

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Модернизация системы электроснабжения Тольяттинского троллейбусного управления»

Студент

И.И. Смоликов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.Н. Кузнецов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

О.А. Парфенова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

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

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена модернизации и замене устаревшего электрооборудования системы электроснабжения Муниципального Предприятия Тольяттинского Троллейбусного Управления депо №3.

Основными пунктами работы являются:

- Расчёт электрических нагрузок предприятия
- Выбор мощности силовых трансформаторов и их числа для установки
- Расчет токов короткого замыкания
- Выбор электрических аппаратов и проводников

Выпускная квалификационная работа общим объемом в 71 страницу содержит 18 таблиц, 3 рисунка, список используемых источников из 25 наименований, а также 6 чертежей формата А1.

ABSTRACT

The title of the given graduation work is «Upgrade of the power supply system of the Municipal Enterprise Togliatti Trolleybus Management». The author dwells on optimization and replacement of power supply to the Municipal Enterprise Togliatti Trolleybus Management.

The graduation work consists of an explanatory note on 71 and introduction on 2 pages, including 3 figures, 18 tables, the list of 25 references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of the graduation work is the old trolleybus depot №3. The key issue of the graduation work is the replacement of electrical equipment with new analogues. The special part of the project gives details about the enterprise. The issues of power loading of an installation, choice of transformer rating, calculation of short-circuit currents and selection of new electrical equipment are highlighted in the project's general part. We offer a solution of providing economically efficient and safe operation of the enterprise. The selection of all elements and the calculation of electrical networks should be applied on in accordance with all standards and regulations. Observance of their points will allow not to be afraid for unnecessary economic costs for repair and replacement of equipment, and most importantly, for the safety of personnel.

In conclusion we would like to underline that in the course of work on the modernization of the power supply system of this enterprise, all the points mentioned above were taken into account, taking credit standards and regulations.

Содержание

Введение	5
1 Краткая информация о предприятии.....	6
2 Расчёт электрических нагрузок предприятия	8
3 Выбор мощности силовых трансформаторов и их числа для установки	16
4 Расчет токов короткого замыкания.....	25
5 Выбор электрических аппаратов и проводников	37
5.1 Выбор разъединителя.....	37
5.2 Выбор выключателя нагрузки.....	39
5.3 Выбор предохранителя.....	41
5.4 Выбор автоматических выключателей.....	43
5.5 Выбор измерительных трансформаторов тока.....	51
5.6 Выбор кабелей и проводников.....	52
5.7 Выбор распределительного шкафа для новых электроприёмников..	59
5.8 Выбор защитного аппарата для конденсаторной установки	60
6 Распределение нагрузки по секциям на стороне низкого напряжения.....	62
7 Расчёт заземления	63
Заключение	67
Список используемых источников.....	69

Введение

Перед началом проектирования какого-либо производства одним из важнейших вопросов, который должен приходить на ум ответственному руководителю, это верно отстроенная система электроснабжения.

Под верно отстроенной системой электроснабжения подразумевается оптимизированная система, без лишних элементов, способная удовлетворить, требования, такие как: экономичность, то есть минимальные денежные затраты на её обустройство, надежность, безотказная работа, удобство, как во время монтажа, так и во время эксплуатации персоналом, безопасность эксплуатации, а также обеспечивать требуемое качество электроэнергии и так далее.

Только выбора оборудования для производства недостаточно, необходимо продумать и систему на случай аварийных ситуаций. В этом помогут такие элементы электрической системы, как: разъединители, выключатели нагрузки, предохранители, автоматические выключатели, компенсирующие устройства, а также релейная защита и автоматика и так далее.

Выбор всех элементов и расчёт электрических сетей должен проводиться в соответствие со всеми нормами и правилами. Соблюдение их пунктов позволит не опасаться за излишние экономические затраты на ремонт и замену оборудования, и что самое важное, за безопасность персонала.

Первостепенной целью данной курсовой работы является модернизация и замена устаревшего оборудования Муниципального Предприятия Тольяттинского Троллейбусного Управления депо №3.

В ходе проделанной работы были перерасчитаны электрические нагрузки депо, выбрали новые силовые трансформаторы, рассчитали токи короткого замыкания, выбрали новое и заменили устаревшее оборудования, а также учли увеличение нагрузок за счёт добавления двух электроприёмников, автоматических подъёмников, выбрали место установки и добавили для них распределительный шкаф, питающийся от одного из центральных распределительных пунктов данного предприятия.

1 Краткая информация о предприятии

В 1961 году, на заседание исполнительного комитета совета депутатов Куйбышевской области был рассмотрен вопрос о выборе городского пассажирского транспорта, в ходе которого решили остановиться на вспомогательном транспорте в виде автобусов и основном - троллейбус. Это решение повлекло к созданию, за вторые два рождения города, серьезной системы троллейбусного транспорта.

Данное управление входит в структуру департамента дорожного хозяйства и транспорта мэрии города Тольятти. На данный момент обеспечивает 527 рабочих мест. В эксплуатации введены 94 троллейбуса, которые в скором времени будут полностью заменены на новые модели белорусской компании "Белкомунмаш", благодаря этой замене число эксплуатируемого транспорта можно будет сократить до 85.

Средства на обеспечение зарплаты и обслуживания техники управление получает из доходов по продаже проездных билетов на общественном транспорте, транзакций с проездными, имеется договор с ООО "Тольяттинский трансформатор" по перевозке рабочих, и выделяются субсидии из городского бюджета.

Маршруты введенных в эксплуатацию троллейбусов покрывают все три района города, таким образом обеспечивая всех жителей доступным видом городским транспортом.

Основным видом деятельности предприятия является эксплуатация и обслуживание троллейбусов.

Обслуживание заключается в ремонте и техническом осмотре проводящихся по типовой системе, которая отражена в Руководстве по системе технического обслуживания и ремонта трамвайных вагонов и троллейбусов Р - 11325455-2505-01, утвержденная МИН транспортом Российской Федерации от 28 декабря 2000 г.

Так как депо было построено в 70-ых годах прошлого века, его возраст соответствует и возрасту электрооборудования, установленного на его территории, в связи с чем, можно сделать вывод о необходимости, как модернизации, так и замены износившихся элементов электроснабжения.

Также на этапе изучения предприятия, выяснилось, что на территории депо есть необходимость в установке выдвижных электромеханических домкратов, для удобства в ремонте новых троллейбусов модели 321, которые недавно были введены в эксплуатацию. Включение этих электроприемников в систему электроснабжения депо должно сопровождаться с перерасчетом нагрузок.



Рисунок 1.1 – Муниципальное Предприятия Тольяттинское Троллейбусное Управление

2 Расчёт электрических нагрузок предприятия

Расчёт электрических нагрузок необходим для получения основания на выбор элементов электрической системы. Так основным критерием для выбора защитно-коммутационного оборудования, а также для выбора сечения питающих кабелей, являются мощность и расчётный ток.

Согласно разделу ПУЭ 1.3, под расчётным током и мощностью подразумевают примерное значение неизменной максимальной нагрузки, которая ожидается, при вводе предприятия в эксплуатацию с учётом тепловых потерь в течение 30 минут.

«1.3.2. Проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных режимов, а также режимов в период ремонта и возможных неравномерностей распределения токов между линиями, секциями шин и т.п. При проверке на нагрев принимается получасовой максимум тока, наибольший из средних получасовых токов данного элемента сети.» [9, с. 22]

Это значит, что если нагрузка на сеть станет превышать максимально-расчётную на промежуток времени больший половине часа, то токоведущие части будут работать в режиме перегрузки. Режим перегрузки же характеризуется повышенным риском пожароопасных ситуаций, которые недопустимы ни по каким правилам пожарной безопасности.

Согласно изложенной выше информации, в данном разделе выпускной квалификационной работы рассмотрим методику расчёта максимальных нагрузок данного объекта.

Расчёт будет производиться исходя из полученных исходных данных от предприятия, которые включают в себя значения расчётных токов и мощностей электроприёмников находящихся на территории депо №3.

В качестве примера для расчета узнаем нагрузку ШР-14 от ЦРП-2

Таблица 2.1 - Технические данные электроприёмников ШР-14

Наименование электроприемник	P_p , кВт	n	K_H	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
Токарный вен- тильный станок	12,5	2	0,12	0,5	1,73
Фрезерный ста- нок	10	1	0,14	0,5	1,73
Вертикальный сверлильный ста- нок	4	1	0,12	0,4	2,29
Привод ворот	0,6	4	0,14	0,65	1,17
Ножная пила	1,7	1	0,5	0,6	1,3
Поперечный строгальный стан.	5,5	1	0,12	0,5	1,73
Токарный ре- вольверный ста- нок	5,83	1	0,17	0,5	1,73

«Для расчёта возможных нагрузок предприятия используем метод коэффициента максимума, или метод упорядоченных диаграмм. Это основной метод расчёта электрических нагрузок, который сводится к определению максимальных нагрузок группы электроприёмников.» [4, с. 11]

«Все электроприёмники приведены к продолжительности включения равному 100%» [4, с. 15]

В качестве исходных данных выступают чертежи предприятия, на которых указаны номинальная мощность электроприемников, их количество и коэффициент мощности.

Все полученные данные сведем в таблицу 2.2.

«Определим показатель силовой сборки в группе:» [4, с. 14]

$$m = \frac{P_{H\max}}{P_{H\min}}; \quad (2.1)$$

«Определим $tg\varphi$, это соотношение потребления активной и реактивной мощности» [4, с. 16]

$$tg\varphi = \frac{\overline{1 - \cos\varphi^2}}{\cos\varphi}; \quad (2.2)$$

«Определяем среднюю активную и реактивную мощность за наиболее нагруженную смену для каждой группы электроприёмников:» [4, с. 17]

$$P_{cm} = P_{ном} \cdot K_{и}; \quad (2.3)$$

$$Q_{cm} = P_{ном} \cdot tg\varphi; \quad (2.4)$$

«Рассчитаем среднюю полную нагрузку за наиболее нагруженную смену:» [4, с. 17]

$$S_{cm} = \overline{P_{cm}^2 + Q_{cm}^2}; \quad (2.5)$$

«Средний коэффициент использования электроприёмников находится по формуле:» [4, с. 18]

$$K_{н\text{ ср}} = \frac{P_{cm\Sigma}}{P_{н\Sigma}}; \quad (2.6)$$

«Что бы вычислить число эффективных электроприемников, сначала необходимо найти относительное число наибольших по мощности электроприёмников:» [4, с. 19]

$$n^* = \frac{n_l}{n} = \frac{3}{11} = 0,27$$

«Рассчитаем относительную мощность наибольших по мощности электроприёмников:» [4, с. 19]

$$P^* = \frac{P_{n_l}}{P_{\Sigma n}} = \frac{35}{53,4} = 0,7$$

«Относительное число эффективных электроприёмников определяется по табличным данным.» [4, с 20]

$$n_3^* = 0,5$$

$$n_3 = n_3^* \cdot n = 0,5 \cdot 11 = 6$$

Так как: $n > 5$; $K_{н\text{ ср}} < 0,2$ и $m > 3$, то $n_3 = 6$.

«Коэффициент максимума активной нагрузки зависит от коэффициента использования и эффективного числа электроприёмников, находится по табличным значениям, либо рассчитывается по формуле.» [4, с. 22]

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{n_3} \cdot \frac{1 - K_{н\text{ ср}}}{K_{н\text{ ср}}} = 2,64$$

«Рассчитаем максимальную активную, реактивную и полную нагрузки:» [4, с. 22].

$$P_M = P_{CM} \cdot K_M; \quad (2.7)$$

$$Q_M = Q_{CM} \cdot K'_M; \quad (2.8)$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + S_M^2}; \quad (2.9)$$

«Определим расчётный ток по формуле» [4, с. 23].

$$I_P = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.10)$$

На основании данной методики, рассчитываем максимальную нагрузку и на других распределительных шкафах.

Полученные в ходе расчёта данные сильно разнятся с исходными, в следствие того, что во время проектирования депо в расчёт закладывалось меньшее количество электроприёмников, а также не были учтены максимальные нагрузки. Из этого можно сделать вывод, что необходима замена устаревшего электрооборудования в виде защитно-коммутационных аппаратов и токоведущих проводников или кабелей, иначе не избежать аварийных ситуаций в последующей эксплуатации объекта. Также перед выбором новых элементов электрической сети, нужно проверить работу силовых трансформаторов на предмет возможной перегрузки и заменить их, если это необходимо, на более мощные аналоги.

Таблица 2.2 – Сводная нагрузка

Наименование	P_P , кВт	п	$P_{P\Sigma}$, кВт	$K_{\text{И}}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	м	P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар	S_{CM} кВА	n_{Σ}	K_M	K'_M	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА	I_P , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Токарный винтовой станок	12,5	2	25,0	0,12	0,50	1,73		3,0	5,2								
Фрезерный станок	10,0	1	10,0	0,14	0,50	1,73		1,4	2,4								
Вертикальный сверлильный станок	4,0	1	4,0	0,12	0,40	2,29		0,5	1,1								
Привод ворот	0,6	4	2,4	0,14	0,65	1,17		0,3	0,4								
Ножная пила	1,7	1	1,7	0,50	0,60	1,3		0,9	1,2								
Поперечный станок	5,5	1	5,5	0,20	0,50	1,73		0,7	1,2								
Токарный револьверный станок	5,83	1	5,83	0,12	0,50	1,73		0,7	1,2								

Продолжение таблицы 2.2

1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ИТОГО по ШР-14	11	53,3	0,14			>3	7,5	12,7	14,7	6	2,64	1,1	19,8	14	24,2	34,9
ИТОГО по ШР-1	6	113,7	0,73	0,95	0,33	>3	83	37,5	91,1	6	1,23	1,1	102	41,3	110	158,7
ИТОГО по ШР-2	14	37,2	0,50	0,80	0,75	>3	18,5	27,9	33,5	14	1,25	1,1	23,1	30,7	38,4	55,4
ИТОГО по ШР-3	15	22,24	0,12	0,70	1,02	>3	2,71	22,7	22,9	12	2,24	1,1	6,1	25,0	26,0	37,5
ИТОГО по ШР-4	5	96,5	0,70	0,80	0,75	>3	67,6	72,4	99,1	5	1,26	1,1	85,2	79,6	116,6	168,3
ИТОГО по ШР-5	11	44,14	0,50	0,81	0,75	>3	20,6	33,1	39	11	1,34	1,1	27,6	36,41	45,7	65,9
ИТОГО по ШР-6	17	59,18	0,60	0,80	0,75	>3	34,5	44,4	56,2	17	1,18	1,1	40,7	48,8	63,6	91,8
ИТОГО по ШР-7	21	32,94	0,39	0,60	1,3	>3	12,8	42,8	44,7	21	1,24	1,1	15,9	47,1	49,7	71,7
ИТОГО по ШР-8	8	38,91	0,34	0,71	0,99	>3	13,5	38,5	40,8	8	1,72	1,1	23,22	42,4	48,3	69,7
ИТОГО по ШР-9	14	33,5	0,65	0,80	0,75	>3	21,8	26,8	34,5	14	1,13	1,1	24,6	29,5	38,4	55,4
ИТОГО по ШР-10	12	23,7	0,14	0,62	1,27	>3	3,4	30,1	30,3	8	2,31	1,1	7,9	33,1	34,0	49,1
ИТОГО по ШР-11	17	21,9	0,12	0,71	0,99	>3	2,8	31,7	21,9	13	1,96	1,1	5,5	23,9	24,5	35,4
ИТОГО по ШР-12	12	84,41	0,62	0,88	0,54	>3	52,3	45,6	69,4	12	1,23	1,1	64,3	50,2	81,6	117,7
ИТОГО по ШР-13	5	26,98	0,93	0,80	0,75	>3	25,2	20,2	32,3	15	1,03	1,1	26,0	22,2	34,2	49,4
ИТОГО по ШР-15	9	54,6	0,67	0,92	0,43	>3	36,0	23,5	43,0	9	1,18	1,1	42,5	25,9	49,8	71,9

Продолжение таблицы 2.2

1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ИТОГО по ШР-16	10	27,8	0,15	0,48	1,83	>3	4,3	50,9	51,1	8	2,31	1,1	9,9	56,0	56,9	82,1
ИТОГО по ШР-17	19	27,9	0,75	0,80	0,75	>3	20,9	20,9	20,9	19	1,06	1,1	27,2	23,0	32,0	46,2
ИТОГО по ШР-18	21	35,4	0,50	0,84	0,65	>3	17,2	23,0	29,0	21	1,2	1,1	20,6	25,3	32,6	47,0
ИТОГО по ШР-19	9	32,4	0,61	0,89	0,51	>3	19,7	16,5	26,0	9	1,28	1,1	25,2	18,2	31,1	44,9
ИТОГО по ШР-20	16	25,2	0,56	0,80	0,75	>3	14,1	19,0	24,0	16	1,18	1,1	16,6	21,0	26,7	38,5
ИТОГО по ШР-21	17	20,5	0,34	0,84	0,65	<3	6,9	13,0	14,7	17	1,37	1,1	9,5	14,3	17,2	24,8
ИТОГО по ШР-22	13	34,6	0,48	0,80	0,75	>3	16,5	26,0	30,8	13	1,25	1,1	20,6	28,6	35,2	50,8
Подъемник авт.	2	12,0	0,60	0,80	0,75	<3	7,2	9,0	11,5	2	1,87	1,1	14,5	9,9	16,7	24,1
Освещение		122,2	0,95	0,97	0,25		116,1	30,6	120,1				116,1	30,6	120,1	173,3
ИТОГО по произ- водству													768,6	777,0	1153,3	1664,5

3 Выбор мощности силовых трансформаторов и их число установки

Важным пунктом, который влияет на технико-экономические затраты предприятия, является выбор типа и числа трансформаторов. Расчёт капитала вложений на приобретение трансформаторов сводится к выбору самого дешевого варианта, но способного покрыть необходимое потребление мощности предприятия.

В основном для питания в системах электроснабжения используют один или два трансформатора, использование трёх трансформаторных подстанций крайне экономически затратное дело, вследствие чего третий трансформатор используют редко, в основном в тех случаях, когда необходимо разделить осветительную и силовую нагрузки, а также если производство характеризуется резко переменной нагрузкой.

Данное предприятие имеет преобладающее число электроприёмников, которые можно отнести ко II категории электроснабжения, это означает, что скорее всего выбор падет на двухтрансформаторную подстанцию, с выбором трансформаторов, которые будут способны выдержать перегрузку в случае отключения одного из них, также в подобных ситуациях рекомендуется отключать электроприёмники III категории, для уменьшения перегрузки.

В следствие неравномерных суточных или сезонных нагрузок, на двух трансформаторные подстанции часто отключают питающую сеть от одного трансформатора, что бы нагрузка легла полностью на другой. Данный метод использования повышает эффективность работы трансформатора, но уменьшает его срок службы, т.к. при включении трансформатора в сеть происходят переходные процессы, которые в основном и влияют на износ материалов трансформатора. Износ материала требует вывод трансформатора в ремонт, что опять же негативно на него влияет.

Поэтому точный расчёт нагрузок и выбор соответствующего им трансформатора - это залог долгой и безотказной работы питающей системы пред-

приятия, которая уменьшит последующие капитальные затраты и понизит годовые эксплуатационные расходы.

«Рассчитаем номинальные мощности трансформаторов:» [2, с. 19]

$$S_{\text{ном}} = \frac{P_{\Sigma}}{K_3 \cdot N_T} = \frac{768,6}{0,7 \cdot 2} = 549 \text{ кВА}$$

«Выбираем два ближайших больших по мощности трансформатора. Это будут ТМГ-630/10 и ТМГ-1000/10.» [2, с. 19]

Выбор именно такого типа трансформатора, обоснован тем, что у него имеется ряд бесспорных преимуществ перед другими.

Данные трансформаторы выполнены в герметичном исполнении, с полным заполнением масла, без воздушных подушек и расширителей, таким образом пресекается контакт масла с окружающей средой и воздухом, что позволяет убрать возможные окислительные процессы, а также исключить повышения влажности масла.

Масло, которое используют в данных трансформаторах, подвергается дегазации, то есть исключается или сводится к минимуму присутствие нежелательных растворённых газов и пузырьков. Данная процедура увеличивает диэлектрическую способность масла, что в свою очередь позволяет не проводить испытания масла, во время его хранения и эксплуатации, не производится проба масла, также не требуется проведение различных видов ремонта в течение эксплуатации.

На территории данного депо установлены трансформаторы типа ТМ, которые, в свою очередь нуждаются в систематических работах по определению степени увлажнения сорбента воздуха-осушителя, то есть требуется его замена, при исчерпании срока службы.

Все эти работы, которые проводят во время эксплуатации трансформаторов типа ТМ несут экономические затраты, которые могут достичь 60% от стоимости самого трансформатора.

Категория электроснабжения предприятий нормируется в ПУЭ, согласно разделу ПУЭ 1.2, данное депо относится ко II категории надежности электро-снабжения, т.к. перерывы в электроснабжения данного объекта приведут к мас-совому простою рабочих мест, а также простою рабочего транспорта. Электро-снабжения таких объектов должно обеспечиваться от двух независимых источ-ников, которые имеются в виде двух вводов от разных 10 кВ линий. Количество трансформаторов выбирается с учётом дальнейшей перспективы развития. Т.к. на предприятии изначально установлено было два трансформатора типа ТМ, то также рассчитаем вариант с двухтрансформаторной подстанцией.

«Проведем технико-экономический расчет для выбора мощности транс-форматора:» [2, с. 20]

Таблица 3.1 - Паспортные параметры трансформатора ТМГ-630/10

$S_{\text{ном.Т}}, \text{кВА}$	$U_{\text{ном. обм.}}, \text{кВ}$		$U_{\text{кз}}, \%$	$P_{\text{кз}}, \text{кВт}$	$P_{\text{xx}}, \text{кВт}$	$I_{\text{xx}}, \%$
	ВН	НН				
630	10,5	0,4	5,5	7,6	1,05	1,6

«Найдём потери в трансформаторах:» [2, с. 22]

$$\Delta P_T = N_T \cdot P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз} = 2 \cdot 1,05 + 0,7^2 \cdot 7,6 = 9,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot i_{xx} + K_3^2 \cdot U_{кз} \cdot \frac{S_H}{100} = 2 \cdot 1,6 + 0,7^2 \cdot 5,5 \cdot \frac{630}{100} = 54,1 \text{ квар}$$

«Рассчитаем нагрузку с учётом потерь в трансформаторах:» [2, с. 22]

$$P_P = P_{M\Sigma} + \Delta P_T = 768,6 + 9,6 = 778,2 \text{ кВт}$$

$$Q_P = Q_{M\Sigma} + \Delta Q_T = 777,0 + 54,1 = 831,1 \text{ квар}$$

«Реактивная мощность в часы минимума нагрузки определяется:» [2, с. 23]

$$Q_{min} = Q_P \cdot 50\% = 831,1 \cdot 0,5 = 415,6 \text{ квар}$$

«Значения реактивной мощности, экономически обоснованные, в часы максимума энергосистемы определяются из выражения:» [2, с. 23]

$$Q'_{\Sigma 1} = Q_P = 831,1 \text{ квар}$$

$$Q'_{\Sigma 1} = \alpha \cdot P_P = 0,28 \cdot 778,2 = 217,9 \text{ квар}$$

$$Q_{\Sigma 1} = 217,9 \text{ квар}$$

«где α — расчетный коэффициент, соответствующий установленным предприятию условиям получения от энергосистемы мощностей.» [2, с. 24].

«Значения реактивной мощности, экономически обоснованные, в режиме наименьших нагрузок считаются:» [2, с. 24].

$$Q'_{\Sigma 2} = Q_{min} = 415,6 \text{ квар}$$

$$Q_{\Sigma 2} = Q_{min} - Q_P - Q''_{\Sigma 1} = 415,6 - 831,1 - 217,9 = -197,6 \text{ квар}$$

«Суммарная мощность компенсирующих устройств определяется:» [2, с. 25]

$$Q_{КУ \max} = 1,1 \cdot Q_P - Q_{\Sigma 1} = 1,1 \cdot 831,1 - 217,9 = 696,3 \text{ квар}$$

$$Q_{КУ \min} = Q_{min} - Q'_{\Sigma 2} = 415,6 - 415,6 = 0 \text{ квар}$$

«Далее рассмотрим вариант с двумя трансформаторами типа ТМГ-630\10:» [2, с. 26]

«Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться, считается по формуле:» [2, с. 26]

$$Q_{эН} = Q_{э1} - Q_P - Q_{M\Sigma} = 217,9 - (831,1 - 777,0) = 163,8 \text{ квар}$$

«Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ, считается:» [2, с. 26]

$$Q_T = \frac{N_T \cdot K_3 \cdot S_T^2 - P_{M\Sigma}^2}{2 \cdot 0,7 \cdot 630^2 - 768,6^2} = 432,6 \text{ квар}$$

«Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ находим по формуле:» [2, с. 26]

$$Q_{КУН} = Q_{M\Sigma} - Q_T = 777 - 432,6 = 344,4 \text{ квар}$$

«Так как $Q_{КУН} > 50$ квар, то установка конденсаторной батареи на стороне ниже 1 кВ является целесообразной.» [2, с. 27].

«Выбираем 2 КУ типа УКРМ - 0,4 - 175 - 25 в количестве стоимостью 60000 руб. каждая.» [2, с. 27]

«Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ считаются:» [2, с. 27]

$$Q_{КУВ} = Q_{КУmax} - Q_{КУН} = 696,3 - 344,4 = 351,9 \text{ квар}$$

«Так как $Q_{КУВ} < 800$ квар, то установка конденсаторной батареи на стороне 10 кВ является не целесообразной.» [2, с. 27]

«Затраты на установку КТП с трансформаторами ТМГ – 630/10» [2, с. 28]

$$\tau = 0,124 + \frac{T_M}{10000}^2 \cdot T_P; \quad (3.1)$$

«где τ – время максимальных потерь; T_M – время использования максимальной нагрузки предприятия в год; T_P – время работы трансформатора в году.» [2, с. 28]

$$\tau = 0,124 + \frac{4500}{10000}^2 \cdot 8760 = 2886$$

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot T_P; \quad (3.2)$$

«где C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода; β – дополнительная плата за 1 кВт час потребляемой электроэнергии.» [2, с. 29]

$$C_0 = \frac{117}{4500} + 0,27 \cdot 10^{-2} \cdot 8760 = 250 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot \tau; \quad (3.3)$$

$$C = \frac{117}{4500} + 0,27 \cdot 10^{-2} \cdot 2,886 \cdot 10^3 = 83 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}; \quad (3.4)$$

«где ΔP_{xx} – потери холостого хода; $\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания.» [2, с. 30]

$$C \cdot \Delta P_T = 250 \cdot 1,05 + 83 \cdot 0,7^2 \cdot 7,6 = 572$$

$$З_{\text{КТП}} = E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_T; \quad (3.5)$$

$$З_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot (298 \cdot 2 + 60 \cdot 2) + 0,572 \cdot 2 = 160,8 \text{ тыс. руб.}$$

$$З_{\text{общ}} = 160,8 \text{ тыс. руб.}$$

«Далее рассмотрим вариант с двумя трансформаторами типа ТМГ - 1000/10.» [2, с. 30]

«Паспортные данные выбранного трансформатора занесем в таблицу 3.2.» [2, с. 31]

Таблица 3.2 - Паспортные параметры трансформатора ТМГ-1000/10

$S_{\text{ном.Т}}, \text{кВА}$	$U_{\text{ном. обм.}}, \text{кВ}$		$U_{\text{к}}, \%$	$\Delta P_{\text{кз}}, \text{кВт}$	$\Delta P_{\text{хх}}, \text{кВт}$	$I_{\text{хх}}, \%$
	ВН	НН				
1000	10,5	0,4	5,5	10,2	1,6	2,0

«Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 6/10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться находится по формуле:» [2, с. 32]

$$Q_{\text{эН}} = Q_{\text{э1}} - Q_P - Q_{P_{\text{с}}} ; \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{эН}} = 217,9 - 831,1 - 777,0 = 163,8 \text{ квар}$$

«Реактивная мощность которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ считается:» [2, с. 32]

$$Q_T = \sqrt{N_T \cdot K_3 \cdot S_T^2 - P_{P\Sigma}^2} = \sqrt{2 \cdot 0,7 \cdot 1000^2 - 768,6^2} = 1597,1 \text{ квар}$$

«Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ находим по формуле:» [2, с. 33]

$$Q_{\text{КУ Н}} = Q_{\text{М}\Sigma} - Q_{\text{Т}} = 777 - 1597,1 = -820,1 \text{ квар}$$

«Так как $Q_{\text{КУ Н}} < 50$ квар, то установка конденсаторной батареи на стороне ниже 1 кВ является не целесообразной» [2, с. 34]

«Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ считаются:» [2, с. 34]

$$Q_{\text{КУ В}} = Q_{\text{КУ max}} = 696,3 \text{ квар}$$

«Так как $Q_{\text{КУ В}} < 800$ квар, то установка конденсаторной батареи на стороне 10 кВ является не целесообразной.» [2, с. 35]

«Затраты на установку КТП с трансформаторами ТМГ – 630/10.» [2, с. 36]

$$\tau = 0,124 + \frac{T_{\text{М}}^2}{10000} \cdot T_{\text{Р}}; \quad (3.7)$$

«где τ – время максимальных потерь; $T_{\text{М}}$ – время использования максимальной нагрузки предприятия в год; $T_{\text{Р}}$ – время работы трансформатора в году» [2, с. 36]

$$\tau = 0,124 + \frac{4500^2}{10000} \cdot 8760 = 2886$$

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_{\text{М}}} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot T_{\text{Р}}; \quad (3.8)$$

«где C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода; β – дополнительная плата за 1 кВт час потребляемой электроэнергии.» [2, с. 37]

$$C_0 = \frac{117}{4500} + 0,27 \cdot 10^{-2} \cdot 8760 = 250 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot \tau; \quad (3.9)$$

$$C = \frac{117}{4500} + 0,27 \cdot 10^{-2} \cdot 2,886 \cdot 10^3 = 83 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}; \quad (3.10)$$

«где ΔP_{xx} – потери холостого хода; $\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания» [2, с. 38]

$$C \cdot \Delta P_T = 250 \cdot 1,6 + 83 \cdot 0,7^2 \cdot 10,2 = 815,0$$

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_T; \quad (3.11)$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 423 \cdot 2 + 0,815 \cdot 2 = 190,3 \text{ тыс. руб.}$$

$$Z_{\text{общ}} = 190,3 \text{ тыс. руб.}$$

«Сравнив приведенные затраты выбираем наименьший по экономическим затратам вариант с трансформаторами ТМГ – 630/10.» [2, с. 38]

Для уменьшения затрат на покупку и транспортировку трансформаторов, рекомендуется закупить их аналоги на заводе “Электрощит” с наименованием ТМГ-СЭЩ – 630/10.

4 Расчёт токов короткого замыкания

Одна из самых распространённых проблем электроснабжения предприятий, является короткое замыкание.

Расчёт токов КЗ обязательный пункт для выбора оборудования системы электроснабжения. Любое оборудование выбирается с целью долговечного и надёжного служения, без расчёта токов КЗ нельзя быть до конца уверенным в бесперебойном и экономически выгодном электропитании предприятия.

Основной причиной возникновения аварий из-за коротких замыканий на предприятиях является нарушение изоляции, вызванные перенапряжением, износом со временем изоляции, случайных механических повреждений, неправильным обслуживанием электрооборудования, а также из-за прямых ударов молний.

В результате коротких замыканий сильно перегреваются и в дальнейшем оплавляются такие токоведущие части, как кабели и провода. Это ведёт к возможному возникновению больших усилий механического характера, способные разрушить или уничтожить, как электроприёмники, так и электроустановки, а также навредить здоровью персонала, всё это ведёт к неминуемым экономическим растратам предприятия.

Короткие замыкание чаще всего происходят в местах, где имеются переходные сопротивления, то есть электрических дуг, лишних объектов в местах повреждения, заземлений и в местах между прокладкой фаз и землёй.

Для защиты данного предприятия, на основании последующих расчётов, будут выбраны такие коммутационно-защитные аппараты, как автоматические выключатели, способные предотвратить, как перегрузку системы, так и отключение при сверхтоках короткого замыкания, предохранители, которые необходимы для разового отключения системы питания, при сверхтоках, а также будут выбраны такие элементы электроснабжения, как разъединители, выключатели нагрузки и токоведущие части в виде четырёхжильных кабелей.

Данная методика расчёта токов КЗ, основывается на вычисление трёх-фазных коротких замыканий, которые являются самыми опасными на подобных предприятиях и несут с собой самые большие значения токов КЗ и ударных токов.

«Индуктивное сопротивление системы находится по формуле:» [1, с. 27]

$$X_C = \frac{U_{HH}^2}{S_C}; \quad (4.1)$$

«где U_{HH} — значение напряжения на низкой стороне трансформатора; S_C — мощность системы:» [1, с. 27]

$$X_C = \frac{0,4^2}{100} = 1,6 \text{ мОм}$$

«Активное сопротивления трансформатора находятся по следующей формуле:» [1, с. 28]

$$R_T = \frac{P_K \cdot U_{HH}^2}{S_{HT}^2}; \quad (4.2)$$

«где P_K — потери короткого замыкания трансформатора; S_{HT} — номинальная паспортная мощность трансформатора.» [1, с. 28]

$$R_T = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3,1 \text{ мОм}$$

«Индуктивное сопротивления трансформатора находятся по следующей формуле:» [1, с. 28]

$$X_T = \sqrt{U_K^2 - \frac{100 \cdot P_K}{S_{HT}}^2} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{HT}}; \quad (4.3)$$

$$X_T = \sqrt{5,5^2 - \frac{100 \cdot 7,6^2}{630}} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 14,0 \text{ мОм}$$

«Активное сопротивление кабельных линий рассчитывается по следующей формуле:» [1, с. 28]

$$r_{кл} = r_{уд} \cdot l; \quad (4.4)$$

«где $r_{уд}$ — удельное активное сопротивление кабеля по паспортным данным, l — длина кабельной линии:» [1, с. 28]

$$r_{кл1} = 0,32 \cdot 141 = 45,11 \text{ мОм}$$

$$r_{кл2} = 0,769 \cdot 10 = 7,69 \text{ мОм}$$

$$r_{кл3} = 1,1 \cdot 9 = 9,9 \text{ мОм}$$

«Индуктивное сопротивление кабельных линий рассчитывается по следующей формуле:» [1, с. 28]

$$x_{кл} = x_{уд} \cdot l; \quad (4.5)$$

«где $x_{уд}$ — удельное индуктивное сопротивление кабеля по паспортным данным.» [1, с. 28]

$$x_{кл1} = 0,064 \cdot 141 = 9,0 \text{ мОм}$$

$$x_{кл2} = 0,066 \cdot 10 = 0,66 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{клз}} = 0,068 \cdot 9 = 10,61 \text{ мОм}$$

«Сопротивления других элементов цепи берутся из справочника.» [1, с. 29]

«Составим схему для расчёта токов короткого замыкания, от трансформатора до самого мощного и удалённого электроприёмника:» [1, с. 29]

Данная схема замещения позволит вычислить сопротивления до каждой точки короткого замыкания. Её составляют в изображении последовательно соединённых сопротивлений источников, которые принимают участие в питании места, где располагается КЗ, а также изображаются все элементы системы электроснабжения, такие как: выключатели, разъединители, автоматические выключатели, трансформаторы, электроприёмники и токоведущие части, которые располагаются до места КЗ.

После составления расчётной схемы, составляют схему замещения, где все элементы сети заменяются на эквивалентные активные и индуктивные сопротивления.

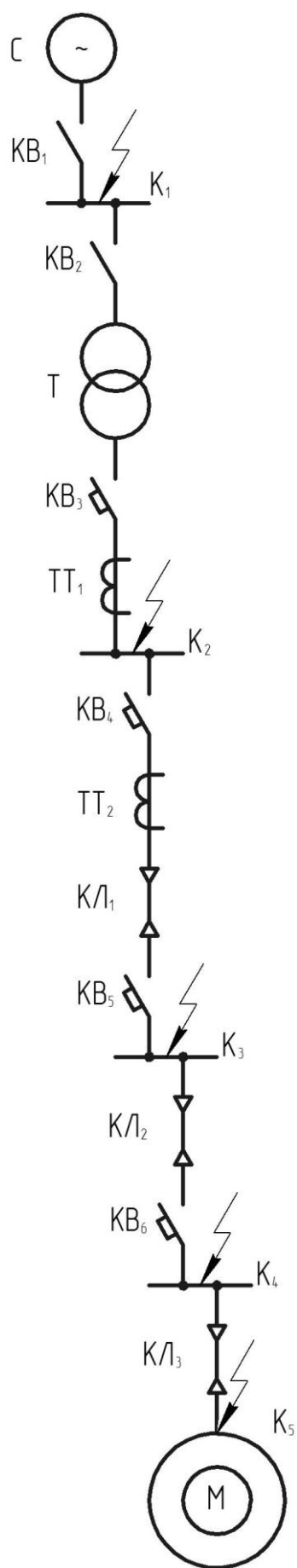


Рисунок 4.1 - Схема для расчётов токов КЗ

«И составим схему замещения:» [1, с. 29]

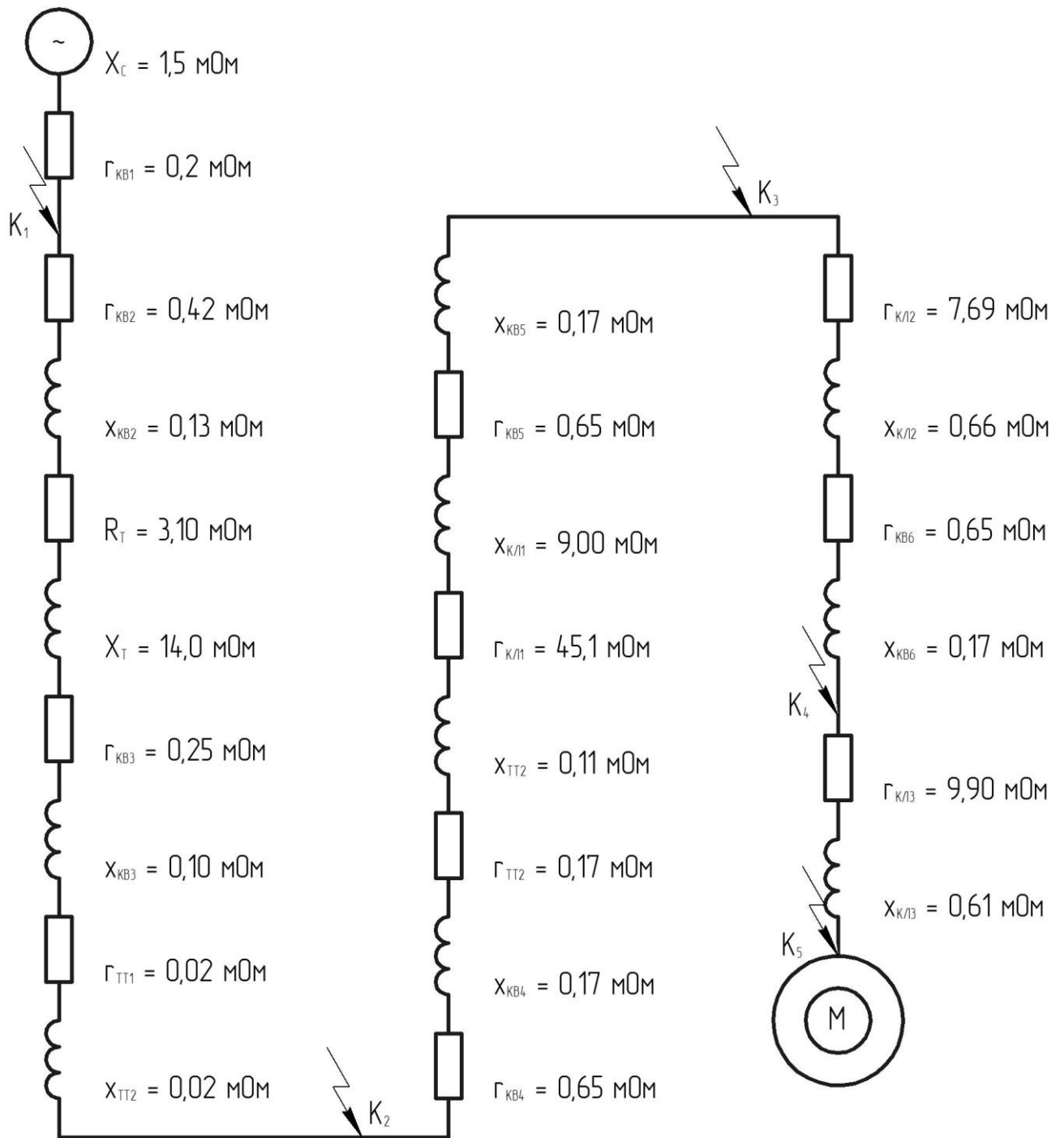


Рисунок 4.2 - Схема замещения для расчёта токов КЗ

«Ток трёхфазного КЗ находится по формуле:» [1, с. 30]

$$I_{\text{по max}} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}; \quad (4.6)$$

«где Z_{Σ} – суммарное сопротивление цепи до точки КЗ, находится по формуле:» [1, с. 31]

$$Z_{\Sigma} = \overline{R_{\Sigma} + X_{\Sigma}}; \quad (4.7)$$

«где R_{Σ} и X_{Σ} – суммарные значения активных и индуктивных сопротивлений элементов до точки КЗ.» [1, с. 31]

«Ударный ток короткого замыкания находится по формуле:» [1, с. 31]

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{по max} \cdot K_{уд}; \quad (4.8)$$

«где $K_{уд}$ – ударный коэффициент, который находится по графикам отношения R_{Σ} и X_{Σ} .» [1, с. 32]

«Расчёт токов КЗ на стороне 10 кВ будем производить в базисных значениях.» [1, с. 32]

«Рассчитаем токи КЗ в точке K_1 :» [1, с. 32]

«Рассчитаем сопротивление системы:» [1, с. 33]

$$x_{*б с} = \frac{S_6}{S_k} = \frac{1000}{200} = 5$$

«где S_k – расчётная мощность КЗ на шинах источника, берутся справочные значения.» [1, с. 33]

«Рассчитаем базисный ток:» [1, с. 34]

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ кА}$$

«Рассчитаем ток КЗ для точки K_1 :» [1, с. 35]

$$I_{\text{ПО max к1}} = \frac{E''_6}{x_{*6c}} \cdot I_6 = \frac{1}{5} \cdot 57,7 = 11,54 \text{ кА}$$

«Рассчитаем ударный ток КЗ для точки К₁:» [1, с. 34]

$$i_{\text{уд к1}} = \sqrt{2} \cdot 11,54 \cdot 1,7 = 27,7 \text{ кА}$$

«Рассчитаем токи КЗ в точке К₂:» [1, с. 35]

«Найдём результирующие значение активного сопротивления элементов до точки К₂ по следующей формуле:» [1, с. 36]

$$R_{\Sigma K2} = r_{KB1} + r_{KB2} + r_T + r_{KB3} + r_{TT1}; \quad (4.9)$$

$$R_{\Sigma K2} = 0,20 + 0,42 + 3,10 + 0,25 + 0,02 = 3,99 \text{ мОм}$$

«Найдём результирующие значение индуктивного сопротивления элементов до точки К₂ по следующей формуле:» [1, с. 36]

$$X_{\Sigma K2} = x_C + x_{KB2} + x_T + x_{KB3} + x_{TT1} \quad (4.10)$$

$$X_{\Sigma K2} = 1,60 + 0,13 + 14,0 + 0,10 + 0,02 = 15,85 \text{ мОм}$$

«Полное сопротивление цепи до точки К₂ находится по формуле:» [1, с. 36]

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} \quad (4.11)$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{3,99^2 + 15,85^2} = 16,3 \text{ мОм}$$

«Рассчитаем ток КЗ для точки К₂:» [1, с. 37]

$$I_{\text{ПО max к2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 16,3} = 14,2 \text{ кА}$$

«Рассчитаем ударный ток КЗ для точки К₂:» [1, с. 37]

$$i_{\text{уд к2}} = \sqrt{2} \cdot 14,2 \cdot 1,4 = 28,1 \text{ кА}$$

«Рассчитаем токи КЗ в точке К₃:» [1, с. 35]

«Найдём результирующие значение активного сопротивления элементов до точки К₃ по следующей формуле:» [1, с. 36]

$$R_{\Sigma \text{К3}} = R_{\Sigma \text{К2}} + r_{\text{КВ4}} + r_{\text{ТТ2}} + r_{\text{КЛ1}} + r_{\text{КВ5}}; \quad (4.12)$$

$$R_{\Sigma \text{К3}} = 3,99 + 0,65 + 0,17 + 45,1 + 0,65 = 50,6 \text{ мОм}$$

«Найдём результирующие значение индуктивного сопротивления элементов до точки К₃ по следующей формуле:» [1, с. 36]

$$X_{\Sigma \text{К3}} = X_{\Sigma \text{К2}} + x_{\text{КВ4}} + x_{\text{ТТ2}} + x_{\text{КЛ1}} + x_{\text{КВ5}}; \quad (4.13)$$

$$X_{\Sigma \text{К3}} = 15,85 + 0,17 + 0,11 + 9,00 + 0,17 = 25,3 \text{ мОм}$$

«Полное сопротивление цепи до точки К₃ находится по формуле:» [1, с. 36]

$$Z_{\Sigma \text{К3}} = \sqrt{R_{\Sigma \text{К3}}^2 + X_{\Sigma \text{К3}}^2}; \quad (4.14)$$

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{50,6^2 + 25,3^2} = 56,6 \text{ мОм}$$

«Рассчитаем ток КЗ для точки К₃:» [1, с. 37]

$$I_{\text{ПО max кз}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 56,6} = 4,08 \text{ кА}$$

«Рассчитаем ударный ток КЗ для точки К₃:» [1, с. 37]

$$i_{\text{уд кз}} = \sqrt{2} \cdot 4,08 \cdot 1,4 = 8,08 \text{ кА}$$

«Рассчитаем токи КЗ в точке К₄:» [1, с. 35].

«Найдём результирующее значение активного сопротивления элементов до точки К₄ по следующей формуле:» [1, с. 36].

$$R_{\Sigma K4} = R_{\Sigma K3} + r_{\text{кл2}} + r_{\text{кв6}}; \quad (4.15)$$

$$R_{\Sigma K4} = 50,6 + 7,69 + 0,65 = 58,9 \text{ мОм}$$

«Найдём результирующее значение индуктивного сопротивления элементов до точки К₄ по следующей формуле:» [1, с. 36].

$$X_{\Sigma K4} = X_{\Sigma K3} + x_{\text{кл2}} + x_{\text{кв6}}; \quad (4.16)$$

$$X_{\Sigma K4} = 25,3 + 0,66 + 0,17 = 26,1 \text{ мОм}$$

«Полное сопротивление цепи до точки К₄ находится по формуле:» [1, с. 36]

$$Z_{\Sigma K4} = \sqrt{R_{\Sigma K4}^2 + X_{\Sigma K4}^2}; \quad (4.17)$$

$$Z_{\Sigma K4} = \sqrt{58,9^2 + 26,1^2} = 64,4 \text{ мОм}$$

«Рассчитаем ток КЗ для точки К₄:» [1, с. 37]

$$I_{\text{ПО max к4}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 64,4} = 3,59 \text{ кА}$$

«Рассчитаем ударный ток КЗ для точки К₄:» [1, с. 37]

$$i_{\text{уд к4}} = \sqrt{2} \cdot 3,59 \cdot 1,4 = 7,11 \text{ кА}$$

«Рассчитаем токи КЗ в точке К₅:» [1, с. 35]

«Найдём результирующие значение активного сопротивления элементов до точки К₅ по следующей формуле:» [1, с. 36]

$$R_{\Sigma K5} = R_{\Sigma K4} + r_{\text{КЛЗ}}; \quad (4.18)$$

$$R_{\Sigma K5} = 58,9 + 9,90 = 68,8 \text{ мОм}$$

«Найдём результирующие значение индуктивного сопротивления элементов до точки К₄ по следующей формуле:» [1, с. 36]

$$X_{\Sigma K5} = X_{\Sigma K4} + x_{\text{КЛЗ}}; \quad (4.19)$$

$$X_{\Sigma K5} = 26,1 + 0,61 = 26,7 \text{ мОм}$$

«Полное сопротивление цепи до точки К₅ находится по формуле:» [1, с. 36]

$$Z_{\Sigma K5} = \sqrt{R_{\Sigma K5}^2 + X_{\Sigma K5}^2}; \quad (4.20)$$

$$Z_{\Sigma K5} = \sqrt{68,8^2 + 26,7^2} = 73,8 \text{ мОм}$$

«Рассчитаем ток КЗ для точки К₅:» [1, с. 37]

$$I_{\text{ПО max к5}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 73,8} = 3,13 \text{ кА}$$

«Рассчитаем ударный ток КЗ для точки К₄:» [1, с. 37]

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 3,13 \cdot 1,4 = 6,20 \text{ кА}$$

«По полученным данным выбираем оборудование, которое удовлетворит условия их эксплуатации.» [1, с. 37]

5 Выбор электрооборудования

Неотъемлемой частью электроснабжения являются проводники, по которым передаётся электрический ток до потребителя, защитное оборудование, которое необходимо для снижения риска появления аварийных ситуаций, и оборудование для учёта и слежения электроэнергии.

Верный выбор проводников является в большей степени вкладом в будущее предприятия, т.к. уменьшит экономические затраты на потерях электроснабжения. Устройства защиты обеспечат корректный вывод из эксплуатации поврежденные участки системы, для предотвращения больших затрат на ремонт и замену оборудования. Датчики учёта электроэнергии помогают следить за режимом работы системы.

5.1 Выбор разъединителя

Разъединитель – это аппарат электрической сети, который используют для ручного включения и отключения цепей с высоким напряжением, то есть они необходимы в основном для ремонтных работ, когда нужно создать видимый разрыв цепи, отсоединить питающую сеть. Разъединитель отличается тем, что не имеет дугогасительного устройства.

К ряду требований, которые должен выполнять разъединитель, относятся: создание видимого разрыва в цепи, разъединитель должен быть устойчив к электродинамическим и термическим составляющим протекающего по нему тока, а также должен позволять проводить включения и отключения без всяких трудностей в любое время года, в любую погоду.

Характеристики выбора разъединителя совпадают с характеристиками выбора выключателя, за исключением отсутствия пункта об отключении под нагрузкой, т.к. разъединитель не предназначен для этого.

«Разъединитель выбирается по следующим характеристикам:» [3, с. 43]

«1) По его номинальному току:» [3, с. 43]

$$I_{\text{ном дл}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (5.1)$$

«2) По его номинальному напряжению:» [3, с. 43]

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}; \quad (5.2)$$

«3) По его электродинамической стойкости:» [3, с. 43]

$$I_{n,o} \leq I_{\text{пр.с}}; \quad (5.3)$$

$$i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{пр.с}}; \quad (5.4)$$

«4) И по термической стойкости:» [3, с. 44]

$$B_{\text{к}} \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл.}}; \quad (5.5)$$

«Рассчитаем для примера разъединитель.» [3, с. 45]

«Проверим разъединитель по термической стойкости:» [3, с. 45]

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п.о.}} \cdot t_{\text{от кз}} + T_a ; \quad (5.6)$$

$$B_{\text{к}} = 11,54 \cdot 0,2 + 0,1 = 3,46 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Выберем разъединитель РВ-СЭЩ 10.» [3, с. 45]

Выбранный разъединитель удовлетворяет требования по созданию видимого разрыва участка цепи, так же он предназначен для работы с промышленной частотой тока 50 Гц, а также обеспечивает безопасную коммутацию цепи с трансформаторами, работающими на холостом ходу.

«Сравним паспортные данные разъединителя с расчетными:» [3, с. 46]

Таблица 5.1 - Сравнение данных разъединителя

Разъединитель РВ-СЭЩ 10	
Расчётные значения	Паспортные значения
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{п.о}} = 11,54 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 51 \text{ кА}$
$I_{\text{уд}} = 27,7 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 51 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 11,54 \cdot 0,2 + 0,1 = 3,46 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} < 20^1 \cdot 15 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

В качестве секционных разъединителей между шинами I и II секции высокой стороны выберем такую же модель – РВ-СЭЩ 10. Последовательная установка двух разъединителей обусловлена дальнейшей возможностью вывода в ремонт одного из них.

5.2 Выбор выключателя нагрузки:

Выключатель нагрузки не имеет автоматической системы для защиты от коротких замыканий, он необходим для коммутации тока в сети под нагрузкой, фактически он является разъединителем с дугогасящей камерой.

Из-за бурного развития потребления электроэнергии, появилась необходимость в создание новых элементов системы, которые бы включали в себя систему дугогасителей. Одним из первых таких устройств дали название разъединителями мощности. Со временем конструкцию таких аппаратов коммутации начали модернизировать и упрощать, снижая цену на их производство и продажу, они стали востребованными, а затем и незаменимыми в своей области.

«Выключатель нагрузки выбирается по следующим параметрам:» [3, с. 46]

«1) По его номинальному току:» [3, с. 47]

$$I_{\text{ном дл}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (5.7)$$

«2) По его номинальному напряжению:» [3, с. 48]

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}; \quad (5.8)$$

«3) По его отключающей способности:» [3, с. 48]

$$I_{\text{мах раб}} \leq I_{\text{ном откл}}; \quad (5.9)$$

«4) По его электродинамической стойкости:» [3, с. 48]

$$I_{n,o} \leq I_{\text{пр.с}}; \quad (5.10)$$

$$i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{пр.с}}; \quad (5.11)$$

«5) И по термической стойкости:» [3, с. 49]

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл.}}; \quad (5.12)$$

«Выберем выключатель нагрузки ВНА-СЭЩ-10.» [3, с. 48]

Выключатель нагрузки ВНА-СЭЩ-10 предназначен для работы в цепях трёхфазного тока частотой 50 Гц и напряжением равным 10 кВ. Обеспечивает надежную работу эклектической системы.

Данный тип выключателя нагрузки относится к автогазовым или газогенерирующим, то есть газ, который предназначен для гашения дуги возникающей в разрыве, образуется деталями самого выключателя, в данном случае от воздействия высокой температуры на полиметилметакрилат.

Скорость отключения данного выключателя составляет не более 0,3 с.

Также конструктивное исполнение данного выключателя нагрузки предполагает возможность наличия видимого разрыва цепи, который позволяет проводить зрительный контроль, требуемый правилами безопасности.

Таблица 5.2 - Сравнение данных выключателя нагрузки

Выключатель нагрузки ВНА-СЭЩ-10	
Расчётные значения	Паспортные значения
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 53 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$
$I_{\text{п.о}} = 11,54 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 51 \text{ кА}$
$I_{\text{уд}} = 27,7 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 51 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 11,54 \cdot 0,2 + 0,1 = 3,46 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{Т}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = 20^1 \cdot 15 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

«Данный выключатель нагрузки предназначен для коммутации трёхфазных токов с частотой равной 50 Гц в цепях, находящихся под нагрузкой. Обеспечивает надёжную и стабильную работу энергосистемы.» [7, с. 194]

5.3 Выбор предохранителя

Предохранители необходимы для разъединения цепи, при значительных токах короткого замыкания, путем перегорания плавкой вставки. Время, которое требуется на расплавление плавкой вставки зависит от тока, протекающего через предохранитель.

Преимуществом использования предохранителей, является высокая надёжность, в следствие того, что принцип работы основан на температуре плавления металла во время протекания сильных токов, но для надёжной работы необходимо заранее правильно рассчитать и выбрать плавкую вставку. Так-

же к преимуществам можно отнести простоту исполнения и следствие – низкая цена на приобретение.

Главным недостатком предохранителей является их количество срабатываний. После первого же перегорания плавкой ставки необходимо покупать новую и заменять испорченную. Также предохранители защищают только от токов короткого замыкания. Из-за окислительных процессов плавкой вставки внутри предохранителя, её диаметр уменьшается, вследствие чего и уменьшается рассчитанный ток срабатывания этого предохранителя, таким образом предохранитель может сработать на меньшие токи, а то и на номинальные, что приведёт к обрыву сети.

«Предохранители выбирают по то рабочему току, напряжению установки, току отключения и конструкции и роду установки.» [3, с. 49]

«1) Рабочий току находится по формуле:» [3, с. 49]

$$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (5.13)$$

«2) По его номинальному напряжению:» [3, с. 49]

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}; \quad (5.14)$$

«3) По его току отключения:» [3, с. 49]

$$I_{\text{п.р.откл}} \leq I_{\text{п.р.откл.ном}}; \quad (5.15)$$

«4) По его конструкции и роду установки.» [3, с. 50]

«Выбираем предохранитель ПКТ 103-10-80-20.» [3, с. 50]

Выбранный предохранитель предназначен для защиты силовых трансформаторов, имеет кварцевый наполнитель, который предотвращает поддержания дуги, во время перегорания проводника.

Патрон данного предохранителя является заменяемым элементом и при исчерпании его ресурса может быть заменён на новый.

Таблица 5.3 - Сравнение данных разъединителя

Предохранитель ПКТ 103-10-80-20	
Расчётные значения	Паспортные значения
$I_{max} = 53 \text{ A}$	$I_{ном} = 80 \text{ A}$
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{п.о} = 11,54 \text{ кА}$	$I_{ном} = 20 \text{ A}$

«Выбранный токоограничивающий предохранитель типа ПКТ работает в сетях с трёхфазным питанием на частоте 50 Гц и номинальным напряжением 10 кВ. Согласно его характеристикам, он произведён в полном соответствии с требованиями ГОСТ 2213-79. Изоляторы устанавливаются на специальном цоколе или непосредственно на элементах конструкции распределительного устройства. Заменяемый патрон предохранителя состоит из двух спаренных патронов. Патрон неразборный состоит из фарфорового корпуса с металлическими колпачками, внутри которого находится токопроводящий плавкий элемент и мелкозернистый кварцевый песок, который обеспечивает гашение дуги. Срабатывание патрона определяется по указателю срабатывания.» [17, с. 143]

5.4 Выбор автоматических выключателей

На данном предприятии, для защиты электроприёмников от токов короткого замыкания, использовались плавкие вставки, которые необходимо заменять при каждом срабатывании, а также они не защищали от перегрузок, из-за чего часто отключалось всё оборудование, присоединённое к определённому шкафу.

В дальнейшем, защита всего оборудования от перенапряжений и токов короткого замыкания, будет выполнена с помощью автоматических выключателей.

Автоматические выключатели имеют ряд преимуществ над устаревшим способом защиты в виде плавких вставок.

Автоматические выключатели, в дальнейшем автоматы, являются защитой многократного действия, после срабатывания переходят в исходное состояние, после чего их опять можно использовать. Также автоматы совмещают защиту короткого замыкания и защиту от перегрузок. Для токов короткого замыкания в устройстве автомата предусмотрен расцепитель, который при протекании сверх токов разъединит цепь. Для защиты от перегрузок автоматы снабжены биметаллической пластиной, состоящей из двух металлов с разной температурой плавления, которые присоединены друг к другу, во время продолжительного нагрева пластины, из-за разных температур плавления, пластина изгибается и в конечном счёте разъединяет участок цепи.

«Автоматические выключатели выбираются по расчётному току линии.» [3, с. 51]

Таблица 5.4 - Выбор вводного автоматического выключателя

Расчётный ток линии	Автоматический выключатель	Номинальный ток расцепителя
1467 А	ВА-СЭЩ-АС16	1600 А

Выбранные автоматические выключатели смогут обеспечить надежную защиту и коммутацию вводных секций питания депо.

В дальнейшем будем придерживаться выбору подобных автоматических выключателей данной фирмы “Электрощит”, т.к. закупка большого числа выключателей у данной фирмы обойдётся дешевле, чем закупка и транспортировка у других предполагаемых продавцов.

В качестве секционного выключателя между шинами низкого напряжения выбираем аналогичный вводному автоматическому выключателю.

Как и говорилось выше вместо установленных выключателей и предохранителей на линиях, выберем автоматические выключатели, которые обеспечат надежную работу сети.

Таблица 5.5 - Выбор автоматических выключателей

Принадлежность линии	Расчётный ток линии, А	Автоматический вы- ключатель	Номинальный ток расцепителя, А
РП №1	250	ВА-СЭЩ-МС 250	250
Освещение	250	ВА-СЭЩ-МС 250	250
Пр. к., ЦРП 3	366	ВА-СЭЩ-МС 400	400
Пр. к., ЦРП 1	580	ВА-СЭЩ-МС 630	630
РП №2	250	ВА-СЭЩ-МС 250	250
Пр. к., ЦРП 4	252	ВА-СЭЩ-МС 400	320
Ад. бытовой	320	ВА-СЭЩ-МС 400	320
Пр. к., ЦРП 2	327	ВА-СЭЩ-МС 400	400

Выберем автоматические выключатели, установленные на каждой ЦРП.

Таблица 5.6 - Выбор автоматических выключателей ЦРП

Принадлежность линии	Расчётный ток линии, А	Автоматический вы- ключатель	Номинальный ток расцепителя, А
ЦРП 1	580	ВА-СЭЩ-МС 630	630
ЦРП 2	327	ВА-СЭЩ-МС 400	400
ЦРП 3	366	ВА-СЭЩ-МС 400	400

ЦРП 4	252	ВА-СЭЩ-МС 400	320
-------	-----	---------------	-----

Выберем автоматические выключатели, установленные на каждом распределительном шкафу

Таблица 5.7 - Выбор автоматических выключателей для ШР

Принадлежность линии	Расчётный ток линии, А	Автоматический выключатель	Номинальный ток расцепителя, А
ШР 1	158,7	ВА-СЭЩ-МС 160	160 А
ШР 2	55,4	ВА-СЭЩ-МС 100	63 А
ШР 3	37,5	ВА-СЭЩ-МС 100	40 А
ШР 4	168,3	ВА-СЭЩ-МС 250	200 А
ШР 5	65,9	ВА-СЭЩ-МС 100	80 А
ШР 6	91,8	ВА-СЭЩ-МС 100	100 А
ШР 7	71,7	ВА-СЭЩ-МС 100	80 А
ШР 8	69,7	ВА-СЭЩ-МС 100	80 А
ШР 9	55,4	ВА-СЭЩ-МС 100	63 А
ШР 10	49,1	ВА-СЭЩ-МС 100	50 А
ШР 11	35,4	ВА-СЭЩ-МС 100	40 А
ШР 12	117,7	ВА-СЭЩ-МС 160	125 А
ШР 13	49,4	ВА-СЭЩ-МС 100	50 А
ШР 14	34,9	ВА-СЭЩ-МС 100	40 А
ШР 15	71,9	ВА-СЭЩ-МС 100	80 А
ШР 16	82,1	ВА-СЭЩ-МС 100	100 А
ШР 17	46,2	ВА-СЭЩ-МС 100	50 А

Продолжение таблицы 5.7

ШР 18	47,0	ВА-СЭЩ-МС 100	50 А
ШР 19	44,9	ВА-СЭЩ-МС 100	50 А
ШР 20	38,5	ВА-СЭЩ-МС 100	40 А
ШР 21	24,8	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
ШР 22	50,8	ВА-СЭЩ-МС 100	63 А

Согласно разделу ПУЭ 3.1 силовые сети промышленных предприятий должны быть защищены от перегрузок, что не выполнено на данный момент, из-за установленных плавких вставок.

Установка плавких вставок на токи перегрузок влечет за собой трудоёмкие расчёты, по этому их используют в основном для защиты только от токов короткого замыкания, посему необходима замена имеющихся плавких вставок на автоматические выключатели, рассчитанные на токи каждого электроприёмника в отдельности.

Данное производство насчитывает более 300 электроприёмников разных типов для выполнения своих технологических процессов, от поднятия домкратов троллейбусов, до нагрева воды.

Для упрощения расчётов защитно-коммутационных аппаратов, объединим все электроприёмники в группы по технологическим процессам с одинаковыми расчётными токами и мощностями.

Установка автоматического выключателя для каждого электроприёмника позволит избежать отключения группы электроприёмников питающих от одного распределительного шкафа, что в свою очередь снизит затраты на простой работы производства.

Таблица 5.8 - Выбор автоматических выключателей для электроприёмников

Принадлежность линии	Расчётный ток линии, А	Автоматический выключатель	Номинальный ток расцепителя, А
Сушильная ка- мера	70,0	ВА-СЭЩ-МС 100	80 А
Приспособление для перевозки кузовов	20,0	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Краскотёрка	25,0	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Вентилятор сан- технич.	6,00	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Эл. Обогрева- тель	2,30	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Отопительный агрегат	15,0	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Привод ворот	6,80	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Домкрат канав- ный	20,0	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Солидоло- нагреватель	6,80	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Домкрат- передвижной	20,0	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Эл. точилка	4,25	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А

Продолжение таблицы 5.8

Кран	34,3	ВА-СЭЩ-МС 100	40 А
Гидро-фильтр	10,5	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Насос	73,3	ВА-СЭЩ-МС 100	80 А
Эл. сушилка	44,0	ВА-СЭЩ-МС 100	50 А
Станок	45,7	ВА-СЭЩ-МС 100	50 А
Ножницы	32,0	ВА-СЭЩ-МС 100	32 А
Машина точеч- ной сварки	19,0	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Пресс	19,6	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Стенд	11,4	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Приспособление для перемещения кузовов	19,6	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Эл. Обогреватель заслонки	8,40	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Точильно- шлифовальный станок	44,6	ВА-СЭЩ-МС 100	50 А
Пылесосная ма- шина	5,30	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Тр-р сварочный	18,8	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А

Продолжение таблицы 5.8

Молот	19,0	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Эл. печь	26,5	ВА-СЭЩ-МС 100	32 А
Прибор для определения твёрдости	3,10	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Вентилятор ду- тьевой	4,95	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Домкрат пере- движной	19,5	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Машина швей- ная	2,86	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Машина пыле- сосная	6,30	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Калорифер	40,0	ВА-СЭЩ-МС 100	40 А
Вентилятор	14,0	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Задвижка	1,40	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Лебёдка	3,12	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Токарно- винторезный станок	20,7	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А
Ножовочная пи- ла	19,5	ВА-СЭЩ-МС 100	25 А

Продолжение таблицы 5.8

Поперечно-строгальный станок	10,5	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Балансировочный станок	30,1	ВА-СЭЩ-МС 100	32 А
Настольно-сверлильный станок	5,14	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А
Эл. ванна	10,2	ВА-СЭЩ-МС 100	16 А

5.5 Выбор измерительных трансформаторов тока

Как для контроля режима работы, так и для расчёта экономических затрат производства используют измерительную технику.

Трансформаторы тока имеют свой срок службы, по приближению к концу которого или истеканию, точность измерения теряется, что влечёт за собой неточные полученные данные, а также неверное срабатывание средств защиты и автоматики присоединённых к ним.

Трансформаторы тока данного предприятия были установлены в 70ых годах и, как морально, так и технически устарели, в следствие чего требуется их замена на более новые и совершенные аналоги. Используем представленные модели завода “Электрощит”, в виду экономической выгоды при закупке и транспортировки.

«Трансформаторы тока выбираются по расчётному току линии.» [3, с. 51]

Таблица 5.9 - Выбор трансформатора тока для вводной линии

Расчётный ток линии	Трансформатор тока	Номинальный ток выключателя
---------------------	--------------------	-----------------------------

1467 А	ТШЛ-СЭЩ-0,4 1500/5	1500
--------	--------------------	------

«Выбираем измерительные трансформаторы тока для каждой линии.» [3, с. 51].

Таблица 5.10 - Выбор трансформаторов тока

Принадлежность линии	Расчётный ток линии, А	Трансформатор тока
РП №1	250	ТШЛ-СЭЩ-0,4 300/5
Освещение	250	ТШЛ-СЭЩ-0,4 300/5
Пр. к., ЦРПЗ	366	ТШЛ-СЭЩ-0,4 400/5
Пр. к., ЦРП1	580	ТШЛ-СЭЩ-0,4 600/5
РП №2	250	ТШЛ-СЭЩ-0,4 300/5
Пр. к., ЦРП4	252	ТШЛ-СЭЩ-0,4 300/5
Ад. бытовой	320	ТШЛ-СЭЩ-0,4 400/5
Пр. к., ЦРП2	327	ТШЛ-СЭЩ-0,4 400/5

«Данные трансформаторы тока выполнены проходными, их корпус выполнен из эпоксидного компаунда, который одновременно является главной изоляцией и обеспечивает защиту обмоток от механических воздействий. Вторичные обмотки размещены каждая на своем магнитопроводе.» [16, с. 94]

5.6 Выбор кабелей и проводников

Большая часть потерь при передаче электроэнергии возлагается на токо-
ведущие части, поэтому выбор наиболее подходящих проводников приведёт к
последующей экономической выгоде.

«Для расчёта кабельной линии используют значения расчётного тока линии, допустимого длительного тока на кабели данного сечения, поправочный коэффициент на условие прокладки о.е. и коэффициент, учитывающий ток для четырёхжильных кабелей в о.е.» [19, с. 74]

«То есть для выбора сечения проводника должно выполняться условие:» [3, с. 54].

$$I_p \leq K_{\pi} \cdot I_{\text{доп}}; \quad (5.16)$$

«где I_p — расчётный ток линии, А; $I_{\text{доп}}$ — допустимый длительный ток на кабели данного сечения, А, K_{π} — поправочный коэффициент на условие прокладки о.е.» [3, с. 55].

$$K_{\pi} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3; \quad (5.17)$$

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп т}} \cdot 0,92,$$

«где $I_{\text{доп т}}$ — табличное значение допустимого тока для трёхжильного кабеля, А; 0,92 — коэффициент, учитывающий ток для четырёхжильного кабеля о.е.» [3, с. 56].

«Выбираем кабели АВВГнг 3х185 + 1х95 и АВВГнг 3х240 + 1х120.» [3, с. 56].

«Найдём поправочный коэффициент на условие прокладки в о.е. для линий с кабелем АВВГ 3х185 + 1х95:» [3, с. 56].

$$K_{\pi} = 1,04 \cdot 1 \cdot 1 = 1,04$$

«Рассчитаем допустимый длительный ток на кабели АВВГнг 3х185 + 1х95:» [3, с. 56].

$$I_{\text{доп}} = 270 \cdot 0,92 = 249 \text{ A}$$

«Проверим кабель АВВГнг 3х185 + 1х95 на расчётный ток линии:» [3, с. 57].

$$250 \leq 1,04 \cdot 249 = 259$$

«Расчёт для остальных линий производится аналогично, результаты расчёта сводятся в таблицу 5.11.» [3, с. 57].

Таблица 5.11 - Выбор сечения питающей линии

Принадлежность линии	Расчётный ток линии, А	Наименование кабеля
РП №1	250	АВВГнг 3х185 + 1х95
Освещение	250	АВВГнг 3х185 + 1х95
Пр. к., ЦРПЗ	366	2(АВВГнг 3х185 + 1х95)
Пр. к., ЦРП1	580	2(АВВГнг 3х240 + 1х120)
РП №2	250	АВВГнг 3х185 + 1х95
Пр. к., ЦРП4	252	АВВГнг 3х185 + 1х95
Ад. бытовой	320	2(АВВГнг 3х185 + 1х95)
Пр. к., ЦРП2	327	2(АВВГнг 3х185 + 1х95)

Таблица 5.12 - Выбор сечения кабелей до ШР

Принадлежность линии	Расчётный ток линии, А	Наименование кабеля
ШР 1	158,7	АВВГнг 3х95 + 1х35
ШР 2	55,4	АВВГнг 3х16 + 1х10
ШР 3	37,5	АВВГнг 3х16 + 1х10

Продолжение таблицы 5.12

ШР 4	168,3	АВВГ _{нг} 3х95 + 1х35
ШР 5	65,9	АВВГ _{нг} 3х25 + 1х16
ШР 6	91,8	АВВГ _{нг} 3х35 + 1х25
ШР 7	71,7	АВВГ _{нг} 3х25 + 1х16
ШР 8	69,7	АВВГ _{нг} 3х25 + 1х16
ШР 9	55,4	АВВГ _{нг} 3х16 + 1х10
ШР 10	49,1	АВВГ _{нг} 3х16 + 1х10
ШР 11	35,4	АВВГ _{нг} 3х16 + 1х10
ШР 12	117,7	АВВГ _{нг} 3х50 + 1х25
ШР 13	49,4	АВВГ _{нг} 3х16 + 1х10
ШР 14	34,9	АВВГ _{нг} 3х10 + 1х6
ШР 15	71,9	АВВГ _{нг} 3х25 + 1х16
ШР 16	82,1	АВВГ _{нг} 3х35 + 1х25
ШР 17	46,2	АВВГ _{нг} 3х16 + 1х10
ШР 18	47,0	АВВГ _{нг} 3х16 + 1х10
ШР 19	44,9	АВВГ _{нг} 3х16 + 1х10
ШР 20	38,5	АВВГ _{нг} 3х16 + 1х10
ШР 21	24,8	АВВГ _{нг} 3х10 + 1х6
ШР 22	50,8	АВВГ _{нг} 3х16 + 1х10

Таблица 5.13 - Выбор сечения кабелей до электроприёмников

Принадлежность линии	Расчётный ток линии, А	Наименование кабеля
Сушильная камера	70,0	АВВГнг 3х16 + 1х10
Приспособление для перевозки кузовов	20,0	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Краскотёрка	25,0	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Вентилятор сантехнич.	6,00	АВВГнг 4х2,5
Машина точечной сварки	19,0	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Пресс	19,6	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Стенд	11,4	АВВГнг 2х1,5 + 1х1,5
Приспособление для перемещения кузовов	19,6	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Эл. Обогреватель	2,30	АВВГнг 4х2,5
Отопительный агрегат	15,0	АВВГнг 4х2,5
Привод ворот	6,80	АВВГнг 4х2,5
Домкрат канавный	20,0	АВВГнг 4х2,5
Солидоло-нагреватель	6,80	АВВГ 4х2,5
Домкрат-передвижной	20,0	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Кран	34,3	АВВГнг 3х6 + 1х4

Продолжение таблица 5.13

Калорифер	40,0	АВВГнг 3х6 + 1х4
Гидро-фильтр	10,5	АВВГнг 4х2,5
Насос	73,3	АВВГнг 3х16 + 1х10
Эл. сушилka	44,0	АВВГнг 3х10 + 1х6
Станок	45,7	АВВГнг 3х10 + 1х6
Ножницы	32,0	АВВГнг 3х6 + 1х1,5
Эл. Обогреватель за- слонки	8,40	АВВГнг 4х2,5
Вентилятор	14,0	АВВГнг 4х2,5
Задвижка	1,40	АВВГнг 4х2,5
Лебёдка	3,12	АВВГнг 4х2,5
Токарно-винторезный станок	20,7	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Ножовочная пила	19,5	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Точильно- шлифовальный станок	44,6	АВВГнг 3х10 + 1х6
Пылесосная машина	5,30	АВВГнг 4х2,5
Тр-р сварочный	18,8	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Эл. точилка	4,25	АВВГнг 4х2,5
Молот	19,0	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5

Продолжение таблицы 5.13

Эл. дистиллятор	6,10	АВВГнг 4х2,5
Эл. печь	26,5	АВВГнг 3х4 + 1х2,5
Прибор для определения твёрдости	3,10	АВВГнг 4х2,5
Вентилятор дутьевой	4,95	АВВГнг 4х2,5
Домкрат передвижной	19,5	АВВГнг 3х2,5 + 1х1,5
Машина швейная	2,86	АВВГнг 4х2,5
Машина пылесосная	6,30	АВВГнг 4х2,5
Поперечно-строгальный станок	10,5	АВВГнг 4х2,5
Балансировочный станок	30,1	АВВГнг 3х4 + 1х2,5
Настольно-сверлильный станок	5,14	АВВГнг 4х2,5
Эл. ванна	10,2	АВВГнг 4х2,5
Стол для пайки и лужения	6,80	АВВГнг 4х2,5
Моечная установка	4,20	АВВГнг 4х2,5
Мешалка	14,7	АВВГнг 4х2,5
Стенд для зарядки аккумулятора	13,0	АВВГнг 4х2,5

Продолжение таблицы 5.13

Выпрямительный агрегат	17,3	АВВГнг 3х2,5 + 1,5
Шкаф сушильный	5,80	АВВГнг 3х2,5
Шкаф вытяжной	3,20	АВВГнг 4х2,5
Обеспыливающий агрегат	4,95	АВВГнг 3х2,5

В соответствии с разделом ПУЭ 2.1, не допускается использование алюминиевых проводников с сечением кабеля меньшим 16 мм^2 , за исключением оборудования схожего с технологическими процессами насосов, вентиляторов, калориферов, установки кондиционирования воздуха и т.п. в таком случае минимальное сечение кабеля должно равняться $2,5 \text{ мм}^2$. Пользуясь этим допущением мы выбрали кабели типа АВВГнг для всех распределяющей сети и всех электроприёмников.

Также в соответствии всё того же раздела ПУЭ, необходимо использовать проводники, не распространяющие горение, для этой цели используется проводники в изолирующем слое которых содержатся галогеновые химические элементы, которые препятствуют процессу горения, такие кабели как раз не распространяют горение.

5.7 Выбор распределительного шкафа для группы новых электроприёмников

На территории производства есть необходимость в установке новых электроприёмников, для которых нужно установить распределительный шкаф.

«Выбор шкафов производят по сравнению номинальных токов, количеству электроприёмников, току срабатывания защиты и пусковому току электроприёмников.» [21, с. 71]

«1) По номинальному току:» [3, с. 48]

$$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (5.18)$$

«2) По количеству электроприёмников:» [3, с. 48]

$$n_{\text{эп}} \leq n_{\text{ш}}; \quad (5.19)$$

«3) По току срабатывания защиты:» [3, с. 48]

$$I_{\text{сз1}} \leq I_{\text{сз2}}; \quad (5.20)$$

«4) По его электродинамической стойкости:» [3, с. 48]

$$I_{\text{сз1}} \leq I_{\text{п/а}}; \quad (5.21)$$

«Выбираем шкаф компактный распределительный из нержавеющей стали SES 30.20.15 с автоматическим выключателем ВА-СЭЩ-МС 100 на номинальный ток отключения 40 А.» [3, с. 48]

5.8 Выбор защитного аппарата для конденсаторной установки

Для аппаратов защиты конденсаторных установок, в данном случае конденсаторных батарей, предъявляются особые требования. Главным требованием является возможность выдерживать сверхтоки, вызванные гармониками напряжения.

Для конденсаторных установок мощностью более 100 квар, $Q > 100$ квар, номинальный ток автоматического выключателя должен находиться по формуле:

$$I_n = 1,3 \cdot 1,05 \cdot I_{\text{ку}}; \quad (5.22)$$

где $I_{ку}$ — номинальный ток компенсирующей установки

Таблица 5.14 – Характеристики конденсаторной установки УКРМ - 0,4 - 175 – 25

Наименование	Значение
Номинальное напряжение	0,4 кВ
Номинальная мощность установки	175 квар
Номинальная мощность ступеней	7х25
Номинальный ток установки	252 А

Рассчитаем номинальный ток автоматического выключателя для компенсирующих установок:

$$I_n = 1,3 \cdot 1,05 \cdot 252 = 344 \text{ А}$$

Для данных конденсаторных установок выбираем автоматический выключатель: ВА-СЭЩ-МС 400 с номинальным током $I_n = 400 \text{ А}$.

6 Распределение нагрузки по секциям на стороне низкого напряжения

Ввиду перерасчёта нагрузки предприятия, а также расширения числа электроприёмников, токовая нагрузка, которая прикладывается к секциям шин низкой стороны изменилась: I – секция = 1467 А, II – секция = 1149 А.

Из этих данных следует, что I – секция не проходит проверку по длительно допустимому току, который составляет 1320 А для алюминиевой шины 80×8 (на предприятии установлены АТ (80×8)).

Для уменьшения номинальных токов, протекающих по I – секции и равномерного распределения нагрузки принято решение переключить питание таким образом: ЦРП 3 теперь питается от II секции, а ЦРП 4 от I секции, а также ШР - 19 теперь питается от ЦРП 2.

В таком случае, ток протекающей по I – секции составляет 1309 А, а по II – секции 1307 А.

7 Расчёт заземления

Данное депо имеет большое количество электроприёмников с металлическими корпусами, которые необходимо заземлить, согласно разделу 1.7 ПУЭ, который гласит, что все не находящиеся под напряжением части электроприёмников должны быть заземлены.

В качестве заземляющего устройства используем наружный контур, который будет состоять из 10 вертикальных и горизонтальных электродов любой марки чёрной стали, закопанных полностью в землю на расстояние 1 м от фундамента здания и глубину 1 м. Длина вертикальных электродов составляет 3 м, а их диаметр 20 мм, ширина горизонтальных электродов составляет 40 мм.

Заземляющее устройство будет соединено с глухозаземлённой нейтралью трансформаторов и внутреннего контура заземления, к которому будут присоединяться части электроприёмников не находящиеся под напряжением. Внутренний контур заземления выполнен из стальной крашеной в яркий жёлтый цвет полосы сечением $25 \times 4 \text{ мм}^2$, проложенной по стене на высоте 0,4 м от пола.

«Уточненное удельное сопротивление грунта в районе строительства:» [9, с. 60]

$$\rho = \rho_{\text{уд}} \cdot \psi; \quad (7.1)$$

«где $\rho_{\text{уд}}$ — удельное сопротивление грунта, Ом·м, ψ — коэффициент сезонного изменения удельного сопротивления» [9, с. 60]

$$\rho = 100 \cdot 1,1 = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

«Сопротивление вертикальных электродов находится по следующей формуле:» [9, с. 61]

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \lg \frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} ; \quad (7.2)$$

«где L — длина стержня, м; d — диаметр стержня, м; t — расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.» [9, с. 61]

$$R_B = \frac{0,366 \cdot 110}{2,5} \cdot \lg \frac{2,5 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,02} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,5 + 2,5}{4 \cdot 2,5 - 2,5} = 43,6 \text{ Ом}$$

«Сопротивление горизонтальных электродов находится по формуле:» [9, с. 61]

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho}{L_{\Pi}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{\Pi}^2}{b \cdot t}; \quad (7.3)$$

«где L_{Π} — длина полосы, м; b — ширина полосы, м; t — расстояние от поверхности земли до полосы, м.» [9, с. 61]

«Рассчитаем сопротивление горизонтального электрода:» [9, с. 61]

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 110}{320} \cdot \lg \frac{2 \cdot 320^2}{0,04 \cdot 1} = 0,84 \text{ Ом}$$

«Суммарное сопротивление вертикальных электродов находится по формуле:» [9, с. 62]

$$R_{B \text{ сум}} = \frac{R_B}{n \cdot K_{\text{ив}}}; \quad (7.4)$$

«где $K_{\text{ив}}$ — коэффициент использования вертикальных электродов, n — число вертикальных электродов.» [9, с. 62]

«Найдем суммарное сопротивление вертикальных:» [9, с. 62]

$$R_{в\text{ сум}} = \frac{43,6}{10 \cdot 0,77} = 5,7 \text{ Ом}$$

«Суммарное сопротивление горизонтального электрода находится по формуле:» [9, с. 62]

$$R_{в\text{ сум}} = \frac{R_{г}}{K_{иг}}; \quad (7.5)$$

«где $K_{иг}$ — коэффициент использования горизонтального электрода.» [9, с. 62]

«Рассчитаем суммарное сопротивление горизонтального электрода:» [9, с. 63]

$$R_{г\text{ сум}} = \frac{0,84}{0,56} = 1,5 \text{ Ом};$$

«Полное сопротивление заземляющего устройства находится по формуле:» [9, с. 63]

$$R_{зу} = \frac{R_{в\text{ сум}} + R_{г\text{ сум}}}{R_{в\text{ сум}} \cdot R_{г\text{ сум}}}; \quad (7.6)$$

«Рассчитаем полное сопротивление заземляющего устройства:» [9, с. 63]

$$R_{зу} = \frac{5,7 + 1,5}{5,7 \cdot 1,5} = 0,84 \text{ Ом}$$

«Согласно ПУЭ, нормируемое сопротивление для данного объекта должно не превышать значения 4 Ом.» [9, с. 64]

$$0,84 < 4$$

Данное заземляющее устройство удовлетворяет требования ПУЭ, а значит его можно установить на производстве.

«Заземляющее устройство расположено по периметру депо и состоит из наружного контура длиной 320 м и 10 вертикальных электродов, которые расположены на одинаковом расстоянии друг от друга.» [9, с. 63]

«Сопротивление заземляющего устройства в любое время года не должно превышать 4 Ом. В случае отклонения фактического измеренного значения удельного сопротивления грунта от принятого в расчётах и в соответствии сопротивления заземляющего устройства требованиями главы 1.7 ПУЭ, допускается забить дополнительные вертикальные электроды.» [9, с. 63]

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе рассматривался вопрос о модернизации системы электроснабжения Муниципального Предприятия Тольяттинского Троллейбусного Управления депо №3.

Был произведён перерасчёт электрических нагрузок, в результате которого суммарная активная мощность предприятия составила $P_p = 768,6$ кВт, реактивная равна $Q_p = 777,0$ квар, а результирующая мощность равна $S_p = 1153,3$ кВА.

После расчёта электрических нагрузок были рассмотрены два варианта трансформаторов, сравнивались экономические затраты на их установку. В ходе расчётов был выбран вариант с трансформатором ТМГ - 630\10, герметичное исполнение которого обосновывается тем, что трансформаторы располагаются внутри помещения. Т.к. предприятие относится ко второй категории надёжности электроснабжения установили два таких трансформатора.

Так же, для замены устаревшего электрооборудования, рассчитали токи короткого замыкания в наиболее важных точках, на шинах высокого и низкого напряжения, а также на пути к самому удалённому и мощному электроприёмнику. На основании этих расчётов выбрали разъединители РВ-СЭЩ 10, выключатель нагрузки ВНА-СЭЩ-10, вводной выключатель ВА-СЭЩ-АС16 и предохранитель ПКТ 103-10-80-20 У3 на стороне 10 кВ. Для каждой линии от шин низкого напряжения, заменили имеющиеся разъединители и предохранители на автоматические выключатели марки ВА-СЭЩ-МС 400 и ВА-СЭЩ-МС 600. Трансформаторы тока были заменены на ТШЛ-СЭЩ-0,4 300/5, ТШЛ-СЭЩ-0,4 400/5, ТШЛ-СЭЩ-0,4 600/5, заменили аппарат защиты для конденсаторной установки на ВА-СЭЩ-МС 400. Вместо старых кабельных линий, рассчитали и установили новые, заменили все плавкие вставки для защиты электроприёмников на автоматические выключатели ВА-СЭЩ-МС.

Для установки новых электроприёмников в виде автомобильных подкатных подъёмников, был выбран шкаф компактный распределительный из не-

ржавеющей стали SES 30.20.15 с автоматическим выключателем ВА-СЭЩ-МС100 на номинальный ток 40 А.

Для уменьшения номинальных токов, протекающих по I – секции и равномерного распределения нагрузки переключили питание таким образом: ЦРП 3 теперь питается от II секции, а ЦРП 4 от I секции, а также ШР - 19 теперь питается от ЦРП 2.

В конце рассчитали заземляющее устройство, которое бы удовлетворяло условия для данного объекта.

Список используемых источников

1. Рожин А.Н., Бакшаева Н.С. Внутрицеховое Электроснабжение: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров : ВятГУ, 2014. 259 с.
2. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. Тольятти: 2015. 68 с.
3. Степкина Ю.В, Салтыков В.М. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования. Тольятти : ТГУ, 2015. 123 с.
4. Шехцов В.П. Расчёт и проектирование схем электроснабжения. учеб. пособие для курсового проектирования. Тольятти : ТГУ, 2015. 213 с.
5. Вахнина В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб. пособие для практических занятий и курсового проектирования. Тольятти : ТГУ, 2014. 119 с.
6. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование осветительных установок: учебн. пособие. Тольятти : ТГУ, 2014. 147 с.
7. Вахнина В.В., Горячева В.Л., Стёпкина Ю.В. Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий: учебн. пособие. Тольятти : ТГУ, 2015. 115 с.
8. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование системы электро-снабжения цеха предприятия: метод. указания по курсовому проектированию. Тольятти : ТГУ, 2014. 171 с.
9. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 марта 2012 г. М : КНОРУС, 2012. 500 с.
10. ГОСТ Р 51732-2001 - Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий : утв. и введены в дей-

ствие Приказом Росстандарта от 27.12.2012 N 1971-ст // Консультант плюс: справочно-правовая система.

11. Шевченко Н.Ю. Электроснабжение: учебн. пособие. Волгоград : ВолгГТУ, 2015. 231 с.

12. Mcdonald J. D. Electric Power Substations Engineering. : Майями : CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. 593 с.

13. Hewitson H., Leslie G. Practical System Protection, Practical Professional Books. : Newnes. 2008. 290 с.

14. Удалов С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебн. пособие. М : НГТУ, 2014. 459 с.

15. Папков Б.В. Надежность и эффективность электроснабжения: учебн. пособие. Уфа : УГАТУ, 2015. 541 с.

16. Федоров А.А. Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: учебн. пособие. М : Энергоатамиздат, 2014. 554 с.

17. Горелов С. В. Татьянченко Л. Н. Хомутов С. О. Изоляция и перенапряжения в системах электроснабжения: учебное пособие, Ч. 1. М : Директ-Медиа, 2016. 117 с.

18. Киреева Э.А. Повышение надежности, экономичности и безопасности систем цехового электроснабжения. М : Энергопрогресс, 2017. 224 с.

19. Абрамова Е.С. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. М : ОГУ, 2014. 106 с.

20. Барыбина Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения, Москва : Энергоатомиздат, 2015. 197 с.

21. Григорьев В.И. Справочник энергетика. Учебник, Москва : Колос, 2016. 79 с.

22. Gers J. M., Holmes E. D. Protection of Electricity Distribution Networks, New-York : The Institution of Engineering and Technology, 2015. – 368 с.

23. Lakervi E. Electricity Distribution Network Design, 2nd Edition (Energy Engineering), New-York : The Institution of Engineering and Technology, 2018. 338 с.

24. Bayliss C. Transmission and Distribution Electrical Engineering, New-York : Newnes, 2014. 1180 с.

25. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств, Москва : Высшая школа, 2015. 139 с.