



## **Аннотация**

В выпускной квалификационной работе рассмотрен вариант модернизации системы электроснабжения корпуса 10 ПАО «АВТОВАЗ».

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки объемом 60 страниц, включает 9 таблиц, 4 рисунка, 25 используемых источников, из которых 5 на иностранном языке, и графической части, состоящей из 6 чертежей формата А1.

Приводится описание объекта модернизации с указанием перечня электроприемников, участвующих в производственном процессе, и рассчитываются нагрузки этих электроприемников.

Выполняется расчет системы освещения и экономическое обоснование выбора типа устанавливаемых светильников.

Определяется число и мощность силовых трансформаторов цеховой комплектной трансформаторной подстанции (КТП) и выполняется расчет токов короткого замыкания для самого загруженного участка корпуса 10.

В завершении работы выбирается вариант комплектной трансформаторной подстанции с использованием современных коммутационных аппаратов.

## **Abstract**

The goal of this diploma work is modernization of the power supply system of Building 10 PAO AVTOVAZ. The diploma work consists of 7 main points, which are necessary for the realization of the stated goal.

The diploma work consists of an explanatory note on 60 pages, including 4 figures, 9 tables, the list of 25 references including 5 foreign sources and the 6 schemes on A1 sheets.

First, the object of modernization and its main production areas were considered. Further, the thesis about the need to modernize the facility was given. Then the equipment of Building 10 was considered and the electric loads were calculated. Also, the lighting system was calculated and lighting fixtures were chosen for installation in the production area. Further, a selection was made of a complete transformer substation installed in the housing under consideration. After that, power transformers were selected to provide power to the electrical receivers in Building 10. The next point of the thesis was the calculation of short-circuit currents and the selection of appropriate equipment.

Finally, the results of the thesis work are summarized. The completed work items are analyzed and a report is prepared on their results.

The implementation of this work allows us to use the issues discussed in it in the future modernization projects at the production facilities of PAO AVTOVAZ.

## Содержание

Введение.....	5
1 Описание объекта модернизации .....	6
2 Оборудование корпуса 10 .....	8
3 Расчет электрических нагрузок .....	10
4 Расчет системы освещения .....	20
4.1 Вариант 1.....	21
4.2 Вариант 2.....	25
4.3 Расчет окупаемости системы освещения корпуса 10.....	28
5 Определение числа и мощности силовых трансформаторов с компенсацией реактивной мощности.....	34
5.1 Вариант А.....	35
5.1 Вариант Б .....	39
6 Расчет токов короткого замыкания.....	45
7 Выбор цеховых КТП.....	54
Заключение .....	56
Список используемых источников.....	58

## Введение

ПАО «АВТОВАЗ» - крупнейший производитель легковых автомобилей в России и Восточной Европе, является градообразующим предприятием города Тольятти. На сегодняшний день территория автозавода составляет порядка 580 га, на которой реализован полный цикл производства автомобилей. ПАО «АВТОВАЗ» является совместным предприятием с Альянсом RENAULT-NISSAN.

Для того, чтобы сохранить лидерство на российском рынке легковых автомобилей, ПАО «АВТОВАЗ», в соответствии с международными стандартами качества и безопасности, непрерывно модернизирует реализуемые модели и использует для их сборки современное оборудование и высококачественные комплектующие. Данный подход позволяет автозаводу добиться приемлемо высокого уровня реализации автомобилей на отечественном рынке, а также за его пределами.

Несомненно, обновление модельного ряда Волжского автозавода с применением инновационных технологий требует соответственного дорогостоящего современного технологического оборудования, которое устанавливается взамен старого, выработавшего свой ресурс. Таким образом, предприятие непрерывно модернизирует свою систему производства.

В частности, на площадях корпуса 10 развернуто производство деталей двигателя H4 с использованием современных термических и плавильных печей вместо станочного оборудования вспомогательного производства МтП. Соответственно, при модернизации технологического оборудования меняется и энергетическая инфраструктура корпуса.

## 1 Описание объекта модернизации

Металлургическое производство является самым крупным в составе ПАО «АВТОВАЗ». Общее количество используемого оборудования превышает 4300 единиц. Номенклатура изготавливаемых деталей включает в себя детали из высокопрочного и серого чугуна, легированных сталей и сталей со специальными свойствами, алюминия, бронзы, а также поковки из различных марок стали.

Производственные мощности по литью алюминия составляют порядка 38 000 тонн в год и включают в себя 115 наименований изделий из алюминиевых сплавов, 63 продукта порошковой металлургии, алюминиевые отливки весом от 0,15 до 10 кг методом гравитационного литья в кокилях на заливочных комплексах. Также изготавливаются алюминиевые отливки весом от 0,1 до 8 кг методом литья под высоким давлением на робототехнических комплексах, металлокерамические детали весом от 10 до 90 грамм методом порошковой металлургии на специальных прессах и термическом оборудовании.

Корпус 10, относящийся к металлургическому производству (МтП), имеет производственную площадь в 13272 м<sup>2</sup> при габаритах в 168×79×13 м.

В течении 40 лет корпус 10 являлся корпусом вспомогательного производства МтП. На площадях корпуса размещалось станочное оборудование. Однако реализация проекта по производству двигателей Н4 потребовала замены старого оборудования, которое выработало свой ресурс и не соответствует необходимым нуждам реализуемого технологического проекта. Произведена замена на новое современное оборудование, удовлетворяющее потребностям обновленного технологического процесса. Соответственно, это обновление потребовало модернизации энергетической инфраструктуры корпуса.

Большая производственная площадь способствует размещению различных участков технологического процесса на территории

рассматриваемого корпуса. Таким образом, обновленный производственный процесс внутри корпуса 10 разделен на следующие участки:

- 1) Плавильный участок;
- 2) стержневой участок;
- 3) участок фильтрации;
- 4) участок механической обработки поршней;
- 5) участок термической обработки;
- 6) участок заварки алюминиевых отливок;
- 7) участок финишной обработки;
- 8) участок исправления дефектов литья;
- 9) участок ремонта оборудования производства заготовок силового агрегата;
- 10) участок контроля и проверки цветом;
- 11) участок приемки-отгрузки продукции и материалов;
- 12) участок мойки;
- 13) комнаты отдыха рабочего персонала.

## 2 Оборудование корпуса 10

Согласно проекту локализации двигателей Н4, в корпусе 10 размещено литейное производство блоков и головок цилиндров двигателя данного типа.

Производственный процесс корпуса 10 выполняется следующим оборудованием, представленном в таблице 1.

Таблица 1 – Электрооборудование корпуса 10

Наименование оборудования	Кол-во единиц	$P_{\text{пасп}}$ , кВт
Печь быстрой плавки	1	20
GBF(машина дегазации)	1	2
Машина предварительного нагрева ковша	1	2
Пылеулавливатель	1	62
CHS shell-машина	4	40
VS shell-машина	2	115
Подъемный кран	2	10
Машина LPDC	2	45
Раздаточная печь	2	75
Охлаждающее устройство (включая таль)	2	20
Чиллер	1	28
Машина поглощающая запахи	2	44
SIIF обрезка	1	150
Печь Т7 (двигатели и вспомогательные устройства)	1	873
Инспекционный конвейер	1	20
Печь предварительного нагрева пресс-формы	1	200

Продолжение таблицы 1

Пескоструйная очистка	1	14
Камера нанесения покрытия на пресс-форму	1	50
Таль для переноса пресс-формы	1	10
Зарядное устройство для аккумулятора для погрузчика	1	100
Таль для технического обслуживания оборудования	1	5
Техническое обслуживание средств	1	50
Устройство дуговой сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа 500А	1	70
Улавливатель дыма для цеха ремонта	1	6
Мехобработка	2	61
Промывка	1	86
Проверка на герметичность	1	30
Приточная вентиляция	2	75
Вытяжная вентиляция	9	3

### 3 Расчет электрических нагрузок

Основой расчета любой системы электроснабжения является определение ожидаемых электрических нагрузок объекта. На основании этих данных производится расчет силовых трансформаторов и дальнейший выбор оборудования.

Выбор мощности силовых трансформаторов, сечений проводников питающих линий выполняется на основе расчета электрических нагрузок методом коэффициента максимума, основанном на вычислении максимальных расчетных нагрузок группы электроприемников.

По [6] проводится подробный расчет электрических нагрузок на примере узла 1; полный расчет по корпусу 10 приводится в таблице 2.

В графе 1 указывается наименование узла и все электроприемники, присоединенные к данному узлу.

Электроприемники узла 1:

- 1) Печь быстрой плавки;
- 2) GBF (машина дегазации);
- 3) машина предварительного нагрева ковша;
- 4) пылеулавливатель.

В графе 2 указывается количество рабочих электроприемников:

Количество электроприемников узла 1:

- 1) Печь быстрой плавки – 1 ед.;
- 2) GBF (машина дегазации) – 1 ед.;
- 3) машина предварительного нагрева ковша – 1 ед.;
- 4) пылеулавливатель – 1 ед.

В графе 3 записываются значения номинальных мощностей электроприемников по группам.

Мощности электроприемников узла 1 составляют:

- 1) Печь быстрой плавки – 20 кВт;
- 2) GBF (машина дегазации) – 2 кВт;

3) машина предварительного нагрева ковша – 2 кВт;

4) пылеулавливатель – 62 кВт.

В графе 4 записывается суммарная номинальная мощность электроприемников группы, которая определяется по формуле:

$$P_n = p_n. \quad (1)$$

Так как количество рабочих единиц электроприемников равно одному для каждой группы, то суммарная мощность остается прежней:

1) Печь быстрой плавки – 20 кВт;

2) GBF (машина дегазации) – 2 кВт;

3) машина предварительного нагрева ковша – 2 кВт;

4) пылеулавливатель – 62 кВт.

Суммарная номинальная мощность электроприемников узла 1 составляет:

$$P_n = p_n = 86 \text{ кВт.}$$

Графа 5 заполняется для узла величиной  $m$ . Она определяется по следующей формуле:

$$m = \frac{P_{n.\text{наиб}}}{P_{n.\text{наим}}}; \quad (2)$$

где  $P_{n.\text{наиб}}$  – номинальная активная мощность наибольшего электроприемника в группе, а  $P_{n.\text{наим}}$  – номинальная активная мощность наименьшего электроприемника в группе. Значение  $m$  записывается как  $>3$  или  $\leq 3$ .

$$m = \frac{62}{2} = 31;$$

$$31 > 3.$$

В графах 6 и 7 указываются  $K_{\text{И}}$  и  $\cos\varphi$  для отдельных групп электроприемников.

Для электроприемников узла 1 значения  $K_{\text{И}}$  и  $\cos\varphi$  составляют:

1) Печь быстрой плавки – 0,7/0,8;

2) GBF (машина дегазации) – 0,7/0,8;

- 3) машина предварительного нагрева ковша – 0,7/1;
- 4) пылеулавливатель – 0,7/0,8.

В графах 8 и 9 для каждой группы электроприемников рассчитываются значения активной и реактивной мощностей по формулам:

$$P_{см} = K_{И} \times P_{Н}; \quad (3)$$

$$Q_{см} = P_{см} \times tg\varphi. \quad (4)$$

Определяются значения активной и реактивной мощностей электроприемников узла 1.

Для печи быстрой плавки  $P_{см} = 14$  кВт;  $Q_{см} = 10,5$  квар.

Для GBF (машины дегазации)  $P_{см} = 1,4$  кВт;  $Q_{см} = 1,05$  квар.

Для машины предварительного нагрева ковша  $P_{см} = 1,4$  кВт;  $Q_{см} = 1,4$  квар.

Для пылеулавливателя  $P_{см} = 60,2$  кВт;  $Q_{см} = 45,5$  квар.

В графе 10 записывается эффективное число электроприемников  $n_{э}$  по формуле:

$$n_{э} = 2 \times \frac{P_{Н}}{P_{Н.наиб}}. \quad (5)$$

Для узла 1 значение эффективного числа электроприемников составляет:

$$n_{э} = 2 \times \frac{86}{62} = 2,77;$$

$$n_{э} = 3.$$

В графе 11 дробью записываются в числителе значения коэффициента максимума для активной мощности  $k_{ма}$ , а в знаменателе значения коэффициента максимума для реактивной мощности  $k_{мр}$ .

Значения данных коэффициентов для узла 1  $k_{ма}$  и  $k_{мр}$  соответственно равны 1,32 и 1,1.

В графах 12 и 13 записываются значения расчетных активной и реактивной нагрузок по узлу, которые определяются по формулам:

$$P_{р} = k_{ма} \times P_{см}; \quad (6)$$

$$Q_p = K_{\text{мр}} \times Q_{\text{см}}. \quad (7)$$

Для узла 1 значения расчетных активной и реактивной нагрузок составляют:

$$P_p = 79,46 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 50,05 \text{ квар}.$$

В графах 14 и 15 записываются расчетные полная мощность и ток по узлу, которые определяются по формулам:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (8)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_{\text{н.л}}}. \quad (9)$$

Для узла 1 значения расчетных полной мощности и тока составляют:

$$S_p = 93,91 \text{ кВА};$$

$$I_p = 142,85 \text{ А}.$$

В таблице 2 приводятся дальнейшие расчеты электрических нагрузок по корпусу 10.

Таблица 2 – Расчет электрических нагрузок корпуса 10

Наименование групп ЭП и узлов питания	Кол. ЭП	Установленная мощность, $P_{ном}$ (ПВ 100%)		m	$K_{И}$	$\frac{\cos\phi}{\text{tg}\phi}$	Среднесменная нагрузка		$n_{Э}$	$\frac{\text{Км. а}}{\text{Км. р.}}$	Расчетная нагрузка			$I_p$
		$P_{\min}$ – $P_{\max}$ , кВт	$P_{ном \text{ сум}}$ , кВт				$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар			$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Узел 1</b>														
Печь быстрой плавки	1	20	20	>3	0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	14	10,5	3	$\frac{1,32}{1,1}$	79,46	50,05	93,91	142,85
GBF(машина дегазации)	1	2	2		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	1,4	1,05						
Машина предварительного нагрева ковша	1	2	2		0,7	$\frac{1}{0}$	1,4	1,4						
Пылеулавливатель	1	62	62		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	43,4	32,55						
<b>Итого по узлу 1</b>	4	2,0- 62,0	86		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	60,2	45,5						

Продолжение таблицы 2

Узел 2														
CHS shell-машина	4	40	160	>3	0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	112	84	4	$\frac{1,29}{1,1}$	370,23	236,77	439,46	668,48
VS shell-машина	2	115	230		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	161	120,75						
Подъемный кран	2	10	20		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	14	10,5						
<b>Итого по узлу 2</b>	8	10,0-115,0	410		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	287	215,25						
Узел 3														
Машина LPDC	2	45	90	>3	0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	63	47,25	5	$\frac{1,26}{1,1}$	327,1	228,69	399,11	262,37
Раздаточная печь	2	75	150		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	105	78,75						
Охлаждающее устройство (включая таль)	2	20	40		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	28	21						
Чиллер	1	28	28		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	19,6	14,7						
Машина поглощающая запахи	2	44	88		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	61,6	46,2						

Продолжение таблицы 2

<b>Итого по узлу 3</b>	9	20,0-75,0	396		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	277,2	207,9						
<b>Узел 4</b>														
СИФ обрезка	1	150	150	>3	0,7	$\frac{0,7}{1,02}$	105	107,1	3	$\frac{1,32}{1,1}$	963,73	351,19	1025,72	674,31
Печь Т7 (двигатели и вспомогательные устройства)	1	873	873		0,7	$\frac{0,95}{0,33}$	611,1	201,66						
Инспекционный конвейер	1	20	20		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	14	10,5						
<b>Итого по узлу 4</b>	3	20,0-873,0	1043		0,7	$\frac{0,92}{0,44}$	730,1	319,26						
<b>Узел 5</b>														
Печь предварительного нагрева пресс-формы	1	200	200	>3	0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	140	105	3	$\frac{1,32}{1,1}$	253,18	158,24	298,56	196,27

Продолжение таблицы 2

Пескоструйная Очистка	1	14	14		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	9,8	7,35						
Камера нанесения покрытия на пресс-форму	1	50	50		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	35	26,25						
Таль для переноса пресс-формы	1	10	10		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	7	5,25						
<b>Итого по узлу 5</b>	4	14,0- 200	274		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	191,8	143,85						
<b>Узел 6</b>														
Зарядное устройство для аккумулятора погрузчика	1	100	100	>3	0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	70	52,5	5	$\frac{1,26}{1,1}$	203,74	133,4	243,53	160,1
Таль для технического обслуживания оборудования	1	5	5		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	3,5	2,625						

Продолжение таблицы 2

18

Техническое обслуживание средств (сварка и т.д.)	1	50	50		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	35	26,25						
Устройство дуговой сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа 500А	1	70	70		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	49	36,75						
Улавливатель дыма для цеха ремонта	1	6	6		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	4,2	3,15						
<b>Итого по узлу 6</b>	5	5,0-100,0	231		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	161,7	121,27						
<b>Узел 7</b>														
Мехобработка	2	61	122	<3	0,7	$\frac{0,7}{1,02}$	85,4	87,12	4	$\frac{1,29}{1,1}$	214,91	162,82	269,62	177,25
Промывка	1	86	86		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	60,2	45,15						

Продолжение таблицы 2

Проверка на герметичность	1	30	30		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	21	15,75						
<b>Итого по узлу 7</b>	4	30,0-86,0	238		0,7	$\frac{0,88}{0,75}$	166,6	148,02						
<b>Узел 8</b>														
Приточная вентиляция	2	75	150	>3	0,7	$\frac{0,88}{0,75}$	105	78,75	3	$\frac{1,32}{1,1}$	163,55	102,22	192,87	126,79
Вытяжная вентиляция	9	3	27		0,7	$\frac{0,88}{0,75}$	18,9	14,175						
<b>Итого по узлу 8</b>	11	3,0-75,0	177		0,7	$\frac{0,88}{0,75}$	123,9	92,925						
<b>Освещение потолочное</b>	-	-	88		0,7	$\frac{0,98}{0,2}$	61,6	12,3			61,6	12,3	62,8	95,4
<b>Итого по КТП</b>	48	2,0-873,0	2943	>3	0,68	$\frac{0,87}{0,57}$	1998,5	1139,1	34	$\frac{1,29}{1,1}$	2637,5	1435,7	3025,6	2503,8

#### **4 Расчет системы освещения**

Качественное освещение всегда имеет большое значение в производственном процессе предприятия.

Правильная организация системы освещения производственных помещений необходима для повышения уровня работоспособности персонала без ущерба его здоровью. Недостаток света может привести к раздражительности и утомляемости человека, снизить концентрацию его внимания, что повлечет за собой снижение качества выполняемых работ, нарушению технологического процесса, нанесет ущерб здоровью человека.

В настоящее время производственные помещения с высокими потолками часто освещаются линейными люминесцентными и светодиодными светильниками, которые выдают рассеянный свет, являющийся комфортным для выполнения производственного процесса. Рабочие места для отдельных видов высокоточных работ требуют локальной подсветки. Однако, применение только лишь местного освещения на площадях производственных помещений недопустимо.

Многие производственные предприятия работают по 12 часов в сутки, а некоторые и полные сутки. Наличие такого графика делает принципиально важным вопрос замены ламп, который нередко связан с вызовом монтажных бригад и использованием специального оборудования и техники. В некоторых случаях релампинг может обойтись дороже, чем светильники и расходы на электроэнергию. Поэтому для производственных помещений необходимо выбирать надежное и удобное в обслуживании осветительное оборудование, имеющее высокий срок службы.

Для корпуса 10 рассматриваются два варианта расчета системы освещения: с использованием люминесцентных и светодиодных светильников.

## 4.1 Вариант 1

Вариант освещения с использованием люминесцентных светильников рассчитывается с помощью метода коэффициента использования светового потока. Данный метод позволяет провести расчет общего равномерного освещения.

Необходимый уровень освещенности равен 500 лк, в соответствии с [3].

Рассматривается вариант использования люминесцентных светильников ЛСПО 01. Номинальная мощность данных светильников составляет 4×58 Вт. Эти светильники используются для освещения производственных помещений, также обеспечивают высокий уровень равномерной освещенности и оснащены встроенным электронным пускорегулирующим аппаратом (ПРА) с микроконтроллером. Корпус данного светильника изготовлен из листовой стали толщиной 0,55 мм и окрашен высокопрочной белой краской.

Светильник устанавливается на подвесе на высоте 12 м, выше зоны действия передвижного крана.

Технические характеристики светильника ЛСПО 01 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики светильника ЛСПО-01

Обозначение светильника	ЛСПО 01-4×58 IP54
Корпус светильника	сталь толщиной 0,55 мм
Окраска, цвет	белый
Габаритные размеры, ДхШхВ (мм)	1550×370×125
Диапазон рабочей температуры окружающей среды, °С	от +10 до +50
Климатическое исполнение и категория размещения	УХЛ4
Степень защиты по ГОСТ 14254-80	IP54
Световой поток, Лм	20800

Продолжение таблицы 3

Коэффициент мощности $\cos\varphi$	0,98
Коэффициент полезного действия, не менее	0,89
Коэффициент цветопередачи, CRI	85
Мощность, Вт	232
Масса, кг	5,5
Пульсации светового потока, %, не более	1,5
Класс защиты от поражения электрическим током	I

Определяется значение расчетной высоты помещения производства:

$$h_{\text{расч}} = H - h_c - h_p; \quad (10)$$

где  $H$  – значение высоты производственного помещения, м;  $h_c$  – значение высоты свеса светильников, м;  $h_p$  – значение высоты рабочей поверхности, м.

$$h_{\text{расч}} = 13 - 1 - 0,8 = 11,2 \text{ м.}$$

Определяется расстояние между рядами и светильниками в ряду:

$$L = \lambda_c \times h_{\text{расч}}; \quad (11)$$

где  $\lambda_c$  – наивыгоднейшее относительное расстояние,  $\lambda_c = 0,8$ .

$$L = 0,8 \times 11,2 = 8,96 \text{ м.}$$

Рассчитывается число рядов светильников в помещении:

$$n'_b = \frac{B}{L}; \quad (12)$$

где  $B$  – ширина помещения, м;  $L$  – расстояние между рядами, м.

$$n'_b = \frac{79}{8,96} \approx 8,82 = 9.$$

Определяется расстояние до ближайшего светильника от стены по ширине:

$$l_b = \frac{B - n'_b - 1 \times L}{2}; \quad (13)$$

$$l_b = \frac{79 - 9 - 1 \times 8,82}{2} = 4 \text{ м.}$$

Далее рассчитывается значение индекса помещения:

$$i = \frac{A \times B}{h_{\text{расч}} \times A + B}; \quad (14)$$

где  $H$  – значение высоты цеха, м;  $h_1$  – значение высоты подвеса светильника, м;  $h_2$  – значение высоты рабочей поверхности, м.

$$i = \frac{168 \times 79}{8,82 \times 168 + 79} = 6.$$

Далее определяется коэффициент использования помещения  $\eta_{\text{п}}$ , зависящий от индекса помещения, типа кривой силы света (КСС) и от сочетания коэффициентов отражения для поверхностей помещения.

Для корпуса 10 значения коэффициентов отражения потолка, стен и пола соответственно равны:

для потолка  $\rho_{\text{п}} = 0,7$ ;

для стен  $\rho_{\text{ст}} = 0,5$ ;

для пола  $\rho_{\text{пол}} = 0,2$ .

Таким образом, коэффициент использования помещения  $\eta_{\text{п}}$  для  $i = 4,48$ ,  $\rho_{\text{п}} = 0,7$ ,  $\rho_{\text{ст}} = 0,5$ ,  $\rho_{\text{пол}} = 0,2$  и КСС типа Д-1 составляет 93%.

После этого рассчитывается коэффициент использования светового потока по формуле:

$$\eta = \eta_{\text{п}} \times \eta_{\text{с}}; \quad (15)$$

где  $\eta_{\text{п}}$  – коэффициент использования помещения, %.

$$\eta = 0,93 \times 0,75 = 0,7.$$

По (16) рассчитывается значение потребного светового потока для ряда светильников:

$$\Phi = \frac{E_M \times k \times S \times z}{N \times \eta}; \quad (16)$$

где  $E_M$  – значение нормативной минимальной освещенности, лк;  $k$  – коэффициент запаса;  $S$  – освещаемая площадь корпуса 10, м<sup>2</sup>;  $z$  – отношение

$\frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{М}}}$ ;  $N$  – количество рядов светильников в производственном помещении, шт.;

$\eta$  – значение коэффициента использования светового потока, о.е.

$$\Phi = \frac{500 \times 1,5 \times 13272 \times 1,1}{9 \times 0,7} = 1738000 \text{ лм.}$$

Принимается светильник ЛСПО 01-4×58 IP54 с  $P_{\text{ном}} = 232 \text{ Вт}$ ,  $\Phi_{\text{с}} = 20800 \text{ лм}$ .

Рассчитывается число светильников в ряду:

$$N = \frac{\Phi}{3 \times \Phi_{\text{с}}}; \quad (17)$$
$$N = \frac{1738000}{3 \times 20800} = 28.$$

Определяется возможность размещения числа светильников в ряду, рассчитанного по (17):

$$L_{\text{ряда}} = N \times l_{\text{свет}}; \quad (18)$$

где  $l_{\text{свет}}$  – длина рассматриваемого светильника, м.

$$L_{\text{ряда}} = 28 \times 1,55 = 43,4 \text{ м.}$$

$$43,4 < 168.$$

Определяется расстояние между светильниками в ряду:

$$l_p = \frac{A - L_{\text{ряда}}}{N}; \quad (19)$$
$$l_p = \frac{168 - 43,4}{28} = 4,45 \text{ м.}$$

Далее рассчитывается номинальная суммарная мощность системы освещения корпуса с использованием люминесцентных светильников:

$$P_{\text{ном. сум}} = 59 \text{ кВт.}$$

Определяется значение расчетной активной мощности осветительной нагрузки по формуле:

$$P_{\text{см осв}} = P_{\text{ном. сум}} \times K_{\text{И}}; \quad (20)$$
$$P_{\text{см осв}} = 59 \times 0,7 = 41,3 \text{ кВт.}$$

Определяется значение расчетной реактивной мощности осветительной нагрузки по формуле:

$$Q_{\text{см осв}} = P_{\text{ном. сум}} \times \operatorname{tg} \varphi; \quad (21)$$

$$Q_{\text{см осв}} = 41,3 \times 0,2 = 8,26 \text{ квар.}$$

Определяется значение расчетной полной мощности осветительной нагрузки по формуле:

$$S_{\text{см осв}} = \sqrt{P_{\text{см осв}}^2 + Q_{\text{см осв}}^2}; \quad (22)$$

$$S_{\text{см осв}} = \sqrt{41,3^2 + 8,26^2} = 42 \text{ кВА.}$$

Определяется значение расчетного тока осветительной нагрузки по формуле:

$$I_{\text{р осв}} = \frac{S_{\text{см осв}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н.л}}}; \quad (23)$$

$$I_{\text{р осв}} = \frac{42}{\sqrt{3} \times 0,38} = 63,8 \text{ А.}$$

Далее рассматривается вариант использования светодиодных светильников.

## 4.2 Вариант 2

Расчет освещения с использованием светодиодных светильников производится в программе DIALux 4.12.

Необходимый уровень освещенности равен 500 лк, в соответствии с [3].

Рассматривается вариант использования светодиодных светильников АТ-ДСП-01-200-Д-220VAC-IP65 серии Rail с номинальной мощностью 200 Вт.

Данные светильники серии Rail используются для освещения производственных помещений. Корпус светильника выполнен из алюминиевого сплава с анодированным покрытием, имеется поликарбонатный рассеиватель, делающий светильник устойчивым к неблагоприятным воздействиям окружающей среды и не раздражающим для зрительного восприятия.

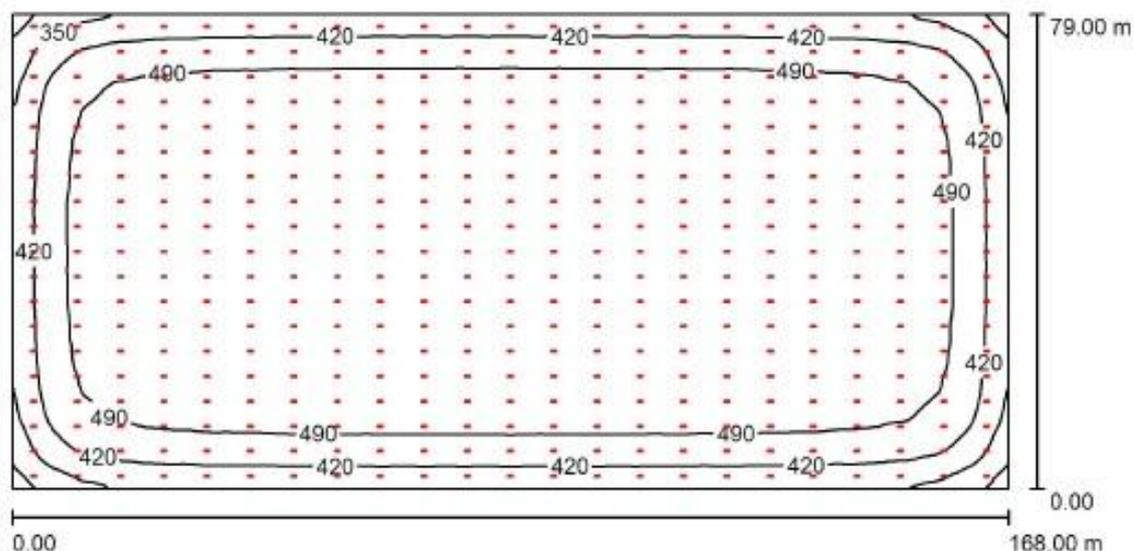
Светильник устанавливается на подвесе на высоте 12м, выше зоны действия передвижного крана.

Технические характеристики светильника АТ-ДСП-01 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики светильника АТ-ДСП-01

Обозначение светильника	АТ-ДСП-01-200-Д-220VAC-IP65
Корпус светильника	Алюминиевый сплав
Габаритные размеры, ДхШхВ (мм)	800×210×90
Степень защиты по ГОСТ 14254-80	IP65
Световой поток, Лм	19000
Коэффициент мощности $\cos\varphi$	0,98
Цветовая температура, К	5000
Мощность, Вт	200
Масса, кг	3,2

Ведомость расчета освещенности корпуса 10 в программе DIALux приведена на рисунке 1.



Высота помещения: 13.000 m, Монтажная высота: 12.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:1202

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	$E_{\text{min}}$ [lx]	$E_{\text{max}}$ [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	496	254	557	0.512
Полы	20	492	266	554	0.540
Потолок	70	108	92	134	0.856
Стенки (4)	50	276	130	513	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m  
Растр: 128 x 64 Точки  
Краяевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	437	АТОН АТ-ДСП-01-200-Д-220VAC-IP65 серии Rail (1.000)	18572	19000	200.0

Всего: 8116069 Всего: 8303000 87400.0

Удельная подсоединенная мощность:  $6.59 \text{ W/m}^2 = 1.33 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $13272.00 \text{ m}^2$ )

Рисунок 1 – Ведомость расчета освещенности корпуса 10.

Далее рассчитывается номинальная суммарная мощность системы освещения корпуса с использованием светодиодных светильников:

$$P_{\text{ном. сум}} = 88 \text{ кВт.}$$

Определяется значение расчетной активной мощности осветительной нагрузки по формуле:

$$P_{\text{см осв}} = P_{\text{ном. сум}} \times K_{\text{И}}; \quad (20)$$

$$P_{\text{см осв}} = 88 \times 0,7 = 61,6 \text{ кВт.}$$

Определяется значение расчетной реактивной мощности осветительной нагрузки по формуле:

$$Q_{\text{см осв}} = P_{\text{ном. сум}} \times \operatorname{tg} \varphi; \quad (21)$$

$$Q_{\text{см осв}} = 61,6 \times 0,2 = 12,3 \text{ квар.}$$

Определяется значение расчетной полной мощности осветительной нагрузки по формуле:

$$S_{\text{см осв}} = \sqrt{P_{\text{см осв}}^2 + Q_{\text{см осв}}^2}; \quad (22)$$

$$S_{\text{см осв}} = \sqrt{61,6^2 + 12,3^2} = 62,8 \text{ кВА.}$$

Определяется значение расчетного тока осветительной нагрузки по формуле:

$$I_{\text{р осв}} = \frac{S_{\text{см осв}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н.л}}}; \quad (23)$$

$$I_{\text{р осв}} = \frac{62,8}{\sqrt{3} \times 0,38} = 95,4 \text{ А.}$$

В следующем пункте проводится экономический расчет, в котором проводится сравнение двух типов вышерассмотренных светильников. Наиболее выгодный из них принимается к установке в корпусе 10.

### **4.3 Расчет окупаемости системы освещения корпуса 10**

В рамках выпускной квалификационной работы рассматриваются два варианта системы освещения: с использованием люминесцентных светильников ЛСПО 01-4×58 IP54 и светодиодных светильников АТ-ДСП-01-200-Д-220VАС-IP65. В данном пункте проводится экономическое сравнение затрат на установку и эксплуатацию светильников. По результатам сравнения выбирается наиболее выгодный с экономической точки вариант.

Вопросы материальной выгоды, окупаемости при установке электрооборудования, систем освещения рассмотрены подробно в [23-25].

Таблица 5 – Исходные данные для расчета окупаемости затрат

Параметры	Светильник люминесцентный	Светильник светодиодный	Комментарии
Количество светильников, шт.	276	437	
Время работы в день, час.	12	12	
Срок службы светильников, час.	26280	100000	
Стоимость одного $\frac{\text{кВт}}{\text{ч}}$ , руб.	3,84	3,84	Средняя цена один $\frac{\text{кВт}}{\text{ч}}$
Увеличение стоимости электроэнергии, $\frac{\%}{\text{год}}$	15,0	15,0	Экономический прогноз
Полная стоимость одного светодиодного светильника, руб.		9374,0	Розничная цена
Полная стоимость одного люминесцентного светильника, руб.	6268,0		Розничная цена
Цена одной лампы, руб.	1483,0	0,0	Розничная цена
Стоимость работ по замене одной лампы, руб.	1550,0	0,0	в соответствии с ГЭСН-2001, учитывающими коэффициент на работы с подъемником
Количество лет эксплуатации	6	22,83	

Таблица 6 – Экономическое сравнение эффективности применения разных типов светильников

Основные параметры	Светильник люминесцентный	Светильник светодиодный	Экономия	Экономический эффект, тыс. руб.
<b>1. Расход на электроэнергию, руб.</b>				
Номинальная мощность светильника, Вт.	232	200	32	
Количество рабочих часов для светильников в году (в 12-часовой рабочий день), ед.	4384,38	4384,38		
Потребляемая электроэнергия одного светильника в год, Вт × час.	1242511,39	876876,00	365635,39	
Потребляемая электроэнергия всех светильников в год, Вт × час.	542977478,30	383194812,00	159782666,30	
Потребляемая электроэнергия всех светильников в год, кВт × час.	542977,48	383194,81	159782,67	
Стоимость одного $\frac{\text{кВт}}{\text{ч}}$ , руб.	3,84	3,84		
Материальные затраты на электроэнергию за 1-й год, руб.	2085033,52	1471468,08	613565,44	835,86
Материальные затраты на электроэнергию за 2-й год, руб.	2397788,54	1692188,29	705600,25	927,89
Материальные затраты на электроэнергию за 3-й год, руб.	2757456,83	1946016,53	811440,29	1033,73
Материальные затраты на электроэнергию за 4-й год, руб.	3171075,35	2237919,01	933156,34	1155,45

Продолжение таблицы 6

Материальные затраты на электроэнергию за 5-й год, руб.	3646736,6	2573606,87	1073129,79	1295,42
Материальные затраты на электроэнергию за 6-й год, руб.	4193747,15	2959647,90	1234099,25	1456,39
Материальные затраты на электроэнергию за 7-й год, руб.	4822809,22	3403595,08	1419214,14	1641,51
Материальные затраты на электроэнергию за 8-й год, руб.	5546230,61	3914134,34	1632096,26	1854,39
Материальные затраты на электроэнергию за 9-й год, руб.	6378165,20	4501254,49	1876910,70	2099,20
Материальные затраты на электроэнергию за 10-й год, руб.	7334889,98	5176442,67	2158447,31	2380,74
Общие материальные затраты на электроэнергию за 10 лет, руб.	42333933,04	29876273,25	12457659,79	
<b>2. Расход на покупку ламп, руб.</b>				
Цена одной новой лампы, руб.	1483		1483	
Средний срок службы лампы, час.	26280			
Количество ламп, покупаемых для одного светильника за 10 лет эксплуатации, шт.	1,7			
Материальные затраты на один светильник с учетом покупки новых ламп, руб.	2474,14		2474,14	
Материальные затраты на приобретение новых ламп для светильников в течение 10 лет, руб.	1081198,45		1081198,45	

Продолжение таблицы 6

<b>3. Расход на замену старых ламп, руб.</b>				
Стоимость замены дефектной лампы, с учетом утилизации, руб.	1566		1566	
Количество ламп, заменяемых на одном светильнике в течение 10 лет, шт.	1,7			
Материальные затраты на один светильник с учетом замены ламп, руб.	2612,61		2612,61	
Материальные расходы на замену дефектных ламп в течение 10 лет, руб.	1141710,57		1141710,57	
<b>4. Стоимость светильников, руб.</b>				
Стоимость одного светильника с учетом налога на добавленную стоимость	6268,0	9374,00	-3106,00	
Стоимость всех светильников с учетом налога на добавленную стоимость	2739116,00	4096438,00	-1357322,00	
<b>5. Статьи затрат</b>				
1) Затраты на электроэнергию, руб.	42333933,04	298762273,25	12457659,79	
2) Затраты на покупку ламп, руб.	1081198,45	0		
3) Затраты на замену дефектных ламп, руб.	1141710,57	0		
4) Стоимость светильников, руб.	2739116,00	4096438,00		
<b>6. Итого, руб.</b>	<b>47295958,06</b>	<b>33927711,25</b>		

В результате расчета определяется, что при большей стоимости установки светодиодных светильников, с учетом расхода на электроэнергию и срока службы светильников, экономия за 10 лет эксплуатации составляет 13 368 246,81 рублей в отличие от варианта с установкой люминесцентных светильников. Также произойдет высвобождение мощностей в объеме 1 597 826,66 кВт×час.

Изначальные инвестиции, необходимые на реализацию системы освещения с использованием светодиодных светильников составят 4 096 438,00 тыс. руб. Эти затраты полностью окупятся за 4,5 года.

Следовательно, в результате экономического сравнения к установке выбирается вариант с использованием светодиодных светильников АТ-ДСП-01-200-Д-220VАС-IP65.

Далее производится выбор числа и мощности силовых трансформаторов, питающих электроприемники корпуса 10.

## 5 Определение числа и мощности силовых трансформаторов с компенсацией реактивной мощности

Важным вопросом является выбор трансформаторов на комплектных трансформаторных подстанциях рассматриваемого корпуса 10: их число и мощность. Выбранные трансформаторы должны обеспечивать питание всех потребителей корпуса при их номинальной нагрузке.

Поскольку потребители корпуса 10 относятся к I и II категории надежности электроснабжения, к установке принимаются варианты с двумя питающими линиями.

Подробно вопрос выбора трансформаторов рассматривается в [21-22].

К рассмотрению принимаются варианты с использованием сухих трансформаторов одного из ведущих российских производителей электрооборудования АО «Группа «СВЭЛ» и словацкой компании BEZ TRANSFORMÁTORŮ, оборудование которой было установлено ранее в корпусе 10 и выработало свой ресурс без критических неисправностей, отлично зарекомендовав себя.

Исходные данные:

$$P_p = 2637,5 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 1435,7 \text{ квар};$$

$$S_p = 3025,6 \text{ кВА}.$$

Выбор трансформаторов осуществляется путём экономического анализа с учетом возможности дальнейшего наращивания мощностей производства корпуса 10.

Исходя из данных условий принимается  $K_3 = 0,7$ .

$$S_{\text{ном}} = \frac{P_p}{K_3 \times N_T}; \quad (24)$$
$$S_{\text{ном}} = \frac{2637,5}{0,7 \times 2} = 1883,93 \text{ кВА}.$$

## 5.1 Вариант А

Рассматривается вариант с двумя трансформаторами ТСЗ-2500/10/0,4 производства российской компании АО «Группа «СВЭЛ».

Таблица 7 – Параметры трансформатора ТСЗ-2500/10/0,4

Параметр	Значение
Номинальная мощность	$S_{\text{ном.Т}} = 2500$ кВА
Потери холостого хода	$\Delta P_{\text{хх}} = 3,3$ кВт
Потери короткого замыкания	$\Delta P_{\text{кз}} = 18,3$ кВт
Напряжение короткого замыкания	$U_{\text{кз, \%}} = 6$
Ток холостого хода	$I_{\text{хх, \%}} = 0,6$

«Определим потери в трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{T}} = N_{\text{T}} \times \Delta P_{\text{хх}} \times K_3^2 \times \Delta P_{\text{кз}} ; \quad (25)$$

где  $N_{\text{T}}$  – количество трансформаторов;  $\Delta P_{\text{T}}$  – потери активной мощности одного трансформатора, кВт.

$$\Delta Q_{\text{T}} = N_{\text{T}} \times i_o \times K_3^2 \times U_{\text{кз}} \times \frac{S_{\text{н}}}{100}; \quad (26)$$

где  $N_{\text{T}}$  – количество трансформаторов;  $\Delta Q_{\text{T}}$  – потери реактивной мощности одного трансформатора, квар.»[7].

В (25,26) подставляются имеющиеся значения:

$$\Delta P_{\text{T}} = 2 \times 3,3 \times 0,7^2 \times 18,3 = 59,2 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = 2 \times 0,6 \times 0,7^2 \times 6 \times \frac{2500}{100} = 88,2 \text{ квар;}$$

«Определим расчетную нагрузку корпуса с учетом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_p + \Delta P_{\text{T}}; \quad (27)$$

$$Q_p = Q_p + \Delta Q_{\text{T}}; \quad (28)$$

Реактивная мощность в часы минимума нагрузки:

$$Q_{min} = Q_p \times 50\%; \quad (29)$$

где  $Q_p$  – расчетная реактивная нагрузка.»[7].

В (27-29) подставляются имеющиеся значения:

$$P_p = 2637,5 + 59,2 = 2696,7 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 1435,7 + 88,2 = 1523,9 \text{ квар.}$$

$$Q_{min} = 1523,9 \times 0,5 = 762 \text{ квар.}$$

«Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{э1} = Q_p - 0,7 \times Q_{сд}; \quad (30)$$

$$Q''_{э1} = \alpha \times P_p; \quad (31)$$

где  $\alpha = 0,28$ ;  $Q_{сд} = 0$ .»[7].

В (30,31) подставляются имеющиеся значения:

$$Q'_{э1} = 1523,9 \text{ квар.}$$

$$Q''_{э1} = 0,28 \times 2696,7 = 755,1 \text{ квар.}$$

Принимается меньшее из значений в виду пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок:

$$Q_{э1} = 755,1 \text{ квар.}$$

«Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{э2} = Q_{min} + Q_k; \quad (32)$$

где  $Q_k = 0$ .

$$Q''_{э2} = Q_{min} - Q_{кд} = Q_{min} - Q_p - Q_{э1}; \quad (33)$$

где  $Q_{э1}$  – минимальное значение реактивной мощности в часы максимальных загрузок.»[7].

В (32,33) подставляются имеющиеся значения:

$$Q'_{э2} = 762 \text{ квар.}$$

$$Q''_{э2} = 762 - 1523,9 - 755,1 = -6,8 \text{ квар.}$$

Принимается большее из значений в виду повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{э2} = 762 \text{ квар.}$$

«Определим суммарную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{ку \max} = 1,1 \times Q_p - Q_{э1}; \quad (34)$$

$$Q_{ку \min} = Q_{\min} - Q_{э2}; \quad (35)$$

где  $Q_{э2}$  – максимальное значение реактивной мощности в часы минимальных загрузок.»[7].

В (34,35) подставляются имеющиеся значения:

$$Q_{ку \max} = 1,1 \times 1523,9 - 755,1 = 921,2 \text{ квар.}$$

$$Q_{ку \min} = 762 - 762 = 0.$$

Исходя из вышеприведённых расчетов, необходима установка регулируемых КУ.

Проводится выбор числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности.

«Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{эн} = Q_{э1} - Q_p - Q_p; \quad (36)$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{N_T \times K_3 \times S_{\text{ном.Т}}^2 - P_p^2}; \quad (37)$$

где  $P_p$  – суммарная расчетная активная нагрузка.»[7].

В (36,37) подставляются имеющиеся значения:

$$Q_{эн} = 755,1 - 1523,9 - 1435,7 = 666,8 \text{ квар.}$$

$$Q_T = \sqrt{2 \times 0,7 \times 2500^2 - 2637,5^2} = 2300,8 \text{ квар.}$$

«Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ:

$$Q_{ку.н} = Q_p - Q_T. \quad (38)$$

Так как  $Q_{ку.н} < 100$  квар, установка компенсирующих устройств на стороне до 1 кВ не целесообразна.»[7].

В (38) подставляются имеющиеся значения:

$$Q_{\text{КУ.н}} = 1435,7 - 2300,8 = -865,1 \text{ квар.}$$

«Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ:

$$Q_{\text{КУ.в}} = Q_{\text{КУ. max}} - Q_{\text{КУ.н}}; \quad (39)$$

Так как  $Q_{\text{КУ.в}} > 800$  квар, то целесообразна установка БК на стороне 10 кВ.»[7].

В (39) подставляются имеющиеся значения:

$$Q_{\text{КУ.в}} = 921,2 - -865,1 = 1786,3 \text{ квар.}$$

Выбирается автоматическая конденсаторная установка с регулированием по мощности типа 2хУКРМ-10,5-900.

Далее рассчитываются приведенные затраты на БК 10 кВ:

$$Z_{\text{КУ.в}} = E \times K_y \times \frac{U^2}{U_{\text{БК}}} \times Q + C_0 \times P_{\text{БК}} \times Q + E_p \times K_p \times 2; \quad (40)$$

$$Z_{\text{КУ.в}} = 0,223 \times 450 \times \frac{0,95^2}{1,05} \times 1,8 + 4,8 \times 2,5 \times 1,8 + 0,27 \times 200 \times 2 =$$

$$= 277,46 \text{ тыс. руб.}$$

Производится расчет материальных затрат на установку комплектной трансформаторной подстанции с трансформаторами ТСЗ-2500/10/0,4:

$$Z_{\text{КТП}} = K_{\text{КТП}} + K_{\text{КУ}} + 2 \times C \times \Delta P_T; \quad (41)$$

где  $C$  – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь.

«Определим значение удельной стоимости максимальных активных нагрузочных потерь:

$$C = \frac{\alpha}{T_M} \times \tau; \quad (42)$$

где  $\alpha$  – основная ставка тарифа за 1 кВт потребленной электроэнергии;  $T_M$  – время использования максимальной нагрузки предприятия в год.

$$C \times \Delta P_T = C_0 \times \Delta P_{\text{ХХ}} + C \times K_3^2 \times \Delta P_{\text{КЗ}}; \quad (43)$$

где  $\Delta P_{\text{КЗ}}$  – величина потерь короткого замыкания трансформатора, кВт.»[7].

В (42,43) подставляются имеющиеся значения:

$$C = \frac{3,84}{6300} \times 4980 = 3 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \times \text{год}};$$

$$C \times \Delta P_T = 5,4 \times 3,3 + 3 \times 0,7^2 \times 18,3 = 44,7$$

«Определим значение удельной стоимости потерь холостого хода трансформатора:

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} \times T_p; \quad (44)$$

Определим время максимальных потерь по формуле:

$$\tau = 0,124 + \frac{T_M^2}{10000} \times T_p; \quad (45)$$

где  $T_p$  – время работы трансформатора в году.»[7].

В (44,45) подставляются имеющиеся значения:

$$C_0 = \frac{3,84}{6300} \times 8760 = 5,4 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \times \text{год}};$$

$$\tau = 0,124 + \frac{6300^2}{10000} \times 8760 = 4980 \text{ ч};$$

Тогда по (41) затраты на установку КТП с трансформаторами ТСЗ-2500/10/0,4 составят:

$$Z_{\text{КТП}} = 4150 + 277,46 + 2 \times 44,7 = 4472,86 \text{ тыс. руб.}$$

## 5.1 Вариант Б

Рассматривается вариант с двумя трансформаторами аTSE 832/10 производства словацкой компании BEZ TRANSFORMÁTORŮ.

Таблица 8 – Параметры трансформатора аTSE 832/10.

Параметр	Значение
Номинальная мощность	$S_{\text{ном.Г}} = 2500 \text{ кВА}$
Потери холостого хода	$\Delta P_{\text{xx}} = 4,3 \text{ кВт}$
Потери короткого замыкания	$\Delta P_{\text{кз}} = 18,3 \text{ кВт}$

Продолжение таблицы 8

Напряжение короткого замыкания	$U_{кз, \%} = 6$
Ток холостого хода	$I_{хх, \%} = 0,5$

«Определим потери в трансформаторах:

$$\Delta P_T = N_T \times \Delta P_{xx} \times K_3^2 \times \Delta P_{кз} ; \quad (25)$$

где  $N_T$  – количество трансформаторов;  $\Delta P_T$  – потери активной мощности одного трансформатора, кВт.

$$\Delta Q_T = N_T \times i_o \times K_3^2 \times U_{кз} \times \frac{S_H}{100}; \quad (26)$$

где  $N_T$  – количество трансформаторов;  $\Delta Q_T$  – потери реактивной мощности одного трансформатора, квар.»[7].

В (25,26) подставляются имеющиеся значения:

$$\Delta P_T = 2 \times 4,3 \times 0,7^2 \times 18,3 = 77,1 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = 2 \times 0,5 \times 0,7^2 \times 6 \times \frac{2500}{100} = 73,5 \text{ квар;}$$

«Определим расчетную нагрузку корпуса с учетом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_p + \Delta P_T; \quad (27)$$

$$Q_p = Q_p + \Delta Q_T; \quad (28)$$

Реактивная мощность в часы минимума нагрузки:

$$Q_{min} = Q_p \times 50\%; \quad (29)$$

где  $Q_p$  – расчетная реактивная нагрузка.»[7].

В (27-29) подставляются имеющиеся значения:

$$P_p = 2637,5 + 77,1 = 2714,6 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 1435,7 + 73,5 = 1509,2 \text{ квар.}$$

$$Q_{min} = 1509,2 \times 0,5 = 754,6 \text{ квар.}$$

«Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{э1} = Q_p - 0,7 \times Q_{сд}; \quad (30)$$

$$Q''_{э1} = \alpha \times P_p; \quad (31)$$

где  $\alpha = 0,28$ ;  $Q_{сд} = 0$ .»[7].

В (30,31) подставляются имеющиеся значения:

$$Q'_{э1} = 1509,2 \text{ квар.}$$

$$Q''_{э1} = 0,28 \times 2714,6 = 760,1 \text{ квар.}$$

Принимается меньшее из значений в виду пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок:

$$Q_{э1} = 760,1 \text{ квар.}$$

«Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{э2} = Q_{min} + Q_k; \quad (32)$$

где  $Q_k = 0$ .

$$Q''_{э2} = Q_{min} - Q_{кд} = Q_{min} - Q_p - Q_{э1}; \quad (33)$$

где  $Q_{э1}$  – минимальное значение реактивной мощности в часы максимальных загрузок.»[7].

В (32,33) подставляются имеющиеся значения:

$$Q'_{э2} = 754,6 \text{ квар.}$$

$$Q''_{э2} = 754,6 - 1509,2 - 760,1 = 5,5 \text{ квар.}$$

Принимается большее из значений в виду повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{э2} = 754,6 \text{ квар.}$$

«Определим суммарную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{ку max} = 1,1 \times Q_p - Q_{э1}; \quad (34)$$

$$Q_{ку min} = Q_{min} - Q_{э2}; \quad (35)$$

где  $Q_{э2}$  – максимальное значение реактивной мощности в часы минимальных загрузок.»[7].

В (34,35) подставляются имеющиеся значения:

$$Q_{ку max} = 1,1 \times 1509,2 - 760,1 = 900 \text{ квар.}$$

$$Q_{ку\ min} = 754,6 - 754,6 = 0.$$

Исходя из вышеприведённых расчетов, необходима установка регулируемых КУ.

Проводится выбор числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности.

«Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{эН} = Q_{э1} - Q_p - Q_p ; \quad (36)$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{N_T \times K_3 \times S_{ном.Т}^2 - P_p^2}; \quad (37)$$

где  $P_p$  – суммарная расчетная активная нагрузка.»[7].

В (36,37) подставляются имеющиеся значения:

$$Q_{эН} = 760,1 - 1509,2 - 1435,7 = 686,6 \text{ квар.}$$

$$Q_T = \sqrt{2 \times 0,7 \times 2500^2 - 2637,5^2} = 2300,8 \text{ квар.}$$

«Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ:

$$Q_{КУ.н} = Q_p - Q_T. \quad (38)$$

Так как  $Q_{КУ.н} < 100$  квар, установка компенсирующих устройств на стороне до 1 кВ не целесообразна.»[7].

В (38) подставляются имеющиеся значения:

$$Q_{КУ.н} = 1435,7 - 2300,8 = -865,1 \text{ квар.}$$

«Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ:

$$Q_{КУ.в} = Q_{КУ. max} - Q_{КУ.н}; \quad (39)$$

Так как  $Q_{КУ.в} > 800$  квар, то целесообразна установка БК на стороне 10 кВ.»[7].

В (39) подставляются имеющиеся значения:

$$Q_{КУ.в} = 900 - -865,1 = 1765,1 \text{ квар.}$$

Выбирается автоматическая конденсаторная установка с регулированием по мощности типа 2хУКРМ-10,5-900.

Далее рассчитываются приведенные затраты на БК 10 кВ:

$$Z_{\text{КУ.В}} = E \times K_y \times \frac{U^2}{U_{\text{БК}}} \times Q + C_0 \times P_{\text{БК}} \times Q + E_p \times K_p \times 2; \quad (40)$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{КУ.В}} &= 0,223 \times 450 \times \frac{0,95^2}{1,05} \times 1,8 + 4,8 \times 2,5 \times 1,8 + 0,27 \times 200 \times 2 = \\ &= 277,46 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Производится расчет материальных затрат на установку комплектной трансформаторной подстанции с трансформаторами аТСЕ 832/10:

$$Z_{\text{КТП}} = K_{\text{КТП}} + K_{\text{КУ}} + 2 \times C \times \Delta P_T; \quad (41)$$

где  $C$  – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь.

«Определим значение удельной стоимости максимальных активных нагрузочных потерь:

$$C = \frac{\alpha}{T_M} \times \tau; \quad (42)$$

где  $\alpha$  – основная ставка тарифа за 1 кВт потребленной электроэнергии;  $T_M$  – время использования максимальной нагрузки предприятия в год.

$$C \times \Delta P_T = C_0 \times \Delta P_{\text{ХХ}} + C \times K_3^2 \times \Delta P_{\text{КЗ}}; \quad (43)$$

где  $\Delta P_{\text{КЗ}}$  – величина потерь короткого замыкания трансформатора, кВт.»[7].

В (42,43) подставляются имеющиеся значения:

$$C = \frac{3,84}{6300} \times 4980 = 3 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \times \text{год}};$$

$$C \times \Delta P_T = 5,4 \times 4,3 + 3 \times 0,7^2 \times 18,3 = 50,1$$

«Определим значение удельной стоимости потерь холостого хода трансформатора:

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} \times T_p; \quad (44)$$

Определим время максимальных потерь по формуле:

$$\tau = 0,124 + \frac{T_M}{10000}^2 \times T_p; \quad (45)$$

где  $T_p$  – время работы трансформатора в году.»[7].

В (44,45) подставляются имеющиеся значения:

$$C_0 = \frac{3,84}{6300} \times 8760 = 5,4 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \times \text{год}};$$

$$\tau = 0,124 + \frac{6300}{10000}^2 \times 8760 = 4980 \text{ ч};$$

Тогда по (41) затраты на установку КТП с трансформаторами аTSE 832/10 составят:

$$Z_{\text{КТП}} = 3200 + 277,46 + 2 \times 50,1 = 3577,66 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, из результатов технико-экономического расчета можно сделать вывод, что в данном случае наиболее выгодным является применение двух сухих трансформаторов аTSE 832/10, мощностью 2500 кВА.

К тому же, с учетом партнерского соглашения между ПАО «АВТОВАЗ» и BEZ TRANSFORMÁTORŮ, по которому покупка продукции словацкой стороны обходится автозаводу значительно дешевле цены, заявленной в каталоге, позволяет оснащать производства завода качественной электропродукцией по оптимальной цене.

«В комплект трансформатора должны входить его составные части. Составные части, входящие в комплект трансформатора, должны быть указаны в НД на трансформаторы конкретных видов. К трансформатору прилагают следующую техническую документацию:

- 1) паспорта комплектующих изделий;
- 2) руководство по эксплуатации трансформатора, включающее документацию по плановому ремонту;
- 3) инструкцию по транспортированию, разгрузке, хранению, монтажу и вводу в эксплуатацию трансформатора;
- 4) чертежи важнейших составных частей в соответствии с НД на трансформаторы конкретных видов.»[2].

## 6 Расчет токов короткого замыкания

В проектировании системы электроснабжения (СЭС) помимо нормальных, продолжительных режимов работы электроустановок учитываются и их аварийные режимы. Короткое замыкание является одним из аварийных режимов.

«Коротким замыканием (КЗ) называется электрическое соединение различных точек электроустановок между собой или землей, не предусмотренное нормальным режимом работы, случайное или преднамеренное. При таком соединении токи в ветвях электроустановок резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима.»[4].

В системах трехфазного переменного тока могут возникать замыкания:

- 1) Трехфазные короткие замыкания;
- 2) двухфазные короткие замыкания;
- 3) однофазные короткие замыкания.

Трехфазные короткие замыкания, как правило, вызывают в поврежденной цепи наибольшие токи. Поэтому ток трехфазного короткого замыкания принимается за расчетный ток при выборе аппаратуры.

Короткие замыкания могут быть возникать из-за механических повреждений изоляции, ее старения, увлажнения и других причин.

Резкое увеличение тока в короткозамкнутой цепи и снижение напряжения в отдельных точках системы являются последствиями короткого замыкания. Дуга, которая возникает в месте короткого замыкания, может привести к полному или разрушению аппаратов, машин и других устройств.

Увеличение тока в ветвях электроустановки, которые примыкают к месту короткого замыкания, может привести к серьезным механическим воздействиям на изоляторы и токоведущие части, а также на обмотки электрических машин. Также, прохождение токов больших значений вызывает

чрезмерный нагрев токоведущих частей и изоляции, что в свою очередь может привести к пожару.

Для уменьшения последствий короткого замыкания применяются быстродействующие выключатели и релейная защиты с минимальной выдержкой времени, позволяющие быстро отключить поврежденный участок

Производится расчет короткого замыкания самого загруженного участка корпуса 10. Составляется схема замещения, которая является вариантом расчетной схемы, все элементы в которой заменены на сопротивления, а магнитные связи – на электрическими.

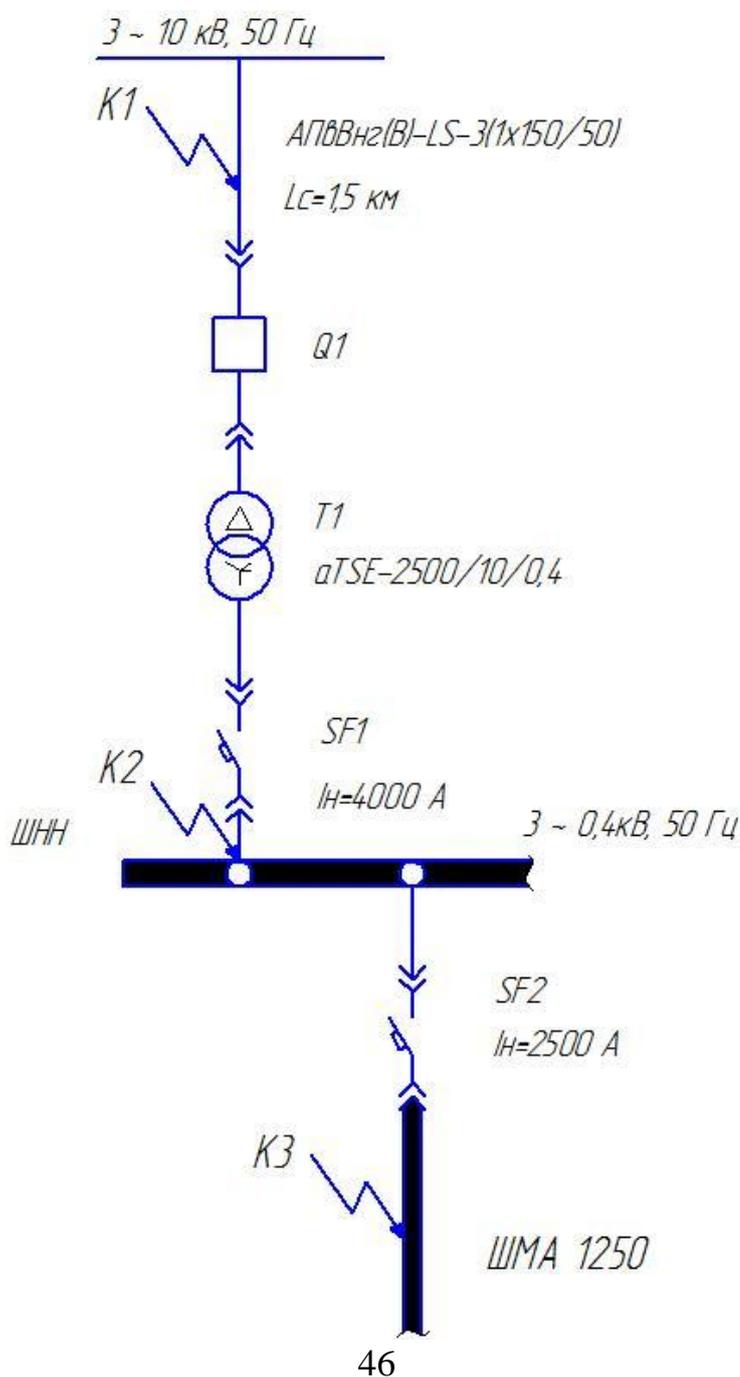


Рисунок 2 – Расчетная схема участка цепи.

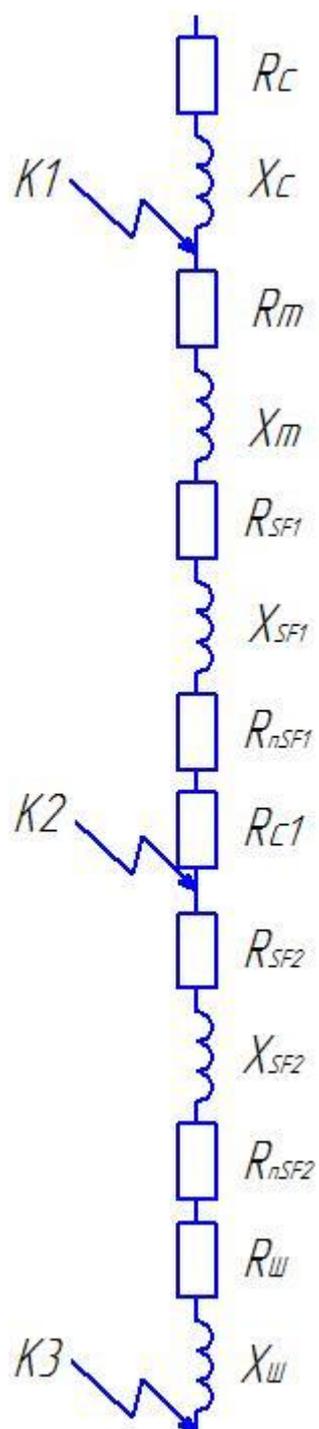


Рисунок 3 – Схема замещения участка цепи.

Далее вычисляются сопротивления элементов схемы замещения.

Для кабельной линии со стороны ВН рассчитывается удельное активное сопротивление:

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \times S}; \quad (46)$$

$$r_{0\text{кл}} = \frac{10^3}{30 \times 150} = 0,22 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$$

где  $\gamma$  – удельная проводимость материала,  $\frac{\text{м}}{\text{Ом} \times \text{мм}^2}$ ,  $S$  – сечение проводника,  $\text{мм}^2$ .

Определяется значение удельного индуктивного сопротивления для кабельной линии:

$$x_{0\text{кл}} = 0,06 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Значение активного сопротивления для кабельной линии рассчитывается по следующей формуле:

$$R_L = r_{0\text{кл}} \times L_L; \quad (47)$$

где  $L_L$  – протяженность линии, м.

$$R_L = 0,22 \times 1,5 = 0,33 \text{ Ом}.$$

Значение индуктивного сопротивления для кабельной линии рассчитывается по следующей формуле:

$$X_L = x_{0\text{кл}} \times L_L; \quad (48)$$

где  $L_L$  – протяженность линии, м.

$$X_L = 0,06 \times 1,5 = 0,09 \text{ Ом}.$$

Сопротивления элементов ВН приводятся к НН.

$$R_{\text{НН}} = R_{\text{ВН}} \times \frac{U_{\text{НН}}^2}{U_{\text{ВН}}^2}; \quad (49)$$

где  $R_{\text{ВН}}$  – активное сопротивление на высоком напряжении, мОм.

$$R_{\text{НН}} = 0,33 \times \frac{0,4^2}{10^2} \times 10^3 = 0,48 \text{ мОм}.$$

$$X_{\text{НН}} = X_{\text{ВН}} \times \frac{U_{\text{НН}}^2}{U_{\text{ВН}}^2}; \quad (50)$$

где  $X_{\text{ВН}}$  – индуктивное сопротивление на высоком напряжении, мОм.

$$X_{\text{HH}} = 0,09 \times \frac{0,4^2}{10} \times 10^3 = 0,13 \text{ мОм.}$$

Рассчитываются значения сопротивлений трансформатора:

$$R_{\text{T}} = \Delta P_{\text{кз}} \times \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{T}}} \times 10^6; \quad (51)$$

где  $\Delta P_{\text{кз}}$  – потери короткого замыкания, кВт;  $S_{\text{T}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$R_{\text{T}} = 18,3 \times \frac{0,4^2}{2500} \times 10^6 = 0,468 \text{ мОм.}$$

$$Z_{\text{T}} = U_{\text{кз}} \times \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{T}}} \times 10^4; \quad (52)$$

где  $U_{\text{кз}}$  – напряжение короткого замыкания, %.

$$Z_{\text{T}} = 6 \times \frac{0,4^2}{2500} \times 10^4 = 3,84 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{T}} = \sqrt{Z_{\text{T}}^2 - R_{\text{T}}^2}; \quad (53)$$

$$X_{\text{T}} = 3,81 \text{ мОм.}$$

Определяются значения сопротивлений автоматов SF1 и SF2.

Для автомата SF1:

$$R_{\text{SF1}} = 0,04 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{SF1}} = 0,05 \text{ мОм.}$$

$$R_{\text{пSF1}} = 0,05 \text{ мОм.}$$

Для автомата SF2:

$$R_{\text{SF2}} = 0,06 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{SF2}} = 0,07 \text{ мОм.}$$

$$R_{\text{пSF2}} = 0,07 \text{ мОм.}$$

Определяются значения сопротивлений шинпровода ШМА 1250.

$$r_{0\text{ш}} = 0,034 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$x_{0\text{ш}} = 0,016 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{\text{ш}} = r_{0\text{ш}} \times L_{\text{ш}}; \quad (54)$$

где  $L_{\text{ш}}$  – длина шинпровода, м.

$$R_{\text{ш}} = 0,034 \times 17 = 0,578 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{ш}} = x_{0\text{ш}} \times L_{\text{ш}}; \quad (55)$$

где  $L_{\text{ш}}$  – длина шинпровода, м.

$$X_{\text{ш}} = 0,016 \times 17 = 0,272 \text{ мОм.}$$

Определяется значения сопротивления для ступеней распределения.

$$R_{c1} = 15 \text{ мОм};$$

где  $R_{c1}$  – распределительное устройство подстанции.

Далее рассчитываются эквивалентные сопротивления на участках между точками короткого замыкания.

Для первого участка:

$$R_{\text{э}1} = R_c = 0,48 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{э}1} = X_c = 0,13 \text{ мОм.}$$

Для второго участка:

$$R_{\text{э}2} = R_T + R_{SF1} + R_{\text{ш}SF1} + R_{c1}. \quad (56)$$

$$X_{\text{э}2} = X_T + X_{SF1}. \quad (57)$$

$$R_{\text{э}2} = 0,468 + 0,04 + 0,05 + 15 = 15,56 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{э}2} = 3,81 + 0,05 = 3,86 \text{ мОм.}$$

Для третьего участка:

$$R_{\text{э}3} = R_{SF2} + R_{\text{ш}SF2} + R_{\text{ш}}. \quad (58)$$

$$X_{\text{э}3} = X_{SF2} + X_{\text{ш}}. \quad (59)$$

$$R_{\text{э}3} = 0,06 + 0,07 + 0,578 = 0,71 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{э}3} = 0,07 + 0,272 = 0,28 \text{ мОм.}$$

Далее рассчитываются сопротивления до каждой точки короткого замыкания. Полученные значения заносятся в сводную ведомость.

Значения сопротивлений до точки К1:

$$R_{K1} = R_{\text{э}1} = 0,49 \text{ мОм.}$$

$$X_{K1} = X_{\text{э}1} = 0,13 \text{ мОм.}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2}; \quad (60)$$

$$Z_{K1} = 0,51 \text{ мОм.}$$

Значения сопротивлений до точки К2:

$$R_{K2} = R_{Э1} + R_{K1}. \quad (60)$$

$$X_{K2} = X_{Э1} + X_{K1}. \quad (61)$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2}; \quad (62)$$

$$R_{K2} = 0,49 + 15,56 = 16,1 \text{ мОм.}$$

$$X_{K2} = 0,13 + 3,86 = 4 \text{ мОм.}$$

$$Z_{K2} = 16,59 \text{ мОм.}$$

Значения сопротивлений до точки К3:

$$R_{K3} = R_{K2} + R_{Э3}. \quad (62)$$

$$X_{K3} = X_{K2} + X_{Э3}. \quad (63)$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2}; \quad (64)$$

$$R_{K3} = 16,1 + 0,71 = 16,81 \text{ мОм.}$$

$$X_{K3} = 4 + 0,28 = 4,28 \text{ мОм.}$$

$$Z_{K3} = 17,35 \text{ мОм.}$$

$$\frac{R_{K1}}{X_{K1}} = \frac{0,49}{0,13} = 3,8;$$

$$\frac{R_{K2}}{X_{K2}} = \frac{16,1}{4} = 4;$$

$$\frac{R_{K3}}{X_{K3}} = \frac{16,81}{4,28} = 3,9;$$

Определяются ударный коэффициент  $K_y$  и коэффициент действующего значения ударного тока  $q$ :

$$K_{y1} = F \frac{R_{K1}}{X_{K1}} = F 3,8 = 1,0;$$

$$K_{y2} = F \frac{R_{K2}}{X_{K2}} = F 4 = 1,0;$$

$$K_{y3} = F \frac{R_{K3}}{X_{K3}} = F 3,9 = 1,0.$$

$$q = \sqrt{1 - 2 \times K_y - 1^2}; \quad (65)$$

$$q_1 = \sqrt{1 - 2 \times 1,0 - 1^2} = 1;$$

$$q_2 = q_3 = q_1 = 1.$$

Определяются 3-фазные и 2-фазные токи короткого замыкания и заносятся в сводную ведомость.

Значения 3-фазного тока КЗ:

$$I_K^3 = \frac{U_K}{\sqrt{3} \times Z_K}; \quad (66)$$

где  $U_K$  – линейное напряжение в точке КЗ, кВ;  $Z_K$  – полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

$$I_{K1}^3 = \frac{10}{\sqrt{3} \times 0,51} = 11,36 \text{ кА.}$$

$$I_{K2}^3 = \frac{0,4 \times 10^2}{\sqrt{3} \times 16,59} = 1,32 \text{ кА.}$$

$$I_{K3}^3 = \frac{0,4 \times 10^2}{\sqrt{3} \times 17,35} = 1,26 \text{ кА.}$$

Значения действующего ударного тока:

$$I_{yK} = q \times I_K^3; \quad (66)$$

где  $q$  – коэффициент действующего значения ударного тока.

$$I_{yK1} = 1 \times 11,36 = 11,36 \text{ кА.}$$

$$I_{yK2} = 1 \times 1,32 = 1,32 \text{ кА.}$$

$$I_{yK3} = 1 \times 1,26 = 1,26 \text{ кА.}$$

$$i_{yK} = \sqrt{2} \times K_y \times I_K^3; \quad (67)$$

где  $K_y$  – ударный коэффициент.

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \times 1 \times 11,36 = 16 \text{ кА.}$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \times 1 \times 1,32 = 1,86 \text{ кА.}$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \times 1 \times 1,26 = 1,78 \text{ кА.}$$

$$I_{к}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{к}^3. \quad (68)$$

$$I_{к1}^2 = 0,87 \times 11,36 = 9,89 \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^2 = 0,87 \times 1,32 = 1,16 \text{ кА.}$$

$$I_{к3}^2 = 0,87 \times 1,26 = 1,09 \text{ кА.}$$

Таблица 9 – Сводная ведомость токов короткого замыкания

Точка КЗ	$R_{к},$ МОм	$X_{к},$ МОм	$Z_{к},$ МОм	$\frac{R_{к}}{X_{к}}$	$K_{у}$	$q$	$I_{к}^3,$ кА	$I_{уК},$ кА	$i_{уК},$ кА	$I_{к}^2,$ кА
К1	0,49	0,13	0,51	3,8	1,0	1	11,36	11,36	16	9,89
К2	16,1	4	16,59	4	1,0	1	1,32	1,32	1,86	1,16
К3	16,81	4,28	17,35	3,9	1,0	1	1,26	1,26	1,78	1,09

## 7 Выбор цеховых КТП

В системах электроснабжения промышленных предприятий цеховые трансформаторные подстанции (ТП) используют для преобразования и распределения электроэнергии.

Цеховые трансформаторные подстанции в настоящее время часто выполняют комплектными, по месту расположения на территории промышленного предприятия они классифицируются как:

- 1) внутрицеховые;
- 2) встроенные;
- 3) пристроенные;
- 4) отдельностоящие.

Самым оптимальным месторасположением ТП является центр электрических нагрузок, но располагать там ТП зачастую не позволяет технологический процесс, тогда ТП смещают к стенам цеха.

Так, в корпусе 10, в виду модернизации производственного процесса, который сопровождается полным освобождением производственной площади, используется возможность близкого расположения ТП к центру электрических нагрузок.

Так как потребители корпуса 10 относятся к I и II категории надежности электроснабжения, к установке принимается вариант комплектных двутрансформаторных подстанций однорядного исполнения, укомплектованных трансформаторами аTSE 832/10, производства компании BEZ TRANSFORMÁTORŮ, вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-20, производства компании ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК, автоматическими выключателями Masterpact серии NW, производства компания Schneider Electric.

План ТП-195 и ТП-196 представлен на рисунке 4.

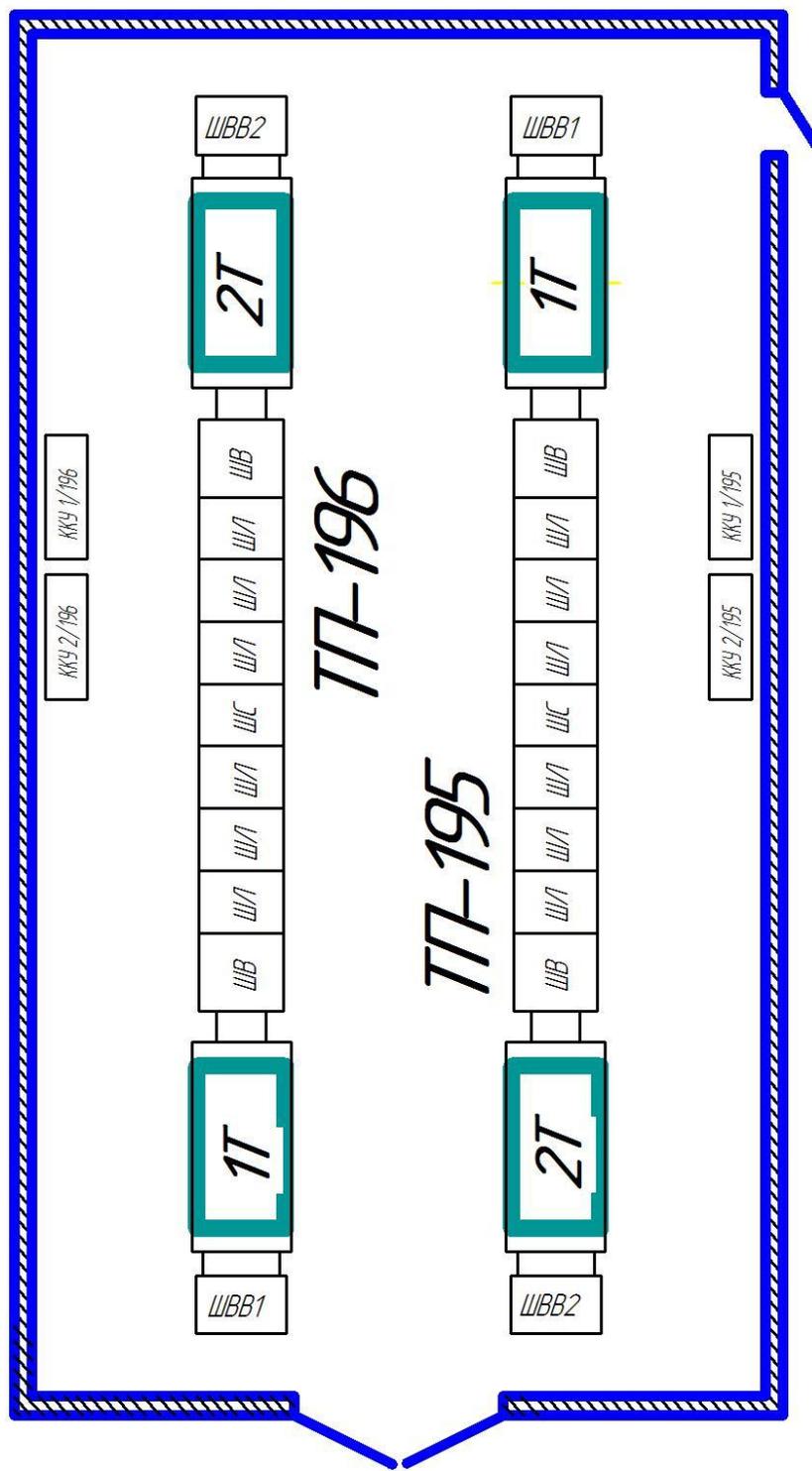


Рисунок 4 – План ТП 195 и ТП-196.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была выполнена модернизация системы электроснабжения корпуса 10 ПАО «АВТОВАЗ».

Было выполнено описание объекта модернизации с приведением объемов литейного производства блоков и головок цилиндров двигателя Н4 с перечислением размещенных участков производственного процесса и оборудования, участвующего в производственном процессе изготовления деталей двигателя.

Далее проводился расчет электрических нагрузок, результатами которого стали полученные значения:

$$P_p = 2637,5 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 1435,7 \text{ квар};$$

$$S_p = 3025,6 \text{ кВА}.$$

В следующем разделе проводился расчет системы освещения и выбор светильников. В результате расчета определено, что при большей стоимости установки светодиодных светильников, с учетом расхода на электроэнергию и срока службы светильников, экономия за 10 лет эксплуатации составляет 13 368 246,81 рублей в отличии от варианта с установкой люминесцентных светильников. Также произойдет высвобождение мощностей в объеме 1 597 826,66 кВт×час. Изначальные инвестиции, необходимые на реализацию системы освещения с использованием светодиодных светильников составят 4 096 438,00 тыс. руб. Эти затраты полностью окупятся за 4,5 года.

Таким образом, к установке принимается вариант с использованием светодиодных светильников АТ-ДСП-01-200-Д-220VАС-IP65.

Следующим пунктом выпускной квалификационной работы был выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховой комплектной трансформаторной подстанции. Сравнивались варианты с использованием сухих трансформаторов одного из ведущих российских производителей

электрооборудования АО «Группа «СВЭЛ» и словацкой компании BEZ TRANSFORMÁTORŮ. Из результатов технико-экономического расчета сделан вывод, что наиболее выгодным является применение двух сухих трансформаторов аTSE 832/10.

Далее проводился расчет токов короткого замыкания самого загруженного участка корпуса 10. Была составляется схема замещения, являющаяся вариантом расчетной схемы, все элементы в которой были заменены на сопротивления, а магнитные связи – электрическими.

Следующим пунктом работы стал выбор цеховой комплектной трансформаторной подстанции. Так как потребители корпуса 10 относятся к I и II категории надежности электроснабжения, к установке принят вариант комплектных двутрансформаторных подстанций однорядного исполнения, укомплектованных трансформаторами аTSE 832/10, производства компании BEZ TRANSFORMÁTORŮ, вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-20, производства компании ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК, автоматическими выключателями Masterpact серии NW, производства компания Schneider Electric.

## Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок в вопросах и ответах. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. М.: НЦ ЭНАС, 2009. 591 с.
2. РФ. Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия: утв. приказом №60 от 09.04.2007. М., 2007. 45 с.
3. РФ. Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р 55710- 2013. Освещение рабочих мест внутри зданий: утв. приказом №1364 от 08.11.2013. М., 2013. 20 с.
4. РФ. Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ 26522-85. Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения. М., 2006. 19 с.
5. Вахнина В. В., Самолина О. В., Черненко А. Н. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров: учебно-методическое пособие для студентов направления 13.03.02. Тольятти: ТГУ, 2018. 32 с.
6. Рожин А. Н., Бакшаева Н. С. Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров: ВятГУ, 2006. 258 с.
7. Вахнина В. В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. Тольятти: ТГУ, 2011. 61 с.
8. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебно-методическое пособие для практических заданий и курсового проектирования. Тольятти: ТГУ, 2007. 54 с.
9. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения цеха предприятия: метод. указания по курсовому проектированию. Тольятти: ТГУ, 2008. 80 с.

10. Вахнина В. В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования. Тольятти: ТГУ, 2011. 69 с.
11. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: метод. указания для курсового проектирования. М.: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2010. 214 с.
12. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: ФОРУМ, 2011. 136 с.
13. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2005. 261 с.
14. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2013. 320 с.
15. Веников В. А., Веников, Г.В. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики). М.: Либроком, 2014. 440 с.
16. Морозова Н. Ю. Электротехника и электроника. М.: Академия, 2013. 288 с.
17. Кабышев А. В. Электроснабжение объектов: учеб. пособие. Томск: ТПУ, 2009. 168 с.
18. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: учеб. пособие для проф. учеб. заведений. М.: Высшая школа, 2014. 462 с.
19. Рекус Г. Г. Электрооборудование производств: учеб. пособие для вузов М.: Высшая школа, 2005. 709 с.
20. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интернет Инжиниринг, 2006. 672 с.
21. Homfray H. K., Boyle D. British Electricity Supply Industry. Distribution Transformers // The Electricity Council. №9, pp. 209-243.

22. Harlow J. H. Electric Power Transformer Engineering: 3-d edition. USA: CRC Pres, 2012, 693 pp.
23. Sutherland J. W., Dornfeld D. A., Linke B. S. Energy efficient manufacturing: theory and applications. England: Wiley-Scrivener, 2018. 460 pp.
24. Yusheng Quan, Yu Zhou, Yuliang Wu, Zisen Ning, Jiacheng Xiong, Zhongyang Liu. Methodology of Detection for Power Cable Insulation Defects Based on AC Voltage Withstand Test // Unifying Electrical Engineering and Electronics Engineering. №1, pp. 3-10.
25. Thiede S. Energy Efficiency in Manufacturing Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2012. 198 pp.