255,42	1758,86	2,54
ИТОГО ПО ТП - 170	99	0,8-380	5648,8	>3	0,42			1420,11	1447,0	30	1,2	1704,13	1446,96	2235,57	3,23
ИТОГО ПО ТП - 171	351	0,3-170	6116,8	>3	0,60			1357,20	1468,4	72	1,16	1574,35	1468,37	2152,83	3,11
ИТОГО ПО ТП - 172	187	0,3-168	3416,4	>3	0,66			1143,28	939,1	41	1,16	1326,20	1032,98	1681,03	2,43
ИТОГО ПО ТП - 173	66	0,3-200	2425,3	>3	0,58			552,45	657,2	24	1,19	657,42	657,15	929,54	1,34
ИТОГО ПО ТП - 174									326,0				326,00	1514,50	2,19
ИТОГО ПО ТП - 175	11	2,4- 3,85	32,2	<3	0,1			2,79	5,3	11	2,42	6,74	5,86	8,93	0,01
ИТОГО ПО ТП - 177	1	252- 357,5	609,5	<3	0,53			285,70	72,9	4	2,11	602,83	80,22	608,14	0,88
ИТОГО ПО ТП 180	158	0,3-170	6116,8	>3	0,60			1357,20	1468,4	72	1,16	1574,35	1468,37	2152,83	3,11
<b>ИТОГО ПО СТОРОНЕ 0,4кВ</b>	1416	0,3- 896,7	48651	>3	0,52			14628,90	13801,7	109	1,1	<b>16091,79</b>	<b>13801,72</b>	<b>21199,84</b>	<b>1,17</b>
<b>По НН с учетом ККУ</b>	1416	0,3- 896,7	48651		0,64			14628,90	13475,7	109	1,07	<b>16091,79</b>	<b>190,24</b>	<b>16092,92</b>	<b>0,88</b>
<b>Нагрузка 10 кВ (РП-5)</b>															
Компрессоры "Атлас"	4	1325	5300		0,8	0,85	0,62	4240	2464,5						
Компрессоры К-250	5	1750,00	8750,0		0,8	0,80	0,75	7000,00	5250,0						
<b>ИТОГО ПО НАГРУЗКЕ 10 кВ</b>	9	1325- 1750	14050	>3	0,8			11240	7868	9	1,14	<b>12681,6</b>	<b>8654,8</b>	<b>15353,37</b>	
<b>ИТОГО ПО ГПП (с учетом сторонней нагрузки)</b>												<b>91536</b>	<b>42030</b>	<b>100376</b>	

### 3 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов ГПП

На рисунке 2 приведен типовой годовой график электрических нагрузок для автомобильного завода [15].

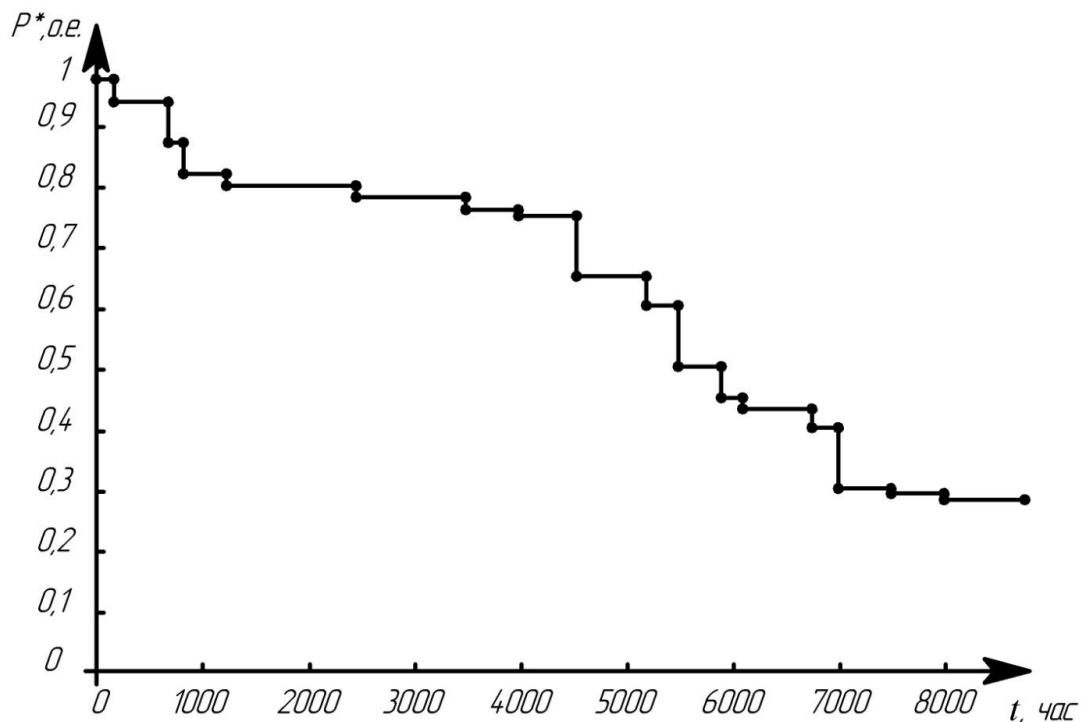


Рисунок 2 - Типовой годовой график электрических нагрузок для автомобильного завода

Из графика на рисунке 2 определяет полную потребляемую мощность для каждой ступени:

$$S_i = P_i / \cos\varphi_i.$$

Из таблицы 2

$$S_{\max ПС} = \sum S_{\max in} = 100376 \text{ кВА.}$$

На ГПП установлены три трансформатора с расщепленными обмотками типа ТРДЦНК 63000/110/10/10.

Выполним проверку установленных силовых трансформаторов на ГПП прессового производства по методике, изложенной в [13].

Для трехтрансформаторной ГПП номинальная мощность трансформатора  $S_{T \text{ ном}}$  определяется с учетом 40% перегрузки в нормальном режиме:

$$S_{\text{ТНОМ}} = \frac{S_{\text{макс ПС}} \cdot K_{1-2}}{K_{\text{пер}} \cdot (3-1)};$$

$$S_{\text{ТНОМ}} = \frac{100376 \cdot 0,9}{1,4 \cdot (3-1)} = 35204,4 \text{ кВА},$$

$K_{1-2}$  – коэффициент участия в нагрузке потребителей 1-й и 2-й категории;

$K_{\text{пер}}$  – коэффициент допустимой аварийной перегрузки.

Для сравнения выбираем силовые трансформаторы марок ТРДНК 40000/110/10/10 и ТРДЦНК 63000/110/10/10 с паспортными данными, приведенными в таблице 3 [18-21].

Таблица 3 - Паспортные данные силовых трансформаторов

Тип силового трансформатора	$S_{\text{НОМ}}$ , кВА	$P_x$ , кВт	$P_{кз}$ , кВт	$I_{xx}$ , %	$U_{к\%}$ (ВН-НН)	$U_{к\%}$ (НН1-НН2)
ТРДНК 40000/110/10/10	40000	59	245	0,6	10,5	36,5
ТРДЦНК 63000/110/10/10	63000	70	310	0,55	10,5	36,5

Алгоритм выбора числа и мощности силовых трансформаторов.

А) Определяем электрические потери в силовых трансформаторах:

1. Приведенные потери мощности определяются из выражения:

$$P'_T = P'_x + K_{зв}^2 \cdot P'_{кв} + K_{з.н}^2 \cdot P'_{кн},$$

где  $P'_x = P_x + K_{ип} \cdot Q_x$  - приведенные потери активной мощности силовых трансформатора в режиме холостого хода;

$P_x$  – потери активной мощности трансформатора в режиме холостого хода;

$K_{ип}$  – коэффициент изменения потерь, который зависит от удаленности потребителей от источника питания и составляет 0,02...0,2 кВт/квар [11].  
Принимаем  $K_{ип} = 0,05$  кВт/квар.

Активные потери мощности в режиме короткого замыкания соответствующих обмоток трансформатора при 100% их загрузки:

$$\Delta P_{к.в.} = 0, \quad \Delta P_{к_{H1}} = \Delta P_{к_{H2}} = 2 * \Delta P_{к.вн-нн}.$$

Напряжения в режиме короткого замыкания (%) соответствующих обмоток трансформатора:

$$U_{кв} = 0,125 * U_{квн-нн}; \quad U_{кв} = 0,125 * 10,5 = 1,313 \% \\ U_{кн1} = U_{кн2} = 1,75 * U_{квн-нн}; \quad U_{кн1} = U_{кн2} = 1,75 * 10,5 = 18,375 \%$$

2. Потери реактивной мощности силового трансформатора в режиме холостого хода

$$Q_x = \frac{I_x}{100} \cdot S_{ном.Т}$$

Потери активной мощности силового трансформатора в режиме холостого хода

3. Коэффициент загрузки на стороне ВН:

$$K_{зВ} = \frac{S_{нагр}}{S_{ном.Т}}$$

и стороне НН:

$$K_{зН} = \frac{S_{нагр}}{S_{ном.Т}}$$

4. Приведенные потери активной мощности в режиме короткого замыкания соответственно на сторонах ВН и НН:

$$P'_{кв} = P_{кв} + K_{ип} \cdot Q_{кв};$$

$$P'_{кн} = P_{кн} + K_{ип} \cdot Q_{кн},$$

где  $Q_{кв} = \frac{U_{кв}}{100} \cdot S_{ном.Т}$ ;  $Q_{кн} = \frac{U_{кн}}{100} \cdot S_{ном.Т}$  - потери реактивной мощности

силового трансформатора в режиме КЗ;

5. Экономическая нагрузка трансформатора:

$$S_3 = S_{\text{ном.т}} * \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta P_X}{\Delta P_K}}$$

б. На основании годового графика нагрузки (рисунок 2) определяются потери электроэнергии в силовом трансформаторе на ГПП  $\Delta W_{\text{ГПП}}$

$$\Delta W_{\text{ГПП}} = \sum \Delta P_X \cdot T_i + \sum K_{3,i}^2 \cdot \Delta P_K \cdot T = \Delta W_x + \Delta W_k,$$

Из таблицы 3 находим:

$$\Delta W_{\text{ГПП}} = \Delta W_x + \Delta W_k = 4831694 \text{ кВт ч}$$

Из таблицы 4 находим:

$$\Delta W_{\text{ГПП}} = \Delta W_x + \Delta W_k = 3329663 \text{ кВт ч}$$

Б) Стоимость потерь электроэнергии в силовых трансформаторах

*И*  $\Delta W_{\text{ГПП}}$  находится по выражению:

$$\text{И}\Delta W_{\text{ГПП}} = C_{\text{эк}}(T_x) \cdot \Delta W_x + C_{\text{эк}}(\tau) \cdot \Delta W_k,$$

где  $C_{\text{эк}}(T_x) = 2,06 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч}$ ;  $C_{\text{эк}}(\tau) = 0,85 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч}$  определяются по данным энергопроизводства автозавода.

1 вариант

$$\text{И}\Delta W_{\text{ГПП}} = 2,06 \cdot 1520608 + 0,85 \cdot 3311086 = 43350033,1 \text{ руб.}$$

2 вариант

$$\text{И}\Delta W_{\text{ГПП}} = 2,06 \cdot 1595920 + 0,85 \cdot 1603743 = 31556576,5 \text{ руб.}$$



Таблица 3 - Расчётные данные по потерям электроэнергии (вариант 1 - ТРДНК 40000/110/10/10)

i	S <sub>РВ</sub> кВА	S <sub>РН1</sub> кВА	S <sub>РН2</sub> МВА	T <sub>i</sub> час	ΔW <sub>xi</sub> кВт·ч	K <sub>ЗВ</sub>	K <sub>ЗН1</sub>	K <sub>ЗН2</sub>	ΔW <sub>КВi</sub> кВт·ч	ΔW <sub>КН1i</sub> кВт·ч	ΔW <sub>КН2i</sub> кВт·ч
1	100376	50188	50188	200	31160	1,61	0,8	0,8	30355,5	807618	807618
2	95355	47677	47677	500	77900	1,5	0,75	0,75	14991,9	398864,4	398864,4
3	88254	44127	44127	140	21812	1,4	0,7	0,7	14798,3	393713,8	393713,8
4	83182	41591	41591	410	63878	1,32	0,66	0,66	11657,75	310358,3	310358,3
5	81153	40576	40576	1220	190076	1,18	1,44	1,44	8596,5	228712,5	228712,5
6	79124	39562	39562	1030	160474	1,24	0,62	0,62	8013,85	213211,1	213211,1
7	77095	38547	38547	1500	233700	1,22	0,61	0,61	6503,3	173021,4	173021,4
8	76081	38040	38040	550	85690	1,2	0,6	0,6	9292,5	247230	247230
9	65937	32968	32968	650	101270	1,4	0,52	0,52	6071,1	161523,6	161523,6
10	60865	30432	30432	300	46740	0,96	0,48	0,48	3770,4	100312,2	100312,2
11	50720	25360	25360	400	62320	0,8	0,4	0,4	1548,75	41205	41205
12	45648	22824	22824	200	31160	0,72	0,36	0,36	3766,6	38080	38080
13	43620	21810	21810	650	101270	0,68	0,34	0,34	1806,5	48061,5	48061,5
14	40576	20288	20288	250	38950	0,64	0,32	0,32	1001,7	26651,4	26651,4
15	30432	15216	15216	500	77900	0,48	0,24	0,24	97,10	24134	24134
16	29418	14709	14709	500	77800	0,46	0,23	0,23			
17	28404	14202	14202	760	118408	0,45	0,225	0,225			
				ΣΔW <sub>xi</sub> =1520608					3311086		
									ΣΔW <sub>ГПП</sub> =4831694кВт·ч		

Таблица 4 - Расчётные данные по потерям электроэнергии (вариант 2 – ТРДЦНК 63000/110/10/10)

i	S <sub>РВ</sub> кВА	S <sub>РН1</sub> кВА	S <sub>РН2</sub> МВА	T <sub>i</sub> час	ΔW <sub>xi</sub> кВт·ч	K <sub>ЗВ</sub>	K <sub>ЗН1</sub>	K <sub>ЗН2</sub>	ΔW <sub>КВi</sub> кВт·ч	ΔW <sub>КН1i</sub> кВт·ч	ΔW <sub>КН2i</sub> кВт·ч
1	100376	50188	50188	200	36800	1,26	0,63	0,63	8441,36	54466,9	54466,9
2	95355	47677	47677	500	92000	1,20	0,6	0,6	18647	120317	120317
3	88254	44127	44127	140	25760	1,1	0,55	0,55	4472,5	28858,2	28858,2
4	83182	41591	41591	410	75440	1,04	0,52	0,52	11635,7	75078	75078
5	81153	40576	40576	1220	224480	1,0	0,5	0,5	32956	212639	212639
6	79124	39562	39562	1030	189520	0,98	0,49	0,49	26449	170659	170659
7	77095	38547	38547	1500	276000	0,96	0,48	0,48	36568	235950	235950
8	76081	38040	38040	550	101200	0,95	0,475	0,475	13057	84253,1	84253,1
9	65937	32968	32968	650	119600	0,82	0,46	0,46	11591	74789,7	74789,7
10	60865	30432	30432	300	55200	0,76	0,38	0,38	4558,3	29412,1	29412,1
11	50720	25360	25360	400	73600	0,63	0,325	0,325	4220,6	27233,4	27233,4
12	45648	22824	22824	200	36800	0,58	0,29	0,29	1709,4	11029,5	11029,5
13	43620	21810	21810	650	119600	0,54	0,27	0,27	5072,6	32730,5	32730,5
14	40576	20288	20288	250	46000	0,50	0,25	0,25	1688,2	10893,4	10893,4
15	30432	15216	15216	500	92000	0,38	0,19	0,19	1899,2	12255	12255
16	29418	14709	14709	500	92000	0,36	0,18	0,18	1774,8	11451,7	11451,7
17	28404	14202	14202	760	69920	0,35	0,175	0,175	2514,8	16226,8	16226,8
				ΣΔW <sub>xi</sub> =1595920					1603743		
									ΣΔW <sub>ГПП</sub> =3329663 кВт·ч		

В) Определяем приведенные затраты на установку силовых трансформаторов [14]:

$$Z_{\text{пр}} = E_n \cdot K + И = E_n \cdot K + И_э + И_{\Delta W_{\text{пс}}}, \text{ руб.},$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент (принимаем  $E_n = 0,223$  [23]);

$K$  – капитальные затраты на силовые трансформаторы ГПП;

$И_э = P_{\text{сум}} \cdot K$  – ежегодные эксплуатационные издержки, руб.,

где  $P_{\text{сум}} = P_a + P_p + P_o$  – суммарный коэффициент отчислений на амортизацию, ремонт и обслуживание электрооборудования; для силового электрооборудования 35-150 кВ с учетом [23] принимаем  $P_{\text{сум}} = 0,094$ ).

1 вариант

$$Z_{\text{пр}} = 0,223 \cdot 21840000 + 0,094 \cdot 21840000 + 43350033,1 = 44042361,1 \text{ руб.}$$

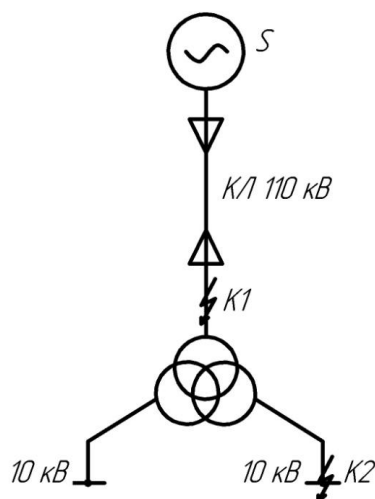
2 вариант:

$$Z_{\text{пр}} = 0,223 \cdot 24960000 + 0,094 \cdot 16640000 + 31556576,5 = 39468896,5 \text{ руб.}$$

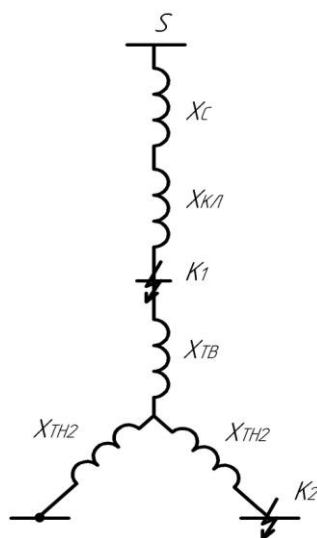
Выбираем второй вариант - вариант с наименьшими приведенными затратами с тремя силовыми трансформаторами ТРДЦНК 63000/110/10, которые приняты к установке на ГПП прессового производства автозавода.

#### 4 Расчет токов короткого замыкания

Расчетная схема для определения токов КЗ приведена на рисунке 3, а. На рисунке 3, б приведена схема замещения. Расчет токов КЗ выполнен в соответствии с требованиями [5].



а)



б)

Рисунок 3 – Расчетная схема (а) и схема замещения для расчета токов КЗ (б)

Параметры элементов схемы замещения (рисунок 3, б)

Точка К1

Система:  $U_{\text{ном}}=110\text{кВ}$ ;  $S_6=1000\text{МВА}$ ;  $S_{\text{к.з.}}=4640 \text{ МВА}$ .

Кабельная линия  $110 \text{ кВ}$ :  $X_0= 0,412 \text{ Ом/км}$  [6];  $l=9\text{км}$ ;  $U_{\text{ном}}=110\text{кВ}$ .

Силовой трансформатор:  $S_{\text{ном}}=63 \text{ МВА}$ ;  $S_6=1000\text{МВА}$ .

Точка К2

Силовой трансформатор:  $S_{\text{НОМ}}=63000$  кВА;  $U_{\text{к\%}}(\text{ВН-НН}) = 10,5\%$ .

Расчет сопротивлений элементов схемы замещения и тока короткого замыкания в точке К1:

$$X_{\text{С}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{КЗ}}} = \frac{1000}{4640} = 0,217;$$

$$X_{\text{КЛ}} = X_0 \cdot l \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{НОМ}}^2} = 0,412 \cdot 9 \frac{1000}{115^2} = 0,28;$$

$$X_{\Sigma\text{К1}} = X_{\text{С}} + X_{\text{КЛ}} = 0,497.$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{\text{К1}}^{(3)*} = \frac{E_{\text{С}}}{X_{\Sigma\text{К1}}^*} = \frac{1}{0,497} = 2,012;$$

$$I_{\text{К1}}^{(3)} = I_{\text{К1}}^{(3)*} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}; \quad I_{\text{К1}}^{(3)} = 2,012 \cdot \frac{1000}{1,732 \cdot 115} = 10,1 \text{ кА}.$$

Мощность короткого замыкания

$$S_{\text{К1}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{К1}}^{(3)} \cdot U_{\text{НОМ}} = \sqrt{3} \cdot 10,1 \cdot 115 = 2011,7 \text{ МВА}.$$

Ударный ток короткого замыкания

$$i_{\text{удК1}} = K_{\text{уд1}} \sqrt{2} \cdot I_{\text{К1}}^{(3)} = 1,8 \sqrt{2} \cdot 10,1 = 25,7 \text{ кА}.$$

Расчет сопротивлений элементов схемы замещения и тока короткого замыкания в точке К2:

$$X_{\text{ТВ}} = \frac{0,125 U_{\text{кВ}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{ТНОМ}}} = \frac{0,125 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{1000}{63} = 0,208;$$

$$X_{\text{ТН1}} = X_{\text{ТН2}} \frac{1,75 U_{\text{кВ1}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{ТНОМ}}} = \frac{1,75 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{1000}{63} = 2,912;$$

$$X_{\Sigma\text{К2}} = X_{\Sigma\text{К1}} + X_{\text{ТВ}} + X_{\text{ТН2}} = 0,497 + 0,208 + 2,912 = 3,617.$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{\text{К2}}^{(3)*} = \frac{E_{\text{С}}}{X_{\Sigma\text{К1}}^*} = \frac{1}{3,617} = 0,276;$$

$$I_{к2}^{(3)} = I_{к2}^{(3)*} \cdot \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}; \quad I_{к2}^{(3)} = 0,276 \cdot \frac{1000}{1,732 \cdot 10,5} = 15,2 \text{ кА.}$$

Мощность короткого замыкания

$$S_{к2} = \sqrt{3} \cdot I_{к2}^{(3)} \cdot U_{НОМ} = \sqrt{3} \cdot 15,2 \cdot 10,5 = 276,4 \text{ МВА.}$$

Ударный ток короткого замыкания

$$i_{удк2} = K_{уд2} \sqrt{2} \cdot I_{к2}^{(3)} = 1,4 \sqrt{2} \cdot 15,2 = 30,09 \text{ кА.}$$

Все расчетные данные занесем в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчетные данные токов КЗ

Точки КЗ	Ik, кА	iуд, кА	Sk.з., МВА
К1	10,1	25,7	2011,7
К2	15,2	30,09	276,4

## 5 Разработка мероприятий по реконструкции электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП

### 5.1 Выбор кабелей

Выбор кабеля на напряжение 110кВ

1. Проверка по номинальному напряжению

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети} \quad ; 110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ.}$$

Выбираем кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки ПвВ.

2. Проверка сечения кабеля по длительно допустимому току

$$I_{каб,расч,110} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot j_{эк} \cdot U_H}; I_{каб,расч,110} = \frac{80900}{1,732 * 1,5 * 115} = 269,605 \text{ A}$$

Сечение кабеля выбираем по длительно допустимому току

$$I_{расч} \leq I_H; \quad 269,605 \text{ A} < 305 \text{ A}$$

Принимаем к прокладке кабель АПвВ 1x185 мм<sup>2</sup> на напряжение 110 кВ, производства ПАО «Севкабель-Холдинг» [29].

Выбор кабеля на 10 кВ:

1. Проверка по номинальному напряжению

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети} \quad 10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}$$

2. Проверка сечения кабеля по длительно допустимому току

$$I_{каб,расч,10} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H}; I_{каб,расч,10} = \frac{47392,16}{1,732 * 10,5} = 157,94 \text{ A}$$

Поправочный коэффициент на температуру воздуха в соответствии с [20] K=0,93, тогда

$$I_{расч} = 157,94 \cdot 0,93 = 146,88 \text{ A};$$

$$I_{расч} \leq I_H; \quad 146,88 \text{ A} < 185 \text{ A}.$$

Принимаем к прокладке кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена, в оболочке из полиэтилена АПвП-10 3x120 мм<sup>2</sup> производства ОАО «Севкабель-Холдинг» [29]. Кабель на 10 кВ прокладывается по кабельному

тоннелю от шин ГПП до шкафа ввода высокого напряжения.

## 5.2. Выбор КРУ

При реконструкции ЗРУ 10 кВ необходимо заменить старые комплектные распределительные устройства на современные КРУ.

Для установки принимается КРУ серии СЭЩ-70Т Самарского завода «Электроцит» со следующими техническими характеристиками » [30]:

- Номинальное напряжение (линейное) 6 кВ при частоте тока 50 Гц;
- наибольшее рабочее напряжение (линейное), 7,2 кВ;
- номинальный ток главных цепей ячеек КРУ 3150 А;
- номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ, 31,5 кА;
- ток термической стойкости, при времени протекания  $t_T = 3$  с 31,5 кА;
- номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей шкафов КРУ 81 кА: 81;
- габаритный размеры высоковольтных ячеек без шинпровода, высота/глубина/ширина не более 2385/1750/1000 мм.

## 5.3 Выбор выключателей 10 кВ

В ЗРУ 10 кВ установлены маломасляные выключатели серии ВМПЭ-10-3150-31,5 У1, которые предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах.

Недостатки выключателя ВМПЭ-10-3150-31,5У3 [21]:

- взрыво- и пожароопасность;
- необходимость периодического контроля, доливки, относительно частой замены масла в дугогасительных бачках;
- трудность установки встроенных трансформаторов тока;
- непригодность для выполнения быстродействующего АПВ;



- относительно малая отключающая способность;

В связи с этим предлагаем заменить маломасляные выключатели серии ВМПЭ-10-3150-31,5 У1 на вакуумные выключатели.

Вакуумные выключатели используются главным образом в устройствах 6-35 кВ. Гашение дуги в выключателе осуществляется вакуумными дугогасительными камерами (КДВ).

Для электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП рассмотрим для сравнения четыре вида вакуумных выключателя ВВСТ-3АН5, VM1-t 1212-25, ВБЭК-10-40/3150 У1, ВР2-10-31,5/2000 У2 [29,30]. Проанализируя их особенности и преимущества, выберем наиболее практичный в эксплуатации и дешевый в цене.

#### **1 вариант.**

Выключатель типа ВВСТ-3АН1 производства ОАО «Самарский трансформатор» г.Самара предназначен для коммутации электрических цепей в нормальных и аварийных режимах в промышленных и сетевых установках с частыми коммутациями. Устанавливается в шкафах комплектных распределительных устройств сетей трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц с изолированной или заземленной через дугогасительный реактор нейтралью с номинальным напряжением до 10 кВ включительно. Внешний вид этого выключателя представлен на рисунке 4.

Особенностью данного выключателя состоит в том, что выключатель ВВСТ является аналогом выключателей фирмы SIEMENS серии 3АН. Это трехполюсный коммутационный аппарат со встроенным пружинно-моторным приводом.



Рисунок 4 - Внешний вид выключателя ВВСТ-3АН5

Основные особенности и преимущества выключателя ВВСТ-3АН5:

- выключатели серии ВВСТ-3АН благодаря примененным в них технологиям, качеству сборки и комплектующих имеют высокий ресурс коммутационной стойкости;
- в выключателях ВВСТ-3АН используется дугогасительная камера фирмы SIEMENS;
- благодаря универсальной конструкции могут применяться во всех распределительных установках классов напряжения от 6 до 35 кВ и уже апробированы для ячеек типов К-59, К-104, КСО-298М и КСО 2 УМЗ;
- универсальные для любого использования.

Благодаря особой геометрии и специально разработанному материалу контактов выключатели ВВСТ-3АН универсально применимы для любых коммутаций в сетях среднего напряжения. Независимо от того, нужны ли необслуживаемые стандартные выключатели для особенно большого количества коммутационных циклов и больших нагрузок, семейство данных выключателей ВВСТ-3АН предлагает подходящее решение для каждого требования.

Эти выключатели подходят для:

- быстрого переключения и синхронизации

- АПВ с токами до 63 кА
- отключения токов КЗ с очень высоким восстанавливающимся напряжением на контактах выключателя
- Коммутаций двигателей
- коммутаций трансформаторов и индуктивных реакторов
- коммутаций воздушных линий и кабелей
- коммутации конденсаторов
- коммутации фильтров и электродуговых печей

## **2 вариант.**

Выключатель типа VM1-t 1212-25 производства ООО «АББ Мосэлектроцит» г. Москва предназначен для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах, а также для работы в циклах АПВ в сетях трехфазного переменного тока частоты 50 Гц с номинальным напряжением до 10 кВ в районах с умеренным и холодным климатом. Конструкция выключателя VM1 представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 - Конструкция выключателя VM1-t 1212-25

Основные преимущества выключателя VM1:

- небольшое количество индивидуальных деталей;
- простая передача механического движения;
- очень высокая надежность;
- не нуждается в техобслуживании;

- новая технология привода;
- управляющий модуль с датчиком;
- мониторинг всех функций переключения;
- простота монтажа и сдачи в эксплуатацию.

Внешний вид и габаритные размеры представлены на рисунке 6.

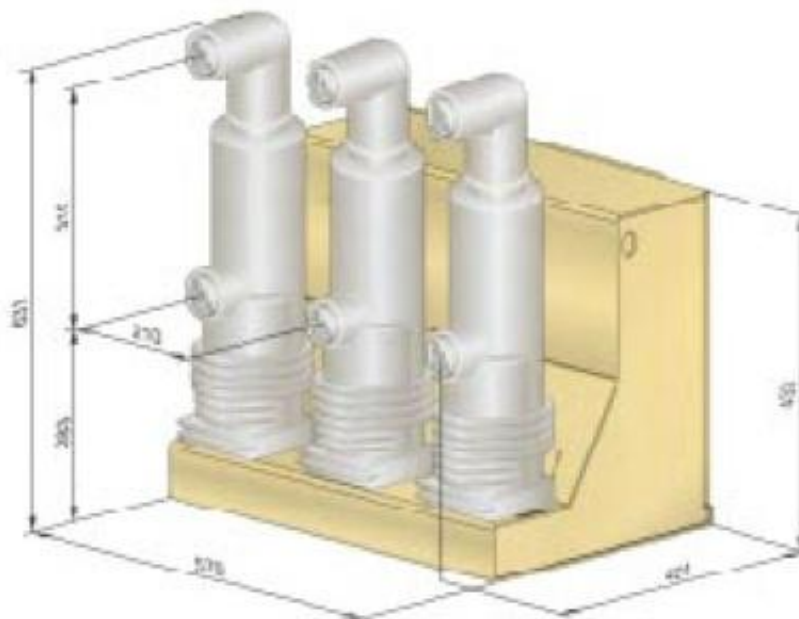


Рисунок 6 - Внешний вид и габаритные размеры выключателя VM1

### **3 вариант.**

Выключатель типа ВБЭК-10-40/3150 У1 производства ГНПП «Контакт» г. Саратов предназначен для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах, а также для работы в циклах АПВ в сетях трехфазного переменного тока частоты 50 Гц с номинальным напряжением 10 кВ в районах с умеренным климатом.

Внешний вид выключателя ВБЭК-10-40/3150 У1 представлен на рисунке 7.

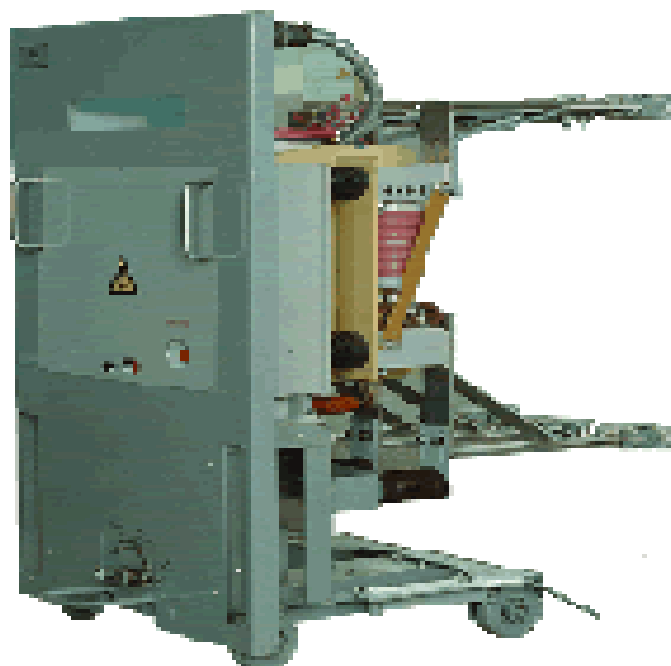


Рисунок 7 - Внешний вид выключателя ВБЭК-10-40/3150 У1

#### **4 вариант.**

Выключатель типа ВР2-10-31,5/2500 У2 производства ОАО «РЗВА» г. Екатеринбург серии ВР предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока частоты 50 (60) Гц с номинальным напряжением 6(10) кВ для систем с изолированной и частично заземленной нейтралью. Выключатели используются для вновь разрабатываемых КРУ, а также для реконструкции шкафов КРУ, находящихся в эксплуатации. Внешний вид и конструкция выключателя представлены на рисунке 8.



Рисунок 8 - Внешний вид и конструкция выключателя BP2-10-31,5/2500

Особенности конструкции выключателя BP2-10-31,5/2500:

- в выключателе применяются вакуумные камеры фирмы ABB CALOR EMAG;
- залитые эпоксидным компаундом вакуумные камеры надежно защищены от механических и электрических повреждений;
- многофункциональный электромагнитный привод вакуумных выключателей серии BP.

Основные особенности и преимущества выключателя BP2-10-31,5/2500:

- практически полное отсутствие обслуживания;
- малое потребление электроэнергии при включении и отключении;
- низкий уровень шума;
- выполненные в блоке управления схемные решения позволяют без особых трудностей применять выключатели во всех известных типовых

работах, как для схем с пружинными, так и для схем с электромагнитными приводами для всех ныне и ранее выпускаемых КРУ;

- простая установка и ввод в эксплуатацию.

Основные технические показатели вакуумных выключателей представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Технические характеристики вакуумных выключателей

Наименование параметра	ВВСТ-3АН5 (ОАО "Самарский трансформатор" г. Самара)	VM1-t 1212-25 (ООО «АББ Мосэлектротит» г. Москва)	ВБЭК-10-40/3150 У1 (ГНПП "Контакт" г. Саратов)	BP2-10-31,5/2500 У2 (ОАО «РЗВА» г. Екатеринбург)
1	2	3	4	5
<b>Основные параметры</b>				
Заводской тип (марка)	ВВСТ-3АН1	VM1-10	ВБЭК-10-40/3150 У1	BP2-10-31,5/2500 У2
Номинальное напряжение, кВ	10	10	10	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12	12	12	12
Номинальная частота, Гц	50	50	50	50
Номинальный ток, А, не менее	2500	2500	2500	2500

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5
Номинальный ток отключения, кА, не менее	25	40	40	40
Ток термической стойкости, кА, не менее	25	40	40	40
Время протекания тока термической стойкости, с	3	3	3	3
Наибольший пик тока динамической стойкости, кА, не менее	63	102	102	102
Начальное действующее значение периодической составляющей тока динамической стойкости, кА, не менее	25	40	40	40
Наибольший пик тока включения, кА, не менее	63	102	102	102
Начальное действующее значение периодической составляющей тока включения, кА, не менее	25	40	40	40
Содержание аperiodической составляющей, %, не более	36	52	40	40
Ресурс по коммутационной стойкости, не менее:				
-количество операций «О» («В») при токе отключения (включения) в диапазоне $0.6 \dots 1.0 I_{0.НОМ}$	50 (25)	20 (10)	20 (10)	20 (10)



Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5
-количество операций «О» («В») при отключении номинального тока	30000	5000(5000)	5000(5000)	5000(5000)
Собственное время отключения, с, не более	0.025	0.065	0.035	0.035
Вид привода (пружинный, гидравлический)	пружинный	электро-магнитный	пружинный	пружинный
Ресурс по механической стойкости, циклов В - t <sub>п</sub> - О, не менее	60000	10000	10000	10000

Рассмотрев четыре типа выключателей для представленной системы электроснабжения, приходим к выводу, что все они удовлетворяют общим требованиям надежной работы, как в длительном режиме, так и в условиях кратковременного аварийного режима, но сравнив технические характеристики, стоимость, эксплуатационные расходы, приходим к выводу, что наиболее оптимальным является выключатель типа ВБЭК-10-40/3150 У1.

Проверим выбранный выключатель по следующим номинальным параметрам:

1) номинальному напряжению:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном.};$$

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ.}$$

2) номинальному току:

$$I_{ном.дл.} \leq I_{ном.}$$

$$I_{ном.дл.} = 175.715 \text{ А} \leq I_{ном.} = 2500 \text{ А}$$

3) отключающей способности:

а) на симметричный ток отключения:  $I_{п,г} \leq I_{откл.ном.}$

$$I_{n,\tau} = 15,2 \leq I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА},$$

где  $I_{n,\tau}$  - действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент  $\tau$  начала расхождения дугогасительных контактов;

$I_{\text{откл.ном}}$  – номинальный ток отключения, кА.

б) на отключение апериодической составляющей тока КЗ.:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n,\tau} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} \leq i_{a,\text{ном}} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор.}} / 100) \cdot I_{\text{откл.ном.}}$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 15,2 \cdot e^{-\frac{0,045}{0,05}} = 14,37 \text{ кА} \leq i_{a,\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot 37 / 100 \cdot 40 = 20,93 \text{ кА}$$

где  $i_{a,\tau}$  – номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе;

$\tau$  - наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов,  $\tau = t_{pз} + t_{c.в} = 0,01 + 0,035 = 0,045 \text{ с}$ ;

$t_{pз} = 0,01 \text{ с}$  – время действия релейной защиты;

$t_{c.в}$  – собственное время отключения выключателя;

$\beta_{\text{нор.}}$  – нормированное значение содержания апериодической составляющей в отключаемом токе, %;

в) если условие  $I_{n,\tau} \leq I_{\text{откл.ном.}}$  соблюдается, но при этом  $i_{a,\tau} > i_{a,\text{ном.}}$ , то проверку по отключающей способности производят по полному току КЗ:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{n,\tau} + i_{a,\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.ном.}} \cdot (1 + \beta_{\text{ном.}} / 100);$$

4) предельному сквозному току КЗ – на электродинамическую стойкость:

$$I_{n,0} \leq I_{\text{пр.с}};$$

$$I_{n,0} = 15,2 \leq I_{\text{пр.с}} = 40 \text{ кА}$$

$$i_{yд.} \leq i_{\text{пр.с}};$$

$$i_{уд} = 30,09 \leq i_{пр.с} = 102 \text{ кА},$$

где  $I_{пр.с}$  – действующее значение предельного сквозного тока К.З. (по справочнику);

$I_{н,о}$  – начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в цепи выключателя;

$i_{уд.}$  – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя;

$i_{пр.с}$  – амплитудное значение предельного сквозного тока К.З. (по справочнику);

5) тепловому импульсу – на термическую стойкость:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T;$$

если  $t_{откл} < t_T$ , то  $B_k \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$ ,

$$B_k = 15,2^2 \cdot (0,045 + 0,05) = 41,8 \text{ кА}^2 \leq I_T^2 t_T = 40^2 \cdot 0,03 = 48 \text{ кА}^2 \text{с},$$

где  $I_T$  – предельный ток термической устойчивости по справочнику;  
 $t_T$  – длительность протекания тока термической устойчивости по справочнику.

Таким образом, выключатель ВБЭК-10-40/3150 У1 удовлетворяет выше перечисленным условиям выбора и принимается к установке.

## 5.4 Выбор ограничителя перенапряжений на стороне 10 кВ

В ЗРУ 10 кВ используются разрядники, заменим их на ОПН.

Ограничители перенапряжений (ОПН) предназначены для защит от грозовых и коммутационных перенапряжений класса напряжения 6 кВ в сети с эффективно заземленной нейтралью.

Для ЗРУ 10 кВ ГПП рассмотрим для сравнения два вида ограничителей напряжения: ОПНп – 10 III УХЛ1 и ОПНф – 10 III УХЛ1 [30] и выберем наиболее практичный в эксплуатации и дешевый в цене.

### 1 вариант.

ОПНп - 10 представляет собой защитный аппарат, состоящий из последовательно соединенных высоконелинейных оксидноцинковых сопротивлений (варисторов) без искровых промежутков, заключенных в полимерный синтетический корпус. При изготовлении внешней изоляции ограничителей применяется высококачественная кремнеорганическая резина.

Внешний вид ОПНп – 10 представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 - Внешний вид ОПНп - 10

Сверху и снизу корпус ОПН замыкается металлическими фланцами, предназначенными для установки на месте монтажа, и для его присоединения к сети. Фланцы выполняются из коррозионно-стойкого металла.

## **2 вариант.**

ОПНф - 10 представляют собой защитные аппараты, состоящие из последовательно соединенных высоконелинейных оксидноцинковых сопротивлений (варисторов) без искровых промежутков, помещенные в герметизированный корпус из электротехнического фарфора. Ограничитель представляет собой аппарат опорного типа с приспособлением для измерения тока проводимости.

В результате анализа конструктивного исполнения, технических параметров и стоимости ограничителей перенапряжения для представленной системы электроснабжения наиболее оптимальным является ОПНп -10-III УХЛ1.

### **5.5 Выбор трансформаторов напряжения на стороне 10 кВ**

В старой схеме электроснабжения были установлены трансформаторы напряжения НТМИ, т.к. они имеют ряд недостатков, а также выработали свой ресурс предложим заменить их на более новые типа НАЛИ-СЭЩ – 10 [30]. Основным недостатком трансформаторов напряжения серии НТМИ является то, что в сетях средних классов напряжения, эксплуатируемых с изолированной нейтралью, наблюдается достаточно большая аварийность трансформаторов напряжения (ТН) типов НТМИ, вследствие возникновения опасных феррорезонансных колебаний, приводящих к появлению недопустимых токов в обмотке высшего напряжения ТН. ТН типа НАЛИ-СЭЩ – 10 обладает антирезонансными свойствами вследствие того, что замкнутая компенсационная обмотка шунтирует нелинейную индуктивность намагничивания нулевой последовательности, образуемую из-за того, что фазы ТН магнитно не связаны между собой. Именно нелинейная индуктивность нулевой последовательности образует резонансный контур с ёмкостью сети. Применение трансформаторов напряжения типа НАЛИ-СЭЩ - 10 в сетях с изолированной нейтралью 6-35 кВ позволяет полностью

исключить возможность возникновения феррорезонанса при однофазных дуговых замыканиях. Трансформатор напряжения также позволяет измерять напряжение нулевой последовательности, что является одной из основных функций ТН данного типа.

Проверим данный трансформатор по следующим параметрам:

1. Номинальное напряжение установки:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном.};$$

$$U_{ном}=10 \text{ кВ} = U_{сет.ном} =10 \text{ кВ}.$$

2. Измерительные приборы, присоединенные к трансформатору напряжения занесены в таблицу 7.

Таблица 7 – Измерительные приборы ТН

Прибор	Тип	Число приборов	P, Вт	Q, вар	S, ВА
Вольтметр	Э - 377	2 шт	4	0	4
Ваттметр	Д - 305	1 шт	2	0	2
Варметр	Д - 305	1 шт	2	0	2
Счетчики активной и реактивной энергии	МЕРКУРИЙ 230 А	2 шт	4	10,2	10,96
ИТОГО:		6 шт			18,96

3. Вторичная нагрузка:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном} \quad 18,96 \text{ В} * \text{А} \leq 120 \text{ В} * \text{А}$$

НАЛИ-СЭЩ – 10 соответствует расчетным данным.

## 5.6 Выбор трансформаторов тока

В ЗРУ 10 кВ в ячейках КРУ в настоящее время установлены трансформаторы тока ТПШЛ – 10, которые устарели и выработали свой ресурс. Заменяем их на трансформаторы тока типа ТОЛ-СЭЩ-20 [30].

Трансформатор тока выбираем по следующим параметрам и условиям:

1. Номинальное напряжение установки:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном.};$$

$$U_{ном}=10 \text{ кВ} = U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}.$$

2. По номинальному току:

$$I_{max} \leq I_{ном} \quad ; \quad 1732 \text{ А} \leq 2500 \text{ А}.$$

3. По электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq I_{н.дин} \quad ; \quad 30,09 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА}.$$

4. По вторичной нагрузке

Измерительные приборы, присоединенные к трансформатору напряжения занесены в таблицу 8.

Таблица 8 – Измерительные приборы ТТ

Прибор	Тип	Число приборов	S, ВА
Вольтметр	Э - 377	2 шт	0,1
Ваттметр	Д - 305	1 шт	0,5
Варметр	Д - 305	1 шт	0,5
Счетчики активной и реактивной энергии	МЕРКУРИЙ 230 А	2 шт	10,96
ИТОГО:		6 шт	12,06

Номинальная вторичная нагрузка:

$$Z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом}$$

$$Z_{приб.} = \frac{S_{приб.}}{I_2^2}; \quad Z_{приб.} = \frac{12,06}{5^2} = 0,48 \text{ Ом};$$

$$Z_{пров.} = Z_{2ном} - (Z_{приб.} + Z_{к.}); \quad Z_{пров.} = 1,2 - 0,48 - 0,1 = 0,616 \text{ Ом}.$$

5. По условию прочности сечения медных жил:

$$2,5 < q < 6 \text{ мм}^2; \quad q = \frac{2,83}{0,656} = 4,3 \text{ мм}^2; \quad 2,5 < 4,3 < 6 \text{ мм}^2 .$$

Выбираем трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-20.

## 6 Молниезащита и заземление ГПП

### 6.1 Молниезащита ГПП

Здания и сооружения подстанции должны защищаться от поражения прямыми ударами молнии, следовательно, рассчитаем молниезащиту ГПП. Расчет молниезащиты ГПП выполнен в соответствии с методикой, изложенной в [7].

Задаемся высотой молниеотвода  $h = 20$  м.

Определяем активную высоту молниеотвода:

$$h_a = h - h_x;$$

$$h_a = 20 - 7,5 = 12,5 \text{ м},$$

где  $h_x = 7,5$  м - высота защищаемого объекта.

Определим зону (радиус) защиты:

$$r = \frac{1,6 \cdot h_a \cdot p}{1 + h_x / h}; \quad r = \frac{1,6 \cdot 12,5 \cdot 1}{1 + 7,5 / 20} = 14,545 \text{ м},$$

где  $p=1$  - коэффициент различных высот молниеотводов.

Установим молниеотводы на здание ЗРУ 10 кВ так, чтобы они накрывали всю территорию подстанции.

### 6.2 Заземление ГПП

В зависимости от необходимого сопротивления заземляющего устройства или допустимого напряжения прикосновения определяется число электродов. Расчет заземления ГПП выполнен в соответствии с методикой, изложенной в [8,22,24,25].

Исходные данные для расчета числа электродов заземлителей:

Размеры и сечение электродов заземлителей - длина  $l = 5$  м, диаметр стержней –;  $d = 12$  мм;

Расстояние между электродами заземлителя –  $a = 5$  м;

Сопротивление заземлителя –  $R_3 = 4$  Ом;

Глубина заложения полосы –  $t = 0,5$  м;



Удельное сопротивление грунта (песок) –  $\rho = 350 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Периметр подстанции:

$$L = (A + B) \cdot 2 = (69 + 66) \cdot 2 = 270 \text{ м.}$$

Сопротивление одного вертикального электрода заземлителя:

$$R_c = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч.}}{l} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot t' + l}{4 \cdot t' - l} \right)$$
$$R_c = \frac{0,366 \cdot 460}{5} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 104,8 \text{ Ом,}$$

$$\text{где } t' = t + l/2 = 0,5 + 2,5 = 3 \text{ м;}$$

$$\rho_{расч.} = \rho \cdot \kappa_c = 350 \cdot 1,15 = 402,5 \text{ Ом/м,}$$

$$\text{где } \kappa_c = 1,15$$

Необходимое количество вертикальных электродов:

$$\text{где } n_c = 0,4.$$

$$N_c = \frac{R_c}{R_3 \cdot \eta_c} \Rightarrow N_c = \frac{104,8}{4 \cdot 0,4} = 65,5 \approx 66 \text{ шт,}$$

Сопротивления заземляющей полосы и заземляющей полосы в контуре:

$$R_n = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч.}}{L} \cdot \lg \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t} \Rightarrow R_n = \frac{0,366 \cdot 402,5}{270} \cdot \lg \frac{2 \cdot 270^2}{8 \cdot 0,5^2} = 2,8 \text{ Ом,}$$

$$R_{н.к.} = \frac{R_n}{\eta_{н.к.}} \Rightarrow R_{н.к.} = \frac{2,8}{0,21} = 13,3; \text{ где } \eta = 0,21$$

$$R = \frac{R_{н.к.} \cdot R_3}{R_{н.к.} + R_3} \Rightarrow R = \frac{13,3 \cdot 4}{13,3 + 4} = 3,075;$$

Определяем уточненное количество электродов заземлителей:

$$N_c = \frac{R_c}{R_3 \cdot \eta_c} \Rightarrow N_c = \frac{104,8}{3,075 \cdot 0,4} = 85,2 \approx 86.$$

Выбираем 86 электродов заземлителей.

## 7 Экономическая эффективность схемы электроснабжения

### 7.1 Расчет капитальных вложений в схему электроснабжения ЗРУ 10 кВ ГПП прессового производства

Расчет капитальных вложений в схему электроснабжения ЗРУ 10 кВ ГПП прессового производства сведён в таблицу 9.

Таблица 9 - Капитальные вложения в схему электроснабжения

№	Наименование элементов схемы	Ед. изм.	Количество	Сметная стоимость с учетом строительно-монтажных работ в тыс. руб.	
				Единицы	Общая стоимость
<b>Базовый вариант</b>					
1	Выключатель ВБЭК-10-31,5/3150	шт.	12	288,000	3456,000
2	Выключатель ВБЭК-10-20/1600		2	210,000	420,000
3	Выключатель ВБЭК-10-20/1000		46	160,000	7360,000
4	КРУ СЭЩ-70Т		60	140,000	8400,000
5	ОПНп-10/73/10/500 III УХЛ1		2	80,000	160,000
6	Трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ – 10		10	50,000	3000,000
3	Итого <i>К Эл. Ч.</i> :				22796,000
<b>Альтернативный вариант.</b>					
1	Выключатель ВВ/TEL-10-	шт.	14	256,000	3584,000
2	31,5/2000		46	190,000	8740,000
3	Выключатель ВВ/TEL-10-20/1000		60	138,000	8280,000
4	КРУ СЭЩ-70				
5	ОПНф-10		2	82,500	165,000
6	Трансформаторы напряжения НТМИ-10		10	63,000	3780,000
3	Итого <i>К эл. ч.</i> :				24549,000

Кбаз.=22796,00 тыс.руб.

Кальт.=24549 тыс.руб.

## 7.2 Расчет показателей электрической нагрузки

Показатели электрической нагрузки приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Показатели электрической нагрузки

N	Показатели	Услов. обозн.	Ед. изм.	Базовый вариант (Вариант 1)	Альтернативный вариант (вариант 2)
1	Расчетная максимальная нагрузка	$P_{\max}$	кВт	91536	91536
2	Расчетная величина потерь в линиях и трансформаторах	$W_{\text{пот}}$	кВт·ч	3429556	3429556
3	Расчетная величина полезно потребленной энергии	$W_{\text{пол}}$	кВт·ч	356380869,6	356380869,6
4	Расчетная величина энергии, полученной из системы	$W_{\text{э/с}}$	кВт·ч	361266071,7	361266071,7

Расчетная величина энергии, полученной из системы ( $W_{\text{э/сист}}$ ) определяется для базового и альтернативного вариантов:

$$W_{\text{э/с}} = W_{\text{пол}} + W_{\text{пот}}$$

Расчет величины двухставочного тарифа:

$$C_{\text{э/с}} = 739693007,9 \text{ руб.}$$

## 7.3. Укрупненный расчет годовых эксплуатационных расходов на схему электроснабжения

### 7.3.1. Расчет амортизационных отчислений

Амортизационные отчисления определяются по формуле:

$$I_{\text{ам}} = (K_{\text{обор}} \times N_{\text{а}} + K_{\text{каб}} \times N_{\text{а}} + K_{\text{стр}} \times N_{\text{а}}) / 100 ,$$

где Кобор, Ккаб, Кстр.часть - первоначальная стоимость основных фондов (элементов схемы), для базового и альтернативных вариантов, руб. , На - норма амортизации, % .

$$Иам_1 = 1003,024 \text{ тыс. руб.}$$

$$Иам_2 = 1080,156 \text{ тыс. руб.}$$

### **7.3.2. Определение численности рабочих для ремонта и эксплуатации схемы электроснабжения**

Затраты на оплату труда включают основную и дополнительную зарплату ремонтно-эксплуатационного персонала. Чтобы определить затраты на формирование годового фонда оплаты труда заработную плату, следует определить численность рабочих, необходимых для ремонта и эксплуатации оборудования конкретной схемы электроснабжения.

Основным критерием для определения численности персонала является количество и степень сложности производимых ремонтных работ электрооборудования.

Численность ремонтных рабочих для базового и альтернативного вариантов:

$$Ч_{рем} = 7 \text{ чел}$$

Численность рабочих для эксплуатационного обслуживания элементов схемы определяется исходя из суммы условных ремонтных единиц данной схемы электроснабжения:

$$Ч_{эксп} = 4 \text{ чел.}$$

Общая численность персонала рабочих схемы электроснабжения составит, чел.:

$$Ч_{общ} = Ч_{рем} + Ч_{эксп} = 7 + 4 = 11 \text{ чел.}$$

Распределение по уровню квалификации зависит от сложности энергооборудования и местных условий производства. Состав бригады ремонтно – эксплуатационного персонала приведен в таблице 11.

Таблица 11 - Состав бригады ремонтно – эксплуатационного персонала

Профессия	кол-во рабочих	Разряд
Ремонтные рабочие	2	6
Ремонтные рабочие	5	5
Эксплуатационные рабочие	4	5

### 7.3.3 Расчет фонда оплаты труда рабочих

Годовой фонд заработной платы (Зфот) складывается из основной (Зосн) и дополнительной зарплаты (Здоп):

$$Зфот = Зосн + Здоп .$$

Основная заработная плата включает: тарифную зарплату, премию за выполнение производственных заданий, различные виды доплат за отклонение от нормальных условий труда (совмещение профессий, за бригадирство, за работу в ночное время, в праздничные дни и др.), предусмотренных трудовым законодательством, руб:

$$Зосн = Fэф \cdot \sum Ni \cdot tct.i \cdot \left(1 + \frac{Впр}{100}\right),$$

где Ni – количество рабочих i-го разряда;

tct,i – часовая тарифная ставка i-го разряда, руб.;

Впр – премии и доплаты в процентах.

Расчет зарплаты сведен в таблицу 12.

Таблица 12 - Основная заработная плата рабочих

Профессия	кол-во рабочих	Разряд	Трудоемкость, час	Часовая ставка, руб.	З <sub>тар</sub> , руб.
Ремонтные рабочие	2	6	1890	50	151200
Ремонтные рабочие	5	5	1890	45	330750
Эксп. рабочие	4	5	1920	40	230400
З <sub>тар</sub>					712350
Премия 50%					356175
Зосн					1068525

Дополнительная заработная плата, руб:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot \frac{K_{\text{доп}}}{100\%},$$

где  $K_{\text{доп}}$  — дополнительная заработная плата, исчисляется в % к основной.

Дополнительная зарплата согласно трудовому законодательству выплачивается за время, не проработанное на производстве (очередные и ученические отпуска, выполнение государственных обязанностей и др.).

$$Z_{\text{доп}} = 1068525 \cdot 0,15 = 160278,75 \text{ руб.}$$

Денежные средства на социальные нужды ежемесячно перечисляются во внебюджетные фонды, в том числе: в пенсионный фонд; в фонд обязательного медицинского страхования; в фонд социального страхования.

Величина отчислений на социальные нужды от суммы основной и дополнительной зарплаты ( $Z_{\text{фот}}$ ), по действующему проценту, руб:

$$Z_{\text{соц}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot O_{\text{соц}} / 100\% ,$$

где  $O_{\text{соц}}$  - процент отчислений на социальные нужды, 30,2%.

$$Z_{\text{соц}} = 0,302 \cdot 1228803,75 = 321946,5825 \text{ руб.}$$

Фонд оплаты труда:

$$Z_{\text{фот}} = 1068524 + 160278,75 = 1228803,75 \text{ руб.}$$

#### **7.3.4. Расчет стоимости потерь электроэнергии в линиях и трансформаторах**

Стоимость потерь электроэнергии в линиях и трансформаторах рассчитывается с использованием формулы:

$$I_{\text{пот}} = \beta \cdot W_{\text{пот}} ,$$

где  $\beta$  —дополнительная ставка двухставочного тарифа;

$$I_{\text{пот}} = 4885202,1 \cdot 2 = 9770404,2 \text{ руб/год.}$$

### **7.3.5. Расчет отчислений в ремонтный фонд**

Отчисления в ремонтный фонд ( $Z_{рем}$ ) включают расход запасных частей, кабельной продукции, вспомогательных материалов, и практически определяются косвенно, например сложившимся на предприятии процентом от основной заработной платы рабочих в электрохозяйстве или процентом от суммы капитальных затрат ( $K$ ). Используем формулу:

$$Z_{рем} = K \times V_{рем} / 100\% ,$$

где  $V_{рем}$  - процент на ремонт электрооборудования.

$$Z_{рем1} = 22796 * 0,02 = 455,92 \text{ тыс.руб.}$$

$$Z_{рем2} = 24549 * 0,02 = 490,98 \text{ тыс.руб.}$$

### **7.3.6. Расчет отчислений на охрану труда и технику безопасности**

Отчисления на охрану труда и технику безопасности ( $Z_{тб}$ ):

$$Z_{тб} = Ч_{раб} \times Н_{тб} ,$$

где  $H_{тб}$  – норма расхода средств техники безопасности и охраны труда на одного рабочего (спецодежда, диэлектрические перчатки, боты, коврики и т.д.) в год, руб.

$$Z_{тб} = 11 \cdot 4500 = 49500 \text{ руб.}$$

### **7.3.7. Составление годовой сметы затрат на ремонт и эксплуатацию схемы электроснабжения**

Результаты расчета всех затрат по двум вариантам - базовому и альтернативному сведены все в таблицу 13.

Таблица 13 - Годовая смета затрат на ремонт и эксплуатацию схемы электроснабжения

№ П/П	Издержки	Индекс затрат	Затраты по варианту			
			Базовый, вариант 1		Альтернативный, вариант 2	
			Руб.	%	Руб.	%
1	Амортизационные отчисления	Зам.	1003024	7,8	1080156	7,6
2	Затраты на оплату труда в т.ч.					
	- основная зарплата производственных рабочих	Зосн	1068525	8,3	1068525	7,54
	- дополнительная зарплата произ. рабочих	Здоп	160278,75	1,2	160278,75	1,13
	-отчисления на социальные нужды	Зсоц	321946,5825	2,5	321946,5825	2,27
	итого годовой фонд оплаты труда	Зфот	1228803,75	9,5	1228803,75	8,67
3	Ремонтный фонд	Зрем.ф.	455920	3,6	490980	3,46
4	Стоимость потерь электроэнергии в линиях и трансформаторах	Зпотерь	9770404,2	76,1	9770404,2	68,9
5	Затраты на охрану труда и технику безопасности	Зт.б.	49500	0,39	49500	0,35
6	ИТОГО:	Зэкспл	12829598,53		14170594,28	



#### 7.4 Расчет показателей экономической эффективности реконструкции электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП

Ожидаемая прибыль (условно-годовая экономия) от снижения себестоимости 1кВт·ч потребления энергии, руб.:

$$\text{Прож} = (S_{\text{баз}} - S_{\text{альт}}) \times W_{\text{пол}};$$

$$\text{Прож} = (2,08 - 2,09) \cdot 356380869,6 = 3563808,7 \text{ руб.}$$

Налог на прибыль, руб.:

$$N_{\text{приб}} = \text{Прож} \times K_{\text{нал}} = 3563808,7 \cdot 0,2 = 855314,087 \text{ руб.},$$

где  $K_{\text{нал}}$  - коэффициент налогообложения прибыли, действующий на данный год. (20%)

Чистая ожидаемая прибыль, руб.:

$$Pr_{\text{чист}} = \text{Прож} - N_{\text{приб}} = 3563808,7 - 855314,087 = 2708494,6 \text{ руб.},$$

где  $N_{\text{приб}}$  - сумма налога на прибыль, руб.

Сравнительный срок окупаемости капитальных вложений, лет:

$$T_{\text{ср}} = \frac{|K_{\text{баз}} - K_{\text{альт}}|}{Pr_{\text{чист}}} = \frac{|22796000 - 24549000|}{2708494,6} = 6,$$

где  $K_{\text{баз}}, K_{\text{альт}}$  - капитальные вложения по вариантам, тыс. руб.

Чистый дисконтированный поток реальных денег:

$$\text{ЧДП} = \sum_1^T Pr_{\text{чист}} \cdot \frac{1}{(1+E)^t} = 2708494,6 / (1,11) = 1530223 \text{ руб.},$$

где  $E$  – норма дисконта, процентная ставка на капитал (при  $E=11\%$  ( $E=0,11$ ));

$T$  - горизонт расчета, лет;

$t$  - год приведения затрат и результатов.

После соответствующего расчёта обоих вариантов выбираем базовый. Капиталовложение в схему составляет 22796000 руб., что на 1753000 руб. меньше альтернативного варианта; годовая смета затрат на ремонт и эксплуатацию схемы электроснабжения 12829599 руб., что на 1340996 руб. дешевле чем альтернативный вариант; ожидаемая прибыль 3563808 руб., срок окупаемости 6 лет.

## Заключение

В результате работы произведена реконструкция электрической части ЗРУ 10 кВ ГПП прессового производства автозавода. Выполнен расчет электрических нагрузок. Сделан выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов ГПП. К установке приняты два трансформатора ТРДЦНК 63000/110/10/10.

Для обеспечения высокой надёжности электроснабжения производств была произведена замена старого изношенного оборудования на современное:

- выбраны ячейки КРУ серии СЭЩ-70Т Самарского завода «Электрощит»;
- маломасляный выключатели типа ВМПЭ-10-3150-31,5 У1 заменили на вакуумные выключатели типа ВБЭК-10-40/3150 У1;
- вентильные разрядники на ограничители перенапряжения типа ОПНп - 10-III УХЛ1;
- трансформатор напряжения типа НТМИ на трансформатор напряжения типа НАЛИ-СЭЩ – 10;
- трансформаторы тока типа ТПШЛ – 10 заменили на трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-20.

Для достижения высокой экономической эффективности реконструкции после сравнения двух вариантов выбран вариант с наименьшими затратами на ремонт и эксплуатацию, более дешёвой технологической себестоимостью 1кВт·ч потребления энергии и с большим годовым экономическим эффектом от внедрения нового электрооборудования.

В итоге получена ГПП с современным оборудованием, отвечающая требованиям безопасности и обеспечивающая высокую надёжность электроснабжения.

## Список использованных источников

1. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). 7-ое издание. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: НЦ ЭНАС, 2014.
3. СО 153-34.20.122-2006. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. – М.: Издательство стандартов, 2006.
4. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. – М.: НЦ ЭНАС, 2004.
5. ГОСТ Р 52735-2007. Расчет токов КЗ в сетях выше 1 кВ. – М.: Издательство стандартов, 2007.
6. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001). – М.: Энергоатомиздат, 2010.
7. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Издательство стандартов, 2003.
8. СТО 56947007-29.130.15.114-2012. Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ.
9. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования/ В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015.
10. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие для курсового проектирования / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: Изд-во

- ТГУ, 2015.
11. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / В.В. Вахнина. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2011.
  12. Вахнина, В.В. Проектирование осветительных установок: учебное пособие./ В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015.
  13. Стёпкина, Ю.В. Электропитающие системы и электрические сети: учебное пособие / Ю.В. Стёпкина. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012.
  14. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования / В.П. Шеховцов. – М.: Форум, 2014.
  15. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие/ А.А. Герасименко, В.Т.Федин. – М.: КНОРУС, 2012.
  16. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов / Б.И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2009.
  17. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: учебник для вузов / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. – М. : Изд. дом МЭИ, 2013.
  18. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии /под общей ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
  19. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ под редакцией С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. - М.: Энергоатомиздат, 2012.
  20. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-150 кВ/ Е.Ф. Макаров. – М.: «ИД Энергия», 2006.
  21. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособ. для вузов / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. –

- Энергоатомиздат, 2014.
22. Заземляющие устройства электроустановок (требования нормативных документов, расчет, проектирование, конструкции, сооружение): справочник / Р.К. Борисов и др. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
  23. Самсонов, В.С. Экономика предприятий энергетического комплекса: учеб. для вузов / В.С. Самсонов, М.А. Вяткин. – М. : Высш, школа, 2013.
  24. Celli, G. Behaviour of groundings systems: a quasistatic EMTP model and validation// 30<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection. – ICLP 2012.
  25. CIE Pub. No. 142. Road Lighting Calculatons, 2010.
  26. Requirements for Electrical Installations - Section 1 (Chapters 1.1, 1.2, 1.7, and 1.9); Section 6; Section 7 (Chapters 7.1, 7.2, 7.5, 7.6, and 7.10).
  27. Miranovich, V. High-power LED: features use the example of the company's LED components/ V. Miranovich // Electronic components. – 2012. –No 6. - P.45-49.
  28. Regh, J.A. Industrial Electronics / J.A. Regh, G.J. Sartori. – Pearson, Prentice Hall Uper Saddle River, New Jersey 2006.
  29. <http://enp-e.ru/catalog>.
  30. [http://www.electroshield.ru/komplektnye\\_raspredustroystva\\_kru\\_70](http://www.electroshield.ru/komplektnye_raspredustroystva_kru_70).