

Аннотация

Данная выпускная квалификационная работа посвящена электрооборудованию и электрохозяйству предприятия по производству автомобильных сидений.

В ВКР выполнены следующие расчеты: расчет электрической нагрузки предприятия, расчет групповых сетей, расчет короткого замыкания. Также, исходя из расчетов, были выбраны различные оборудования: силовой трансформатор, автоматические выключатели, трансформаторы тока, кабели. Для оптимального выбора мощности и типа силовых трансформаторов проведено технико-экономическое сравнение двух вариантов установки силовых трансформаторов. Первый вариант с установкой двух силовых трансформаторов ТМГ-250/6-У1, а второй вариант – с одним силовым трансформатором ТМГ-250/6-У1. В результате проведенного сравнения установлено, что установка одного силового трансформатора марки ТМГ-250/6-У1 будет наиболее оптимальной.

Все результаты расчетов полученных в выпускной квалификационной работе бакалавра, могут применяться на практике в данном предприятии.

Пояснительная записка общим объемом 50 страниц содержит: 9 таблиц, 6 рисунков, список использованных источников из 20 наименований. Графическая часть представлена на 6 листах формата А1.

Abstract

The topic of the given diploma paper is the electrical equipment and electric economy of the production assembly of car seats.

The graduation project deals to the design of the facility industrial appointments, as well as the calculation of electrical loads, the selection of electrical apparatus and distribution network equipment.

The author dwells on location of equipment and distribution of electricity on the territory of the enterprise.

The diploma paper consists of an explanatory note on 50 pages, introduction, including 6 figures, 9 tables, the list of 20 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

All ten parts look toward improving the effectiveness of facility power supply of the housing of the woodworking enterprise.

The aim of the work is to give some information about power consumption of feeding power and group electrical networks.

The object of the graduation work is the company of assembly car seat.

The subject of the diploma paper power supply for the power harness for assembling car seats.

We give full coverage to calculation of electrical loads and lighting, calculation of short-circuit currents, selection of power transformers, as well as the selection of automatic switches and current transformers.

The result of the qualification work is the projected network for the design object for assembling car seats. This distribution network complies with the current requirements of regulatory documentation in the field of design electrical facility, as well as the requirements of sanitary norms and regulations.

Содержание

Введение	5
1 Краткая характеристика объекта проектирования	6
2 Расчет электрических нагрузок	7
3 Расчет электрического освещения	14
4 Выбор силовых трансформаторов	18
5 Выбор схемы электроснабжения	25
6 Расчет номинальных токов	26
7 Выбор кабелей	28
8 Расчет токов КЗ	32
9 Выбор оборудования	40
10 Расчет заземления КТП	44
11 Молниезащита предприятия	47
Заключение	48
Список используемых источников	49

Введение

Электроэнергетика относится к отрасли, определяющей научно-технический прогресс. Она должна развиваться опережающими темпами и быть прогрессивной. Электрические сети современных электрических систем отличаются весьма сложной конфигурацией, большим количеством разнохарактерных элементов объединенных для совместной работы. Такое развитие невозможно без экономических расчетов, анализа и сравнений. В частности, рациональное и экономное построение главных электрических схем, выбор параметров оборудования, а также оптимальная расстановка - представляет собой сложную и ответственную задачу [1].

Целью ВКР является повышение надежности и экономичности предприятия по производству автомобильных сидений.

Задачами ВКР является определение типа, числа и мощности силовых трансформаторов, выключателей и другой коммутационной аппаратуры, рациональную их расстановку на территории предприятия, выбор надёжной защиты электрического оборудования (заземление), а так же решить ряд задач управления эксплуатационного оборудования.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

Объектом ВКР является ООО «ТПВ РУС», который существует с 2007 года как филиал словенской компании «TPV d.d.» в городе Тольятти и находится по адресу улица ул. Северная 39а. Расположение на карте представлено на рисунке 1 [2].

«ТПВ РУС» занимается поставкой на производство и изготовлением автомобильных сидений для предприятий, собирающих автомобили. Предприятие состоит на двух площадок: на одной из площадок осуществляется производство каркасов сидений в городе Сызрань, а в другой сборка готовых комплектов сидений — в Тольятти. «ТПВ РУС» — это основной поставщик комплектов автомобильных сидений для автомобилей LADA GRANTA, LADA KALINA и DATSUN производства ПАО «АВТОВАЗ» и ООО «ЛАДА ИЖЕВСК»

ООО «ТПВ РУС» получает питания от КТП-93, само же КТП-93 запитывается по воздушным линиям электропередач напряжением 6 кВ от главной понизительной подстанции 110/6 кВ. Напряжение сети 380/220В при глухозаземлённой нейтрали трансформаторов. По степени надежности электроснабжения потребителей здание относится к III категории. Кабели прокладываются на территории объекта по фермам и кабельным конструкциям по улице на существующей эстакаде.

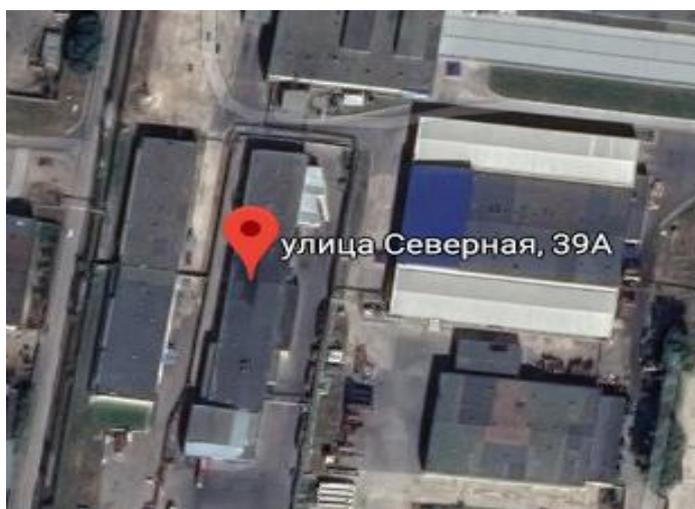


Рисунок 1 – ООО «ТПВ РУС»

2 Расчет электрических нагрузок

Данный расчет требуется для выбора трансформаторов необходимой мощности, так же он необходим для определения сечения проводников запитывающих линий к РП. Следовательно, вычисления производятся по узлам сети присоединений электроприемников (ЭП) [3].

Номинальная мощность ЭП с повторно-кратковременным режимом рассчитывается по следующей формуле:

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

где $p_{\text{пасп}}$ - паспортная мощность ЭП; ПВ – продолжительность включения.

Номинальная мощность сварочных трансформаторов определяется формулой:

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

где $S_{\text{пасп}}$ - паспортная полная мощность ЭП; $\cos\varphi$ - коэффициент, характеризующий активную мощность.

Суммарная мощность ЭП вычисляется по формуле:

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

где p_n - номинальная мощность одного ЭП; n- число ЭП.

Рассчитываем коэффициент m по формуле:

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

где $P_{n\text{наиб}}$ и $P_{n\text{наим}}$ – наибольшие и наименьшее значение активной мощности ЭП, отдельной группы.

Величина коэффициента m записывается >3 или ≤ 3 , влияющая на вид определения $n_{\text{э}}$ – эффективного числа ЭП.

Следующим шагом в расчете электрических нагрузок является определение числового значения K_u и $\cos\varphi$ для всех видов ЭП. Если значение коэффициента мощности отсутствует, то можно принять $\cos\varphi$ равным 0,8 для двигателей с продолжительным режимом, и равным 0,7 для двигателей с повторно-кратковременным режимом [4].

Далее необходимо найти значение наиболее загруженной смены активной и реактивной мощности, используя формулы:

$$P_{см} = K_u \cdot P_H \quad (5)$$

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

где P_H - суммарная мощность группы ЭП; $P_{см}$ - активная мощность самой загруженной смены; $Q_{см}$ - реактивная мощность самой загруженной смены; K_u - коэффициент использования.

Расчеты по отдельным видам ЭП заканчиваются и начинаются расчеты по конкретным узлам сети.

С помощью суммирования активной и реактивной мощности определенных групп ЭП находят значение для конкретных силовых пунктов

Формула среднего значения коэффициента использования для отдельных групп ЭП такова:

$$K_u = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_H} \quad (7)$$

Расчет среднего значения коэффициента $\operatorname{tg}\varphi$ для отдельных групп ЭП представлен формулой:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sum Q_{см}}{\sum P_{см}} \quad (8)$$

Далее необходимо определить эффективное число ЭП. Это такое количество ЭП схожих по режиму работы и одинаковых по мощности, которые определяют то же значение расчетной нагрузки.

Рекомендуется определять $n_э$ по формуле:

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

где $\sum p_H$ - суммарная номинальная мощность всех ЭП отдельной группы.

Если определенное число $n_э$ больше числа ЭП n , то $n_э = n$.

Следующим действием является определения коэффициента расчета (K_p).

Данный коэффициент рассчитывается исходя из значений K_u и $n_э$.

Расчетная активная и реактивная мощность нагрузки по определенному узлу, которая определяется по формуле:

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

Полная расчетная мощность по участку находится из формулы:

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

Ток по участку определяется из выражения:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (12)$$

Произведем расчет на конкретном ЭП

Данным электроприемником будет являться крышечный вентилятор ВКР-3,55

Номинальную мощность ЭП

$$p_n = 0,18 \text{ кВт}$$

Рассчитаем суммарную номинальную мощность ВКР-3,55

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

Произведем расчет коэффициента m на 1РП

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

Записываем что коэффициент $m > 3$

Числовое значение K_u и \cos для данного ЭП равны 0,65 и 0,8 соответственно.

Определяем активную мощность самой загруженной смены:

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

Рассчитаем реактивную мощность самой загруженной смены:

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

Расчет среднего значения коэффициента использования для отдельных групп ЭП:

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

Рассчитаем среднего значения коэффициента $tg\varphi$:

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

Определяем n_3 по формуле:

$$n_3 = 2 \cdot \frac{93,7}{45} = 4,16$$

Находим $K_p=1,29$

Производим расчет активной и реактивной нагрузки по определенному узлу (1РП)

$$P_p = 1,29 \cdot 65,54 = 84,55 \text{ кВт} \quad Q_p = 1,29 \cdot 59,52 = 76,78 \text{ квар}$$

Находим полную расчетную мощность

$$S_p = \sqrt{84,55^2 + 76,78^2} = 144,22 \text{ кВА}$$

Рассчитываем ток по участку 1РП

$$I_p = \frac{144,22}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 116,6 \text{ А}$$

Расчет остальных ЭП различных групп приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет электрических нагрузок

Наименование ЭП	n,шт	pн,кВт	Pн,кВт	m	Ku	cosφ	tgφ	Ku*Pн	Ku*Pu*tgφ	n*pн^2	nэ	Kp	Pp	Qp	Sp	Ip
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Шкаф силовой	2	45	90	m>3	0,7	0,73	0,91	63	57,33	4050	4,16	1,29	70,86	64,34	95,72	97,76
Шкаф автоматики питание автоматики	2	0,02	0,04		0,7	0,74	0,89	0,028	0,024	0,0008						
Шкаф автоматики питание двигателя вентилятора	2	1,5	3		0,7	0,75	0,88	2,1	1,848	4,5						
Крышный вентилятор ВКР-3,55	3	0,18	0,54		0,65	0,8	0,75	0,351	0,263	0,0972						
Электроприемник Standart 12	1	0,023	0,023		0,6	0,82	0,73	0,0138	0,0100	0,0005						
ЭП ESW300MY	1	0,07	0,07		0,55	0,71	0,92	0,0385	0,035	0,0049						
ЭП ESW200MY	1	0,03	0,03		0,55	0,7	0,93	0,0165	0,015	0,0009						
1РП	12		93,703		0,6	0,8	0,91	65,5478	59,527							
Вентилятор	2	11	22		0,65	0,8	0,75	14,3	10,725	242						
САУ	2	0,02	0,04		0,55	0,8	0,75	0,022	0,0165	0,0008						
Электроприемник Standart 12	6	0,023	0,138	0,6	0,82	0,73	0,0828	0,060	0,003							
Электроприемник Standart 15	2	0,036	0,072	0,65	0,82	0,73	0,0468	0,034	0,0025							
Электроприемник Standart 10	4	0,021	0,084	0,55	0,82	0,73	0,0462	0,033	0,0017							
Кондиционер	1	3,5	3,5	0,7	0,75	0,88	2,45	2,156	12,25							
Промышленная установка ESW200MY	1	0,03	0,03	0,6	0,75	0,88	0,018	0,015	0,0009							
Электроприемник RKS 125B	4	0,1	0,4	0,66	0,78	0,77	0,264	0,203	0,04							

Продолжение таблицы 1

Наименование ЭП	п,шт	рн,кВт	Рн,кВт	m	Ku	cosφ	tgφ	Ku*Pн	Ku*Pu*tg φ	n*рн^ 2	пэ	Kp	Pp	Qp	Sp	Ip
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Крышный вентилятор ВКР-4	1	0,55	0,55	m>3	0,65	0,8	0,75	0,357	0,268	0,3025	4,88	1,4	24,8	19,1	31,31	47,58
ЭП ESW250MY	1	0,04	0,04		0,6	0,75	0,88	0,024	0,021	0,0016						
2РП	24		26,854	0,65			17,61	13,53								
ЭП ESW250MY	1	0,04	0,04	0,6	0,75	0,88	0,024	0,021	0,0016							
Крышный вентилятор ВКР-4	3	0,55	1,65	0,65	0,8	0,75	1,0725	0,80	0,9075							
Крышный вентилятор ТКК400D	1	0,186	0,186	0,65	0,8	0,75	0,1209	0,090	0,034							
Промышленная установка ESW200MY	2	0,03	0,06	0,6	0,75	0,88	0,036	0,031	0,0018							
Электроприемник Standart 12	1	0,023	0,023	0,6	0,82	0,73	0,0138	0,01	0,0005							
Электроприемник Standart 10	2	0,021	0,042	0,55	0,82	0,73	0,0231	0,0168	0,0009							
Шкаф силовой	2	45	90	0,7	0,73	0,91	63	57,33	4050							
Шкаф автоматики питание автоматики	2	0,02	0,04	0,7	0,74	0,89	0,028	0,024	0,0008							
Шкаф автоматики питание двигателя вентилятора	2	1,5	3	0,7	0,75	0,88	2,1	1,848	4,5							
3РП	16		95,041	m>3	0,69			66,418	60,17		4,2	1,3	85,7	77,6	115,61	175,6

Продолжение таблицы 1

СС	3	3	9	m>3	0,75	0,8	0,75	6,75	5,0625	27	6	1,23	8,30	6,226	10,37	15,76
4РП	3		9		0,75			6,75	5,0625							
СС	4	3	12		0,75	0,8	0,75	9	6,75	36	8	1,2	10,8	8,1	13,5	20,51
5РП	4		12		0,75			9	6,75							
Мощность без освещения													214,1707	187,8292	284,8664	432,8098
Мощность освещения						0,92	0,43						72,18	31,04		
Мощность с освещением													286,35	218,8	360,37	541,9

3 Расчет электрического освещения

Расчет освещения в цехе по сборке металлоконструкций производится методом коэффициента использования светового потока.

В качестве источников света приняты люминесцентные лампы, лампы накаливая, ДРЛ и диодные лампы [5].

Светильники эвакуационного освещения выделены из числа светильников общего освещения и должны иметь знак, отличающий их от светильников рабочего освещения.

Для дежурного освещения использовать часть светильников эвакуационного освещения.

Выбор освещенности, типов светильников и способ выполнения проводки произведен в зависимости от назначения помещений, условий среды и высоты подвеса.

Управление освещением предусмотрено автоматическими выключателями, встроенными в групповые щитки и выключателями, установленными у входов в освещаемых помещений.

Групповые сети трехпроводные и пятипроводные, выполняются кабелем ВВГнг-LS в производственных помещениях, ВВГнг-FRLS в административно-бытовых помещениях. Кабель прокладывается в производственных помещениях на тресе, в коробах КЛ-1, и по конструкциям с креплением накладными скобами. В административно-бытовых помещениях в кабель-каналах по стенам и потолку.

Предприятие имеет размеры: длина $A=170,88$ м, ширина $B=29,66$ м, высота промышленного помещения $H=6,5$ м и высота офисного и вспомогательного помещения $H_{\text{оф.п.}}=2,5$ м.

Офисными и вспомогательными помещениями являются:

- кладовая
- помещение БТК
- кабинеты
- комната приема пищи

- санузел
- склад комплектующих

Так как расчет электрического освещения будет производиться в ПО DIALux, то для удобства рациональнее будет разбить большие помещения на отдельные части.

Таблица 2 – Характеристика помещений электромеханического предприятия

№	Название помещения	Кол-во этаж	Длина А, м	Ширина В, м	Высота Н, м	Коэффициент запаса, о.е.	Коэффициент отражения, %		
							пот	стен	пол
1	Изолятор брака	1	6	4,875	2,5	1,5	70	30	20

Для произведения расчета методом коэффициента использования необходимо воспользоваться следующими формулами:

Число светильников (N):

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

где E – требуемая освещенность, лк; S – площадь, м²; K₃ - коэффициент запаса, о.е.; U – коэффициент использования, о.е.; n – количество ламп в светильнике; Φ_л - световой поток в лампе, Лм.

Чтобы определить коэффициент использования U необходимо знать индекс помещения, который находится по формуле:

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

где h₁ - высота подвеса светильника, м; h₂ - высота рабочей поверхности, м.

Выполним подбор светильников для помещений, которые входят в состав предприятия из каталогов фирм-производителей. В производственных

помещениях возможно использование светильников с подвесом, т.к. среди оборудования предприятия нет подвижных ЭП. Наименование электросветильников и их параметры представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры светильников для помещения изолятор брака

№	Модель	Высота потолка, м	Световой поток $\Phi_{\text{л}}$, Лм	Мощность, Вт
1	ЛСП 44-2x36-010	2,5-4	2850	36

Для того чтобы определить коэффициент использования, необходимо знать индекс помещения. Для определения высоты рабочей поверхности на электромеханическом предприятии воспользуемся СНиП 23-05-95 “Естественное и искусственное освещение”. Высоту рабочей поверхности необходимо подобрать универсальную, чтобы она подходила и женщинам и мужчинам[6].

Выполним расчет числа светильников для помещения изолятор брака. Индекс помещения будет равен:

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

Согласно индексу помещения и коэффициенту отражения поверхностей помещения мастера по справочнику, приведенному в каталоге фирмы-производителя, определим коэффициент использования U: U=30%

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

Следовательно, в помещении изолятор брака необходимо установить 8 люминесцентных ламп.

Произведем расчет суммарной мощности

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

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

Для остальных других помещений предприятия расчет будем производить в программе DIALux. Результаты расчетов приведем в приложении 1.

Запишем результаты расчета освещения в таблицу 4.

По итоговым данным таблицы 4 и таблицы 1 произведем вычисление расчетного тока по предприятию для выбора трансформатора и, как вследствие, компенсирующих устройств.

Таблица 4 – Расчет освещения

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Ф (Светильник) [lm]	Ф (Лампы) [lm]	Мощно сть [W]
1	88	ASTZ - FSP17-250-032 Compact (1.000)	8106	15000	250.0
2	170	ASTZ - LPO46-2x36-013 Luxe (1.000)	4143	6640	72.0
3	50	ASTZ - LSP44-2x36-012 (1.000)	4470	6640	72.0
4	224	ASTZ - LSP44-2x58-011 (1.000)	6617	10000	110.0
5	22	ASTZ - NPP03-100-001 (1.000)	867	1200	100.0
6	15	ASTZ - NSP17-500-032 (1.000)	6189	8400	500.0
Всего			3235310	5173200	72180.0

Все светильники, выбранные в ПО DIALux подбирались из каталога Ардатовского светотехнического завода.

4 Выбор силовых трансформаторов

Необходимо выбрать однострансформаторную ТП, вследствие того, что на предприятии имеются ЭП III категории. Выбор трансформаторов представляет собой основной пункт в данной ВРК, так как при небольшом превышении S_H может значительно повыситься стоимость сетей на стороне НН предприятия и увеличатся токи к.з. на стороне НН ТП, что обеспечит трудоемкий выбор коммутационных устройств.

При варианте с двумя трансформаторами, их выбор будем осуществлять при следующих данных:

Коэффициент загрузки $K_3 = 0,8$

Число трансформаторов $N_T = 2$

Перед выбором трансформатора необходимо найти суммарную расчетную мощность, она представлена формулой:

$$\Sigma P_p = P_H + P_{осв} + P_{доп} \quad (16)$$

Произведем расчет суммарной активной мощности:

$$\Sigma P_p = 214,17 + 72,18 + 30 = 316,35 ; \text{кВт}$$

где P_H - активная мощность потребляемая ЭП; $P_{осв}$ - активная мощность потребляемая освещением; $P_{доп}$ - дополнительная нагрузка на перспективное расширение производство.

Выбор трансформаторов будет производиться за счет произведенных расчетов электрической нагрузки и освещения, и по формуле:

$$S_H \geq \frac{\Sigma P_p}{K_3 \cdot N_T} \quad (17)$$

где S_H – полная номинальная мощность трансформатора; ΣP_p – суммарная расчетная мощность; K_3 – коэффициент запаса принятый 0,8; N_T – количество трансформаторов.

Произведем расчет номинальной мощности трансформаторов:

$$S_H \geq \frac{316,35}{0,8 \cdot 2} = 197,71 ; \text{КВА}$$

Исходя из расчета S_H , произведем выбор одного трансформатора марки ТМГ-250/6-У1 и двух трансформаторов той же марки.

ТМГ – трансформаторы стационарные силовые масляные трехфазные двухобмоточные герметичные общего назначения [7].

Запишем паспортные данные трансформаторов.

Паспортные данные трансформатора ТМГ-250/6-У1 представлены в таблице 5.

Таблица 5. – Паспортные данные ТМГ-250/6-У1

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

Произведем выбор КТП, КУ для первого варианта с двумя трансформаторами ТМГ-250/6-У1

Выполним расчет активных потерь трансформаторов по формуле: [8]

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

где P_{xx} – потери холостого хода, кВт; $P_{кз}$ – потери короткого замыкания, кВт.

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

Рассчитаем реактивные потери трансформаторов по формуле:

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

где i_{xx} – ток холостого хода; $u_{кз}$ – напряжение короткого замыкания, %; S_{HT} – номинальная мощность трансформатора, кВА.

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

Рассчитаем активную и реактивную нагрузку трансформатора по формулам:

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

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

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

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

Найдем реактивную нагрузку трансформатора в часы минимума по формуле:

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

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

Произведем расчет экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума по формуле:

$$Q'_{\varepsilon 1} = Q_p - 0,7Q_{\text{сд}} \quad (23)$$

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

При $Q_{\text{сд}}=0$ экономически обоснованные значения реактивной мощности будет составлять:

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

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

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений $Q_{\varepsilon 1} = 89,9$ квар.

Произведем расчет экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы наименьших нагрузок по формуле:

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

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

При $=0$ экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы наименьших нагрузок составит:

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

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

Так как в часы минимальных нагрузок имеется повышенное напряжение, то значение мощности принимаем $Q_{\varepsilon 2} = 117,72$; квар

Найдем суммарную мощность компенсирующих устройств исходя из формулы:[9]

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

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

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

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

Произведем расчет реактивной мощности, которая должна быть передана в сеть с напряжением 1кВ.

$$Q_{\varepsilon c} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}) \quad (29)$$

$$Q_{\varepsilon c} = 89,9 - 235,28 - 218,8 = 73,42 ; \text{квар}$$

И найдем значение реактивной мощности, которая может быть передана в сеть с напряжением 1кВ.

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

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

Для нахождения мощности КУ на стороне 1кВ воспользуемся формулой:

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

$$Q_{\text{ку.н}} = 218,8 - 244,79 = 25,99$$

Так как $Q_{\text{ку.н}} = 25,99$ квар $>$ 50 квар, то на стороне НН нет необходимости ставить компенсирующие устройства.

Найдем мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 6кВ по формуле:[10]

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

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

Так как $Q_{\text{ку.в}} = 66,88$ квар $<$ 800 квар, то КУ на стороне ВВ не требуются.

К установке примем комплектную трансформаторную подстанцию КТП-СЭЩ-У 10(6)/0,4 кВ.

Произведем расчет требуемых затрат на установку КТП и КУ по формулам:

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

где E – норма дисконтирования; $K_{\text{ТП}}$ – стоимость КТП, тыс.руб.; $K_{\text{КУ}}$ – стоимость КБ, тыс.руб; C и C_0 – стоимость потерь 1 кВт мощности, кВт·год.

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

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

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

где α – основная ставка, руб/МВт·ч, T_M – время использования максимальной нагрузки в год, ч; β – дополнительная плата, руб/МВт·ч; τ – время максимальных потерь, ч.

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

где T_p – расчетный период, $T_p = 8760$ ч.

Рассчитаем приведенные затраты на установку КТП для первого варианта при исходных данных: $T_M = 4500$ ч; $E = 0,15$; $\alpha = 7550$ руб/кВт·год; $K_{\text{ТП}} = 186,322$ тыс.руб; $\beta = 1,13$ руб/кВт·ч

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

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

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

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

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

Аналогично произведем выбор КТП, КУ для второго варианта с одним трансформатором ТМГ-250/6-У1.

Выполним расчет активных потерь трансформаторов по формуле:

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

Рассчитаем реактивные потери трансформаторов по формуле:

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

Рассчитаем активную и реактивную нагрузку трансформатора по формулам: $P_p = 316,35 + 4,066 = 320,42 ; \text{кВт}$

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

Найдем реактивную нагрузку трансформатора в часы минимума по формуле:

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

При $Q_{\text{сд}}=0$ величина $Q'_{\text{э1}}$ составит:

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

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

Так как напряжение понижено в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений $Q_{\text{э1}} = 89,71$ квар.

При $Q_{\text{к}}=0$ экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы наименьших нагрузок составит:

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

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

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем значение мощности $Q'_{\text{э2}} = 27,27$ квар.

Найдем суммарную мощность компенсирующих устройств:

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

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

Произведем расчет реактивной мощности, которая должна быть передана в сеть с напряжением 1кВ.

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

И найдем значение реактивной мощности, которая может быть передана в сеть с напряжением 1кВ.

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

Для нахождения мощности КУ на стороне 1кВ воспользуемся формулой:

$$Q_{ку.н} = 218,8 - 250,33 = 31,53$$

Так как $Q_{ку.н} = 31,53 \text{ квар} < 50 \text{ квар}$, то на стороне НН нет необходимости ставить компенсирующие устройства.

Найдем мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 6кВ по формуле:

$$Q_{ку.в} = Q_{ку.макс} - Q_{ку.н}$$

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

Так как $Q_{ку.в} = 132,22 \text{ квар} < 800 \text{ квар}$, то КУ на стороне ВВ не требуются.

К установке примем комплектную трансформаторную подстанцию КТП-СЭЩ-К (ВВ)-250/6/0,4-09-У1.

Рассчитаем приведенные затраты на установку КТП при тех же условиях, что и в первом варианте.

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

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

Если сравнивать оба варианта с точки зрения приведенных затрат, то наиболее экономически эффективным является второй вариант (один трансформатор ТМГ-250/6-У1).

5 Выбор схемы электроснабжения

Главной задачей в проектировании электроснабжения является уменьшение протяженности сети НН путем максимального близкого расположения ВН (ТП) к потребителям [11].

Электропитание проектируемого объекта ВКР предусматривается от существующей трансформаторной подстанции.

Схема электроснабжения принимается магистральной. Магистраль питает несколько распределительных пунктов, расположенных в одном направлении от ТП, по цепочке.

Магистральные схемы (МС) используются для питания ЭП, подключенных к одному агрегату и объединены одной технологической задачей, когда отключение от питания одного из ЭП приведет к отключению всего технологического процесса. МС часто используются для питания большого количества мелких ЭП, распределенных более-менее равномерно по площади предприятия[12].

При использовании МС имеется возможность отказаться от применения громоздкого и дорогостоящего РУ или щита на ТП. В этом случае может быть применена схема блока трансформатор-магистраль, в которой используется шинопроводы вместо питающей линии.

Магистральные сети могут быть представлены в виде магистральных шинопроводов типа ШМА, установленных на высоте 3.5 м и более.

Соединение ЭП к шинопроводу выполняется при помощи ответвлений в виде кабелей или проводов.

6 Расчет номинальных токов

Одним из важных параметров всех ЭП является их номинальный ток. Именно при расчете номинального тока выбираются те или иные трансформаторы тока (ТА), автоматические выключатели, кабели.

Произведем расчет номинальных токов по следующей формуле: [13]

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

Выполним расчет номинального тока на примере одного из ЭП (Вентилятор)

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

Остальные расчеты номинальных токов ЭП представлены в таблице 6.

Таблица 6- Расчет номинальных токов ЭП

Наименование ЭП	$I_H; A$	Наименование ЭП	$I_H; A$
Шкаф силовой	85	Кондиционер	16
Шкаф автоматики питание автоматики	0,12	Электроприемник RKS 125B	1
Шкаф автоматики питание двигателя вентилятора	3,6	Крышечный вентилятор ВКР-4	1,2
Крышечный вентилятор ВКР-3,55	0,5	Промышленная установка ESW250MY	0,5
Электроприемник Standart 12	0,2	Крышный вентилятор ТКК400D	0,4

Продолжение таблицы 6

ЭП ESW300MY	0,7	СС	6
ЭП ESW200MY	0,3	Электроприемник Standart 15	0,4
Вентилятор	23	Электроприемник Standart 10	0,2

7 Выбор кабелей

Согласно ПУЭ глава 3.1. выбор кабеля к РП осуществляется по экономической плотности тока ($j_э$), так как $T_M > 4000$ ч. Не выбираются кабели по экономической плотности тока к отдельным ЭП и осветительным сетям.[14]

Сечение кабелей к РП осуществляется по формуле:

$$s_э = \frac{I_{ном}}{j_э} \quad (39)$$

где $I_{ном}$ – расчетный ток, А.

Выбор кабеля к отдельным ЭП осуществляется с помощью сравнения расчетного тока с длительно допустимым током выбранных марок проводов.

$$I_p \leq K_n \cdot I_{доп} \quad (40)$$

где I_p – расчетный ток; K_n – поправочный коэффициент; $I_{доп}$ – допустимый длительный ток кабеля.

Произведем выбор кабеля на примере РП1 от КТП.

Будем выбирать кабель с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией.

Экономическая плотность тока такого кабеля при $T_M = 4500$ ч, будет равная $j_M = 1,4$ А/мм²

Рассчитаем сечения кабеля по формуле:

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

Выбираем один четырех жильный кабель АВВГнг-LS 4x240. Поскольку кабели расположены в одной плоскости, то $I_{доп} = 369$ А.

Рассчитаем длительно допустимый ток с учетом поправки на число рядом расположенных в земле кабелей по формуле:

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

где k_1 – коэффициент поправки на число рядом расположенных в земле кабелей; k_2 – коэффициент поправки на температуру окружающей среды.

Примем расстояние между кабелями в свету 100 мм, тогда поправочный коэффициент при количестве кабелей в земле $K_1=1$ по ПУЭ раздел 1. Поправочный коэффициент $K_2=1$ по ПУЭ.

Тогда длительно допустимый ток равен:

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

Произведем выбор кабеля к отдельному ЭП от РП1

Данным электроприемником будет являться крышечный вентилятор ВКР-3,55

Найдем поправочный коэффициент по формуле:

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

где K_3 – поправочный коэффициент на способ прокладки, равный 1,0.e.

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

Расчетный ток данного ЭП равен:

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

Выбираем кабель АВВГнг-LS 4x2,5

Аналогично произведем выбор кабелей других ЭП и РП.

Данные занесены в таблицу 7.

Таблица 7.

Наименование ЭП	Марка кабеля	Наименование ЭП	Марка кабеля
Шкаф силовой	АВВГнг-LS 5x35	Кондиционер	АВВГнг-LS 4x2,5
Шкаф автоматики питание автоматики	АВВГнг-LS 4x2,5	Электроприемник RKS 125B	АВВГнг-LS 4x2,5
Шкаф автоматики питание двигателя вентилятора	АВВГнг-LS 4x2,5	Крышечный вентилятор ВКР-4	АВВГнг-LS 4x2,5
Крышечный вентилятор ВКР-3,55	АВВГнг-LS 4x2,5	Промышленная установка ESW250MY	АВВГнг-LS 4x2,5
Электроприемник Standart 12	АВВГнг-LS 4x2,5	Крышный вентилятор ТКК400D	АВВГнг-LS 4x2,5

Продолжение таблицы 7

ЭП ESW300MY	АВВГнг-LS 4x2,5	СС	АПВ 4(1x2,5)
ЭП ESW200MY	АВВГнг-LS 4x2,5	Электроприемник Standart 15	АВВГнг-LS 4x2,5
Вентилятор	АВВГнг-LS 4x4	Электроприемник Standart 10	АВВГнг-LS 4x2,5
РП1-РП2	АВВГнг-LS- 4x120	РП2-РП3	АВВГнг-LS-4x95
КТП-РП4	АВВГнг-LS-4x25	КТП-РП5	АВВГнг-LS-4x16
САУ	АВВГнг-LS 4x4	КТП-РП1	АВВГнг-LS 4x240
КТП-ЩО1	АВВГнг-LS5x50	ЩО1-ЩО2	АВВГнг-LS5x50
ЩО2-ЩОА2	АВВГнг-LS5x16	ЩО2-ЩО3	АВВГнг-LS5x25
КТП-ЩО4	АВВГнг-LS5x50	ЩО4-ЩОА1	АВВГнг-LS-4x16
ЩО4-ЩО5	АВВГнг-LS5x50	РП1-РП2	АВВГнг-LS 4x120
РП2-РП3	АВВГнг-LS 4x95	КТП-РП4	АВВГнг-LS 4x25
РП4-РП5	АВВГнг-LS 4x16	ЩОА1- Помещение 38	АВВГнг-LS 5x6 АВВГнг-LS 3x6
ЩО1 Помещение 36	АВВГнг-LS 5x6	ЩО1- Помещение 37	ВВГнг-LS 3x1,5
ЩО2- Помещение 35	ВВГнг-LS 3x2,5	ЩО2- Помещение 34,33	ВВГнг-LS 3x2,5
ЩО2- Помещение 8	АВВГнг-LS 3x4	ЩО2- Помещение 13,14	ВВГнг-LS 3x1,5
ЩО3- Помещение 24,26,28,29	ВВГнг-LS 3x1,5	ЩО3- Помещение 17,19,20	ВВГнг-LS 3x1,5
ЩО3- Помещение 18	ВВГнг-LS 3x1,5	ЩО4- Помещение 15,16	ВВГнг-LS 3x1,5
ЩО4- Помещение 12	АВВГнг-LS 3x6	ЩО4- Помещение 8	АВВГнг-LS 3x4
ЩО4- Помещение 9,10,11	АВВГнг-LS 3x4	ЩО5- Помещение 8	АВВГнг-LS 3x4
ЩО5- Помещение 4,5,6,7	АВВГнг-LS 3x4 АВВГнг-LS 3x2,5	ЩО5- Помещение 1,2,3	АВВГнг-LS5x6

Произведем расчет потерь самого отдаленного кабеля от КТП.

Наиболее отдаленный ЭП отходит от РПЗ (ESW250MY)

Найдем потери напряжения в сети по формуле:

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

где I_p – расчетный ток участка, А; L – расстояние участка, км; r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивление участка на 1 км, Ом/км; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности участка, о.е; $U_{л}$ – линейное напряжение, В.

Потери напряжения сети самого отдаленного ЭП находится по суммарной потере напряжения, на участках, идущих в данному ЭП.

Рассчитаем потери напряжения на участке КТП-РП1

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

Произведем расчет потери напряжения на участке РП1-РП2

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

Произведем расчет потери напряжения на участке РП2-РП3

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

Произведем расчет потери напряжения на участке РП3-ЭП

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

Суммарные потери напряжения самого отдаленного ЭП равны:

$$\Sigma U_{\Delta} = 105 - U_{\Delta 1} - U_{\Delta 2} - U_{\Delta 3} - U_{\Delta 4} \quad (44)$$

$$\Sigma U_{\Delta} = 100 - 0,63 - 1,2 - 1,4 - 0,1 = 96,67$$

Напряжение самого отдаленного ЭП находится в пределах допустимого значения.

8 Расчет токов КЗ

В соответствии с ГОСТ 28249-93 «Короткое замыкание в электроустановке: всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек (фаз) электроустановки между собой или с землей, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима» [15].

Опасность КЗ заключается в том, что ток КЗ представляет собой быстро возрастающий электрический импульс, который имеет большой показатель выделения тепла.

Расчет токов КЗ нужно рассчитывать так, чтобы правильно выбрать электрооборудование, которое необходимо для предотвращения или минимизирования последствий аварий связанных с током коротким замыканием.

Рассчитаем индуктивное сопротивление системы X_c по формуле:

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

$$S_c = 100 \text{ МВА}$$

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

где $U_{н.нн}$ – напряжение на стороне НН, кВ; S_c – мощность системы, МВА.

Произведем расчет активного и реактивного сопротивления силового трансформатора ТМГ-250/6-У1 по следующим формулам:

Активное сопротивление r_T :

$$r_{T1} = \frac{P_{к.з.} \cdot U_{н.нн}^2}{S_H^2} \cdot 10^6 \quad (46)$$

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

Реактивное сопротивление x_T :

$$x_{T1} = \sqrt{u_{к.з.}^2 - \left(\frac{100P_{к.з.}}{S_H}\right)^2} \cdot \frac{U_{н.н.}^2}{S_H} \cdot 10^4 \quad (47)$$

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

где S_H – номинальная мощность трансформатора, кВА; $u_{к.з.}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %; $P_{к.з.}$ – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт.

Произведем расчет активного и индуктивного сопротивления кабелей исходя из формулы: [16]

$$r_K = r_{уд} \cdot l \quad (48)$$

$$x_K = x_{уд} \cdot l \quad (49)$$

где l – длина кабеля, м; $r_{уд}$ – удельное активное сопротивление, мОм; $x_{уд}$ – удельное индуктивное сопротивление, мОм.

Выполним расчет активного сопротивления кабелей КЛ1 и КЛ2.

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

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

Выполним расчет реактивного сопротивления кабелей КЛ1 и КЛ2.

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

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

Сопротивления автоматических выключателей найдем из таблиц, оно составит:

- автоматический выключатель к РУ: $r_{A1} = 0,41$ мОм, $x_{A1} = 0,13$ мОм;
- автоматический выключатель к РП1: $r_{A2} = 0,65$ мОм, $x_{A2} = 0,17$ мОм;
- автоматический выключатель к ЭП $r_{A3} = 2,15$ мОм, $x_{A2} = 1,2$ мОм.

Выбираются выключатели предварительно по I_p

- выключатель к РУ ВА53-39 630-545
- выключатель к РП1 ВА51(52)-37 400-320
- выключатель к ЭП ВА51-31 100-100

Сопротивление трансформаторов тока (ТА) так же найдем из данных в таблицах.

- ТА в КТП: $r_{ТА1} = 0,05$ мОм, $x_{ТА1}=0,07$ мОм
- ТА к РП1: $r_{ТА2} = 0,11$ мОм, $x_{ТА2}=0,17$ мОм

Найдем действующее значение периодической составляющей трехфазного то КЗ по формуле:

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

где $U_{ср.нн}$ – среднее номинальное напряжение сети, В; $R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ – суммарное активное и реактивное сопротивление, мОм. Данные сопротивления будут вычисляться по формуле:

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

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

где x_c – индуктивное сопротивление системы, мОм; r_T, x_T – активное и индуктивное сопротивление понижающего трансформатора, мОм; $r_{ТА}, x_{ТА}$ – активное и индуктивное сопротивление ТА, мОм; r_A, x_A – активное и индуктивное сопротивление автоматических выключателей, мОм; r_K, x_K – активное и индуктивное сопротивление кабельных линий, мОм; r_D – сопротивление дуги при КЗ, мОм

Далее произведем расчет ударного трехфазного тока КЗ ($i_{уд}$) по формуле:

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

где $K_{уд}$ – ударный коэффициент.

Практическое значение данного коэффициента находится графически по кривой $K_{уд} = f\left(\frac{X}{R}\right)$. Кривая представлена на рисунке 2.

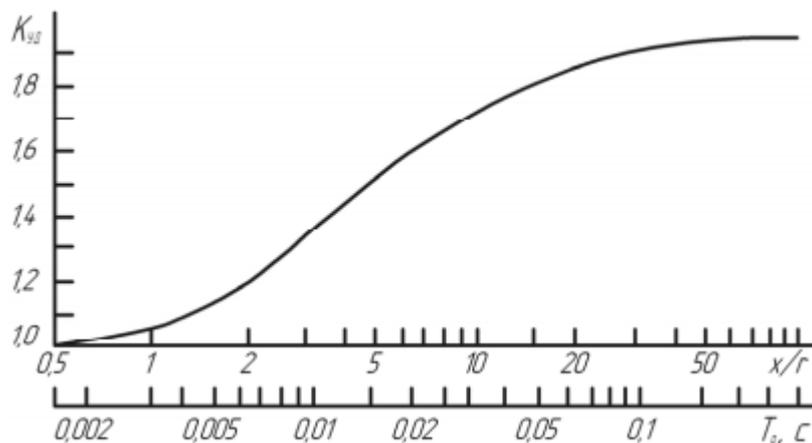


Рисунок 2. – Зависимость ударного коэффициента $K_{уд} = f\left(\frac{x}{r}\right)$.

Найдем ток дугового КЗ воспользовавшись формулой:

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

где $I_{п0max}$ – ток металлического КЗ $I_{п0max} = I_{п0}$; K_c – снижающий коэффициент, который находится из кривой зависимости K_c от сопротивления цепи КЗ. Кривая изображена на рисунке 3.

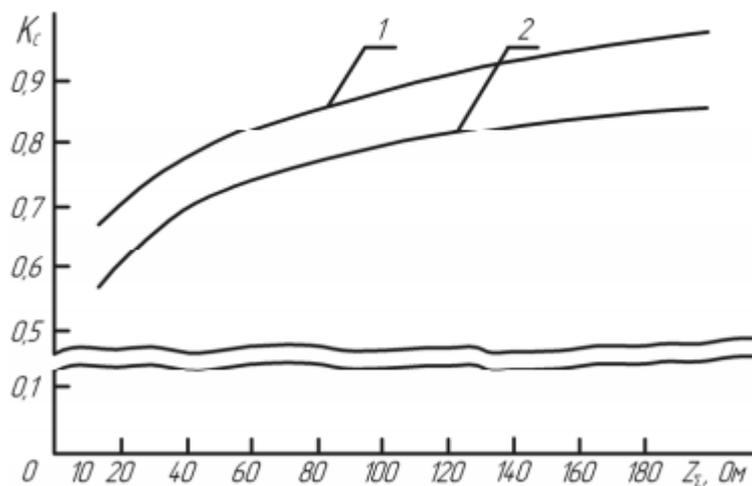


Рисунок 3. – Зависимость снижающего коэффициента K_c от сопротивления цепи КЗ

Далее для проведения конкретных расчетов необходимо составить электрическую схему и схему замещения КЗ

Электрическая схема КЗ представленная на рисунке 4.

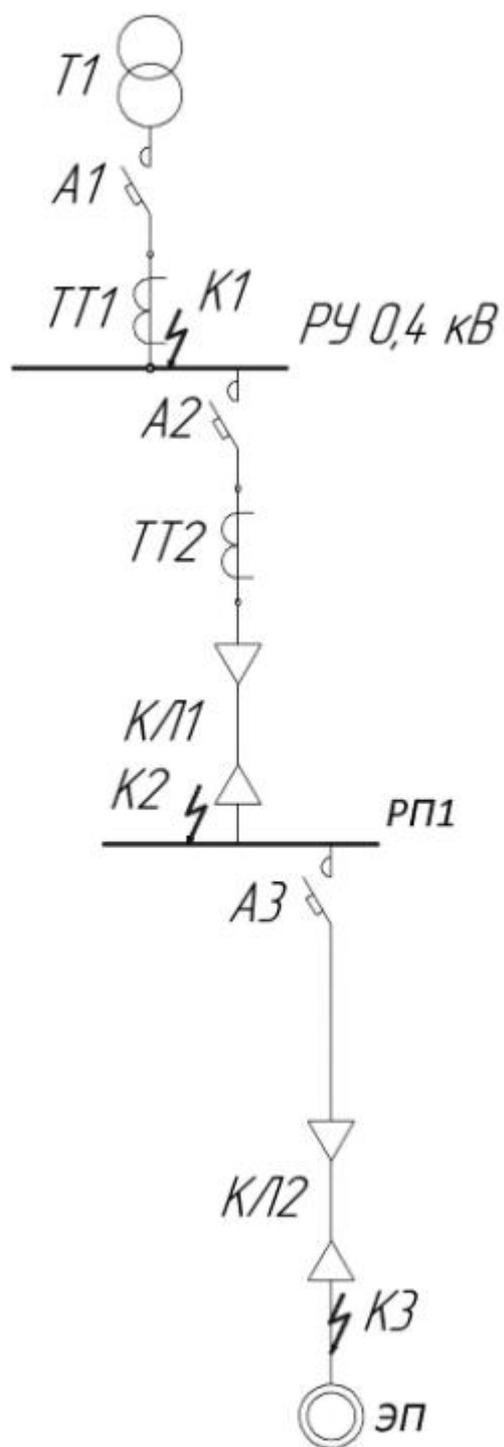


Рисунок 4 – Электрическая схема КЗ

Схема замещения КЗ представлена на рисунке 5.

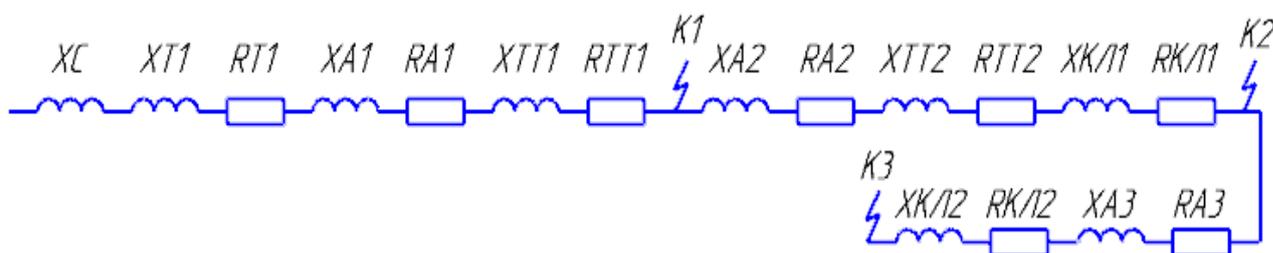


Рисунок 5 – Схема замещения КЗ

Произведем расчет КЗ в точке К1

Найдем суммарное активное и реактивное сопротивления до точки К1.

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

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

Произведем расчет действующего значения периодической составляющей трехфазного тока КЗ.

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

Найдем значение $K_{уд}$ из соотношения X/R.

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

$$K_{уд} = 1,09$$

Найдем ударный трехфазный ток КЗ

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

Найдем значение снижающего коэффициента K_c

При $Z_{\Sigma} = 38,10$, $K_{c1} = 0,77$, а $K_{c2} = 0,68$

Тогда ток трехфазного дугового КЗ равен:

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

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

Произведем расчет КЗ в точке К2.

Найдем суммарное активное и реактивное сопротивления до точки К2.

$$R_{K1\Sigma} = 8,96 + 0,05 + 0,41 + 15 + 0,65 + 0,11 + 3,9 = 29,08 \text{ мОм}$$

$$X_{K1\Sigma} = 1,6 + 27,45 + 0,13 + 0,07 + 0,17 + 0,17 + 2,31 = 31,89 \text{ мОм}$$

Произведем расчет действующего значения периодической составляющей трехфазного то КЗ.

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

Найдем значение $K_{уд}$ из соотношения X/R.

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

$$K_{уд} = 1,07$$

Найдем ударный трехфазный ток КЗ

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

Найдем значение снижающего коэффициента K_c

При $Z_{\Sigma} = 42,16$, $K_{c1} = 0,78$, а $K_{c2} = 0,7$

Тогда ток трехфазного дугового КЗ равен:

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

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

Произведем расчет КЗ в точке К3.

Найдем суммарное активное и реактивное сопротивления до точки К2.

$$\begin{aligned} R_{K1\Sigma} &= 8,96 + 0,05 + 0,41 + 15 + 0,65 + 0,11 + 3,9 + 2,15 + 33,6 \\ &= 64,83 \text{ мОм} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{K1\Sigma} &= 1,6 + 27,45 + 0,13 + 0,07 + 0,17 + 0,17 + 2,31 + 1,2 + 2,44 \\ &= 35,53 \text{ мОм} \end{aligned}$$

Произведем расчет действующего значения периодической составляющей трехфазного то КЗ.

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

Найдем значение $K_{уд}$ из соотношения X/R .

$$\frac{X_{K1\Sigma}}{R_{K1\Sigma}} = \frac{35,53}{64,83} = 0,54$$

$$K_{уд} = 1,01$$

Найдем ударный трехфазный ток КЗ

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

Найдем значение снижающего коэффициента K_c

При $Z_\Sigma = 73,92$, $K_{c1} = 0,83$, а $K_{c2} = 0,74$

Тогда ток трехфазного дугового КЗ равен:

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

$$I_{п0min} = 3,13 \cdot 0,7 = 3,96 \text{ кА}; t_{КЗ} > 0,06$$

9 Выбор оборудования

«Аппарат выбирают по роду тока, напряжению, мощности или току приемника, способу управления, исполнению. При выборе необходимо, чтобы технические данные выбираемого аппарата соответствовали расчетным величинам тока или мощности той электрической цепи, в которой он устанавливается.

К защитным аппаратам относятся автоматические выключатели и плавкие предохранители.

Автоматические выключатели (автоматы) предназначены для автоматического отключения электрических цепей при к.з. или ненормальных режимах (перегрузках, снижении или исчезновении напряжения), а также для нечастого включения и отключения токов нагрузки. Отключение выключателя при к.з. и перегрузках выполняется встроенным в выключатель автоматическим устройством – расцепителем. Выключатель может иметь комбинированный расцепитель (электромагнитный и тепловой) или только электромагнитный, отключающий ток к.з. Номинальный ток расцепителя $I_{н.расц.}$ может отличаться от номинального тока выключателя, поскольку в выключатель могут быть встроены расцепители с меньшим номинальным током.

Выбирают выключатели из условий нормального режима: номинальное напряжение выключателя должно соответствовать номинальному напряжению сети $U_{НВ} \geq U_{НС}$; соответствия номинального тока расцепителя расчетному току электроприемника или группы ЭП (для сборок и щитов) в длительном режиме $I_{н.расц.} \geq I_p$. Затем намеченные к выбору выключатели проверяют по условиям стойкости к токам к.з.»[17].

Подбор автоматов будем осуществлять из каталога курского электроаппаратного завода (КЭАС)

В качестве примера выбор автомата будем производить на линии КТП-РП1.

Выберем автоматический выключатель ВА51-35М3-400А и произведем проверку по следующим условиям:

1) Защита от КЗ и перегрузок [18]

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

$$400 \geq 320,9,$$

где I_n – номинальный ток автомата, А; I_p – расчетный ток рассматриваемой линии, А.

$$I_{n.расц.} \geq I_p, \quad (56)$$

$$400 \geq 320,9,$$

где $I_{n.расц.}$ – номинальный ток расцепителя автомата, А.

2) По отключающей способности:

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

$$25 \geq 6,06,$$

где $I_{КСmax}$ – максимальная коммутационная способность, кА.

3) На динамическую устойчивость

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

$$55 \geq 9,34,$$

где $I_{дин}$ – ток динамической устойчивости автомата, кА.

Выборы автомата на других линиях представлены в таблице 8.

Таблица 8.

Наименование линии	Марка автомата	Наименование линии	Марка автомата
КТП-РП1	ВА51-35М3-400А	Ввод. ЩО1	ВА57-35-100А
Ввод. РП1	ВА51-35М3-400А	Ввод. ЩО2	ВА57-35-100А
Ввод. РП2	ВА51-35М2-250А	Ввод. ЩО3	ВА04-36-40А
Ввод. РП3	ВА51-35М2-200А	Ввод. ЩОА2	ВА57-35-100А
КТП-РП4	ВА51-35М2-250А	КТП-ЩО4	ВА51-35М3-400А
Ввод. РП4	ВА51-35М1-100А	Ввод. ЩО4	ВА57-35-100А
Ввод. РП5	ВА51-35М1-100А	Ввод. ЩО5	ВА57-35-100А
КТП-ЩО1	ВА51-35М2-250А	Ввод. ЩОА1	ВА57-35-100А
Шкаф силовой	ВА47-100/3/С100	Кондиционер	ВА47-29/1/С16

Продолжение таблицы 8

Шкаф автоматики питание автоматики	ВА47-29/1/С16	Электроприемник RKS 125В	ВА47-29/1/С16
Шкаф автоматики питание двигателя вентилятора	ВА47-29/1/С16	Крышный вентилятор ВКР-4	ВА47-29/3/С16
Крышный вентилятор ВКР-3,55	ВА47-29/1/С16	Промышленная установка ESW250MY	ВА47-29/1/С16
Электроприемник Standart 12	ВА47-29/1/С16	Крышный вентилятор ТКК400D	ВА47-29/3/С16
Электроприемник Standart 10	ВА47-29/1/С16	СС	ВА47-29/3/С16
Электроприемник Standart 10	ВА47-29/1/С16	ЭП ESW300MY	ВА47-29/1/С16
Вентилятор	ВА47-29/3/С25	ЭП ESW200MY	ВА47-29/1/С16

Далее приступим к выбору трансформаторов тока (ТА)

Пример подбора ТА будем осуществлять на линии КТП-РП1

Выбор ТА осуществляется по следующим условиям:

1) По напряжению:

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

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

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение ТА, кВ; $U_{\text{сети ном.}}$ — номинальное напряжение сети, кВ.

2) По току:

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

$$400 \geq 320,9,$$

где $I_{\text{н}}$ — номинальный ток ТА, А; $I_{\text{р}}$ — расчетный ток рассматриваемой линии, А.

3) По динамической устойчивости:

$$I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд макс}}, \quad (61)$$
$$40 \geq 9,34,$$

где $I_{\text{дин}}$ — ток динамической устойчивости автомата, кА.

На линии КТП-РП1 выбираем трансформатор Т 0,66 400/5М 0,5
Выборы ТА на других линиях представлены в таблице 9.

Таблица 9.

Наименование линии	Марка ТА
На КТП	ТШП-0,66-I 400/5А 0,5 5ВА УЗ
КТП-РП1	Т 0,66 400/5М 0,5
КТП-РП4	ТШП-0,66 75/5 0,5
КТП-ЩО1	ТШП-0,66 150/5 0,5
КТП-ЩО4	ТШП-0,66 150/5 0,5

Оборудование подобрано верно, так как оно прошло проверку по стойкости и коммутационной способности к ударному току.

10 Расчет заземления КТП

«Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с грунтом»

Сопrotивление заземления - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю

Заземляющий электрод (электрод заземлителя) - проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с локальной землей»[19]

Заземление классифицируется на две группы:

- 1) рабочее (функциональное)
- 2) защитное

«Рабочее (функциональное) заземление – это заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности)

Защитное заземление – это заземление, выполняемое в целях электробезопасности»[19]

Расчет заземления производится по следующим формулам:

- 1) Произведем расчет сопротивления растекания одного вертикального заземлителя (стержня): [20]

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

где – $\rho_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м; L – длина стержня, м; d – его диаметр, м; T – расстояние от поверхности земли до середины стержня, м.

Длина заземляющего стержня должна быть не меньше 1.5 – 2 м.

Заземлитель размещают на глубине не менее 0.7 м.

Диаметр вертикального заземлителя должен быть не менее 16 мм

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

- 2) Найдем заглубление горизонтального заземлителя:

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

где – t – заглубление вертикального заземлителя, м.

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

3) Определяем количество стержней заземления без учета сопротивления горизонтального заземления:

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

где – R_H – нормируемое сопротивление растеканию тока заземляющего устройства, Ом; Ψ – сезонный климатический коэффициент.

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

4) Найдем сопротивление растекания тока для горизонтального заземлителя:

$$R_r = 0,366 \frac{\rho_{\text{ЭКВ}} \cdot \Psi}{L_r \cdot \eta_r} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_r^2}{b \cdot t} \quad (65)$$

где – L_r , b – длина и ширина заземлителя; Ψ – коэффициент сезонности горизонтального заземлителя; η_r – коэффициент спроса горизонтальных заземлителей

$$R_r = 0,366 \frac{50 \cdot 2}{1,5 \cdot 0,45} \cdot \lg \frac{2 \cdot 1,5^2}{0,016 \cdot 0,7} = 140,9 \text{ Ом}$$

Длина горизонтального заземлителя

$$L_r = a - \text{по контуру}$$

5) Рассчитаем сопротивление вертикального заземлителя с учетом сопротивления растеканию тока горизонтальных заземлителей:

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

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

б) Найдем полное количество вертикальных заземлителей:

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

где η_B – коэффициент спроса вертикальных заземлителей.

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

11 Молниезащита предприятия

Категория молниезащиты предприятия по производству автомобильных сидений – III. Молниезащита выполняется путём установки молниеприёмной сетки на кровле, при помощи пластиковых держателей. В качестве токоотвода используется круглая сталь диаметром 8 мм, которая внизу соединяется с наружным контуром заземления. Заземлитель защиты от прямых ударов молнии объединяется с заземлителем электроустановок. К заземлителю защиты от прямых ударов молнии присоединяются находящиеся внутри здания металлические конструкции, оборудование и воздухопроводы. Все металлические нетокопроводящие части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции, подлежат заземлению и соединению с заземляющей шиной вводного щита, нулевой защитной жилой кабеля «РЕ» .

Рассчитаем плотность ударов молнии в землю, которая выражается через число поражений 1 км² земной поверхности за год, определяемая по данным метеорологических наблюдений в месте размещения складского комплекса по формуле:

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

где T_d – среднегодовая продолжительность гроз в часах, определённая по региональным картам интенсивности грозовой деятельности для московской области, ч.

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

Заключение

В ВКР рассчитано электрооборудование и электрохозяйство предприятия по производству автомобильных сидений.

После произведения расчетов электрической нагрузке и освещения, был произведен технико-экономическое сравнение между двумя вариантами установки силовых трансформаторов. В результате этого сравнения был выбран силовой трансформатор ТМГ-250/6-У1. Далее с целью уменьшения длины кабелей и, как следствие, экономии выбиралась магистральная схема электроснабжения. Кабели были выбраны следующих марок: АВВГнг-LS и ВВГнг-LS. С экономической точки зрения использовались преимущественно кабели марки АВВГнг-LS.

Выбранное оборудование проверялось на коммутационную способность и динамическую стойкость. Автоматические выключатели марок: ВА51-35, ВА47-29, ВА57-35. Трансформаторы тока: ТШП-0,66 и Т 0,66.

Также был произведен расчет контура заземления.

В итоге выполнения ВКР полностью рассчитано и выбрано электрооборудование и электрохозяйство предприятия по производству автомобильных сидений.

Список используемых источников

1. Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, П.В. Лычев Электрические системы и сети: учеб.пособие для студентов вузов.: ред. В.Т. Федин; Минск: Технопринт, 2016. 157 с.
2. Информация о предприятии ООО «ТПВ РУС» [Электронный ресурс] URL: <http://www.tpvrus.com/> (дата обращения: 19.02.2018).
3. Электротехнический справочник: В 4 т. ред. В.Г. Герасимов. Т.3: Производство передача и распределение электрической энергии: 8е изд. испр. и доп. М.: Издательство МЭИ, 2013
4. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб. -метод. пособие ; Тольятти :ТГУ, 2016.
5. Serbinovsky G.V. Handbook on the electricity supply of industrial enterprises // Industrial electrical networks. M. Energia, 2015. С. 234-243
6. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [Электронный ресурс]: Свод правил от 05.08.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 02.04.2018).
7. ГОСТ 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2007. 45 с.
8. V. Ayadurai Blackburn, High voltage substation design and application guide // FIEE, London, 2009. С. 340-342
9. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие ; Тольятти : ТГУ, 2015.
10. Вахнина В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования. В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. Тольятти: ТГУ, 2007. – 54 с.
11. Weekly Digest & Technical Articles, Power Substation Guides // CRC Press,Paris, 2006. С. 301-30

12.ГОСТ 21.210-2014 Система проектной документации для строительства. Условные графические обозначения электрооборудования и электропроводок на планах. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.

13. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Москва: Кнорус, 2013. 75 с.

14. ГОСТ 53768-2010 Провода и кабели для электрических установок на номинальное напряжение до 450/750 В включительно. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 22 с.

15. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. М.: Стандартинформ, 2006. 45 с.

16. Robert A. Mammano. Fundamentals of Power Supply Design // power supply design seminars. 2017. С. 34-46.

17. А.Н. Рожин, Н.С. Бакшаева Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов; Киров: 2010. 76 с.

18. Ron Lenk. PractiralDesing of Power Supplies // Wiley-IEEE Press. 2014. С. 156-164.

19. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика.

20. ГОСТ Р 50571.5.54-2013 Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации 01.01.2015. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108284>(дата обращения 02.05.2018).

21. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.