

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

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование направления подготовки, специальности)  
Электроснабжение  
(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Электроснабжение производства автомобильных сидений»

Студент

Д.С. Сугак

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2020

## Аннотация

Бакалаврская работа выполнена на тему: «Электроснабжение производства автомобильных сидений».

В бакалаврской работе произведен расчет ожидаемых нагрузок по предприятию, рассчитаны параметры системы искусственного освещения. По суммарным нагрузкам были рассмотрены два варианта установки силовых трансформаторов на КТП предприятия и выбран оптимальный по затратам, которым явилась установка однострансформаторной КТП с трансформатором ТМГ-250/6/0,4. В основных точках схемы электроснабжения были определены значения токов короткого замыкания, которые использовались для проверки выбранного оборудования, коммутационно-защитных аппаратов и проводников.

Работа выполнена в объеме 50 страниц, включая 8 таблиц с результатами расчетов и выбора, 2 поясняющих рисунка и список используемых источников из 20 штук. Графическая часть работы состоит из шести стандартных листов формата А1.

## Содержание

Введение	4
1 Краткое описание объекта проектирования	5
2 Определение расчетных электрических нагрузок	6
3 Определение нагрузок системы электрического освещения	13
4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов для установки на КТП	16
5 Выбор схемы внутриводского электроснабжения предприятия	24
6 Определение значений номинальных токов отдельных электроприемников	25
7 Выбор проводников	27
8 Определение значений токов короткого замыкания	32
9 Выбор электрических аппаратов	39
10 Расчет параметров системы заземления	43
11 Обеспечение молниезащиты зданий	45
Заключение	47
Список используемых источников	48

## Введение

Одной из важнейших отраслей современной экономики является электроэнергетика, во многом определяющая вектор и темпы развития всех остальных отраслей. Современная электроэнергетическая система в целом и система электроснабжения конкретного предприятия в частности являются сложными системами, состоящими из большого количества оборудования, работающего в разных режимах работы, имеющих разные мощности и зачастую случайную связь между включениями отдельных элементов, но оказывающего влияние друг на друга и на всю систему в целом.

Основой проектирования надежной и экономичной системы электроснабжения является технико-экономическое сравнение различных вариантов реализации и выбор оптимального [1-3].

На этапе планирования системы электроснабжения производства так же можно заложить мощности на перспективу развития производства, согласно с общим планом развития предприятия. Ведь успешное предприятие – это стремление к развитию и совершенствованию, инновациям и экономии, экологическая безопасность и труда. Во всех этих аспектах задействована и электроэнергетическая отрасль.

Цель бакалаврской работы заключается в разработке системы электроснабжения производства автомобильных сидений, позволяющей обеспечить надежность электроснабжения потребителей с наилучшими экономическими показателями.

К задачам работы относится определение достоверных расчетных нагрузок от оборудования и системы освещения по предприятию, выбор силовых трансформаторов для размещения на КТП, выбор наиболее подходящей схемы внутривозовского электроснабжения, расчёт токов короткого замыкания, выбор и проверка проводников, коммутационно-защитных аппаратов и т.д.

## **1 Краткое описание объекта проектирования**

ООО «Муртур» является совместным российско-турецким предприятием, ориентированным на выпуск автомобильных сидений и располагается в Ульяновской области. Основными потребителями продукции предприятия являются Волжский автомобильный завод в Тольятти и завод «Рено» в Москве.

Компания Муртур приступила к коммерческому выпуску продукции в 2013 году. Компания является одним из мировых лидеров в сфере производства автомобильных кресел. Инвестиции в реализацию проекта по открытию производства составили свыше 450 млн. рублей, на сегодняшний день на производстве в Ульяновске трудится свыше 300 человек, при этом большую часть коллектива составляют женщины.

Первые годы ушли на отработку производственных процессов, и технологий. В настоящее время ведется работа по увеличению уровня локализации производства.

Предприятие получает питание от КТП №93, которое в свою очередь питается по ВЛ 6 кВ от ГПП 110/6 кВ. На КТП предприятия установлены трансформаторы с глухозаземленной нейтралью, что позволяет получить в низковольтных сетях два класса напряжения 380/220В для питания электроприемников. Большая часть электроприемников предприятия относится к третьей категории надежности. Для прокладки кабельных линий по территории предприятия используются фермы и кабельные конструкции.

## 2 Определение расчетных электрических нагрузок

Определение расчетных нагрузок производится для последующего выбора трансформаторов КТП и выбора сечений проводников [4, 5].

Определим номинальную мощность электроприемников, работающих в режиме ПКР:

$$p_n = p_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}, \text{ кВт} \quad (1)$$

Найдем номинальную мощность сварочных трансформаторов:

$$p_n = S_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} \cdot \cos\varphi, \text{ кВт} \quad (2)$$

Определим мощность группы электроприемников:

$$P_n = n \cdot p_n, \text{ кВт} \quad (3)$$

Найдем значение коэффициента  $m$ :

$$m = \frac{P_{\text{наиб}}}{P_{\text{наим}}} \quad (4)$$

Из сведений в справочной литературе определяем значения коэффициентов использования и мощности для каждой группы электроприемников.

Находим для каждой группы активные и реактивные мощности за наиболее загруженную смену:

$$P_{\text{см}} = K_u \cdot P_n \quad (5)$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (6)$$

Определяем средний коэффициент использования для итоговой строки по узлу питания:

$$K_u = \frac{\Sigma P_{cm}}{\Sigma P_H} \quad (7)$$

Определяем средний коэффициент  $tg\varphi$  для итоговой строки по узлу питания:

$$tg\varphi = \frac{\Sigma Q_{cm}}{\Sigma P_{cm}} \quad (8)$$

Находим эффективное число электроприемников:

$$n_э = 2 \cdot \Sigma p_H / p_{H \text{ наиб}} \quad (9)$$

В случае если эффективное число электроприемников превышает фактическое, то в дальнейших расчетах принимаем  $n_э = n$ .

Расчетный коэффициент определим по справочным таблицам в зависимости от  $K_u$  и  $n_э$ .

Найдем значения расчетной активной и реактивной нагрузки для итоговой строки по узлу питания:

$$P_p = K_p \cdot P_{cm} \text{ и } Q_p = K_p \cdot Q_{cm} \quad (10)$$

Определим полную расчетную нагрузку для итоговой строки по узлу питания:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (11)$$

Найдем расчетный ток для итоговой строки по узлу питания:

$$I_P = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (12)$$

Выполним расчет для крышного вентилятора низкого давления типа ВКР-3,55.

Значение номинальной мощности одного электроприемника составляет  $p_H = 0,18$  кВт.

Определим мощность группы электроприемников:

$$P_H = 0,18 \cdot 3 = 0,54 \text{ кВт}$$

Найдем значение коэффициента  $m$  для РП №1:

$$m = \frac{45}{0,03} = 1500$$

т.е.  $m > 3$

По справочной литературе определяем значения коэффициентов использования и мощности  $K_u = 0,65$  и  $\cos\varphi = 0,8$ .

Находим активную мощность за наиболее загруженную смену:

$$P_{CM} = 0,65 \cdot 0,54 = 0,351 \text{ кВт}$$

Находим реактивную мощность за наиболее загруженную смену:

$$Q_{CM} = 0,351 \cdot 0,75 = 0,263 \text{ квар}$$



Определяем средний коэффициент использования для итоговой строки по узлу питания:

$$K_u = \frac{65,64}{93,79} = 0,70$$

Определяем средний коэффициент  $tg\varphi$  для итоговой строки по узлу питания:

$$tg\varphi = \frac{59,52}{65,54} = 0,9$$

Находим эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{э}} = 2 \cdot \frac{93,7}{45} = 4,16$$

Расчетный коэффициент определим по справочным таблицам  $K_p=1,29$ .

Найдем значения расчетной активной и реактивной нагрузки для итоговой строки по узлу питания РП №1:

$$P_p = 1,29 \cdot 65,54 = 84,55 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 1,29 \cdot 59,52 = 76,78 \text{ квар}$$

Определим полную расчетную нагрузку для итоговой строки по узлу питания РП №1:

$$S_p = \sqrt{84,55^2 + 76,78^2} = 114,22 \text{ кВА}$$

Найдем расчетный ток для итоговой строки по узлу питания РП №1:

$$I_p = \frac{114,22}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 170,6 \text{ А}$$

Для прочих электроприемников расчеты нагрузок выполняем по изложенной методике, результаты расчетов заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты определения расчетных электрических нагрузок

Название ЭП	$n, ум$	$p_n, кВт$	$P_n, кВт$	$m$	$K_u$	$cos\phi$	$tg\phi$	$K_u * P_n$	$K_u * P_n * tg\phi$	$n * p_n^2$	$n_э$	$K_p$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17							
Силовой шкаф ШС1	2	45	90	<b>m&gt;3</b>	0,7	0,73	0,91	63	57,33	4050	<b>4,16</b>	<b>1,29</b>	<b>70,86</b>	<b>64,34</b>	<b>95,72</b>	<b>97,76</b>							
Шкаф питания автоматических систем	2	0,02	0,04		0,7	0,74	0,89	0,028	0,024	0,0008													
Шкаф питания ЭД вентагрегата	2	1,5	3		0,7	0,75	0,88	2,1	1,848	4,5													
Крышной вентилятор низкого давления ВКР-3,55	3	0,18	0,54		0,65	0,8	0,75	0,351	0,263	0,0972													
Электроустановка Standard12	1	0,023	0,023		0,6	0,82	0,73	0,0138	0,0100	0,0005													
Электроустановка ESW300MS	1	0,07	0,07		0,55	0,71	0,92	0,0385	0,035	0,0049													
Электроустановка ESW200MS	1	0,03	0,03		0,55	0,7	0,93	0,0165	0,015	0,0009													
<b>Итого по РП №1</b>	<b>12</b>		<b>93,703</b>		<b>m&gt;3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,91</b>	<b>65,5478</b>	<b>59,527</b>								<b>4,16</b>	<b>1,29</b>	<b>70,86</b>	<b>64,34</b>	<b>95,72</b>	<b>97,76</b>
Вентустановка	2	11	22		0,65	0,8	0,75	14,3	10,725	242													
Шкаф системы автоматического управления	2	0,02	0,04		0,55	0,8	0,75	0,022	0,0165	0,0008													
Электроустановка Standard12	6	0,023	0,138	0,6	0,82	0,73	0,0828	0,060	0,003														
Электроустановка Standard15	2	0,036	0,072	0,65	0,82	0,73	0,0468	0,034	0,0025														
Электроустановка Standard10	4	0,021	0,084	0,55	0,82	0,73	0,0462	0,033	0,0017														
Климатическая система	1	3,5	3,5	0,7	0,75	0,88	2,45	2,156	12,25														
Электроустановка ESW300MA	1	0,03	0,03	0,6	0,75	0,88	0,018	0,015	0,0009														

Продолжение таблицы 1

Название ЭП	$n, шт$	$P_n, кВт$	$P_n, кВт$	$m$	$K_u$	$\cos\varphi$	$tg\phi$	$K_u * P_n$	$K_u * P_n * tg\phi$	$n * P_n^2$	$n\epsilon$	$K_p$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Электроустановка RKS125D	4	0,1	0,4	<b>m&gt;3</b>	0,66	0,78	0,77	0,264	0,203	0,04	<b>4,88</b>	<b>1,4</b>	<b>24,8</b>	<b>19,1</b>	<b>31,31</b>	<b>47,58</b>
Крышной вентилятор низкого давления ВКР-4	1	0,55	0,55		0,65	0,8	0,75	0,357	0,268	0,3025						
Электроустановка ESW250ML	1	0,04	0,04		0,6	0,75	0,88	0,024	0,021	0,0016						
<b>Итого по РП №2</b>	<b>24</b>		<b>26,854</b>		<b>0,65</b>			<b>17,61</b>	<b>13,53</b>							
Электроустановка ESW250ML	1	0,04	0,04	<b>m&gt;3</b>	0,6	0,75	0,88	0,024	0,021	0,0016	<b>4,88</b>	<b>1,4</b>	<b>24,8</b>	<b>19,1</b>	<b>31,31</b>	<b>47,58</b>
Крышной вентилятор низкого давления ВКР-4	3	0,55	1,65		0,65	0,8	0,75	1,0725	0,80	0,9075						
Крышной вентилятор низкого давления ТКК400D	1	0,186	0,186		0,65	0,8	0,75	0,1209	0,090	0,034						
Электроустановка ESW200ME	2	0,03	0,06		0,6	0,75	0,88	0,036	0,031	0,0018						
Электроустановка Standard12	1	0,023	0,023		0,6	0,82	0,73	0,0138	0,01	0,0005						
Электроустановка Standard10	2	0,021	0,042		0,55	0,82	0,73	0,0231	0,0168	0,0009						
Силовой шкаф ШС2	2	45	90		0,7	0,73	0,91	63	57,33	4050						

Продолжение таблицы 1

Название ЭП	$n, шт$	$p_n, кВт$	$P_n, кВт$	$m$	$K_u$	$\cos\phi$	$tg\phi$	$K_u * P_n$	$K_u * P_n * tg\phi$	$n * p_n^2$	$n\epsilon$	$K_p$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Шкаф питания автоматических систем	2	0,02	0,04	<b>m&gt;3</b>	0,7	0,74	0,89	0,028	0,024	0,0008						
Шкаф питания ЭД вентагрегата	2	1,5	3		0,7	0,75	0,88	2,1	1,848	4,5						
<b>Итого по РП №3</b>	<b>16</b>		<b>95,041</b>		<b>0,69</b>				<b>66,418</b>	<b>60,17</b>		<b>4,2</b>	<b>1,3</b>	<b>85,7</b>	<b>77,6</b>	<b>115,61</b>
СС	3	3	9	<b>m&gt;3</b>	0,75	0,8	0,75	6,75	5,0625	27						
<b>Итого по РП №4</b>	<b>3</b>		<b>9</b>		<b>0,75</b>			<b>6,75</b>	<b>5,0625</b>		<b>6</b>	<b>1,23</b>	<b>8,30</b>	<b>6,226</b>	<b>10,37</b>	<b>15,76</b>
СС	4	3	12		0,75	0,8	0,75	9	6,75	36						
<b>Итого по РП №5</b>	<b>4</b>		<b>12</b>		<b>0,75</b>			<b>9</b>	<b>6,75</b>		<b>8</b>	<b>1,2</b>	<b>10,8</b>	<b>8,1</b>	<b>13,5</b>	<b>20,51</b>
Итоговая нагрузка без учета системы освещения													214,2	187,8	284,9	432,8
Нагрузка от системы электрического освещения						0,92	0,43						72,2	31		
Итоговая нагрузка с учетом системы освещения													286,4	218,8	360,4	542

### 3 Определение нагрузок системы электрического освещения

Групповые сети в системе электрического освещения выполняются в трехпроводном и пятипроводном исполнении. Для сетей освещения используется кабель типа ВВГнг-LS внутри производственных помещений и кабель типа ВВГнг-FRLS в помещениях административно-бытового назначения. Внутри производственных помещений кабели прокладываются на тресе, в коробах и по конструктивным элементам помещений. В помещениях административно-бытового назначения используются кабель-каналы.

Корпус имеет геометрические размеры 171 м в длину и 30 м в ширину, при высоте производственной площадки 6,5 м. Высота офисных и вспомогательных помещений составляет 2,5 м.

Расчет необходимого числа светильников выполним в специализированном программном обеспечении DIALux [6, 7]. Для примера произведем расчет необходимого количества светильников на участке бракованной продукции, параметры помещения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры помещения для расчета необходимого количества светильников на участке бракованной продукции

№	Помещение	N этажей	А, м	В, м	Н, м	Кзап., о.е.	Котр, %		
							потолка	стен	пола
1	Участок бракованной продукции	1	6	4,875	2,5	1,5	70	30	20

Число светильников, необходимое для поддержания заданной освещенности в помещении, определим по формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}}, \text{шт.} \quad (13)$$

Для нахождения значения коэффициента использования предварительно определим значение индекса помещения [8, 9]:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (A + B)} \quad (14)$$

$$i = \frac{29,25}{(2,5 - 0,8 - 0) \cdot (6 + 4,875)} = 1,5821 \text{ о.е.}$$

Для освещения помещения выбираем одноламповые светильники ЛСП 44-1x36-010 с мощностью одной лампы 36 Вт.

По справочной таблице для принятых коэффициентов отражения и найденного значения индекса помещения определим значение коэффициента использования, которое составит 0,3.

Определим необходимое число светильников для участка бракованной продукции.

$$N = \frac{150 \cdot 29,25 \cdot 1,5}{0,3 \cdot 1 \cdot 2850} = 7,8$$

Таким образом, в помещении размещаем 8 светильников.

Определим мощность системы освещения в помещении:

$$\Sigma P = P \cdot N \quad (15)$$

$$\Sigma P = 36 \cdot 8 = 288 \text{Вт}$$

Для остальных помещений предприятия расчеты производим аналогичным образом, а результаты расчетов заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов необходимого количества светильников

№	Кол-во све- тиль- ников	Марка светильника	Ф, лм	Р светильни- ка, Вт
1	88	ASTZ-FRP17-250-032 Comp.	8106	250.0
2	170	ASTZ-LP46-2x36-013 Lux.	4143	72.0
3	50	ASTZ-LS44-2x36-012	4470	72.0
4	224	ASTZ-LS44-2x58-011	6617	110.0
5	22	ASTZ-NP03-100-001	867	100.0
6	15	ASTZ-NS17-500-032	6189	500.0
Суммарные значения по всем помещениям предприятия			3235310	72180.0

#### 4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов для установки на КТП

В качестве первого варианта рассмотрим вариант с установкой двух трансформаторов на КТП, при этом коэффициент загрузки примем равным 0,8.

Определяем суммарную расчетную нагрузку по предприятию:

$$\Sigma P_p = P_H + P_{осв} + P_{доп} \quad (16)$$
$$\Sigma P_p = 214,17 + 72,18 + 30 = 316,35 ; \text{кВт}$$

Номинальная мощность одного трансформатора должна быть больше определенной по формуле [10, 11]:

$$S_H \geq \frac{\Sigma P_p}{K_3 \cdot N_T} \quad (17)$$
$$S_H \geq \frac{316,35}{0,8 \cdot 2} = 197,71 ; \text{кВА}$$

Исходя из полученного значения  $S_H$ , принимаем к установке в варианте двухтрансформаторной КТП трансформаторы ТМГ-250/6/0,4 и в варианте с установкой однотрансформаторной КТП ТМГ-400/6/0,4. При этом в варианте с установкой одного трансформатора понадобится организация резервной перемычки от соседней КТП.

В таблицу 4 сведем все необходимые для расчетов справочные данные по выбранному трансформатору.

Таблица 4 – Необходимые для расчетов справочные данные по выбранному трансформатору

$S_H$ кВА	$P_{x.x.}$ кВт	$P_{к.з.}$ кВт	$U_{к.з.}$ %	$I_{x.x.}$ %
250	0,51	3,50	4,5	0,45



Активные потери в трансформаторах КТП:

$$\Delta P = N_T \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}) \quad (18)$$

$$\Delta P = 2 \cdot (0,51 + 0,8^2 \cdot 3,50) = 4,75 \text{ кВт.}$$

Реактивные потери в трансформаторах КТП:

$$\Delta Q = N_T (i_{xx} + K_3^2 \cdot u_{кз}) \cdot \frac{S_{HT}}{100} \quad (19)$$

$$\Delta Q = 2 \cdot (0,45 + 0,8^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{250}{100} = 16,65 \text{ квар.}$$

Активная и реактивная нагрузка трансформаторов с учетом потерь в них:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P \quad (20)$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q \quad (21)$$

$$P_p = 316,35 + 4,75 = 321,1 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 218,8 + 16,65 = 235,45 \text{ квар}$$

Реактивная нагрузка СТ в период минимума нагрузки в ЭЭС:

$$Q_{\min} = 0,5 \cdot Q_p \quad (22)$$

$$Q_{\min} = 0,5 \cdot 235,45 = 117,72 \text{ квар}$$

Экономически обоснованное значение РМ во время максимума нагрузки:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7Q_{\text{сд}} \quad (23)$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = \alpha \cdot P_p \quad (24)$$

При отсутствии на производстве синхронных двигателей:

$$Q'_{\varepsilon 1} = 235,45 \text{ квар}$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = 0,28 \cdot 321,1 = 89,9 \text{ квар}$$

Так как уровень напряжения в сети во время максимума нагрузок понижен, то принимаем минимальное из двух найденных значений 89,9 квар.

Экономически обоснованное значение РМ во время минимума нагрузки:

$$Q'_{\varepsilon 2} = Q_{\min} - Q_K \quad (25)$$

$$Q''_{\varepsilon 2} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\varepsilon 1}) \quad (26)$$

$$Q'_{\varepsilon 2} = 117,72 - 0 = 117,72 \text{ квар}$$

$$Q''_{\varepsilon 2} = 117,72 - (235,45 - 89,9) = -27,83 \text{ квар}$$

Так как уровень напряжения в сети во время минимума нагрузок повышен, то принимаем максимальное из двух найденных значений 117,7 квар.

Определим суммарную мощность КУ, необходимых для установки:

$$Q_{\text{ку.мах}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1} \quad (27)$$

$$Q_{\text{ку.мин}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2} \quad (28)$$

$$Q_{\text{ку.мах}} = 1,1 \cdot 235,45 - 89,9 = 169,09 ; \text{квар}$$

$$Q_{\text{ку.мин}} = 117,72 - 117,72 = 0$$

Величина РМ, которую необходимо передать в сеть 0,4 кВт:

$$Q_{эс} = Q_{э1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}) \quad (29)$$

$$Q_{эс} = 89,9 - (235,28 - 218,8) = 73,42 ; \text{квар}$$

Величина РМ, которую возможно передать в сеть 0,4 кВ, через силовые трансформаторы:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{HT})^2 - P_{p\Sigma}^2} \quad (30)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 250)^2 - 316,35^2} = 244,79$$

Мощность КУ на стороне 0,4 кВ:

$$Q_{ку.н} = Q_{p\Sigma} - Q_T \quad (31)$$

$$Q_{ку.н} = 218,8 - 244,79 = 25,99$$

При полученном значении 25 квар установка компенсирующих устройств на стороне 0,4 кВ нецелесообразна.

Мощность КУ для размещения на стороне 6 кВ:

$$Q_{ку.в} = Q_{ку\max} - Q_{ку.н} \quad (32)$$

$$Q_{ку.в} = 169,09 - 56,96 = 112,13 \text{ квар}$$

При полученном значении 112 квар установка компенсирующих устройств на стороне 6 кВ нецелесообразна.

Силовые трансформаторы размещаем в комплектной трансформаторной подстанции производства завода «Электрощит» КТП-СЭЩ-У 6/0,4.

Определим приведенные затраты на КТП для данного варианта:

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot (K_{\text{ТП}} + K_{\text{КУ}}) + C \cdot \Delta P \quad (33)$$

где

$$C \cdot \Delta P = C_0 \cdot \Delta P_{\text{XX}} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \quad (34)$$

$$C = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau \quad (35)$$

$$C_0 = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p \quad (36)$$

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_p \quad (37)$$

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2856 \text{ ч.}$$

$$C = \left( \frac{7550}{4500} + 1,13 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 2856 = 4823,14 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_0 = \left( \frac{7550}{4500} + 1,13 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 14793,7 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$C \cdot \Delta P = 14793,7 \cdot 0,51 + 4823,14 \cdot 0,8^2 \cdot 3,5 = 18,348 \text{ тыс. руб}$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0,15 \cdot (2 \cdot 186,322 + 0) + 18,348 = 74,244 \text{ тыс. руб}$$

В качестве второго варианта рассмотрим размещение на КТП одного трансформатора мощностью 400 кВА. Все расчёты по второму варианту производим по изложенной выше методике.

Активные потери в трансформаторе КТП:

$$\Delta P = 1 \cdot (0,51 + 0,8^2 \cdot 3,5) = 4,066 \text{ кВт}$$

Реактивные потери в трансформаторах КТП:

$$\Delta Q = 1 \cdot (0,45 + 0,8^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{250}{100} = 8,075 \text{ квар}$$

Активная и реактивная нагрузка трансформаторов с учетом потерь в них:

$$P_p = 316,35 + 4,066 = 320,42 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 218,8 + 8,075 = 226,87 \text{ квар}$$

Реактивная нагрузка СТ в период минимума нагрузки в ЭЭС:

$$Q_{\min} = 0,5 \cdot 226,87 = 113,44 \text{ квар}$$

Экономически обоснованное значение РМ во время максимума нагрузки:

$$Q'_{\text{э1}} = 225,87 \text{ квар}$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 320,42 = 89,71 \text{ квар}$$

Так как уровень напряжения в сети во время максимума нагрузок понижен, то принимаем минимальное из двух найденных значений 89,71 квар.

Экономически обоснованное значение РМ во время минимума нагрузки:

$$Q'_{\text{э2}} = 113,44 - 0 = 113,44 \text{ квар}$$

$$Q''_{\text{э2}} = 113,44 - (230,42 - 89,71) = -27,27 \text{ квар}$$

Так как уровень напряжения в сети во время минимума нагрузок повышен, то принимаем максимальное из двух найденных значений 113 квар.

Определим суммарную мощность КУ, необходимых для установки:

$$Q_{\text{ку.мах}} = 1,1 \cdot 230,42 - 89,71 = 163,75 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{ку.мин}} = 113,44 - 113,44 = 0$$

Величина РМ, которую необходимо передать в сеть 0,4 кВ:

$$Q_{\text{эс}} = 89,71 - (226,87 - 218,8) = 81,64 ; \text{квар}$$

Величина РМ, которую возможно передать в сеть 0,4 кВ, через силовые трансформаторы:

$$Q_{\text{T}} = \sqrt{(1 \cdot 0,8 \cdot 400)^2 - 320,42^2} = 250,33 \text{ квар}$$

Мощность КУ на стороне 0,4 кВ:

$$Q_{\text{ку.н}} = 218,8 - 250,33 = 31,53$$

При полученном значении 32 квар установка компенсирующих устройств на стороне 0,4 кВ нецелесообразна.

Мощность КУ для размещения на стороне 6 кВ:

$$Q_{\text{ку.в}} = Q_{\text{ку.мах}} - Q_{\text{ку.н}}$$
$$Q_{\text{ку.в}} = 163,75 - 31,53 = 132,22 ; \text{квар}$$

При полученном значении 132 квар установка компенсирующих устройств на стороне 6 кВ нецелесообразна.

Силовые трансформаторы размещаем в комплектной трансформаторной подстанции производства завода «Электроцит» КТП-СЭЩ-К-400/6/0,4.

Определим приведенные затраты на КТП для данного варианта:

$$C \cdot \Delta P = 14793,7 \cdot 0,51 + 4823,14 \cdot 0,8^2 \cdot 3,5 = 18,348 \text{ тыс. руб}$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0,15 \cdot (1 \cdot 186,322) + 18,348 = 46,3 \text{ тыс. руб}$$

По минимальной величине приведенных затрат выбираем вариант комплектной трансформаторной подстанции производства завода «Электроцит» КТП-СЭЩ-К-400/6/0,4 с установкой одного трансформатора ТМГ-400/6/0,4. При этом в варианте с установкой одного трансформатора понадобится организация резервной перемычки от соседней КТП.

КТП-СЭЩ-К-400/6/0,4 с выключателем нагрузки на стороне ВН предназначена для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока промышленной частоты 50 Гц и применяется для энергоснабжения сельскохозяйственных объектов, нефтегазовых месторождений, отдельных населенных пунктов и промышленных объектов, в том числе автомобильного производства.

## **5 Выбор схемы внутриводского электроснабжения предприятия**

Одной из основных задач при проектировании внутриводских электрических сетей является снижение всех видов потерь, что достигается размещением трансформаторной подстанции максимально близко к центру электрических нагрузок.

Центром питания для электроприемников предприятия является собственная трансформаторная подстанция.

Для внутриводского распределения электрической энергии выбираем магистральную схему электроснабжения. Магистральные схемы, выполненные из современных шинопроводов обладают высокой надежностью, удобством обслуживания и эксплуатации, гибкостью при необходимости изменения технологического процесса. Электроприемники получают питание от распределительных пунктов, которые в свою очередь подключаются к магистральному шинопроводу, кроме того, отдельные мощные электроприемники могут быть подключены напрямую к магистральному шинопроводу. Шинопроводы устанавливаются на стойках, подвешиваются на тросах или крепятся к конструктивным элементам здания. В данном проекте магистральная схема выполняется без использования шинопроводов, распределительные пункты подключаются друг за другом цепочкой с помощью кабельных линий, что позволяет значительно сократить затраты на проводники [12, 13].



## 6 Определение значений номинальных токов отдельных электроприемников

Для отдельных промышленных электроприемников одним из важнейших параметров является величина номинального тока, от которой зависит выбор проводников и защитных аппаратов.

Определим номинальный ток отдельных ЭП [14]:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot 0,380 \cdot \cos\varphi} \quad (38)$$

Определим значение номинального тока для вентиляционной установки:

$$I_H = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,380 \cdot 0,8} = 23 \text{ A}$$

Результаты расчетов для остальных ЭП сведем в таблицу 5.

Таблица 5 - Результаты расчетов  $I_H$  для остальных электроприемников

Название	$I_H$ А	Название	$I_H$ А
Силовой шкаф ШС1	85	Климатическая система	16
Шкаф питания автоматических систем	0,12	Электроустановка RKS125D	1
Шкаф питания ЭД вентагрегата	3,6	Крышной вентилятор низкого давления ВКР-4	1,2

Продолжение таблицы 5

Название	I <sub>н</sub> А	Название	I <sub>н</sub> А
Крышной вентилятор низкого давления ВКР-3,55	0,5	Электроустановка ESW250ML	0,5
Электроприемник Standart 12	0,2	Крышной вентилятор низкого давления ТКК400D	0,4
Электроустановка ESW300MA	0,7	СС	6
Электроустановка ESW250ML	0,3	Электроустановка Standard15	0,4
Вентустановка	23	Электроустановка Standard10	0,2

## 7 Выбор проводников

Согласно требований Правил устройства электроустановок изложенных в разделе 3.1 выбор проводников к распределительным пунктам производится по экономической плотности тока, т.к. число часов использования максимума нагрузки превышает 4000 ч.

Условие расчета сечения кабеля к распределительному пункту [15, 16]:

$$s_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{э}}} \quad (39)$$

При выборе кабеля к одиночному ЭП воспользуемся формулой:

$$I_{\text{р}} \leq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{доп}} \quad (40)$$

Выберем кабель от КТП до РП №1.

При  $T_{\text{М}}=4500$  ч, экономическая плотность тока составит  $1,4$  А/мм<sup>2</sup>.

Согласно формуле (39):

$$s_{\text{э}} = \frac{320,9}{1,4} = 229,2 \text{ мм}^2$$

Принимаем кабель АВВГнг-LS 4x240 с длительно допустимым током  $I_{\text{доп}} = 369$  А.

Определим значение длительно допустимого тока с учетом поправочных коэффициентов:

$$I_{\text{длдоп}} = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{\text{доп}}, \quad (41)$$

При расстоянии между кабелями 100 мм поправочный коэффициент  $K_1=1$ ,  $K_2=1$ .

Тогда скорректированное значение длительно допустимого тока равно:

$$I_{\text{длдоп}} = 1 \cdot 1 \cdot 369 = 369 \text{ А}$$

Выберем кабель к крышному вентилятору низкого давления ВКР-3,55.

Определим значение поправочного коэффициента:

$$K_n = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (42)$$

$$K_n = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

Условие проверки:

$$0,5 \leq 1 \cdot 22$$

Принимаем к установке кабель типа АВВГнг-LS 4х2,5.

Аналогичным образом выполняем расчет сечений остальных кабельных линий. Кабель принимаем АВВГнг-LS, если в таблице не указано иное, результаты сводим в таблицу 6.

Таблица 6 - Расчет сечений кабельных линий

Название ЭП	Сечение кабеля	Название ЭП	Сечение кабеля
Силовой шкаф ШС1	5х35	Климатическая система	4х2,5
Шкаф питания автоматических систем	4х2,5	Электроустановка RKS125D	4х2,5
Шкаф питания ЭД вентагрегата	4х2,5	Крышной вентилятор низкого давления ВКР-4	4х2,5

Продолжение таблицы 6

Название ЭП	Сечение кабеля	Название ЭП	Сечение кабеля
Крышной вентилятор низкого давления ВКР-3,55	4x2,5	Электроустановка ESW250ML	4x2,5
Электроприемник Standart 12	4x2,5	Крышной вентилятор низкого давления ТКК400D	4x2,5
Электроустановка ESW300MA	4x2,5	СС	АПВ 4(1x2,5)
Электроустановка ESW250ML	4x2,5	Электроустановка Standard15	4x2,5
Вентустановка	4x4	Электроустановка Standard10	4x2,5
от РП №1 до РП №2	4x120	от РП №2 до РП №3	4x95
от КТП до РП №4	4x25	от КТП до РП №5	4x16
Шкаф системы автоматического управления	4x4	от КТП до РП №1	4x240
от КТП до ЩО №1	5x50	от ЩО №1 до ЩО №2	5x50
от ЩО №2 до ЩОА №2	5x16	от ЩО №2 до ЩО №3	5x25
от КТП до ЩО №4	5x50	от ЩО №4 до ЩОА №1	4x16
от ЩО №4 до ЩО №5	5x50	от РП №1 до РП №2	4x120
от РП №2 до РП №3	4x95	от КТП до РП №4	4x25

Продолжение таблицы 6

Название ЭП	Сечение кабеля	Название ЭП	Сечение кабеля
от РП №4 до РП №5	4x16	от ЩОА №1 до пом. №38	5x6 3x6
от ЩО №1 до пом. №36	5x6	от ЩО №1 д пом. №37	ВВГнг-LS 3x1,5
от ЩО №2 до пом. №35	ВВГнг-LS 3x2,5	от ЩО №2 до пом. №34, №33	ВВГнг-LS 3x2,5
от ЩО №2 до пом. №8	3x4	от ЩО №2 до пом. №13, №14	ВВГнг-LS 3x1,5
от ЩО №3 до пом. №24, №26, №28, №29	ВВГнг-LS 3x1,5	от ЩО №3 до пом. №17, №19, №20	ВВГнг-LS 3x1,5
от ЩО №3 до пом. №18	ВВГнг-LS 3x1,5	от ЩО №4 до пом. №15, №16	ВВГнг-LS 3x1,5
от ЩО №4 до пом. №12	3x6	от ЩО №4 до пом. №8	3x4
от ЩО №4 до пом. №9, №10, №11	3x4	от ЩО №5 до пом. №8	3x4
от ЩО №5 до пом. №4, №5, №6, №7	3x4 3x2,5	от ЩО №5 до пом. №1, №2, №3	5x6

Выполним расчёт потерь напряжения до самого удаленного от КТП электроприемника, которым является электроустановка ESW250MY:

$$U_{\Delta} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L}{U_{л}} \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 + \sin\varphi) \cdot 100 \quad (43)$$

Потери напряжения определяем путем суммирования потерь на всех участках сети:

Потери напряжения от КТП до РП №1:

$$U_{\Delta 1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 320,9 \cdot 0,03}{380} \cdot (0,13 \cdot 0,8 + 0,077 \cdot 0,59) \cdot 100 = 0,63\%$$

Потери напряжения от РП №1 до РП №2:

$$U_{\Delta 2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 170 \cdot 0,065}{380} \cdot (0,25 \cdot 0,8 + 0,077 \cdot 0,59) \cdot 100 = 1,2\%$$

Потери напряжения от РП №2 до РП №3:

$$U_{\Delta 3} = \frac{\sqrt{3} \cdot 130 \cdot 0,080}{380} \cdot (0,33 \cdot 0,8 + 0,077 \cdot 0,59) \cdot 100 = 1,4\%$$

Потери напряжения от РП №3 до электроприемника:

$$U_{\Delta 4} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 0,050}{380} \cdot (12,1 \cdot 0,75 + 0,116 \cdot 0,65) \cdot 100 = 0,1\%$$

Напряжение на зажимах электроприемника будет равно:

$$\begin{aligned} \Sigma U_{\Delta} &= 105 - U_{\Delta 1} - U_{\Delta 2} - U_{\Delta 3} - U_{\Delta 4} \\ \Sigma U_{\Delta} &= 100 - 0,63 - 1,2 - 1,4 - 0,1 = 96,67 \end{aligned} \quad (44)$$

что не превышает максимально допустимого отклонения в 10%.

## 8 Определение значений токов короткого замыкания

Схема электроснабжения для расчета токов КЗ представлена на рисунке 1, ее схема замещения – на рисунке 2.

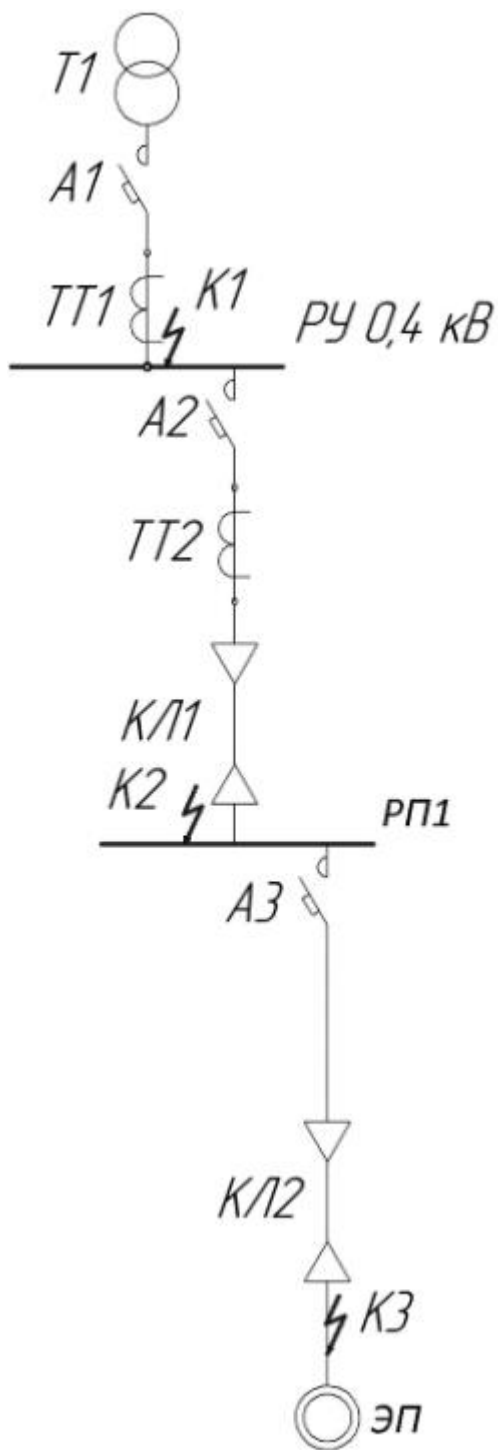


Рисунок 1 – Электрическая схема для расчета токов КЗ



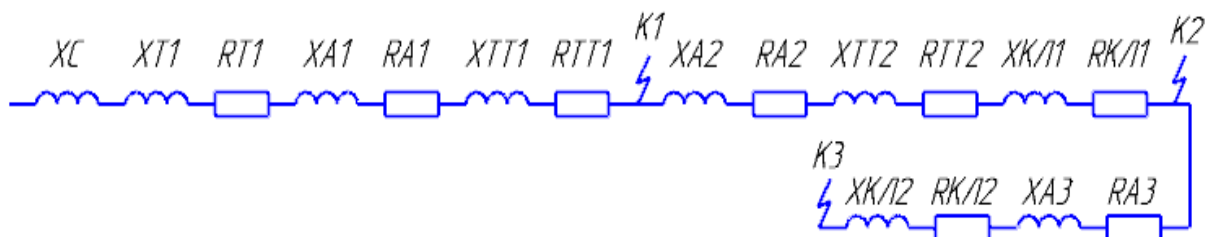


Рисунок 2 – Схема замещения для расчета токов КЗ

«Индуктивное сопротивление системы» [17, 18]:

$$X_c = \frac{U_{H.HH}^2}{S_c} \cdot 10^3 \quad (45)$$

при  $S_c = 100$  МВА

$$X_c = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ МОм}$$

Активное и реактивное сопротивления СТ типа ТМГ-400/6/0,4:

«Активное сопротивление СТ» [17]:

$$r_{T1} = \frac{P_{K.3.} \cdot U_{H.HH}^2}{S_H^2} \cdot 10^6 \quad (46)$$

$$r_{T1} = \frac{3,5 \cdot 0,4^2}{250^2} \cdot 10^6 = 8,96 \text{ МОм}$$

«Реактивное сопротивление СТ» [17]:

$$x_{T1} = \sqrt{u_{K.3.}^2 - \left(\frac{100P_{K.3.}}{S_H}\right)^2} \cdot \frac{U_{H.HH}^2}{S_H} \cdot 10^4 \quad (47)$$

$$x_{T1} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 3,5}{250}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{250} \cdot 10^4 = 27,45; \text{МОм}$$

«Активное и индуктивное сопротивление кабелей» [17]:

$$r_K = r_{уд} \cdot l \quad (48)$$

$$r_{КЛ1} = 0,13 \cdot 30 = 3,9 \text{ мОм}$$

$$r_{КЛ2} = 0,84 \cdot 40 = 33,6 \text{ мОм}$$

$$x_K = x_{уд} \cdot l \quad (49)$$

$$x_{КЛ1} = 0,077 \cdot 30 = 2,31 \text{ мОм}$$

$$x_{КЛ2} = 0,082 \cdot 40 = 2,44 \text{ мОм}$$

Сопротивления АВ определяем по каталогам производителя:

- АВ в распределительном устройстве:  $r_{A1} = 0,41 \text{ мОм}$ ,  $x_{A1} = 0,13 \text{ мОм}$ ;
- АВ к РП №1:  $r_{A2} = 0,65 \text{ мОм}$ ,  $x_{A2} = 0,17 \text{ мОм}$ ;
- АВ к электроприемнику:  $r_{A3} = 2,15 \text{ мОм}$ ,  $x_{A2} = 1,2 \text{ мОм}$ .

Автоматические выключатели выбираются предварительно по величине расчетного тока:

- АВ в распределительном устройстве: ВА53-39 630-545;
- АВ к РП №1: ВА51-37 400-320;
- АВ к электроприемнику: ВА51-31 100-100.

Сопротивления трансформаторов тока определяем по каталогам производителя:

- трансформатор тока в КТП:  $r_{ТА1} = 0,05 \text{ мОм}$ ,  $x_{ТА1} = 0,07 \text{ мОм}$
- трансформатор тока к РП №1:  $r_{ТА2} = 0,11 \text{ мОм}$ ,  $x_{ТА2} = 0,17 \text{ мОм}$

«Определяем действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ» [17]:

$$I_{п0} = \frac{U_{ср.НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}} \quad (50)$$

Суммарное активное и реактивное сопротивление до точки КЗ:

$$R_{1\Sigma} = r_T + r_{TA} + r_A + r_K + r_D \quad (51)$$

$$X_{1\Sigma} = x_c + x_T + x_{TA} + x_A + x_K \quad (52)$$

«Определяем ударный трехфазный ток» [17]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot K_{уд}, \quad (53)$$

«Ток дугового КЗ» [17]:

$$I_{п0min} = I_{п0max} \cdot K_c, \quad (54)$$

Выполним расчет токов КЗ в точке К1.

Суммарное активное и реактивное сопротивление до точки КЗ1:

$$R_{K1\Sigma} = 8,96 + 0,05 + 0,41 + 15 = 24,42 \text{ мОм}$$

$$X_{K1\Sigma} = 1,6 + 27,45 + 0,13 + 0,07 = 29,25 \text{ мОм}$$

«Определяем действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ» [17]:

$$I_{п0} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{24,42^2 + 29,25^2}} = 6,06 \text{ кА}$$

Находим значение ударного коэффициента из отношения X/R:

$$\frac{X_{K1\Sigma}}{R_{K1\Sigma}} = \frac{29,25}{24,42} = 1,19$$

$$K_{уд} = 1,09$$

«Определяем ударный трехфазный ток» [17]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 6,06 \cdot 1,09 = 9,34 \text{ кА}$$

По графику определяем коэффициенты  $K_c$ : при  $Z_{\Sigma} = 38,10$  величина  $K_{c1}$  составит 0,77, а величина  $K_{c2}$  составит 0,68.

«Ток дугового КЗ» [17]:

$$I_{п0min} = 6,06 \cdot 0,77 = 4,66 \text{ кА}; t \approx 0.$$

$$I_{п0min} = 6,06 \cdot 0,68 = 4,12 \text{ кА}; t_{кз} > 0,06$$

Выполним расчет токов КЗ в точке К2.

Суммарное активное и реактивное сопротивление до точки К2:

$$R_{K2\Sigma} = 8,96 + 0,05 + 0,41 + 15 + 0,65 + 0,11 + 3,9 = 29,08 \text{ мОм}$$

$$X_{K2\Sigma} = 1,6 + 27,45 + 0,13 + 0,07 + 0,17 + 0,17 + 2,31 = 31,89 \text{ мОм}$$

«Определяем действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ» [17]:

$$I_{п0} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{29,08^2 + 31,89^2}} = 5,36 \text{ кА}$$

Находим значение ударного коэффициента из отношения X/R:

$$\frac{X_{K1\Sigma}}{R_{K1\Sigma}} = \frac{31,89}{29,08} = 1,09$$

$$K_{уд} = 1,07$$

«Определяем ударный трехфазный ток» [17]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 5,36 \cdot 1,07 = 8,11 \text{ кА}$$

По графику определяем коэффициенты  $K_c$  при  $Z_{\Sigma} = 42,16$ , величина  $K_{c1}$  составит 0,78, а величина  $K_{c2}$  составит 0,7.

«Ток дугового КЗ» [17]:

$$I_{п0min} = 5,36 \cdot 0,78 = 4,18 \text{ кА}; t \approx 0.$$

$$I_{п0min} = 5,36 \cdot 0,7 = 3,75 \text{ кА}; t_{КЗ} > 0,06$$

Выполним расчет токов КЗ в точке КЗ.

Суммарное активное и реактивное сопротивление до точки КЗ3:

$$\begin{aligned} R_{КЗ\Sigma} &= 8,96 + 0,05 + 0,41 + 15 + 0,65 + 0,11 + 3,9 + 2,15 + 33,6 \\ &= 64,83 \text{ мОм} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{КЗ\Sigma} &= 1,6 + 27,45 + 0,13 + 0,07 + 0,17 + 0,17 + 2,31 + 1,2 + 2,44 \\ &= 35,53 \text{ мОм} \end{aligned}$$

«Определяем действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ» [17]:

$$I_{п0} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{64,83^2 + 35,53^2}} = 3,13 \text{ кА}$$

Находим значение ударного коэффициента из отношения X/R:

$$\frac{X_{К1\Sigma}}{R_{К1\Sigma}} = \frac{35,53}{64,83} = 0,54$$

$$K_{уд} = 1,01$$

«Определяем ударный трехфазный ток» [17]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 3,13 \cdot 1,01 = 4,47 \text{ кА}$$

По графику определяем коэффициенты  $K_c$  при  $Z_{\Sigma} = 73,92$ , величина  $K_{c1}$  составит 0,83, а величина  $K_{c2}$  составит 0,74.

«Ток дугового КЗ» [17]:

$$I_{п0min} = 3,13 \cdot 0,83 = 2,6 \text{ кА}; t \approx 0.$$

$$I_{п0min} = 3,13 \cdot 0,7 = 2,19 \text{ кА}; t_{кз} > 0,06.$$

## 9 Выбор электрических аппаратов

Защита выполняется специальными аппаратами, путем отключения цепей при возникновении в них ненормальных режимов работы. Время отключения цепей с ненормальным режимом работы должно быть наименьшим, с условием обеспечения требований селективности защиты.

Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка при КЗ в конце защищаемой линии: одно-, двух- и трехфазных - в сетях с глухозаземленной нейтралью; двух- и трехфазных - в сетях с изолированной нейтралью.

В качестве аппаратов защиты должны применяться автоматические выключатели или предохранители.

Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи уставок автоматических выключателей, служащих для защиты отдельных участков сети, во всех случаях следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам этих участков или по номинальным токам электроприемников, но таким образом, чтобы аппараты защиты не отключали электроустановки при кратковременных перегрузках (пусковые токи, пики технологических нагрузок, токи при самозапуске и т. п.).

Аппараты защиты должны устанавливаться непосредственно в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии [19].

Для установки в системе электроснабжения выбираем автоматические выключатели производства завода КЭАС.

Выполним выбор автоматического выключателя для защиты кабеля от КТП до РП №1.

Выбираем АВ типа ВА51-35МЗ-400А и проверяем по следующим параметрам:

- 1) Выбираем по расчетному току

$$I_H \geq I_p, \quad (55)$$

$$400 \geq 320,9,$$

$$I_{H.расц.} \geq I_p, \quad (56)$$

$$400 \geq 320,9,$$

2) Проверяем на отключающую способность:

$$I_{КСmax} \geq I_{п0max}^{(3)}, \quad (57)$$

$$25 \geq 6,06,$$

3) Проверяем на электродинамическую стойкость:

$$I_{дин} \geq i_{уд max}, \quad (58)$$

$$55 \geq 9,34,$$

Выбор остальных АВ сводим в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты выбора автоматических выключателей

Линия	Выбранный автоматический выключатель	Линия	Выбранный автоматический выключатель
от КТП до РП №1	ВА51-35М3-400А	Вводной в ЩО №1	ВА57-35-100А
Вводной в РП №1	ВА51-35М3-400А	Вводной в ЩО №2	ВА57-35-100А
Вводной в РП №2	ВА51-35М2-250А	Вводной в ЩО №3	ВА04-36-40А
Вводной в РП №3	ВА51-35М2-200А	Вводной в ЩОА №2	ВА57-35-100А
от КТП до РП №4	ВА51-35М2-250А	от КТП до ЩО №4	ВА51-35М3-400А
Вводной в РП №4	ВА51-35М1-100А	Вводной в ЩО №4	ВА57-35-100А
Вводной в РП №5	ВА51-35М1-100А	Вводной в ЩО №5	ВА57-35-100А
от КТП до ЩО №1	ВА51-35М2-250А	Вводной в ЩОА №1	ВА57-35-100А
Силовой шкаф ШС1	ВА47-100/3/С100	Климатическая система	ВА47-29/1/С16
Шкаф питания автоматических систем	ВА47-29/1/С16	Электроустановка RKS125D	ВА47-29/1/С16



Продолжение таблицы 7

Шкаф питания автоматических систем	BA47-29/1/C16	Электроустановка RKS125D	BA47-29/1/C16
Шкаф питания ЭД вентагрегата	BA47-29/1/C16	Крышной вентилятор низкого давления ВКР-4	BA47-29/3/C16
Крышной вентилятор низкого давления ВКР-3,55	BA47-29/1/C16	Электроустановка ESW250ML	BA47-29/1/C16
Электроприемник Standart 12	BA47-29/1/C16	Крышной вентилятор низкого давления ТКК400D	BA47-29/3/C16
Электроустановка ESW300MA	BA47-29/1/C16	СС	BA47-29/3/C16
Электроустановка ESW250ML	BA47-29/1/C16	Электроустановка ESW300MA	BA47-29/1/C16
Вентустановка	BA47-29/3/C25	Электроустановка ESW200ML	BA47-29/1/C16

Выбираем трансформатор тока для установки в КТП на отходящую линию к РП №1.

Выбор трансформатора тока и его проверку производим по следующим параметрам:

- 1) По номинальному напряжению сети [20]:

$$U_{\text{ном.}} \geq U_{\text{сетином.}}, \quad (59)$$

$$0,66 \geq 0,4,$$

- 2) По расчетному току в месте установки:

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{р}} \quad (60)$$

$$400 \geq 320,9,$$

3) По электродинамической стойкости:

$$I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд макс}}, \quad (61)$$

$$40 \geq 9,34,$$

Принимаем к установке трансформатор тока типа Т 0,66 400/5М 0,5.

Остальные трансформаторы тока выбираем аналогичным образом, результаты заносим в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты выбора трансформаторов тока

Линия	Выбранный трансформатор тока
ввод в КТП	ТШП-0,66-I 400/5А
от КТП до РП №1	Т-0,66 400/5М
от КТП до РП №4	ТШП-0,66 75/5
от КТП до ЩО №1	ТШП-0,66 150/5
от КТП до ЩО №4	ТШП-0,66 150/5

## 10 Расчет параметров системы заземления

При расчете заземляющего устройства определяется тип заземлителей, их количество и место размещения, а также сечение заземляющих проводников.

В соответствии с [1] устанавливают допустимое сопротивление заземляющего устройства. Если заземляющее устройство является общим для нескольких установок, то за расчетное сопротивление заземляющего устройства принимают наименьшее из них.

Например, согласно [1], сопротивление заземляющих устройств в установках напряжением до 1000 В не должно превышать 4 Ом.

Расчет параметров контура заземления производим в следующем порядке:

Сопротивление растеканию одиночного вертикального заземлителя:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi \cdot L} \left( \ln \left( \frac{2L}{d} \right) + 0.5 \ln \left( \frac{4T + L}{4T - L} \right) \right) \quad (62)$$

Длина заземлителя принимается не менее 1,5–2 м. Заземлители заглубляют на 0,7 м для исключения температурных колебаний. Вертикальный заземлитель принимается диаметром не менее 16 мм.

$$R_0 = \frac{50}{2\pi \cdot 1,5} \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 1,5}{0,016} \right) + 0.5 \ln \left( \frac{4 \cdot 1,45 + 1,5}{4 \cdot 1,45 - 1,5} \right) \right) = 10,79 \text{ Ом}$$

Заглубление горизонтальной соединительной шины:

$$T = \left( \frac{L}{2} \right) + t \quad (63)$$

$$T = \left( \frac{1,5}{2} \right) + 0,7 = 1,45 \text{ м}$$

Количество вертикальных заземлителей без учета сопротивления соединительной шины:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \Psi}{R_H} \quad (64)$$

$$n_0 = \frac{10,79 \cdot 1,4}{4} = 4$$

Сопротивление растеканию тока для соединительной шины:

$$R_r = 0.366 \left( \frac{\rho_{\text{экв}} \cdot \Psi}{L_r \cdot \eta_r} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot L_r^2}{b \cdot t} \right) \quad (65)$$

$$R_r = 0.366 \left( \frac{50 \cdot 2}{1,5 \cdot 0,45} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot 1,5^2}{0,016 \cdot 0,7} \right) = 140,9 \text{ Ом}$$

Длина соединительной шины

$$L_r = a - \text{по контуру}$$

Сопротивление вертикального заземлителя с учетом сопротивления растеканию тока соединительной шины:

$$R_B = \frac{R_r \cdot R_H}{(R_r - R_H)} \quad (66)$$

$$R_B = \frac{140,9 \cdot 4}{(140,9 - 4)} = 4,12 \text{ Ом}$$

Скорректированное число вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{R_0}{R_B \cdot \eta_B} \quad (67)$$

$$n = \frac{10,79}{4,12 \cdot 0,69} = 4$$

## 11 Обеспечение молниезащиты зданий

Производственные, жилые и общественные здания и сооружения подразделяются на три категории по устройству молниезащиты [1]:

I - производственные здания и сооружения со взрывоопасными помещениями классов В -1 и В - II согласно [1];

II - сооружения со взрывоопасными помещениями классов В-1а, В-1б, В-1г и В-IIа согласно [1];

III - все остальные здания и сооружения, в том числе пожароопасные помещения II -I, II - II и II - IIа согласно [1].

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений II категории с неметаллической кровлей должна быть выполнена отдельно стоящими или установленными на защищаемом объекте стержневыми или тросовыми молниеотводами, обеспечивающими зону защиты. При установке молниеотводов на объекте от каждого стержневого молниеприемника или каждой стойки тросового молниеприемника должно быть обеспечено не менее двух токоотводов. При уклоне кровли не более 1 : 8 может быть использована также молниеприемная сетка.

Молниеприемная сетка должна быть выполнена из стальной проволоки диаметром не менее 6 мм и уложена па кровлю сверху или под несгораемые или трудносгораемые утеплитель или гидроизоляцию. Шаг ячеек сетки должен быть не более 6х6мм. Узлы сетки должны быть соединены сваркой. Выступающие над крышей металлические элементы (трубы, шахты, вентиляционные устройства) должны быть присоединены к молниеприемной сетке, а выступающие неметаллические элементы - оборудованы дополнительными молниеприемниками, также присоединенными к молниеприемной сетке.

Производственное здание рассматриваемого предприятия относится к III категории.

Определим плотность ударов молнии в землю на основании метеоданных:

$$N_g = \frac{6,7 \cdot T_d}{100},$$

где  $T_d$  – среднегодовая продолжительность гроз в часах.

$$N_g = \frac{6,7 \cdot 40}{100} = 2,68 \frac{1}{(\text{км}^2 \cdot \text{год})}.$$

## Заключение

В бакалаврской работе разработана система электроснабжения производства автомобильных сидений, позволяющая обеспечить надежность электроснабжения потребителей с наилучшими экономическими показателями.

В работе была определена суммарная расчетная нагрузка, которая для силовых электроприемников составила 285 кВА, а с учетом мощности системы освещения 360 кВА.

Расчет необходимого числа светильников выполнен в специализированном программном обеспечении DIALux, к установке приняты светильники Ардатовского светотехнического завода.

Было произведено сравнение двух вариантов установки силовых трансформаторов на КТП. По минимальной величине приведенных затрат выбран вариант комплектной трансформаторной подстанции производства завода «Электроцит» КТП-СЭЩ-К-400/6/0,4 с установкой одного трансформатора ТМГ-400/6/0,4. При этом в варианте с установкой одного трансформатора понадобится организация резервной перемычки от соседней КТП.

Для питания электроприемников в производстве выбрана магистральная схема электроснабжения.

Также проведен расчет токов короткого замыкания, по расчетным значениям которых выбраны и проверены кабели и автоматические выключатели.

При расчете заземляющего устройства определен тип заземлителей, их количество и место размещения. Рассмотрены условия обеспечения молниезащиты зданий. Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений выполнена отдельно установленными на защищаемом объекте стержневыми молниеотводами и молниеприемной сеткой.

## Список используемых источников

1. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс]: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 447 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34715.html> (дата обращения: 25.03.2020).
2. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Жданов В.Г. Организация и управление деятельностью электросетевых предприятий: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 144 с.
3. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова. Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Электронный ресурс]: учебник, 2-е изд., перераб. и доп. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2018. 415 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/982211> (дата обращения 15.04.2020).
4. Старкова Л.Е. Справочник цехового энергетика: учебно-практическое пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2013. 352 с.
5. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.
6. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 107 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko\\_%20EUI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko_%20EUI_Z.pdf) (дата обращения: 02.05.2020).
7. Hossain M.A., Pota H.R., Hossain M.J., Blaabjerg F. Evolution of microgrids with converter-interfaced generations: Challenges and opportunities // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. № 109, pp. 160-186.



8. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов: учебное пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2015. 384 с.
9. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов [Электронный ресурс]: Учебное пособие. 2-е изд. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 352 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/494251> (дата обращения 28.04.2020).
10. Мельников М.А. Внутривзаводское электроснабжение: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 180 с.
11. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.
12. Nadaraju F.J., Maddocks A.R., Zanganeh J., Moghtaderi B. Simulation of power and cooling generation via heat recovery from a ventilation air methane abatement unit // Fuel. 2019. № 249, pp. 27-35.
13. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2012. 106 с.
14. Комков В.А., Тимахова Н.С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: учебное пособие, 2-е изд. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 204 с.
15. Савоськин В.С. Электроснабжение. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие. Пенза: Изд-во Пенз. ун-та, 2018. 256 с.
16. Beaty H.W. Handbook of electric power calculations. USA: McGraw-Hill Companies, 2011. 608 p.
17. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с.

18. Whitaker J.C. AC power systems. 4rd ed. California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014. 428 p.

19. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учебное пособие. Минск: Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2017. 271 с.

20. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения. Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского пол-го ун-та, 2012. 173 с.