

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

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

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство группы цехов АО «АВТОВАЗ»

Студент

А.Е. Абрамов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

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

Тольятти 2020

Аннотация

В данной квалификационной работе «Электрооборудование и электрохозяйство группы цехов АО «АВТОВАЗ»» Было рассмотрено электрооборудование и электроснабжения электроприемников, так же были произведены вычисления по определению нагрузок здания и цехов компании, но и также номинальных токов.

В работе рассмотрен выбор числа и типов трансформаторов по приведённым общим затратам.

По рассчитанным значениям было рассмотрено защитное оборудование электроснабжения здания и приведена схема электроснабжения здания с объяснением.

В тексте работы также приводятся вычисления токов короткого замыкания с проверкой автоматических выключателей на способность противостоять воздействию ударных токов КЗ.

Данная бакалаврская работа состоит из пояснительная записка объемом 48 страниц, дополняемой 4 таблицами и 11 рисунками.

ABSTRACT

In this qualification work "Electrical equipment and electrical equipment of the group of workshops of JSC" AVTOVAZ "Electrical equipment and power supply of electrical receivers were considered and calculations were made to determine loads of the building and workshops of the company, but also nominal currents.

The selection of number and types of transformers according to the given total costs is considered in the work.

According to the calculated values, the protective equipment of the building power supply was considered and the power supply scheme of the building with explanation was presented.

The text of work also shows the removal of short-circuit currents with check of automatic switches for the ability to withstand the impact currents of the short-circuit.

This bachelor 's work consists of an explanatory note of 47 pages, supplemented by 4 tables and 11 drawings.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Краткая характеристика научно-технического центра.....	6
2 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цехам.....	7
2.1 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей....	7
2.2 Определение электрических нагрузок освещения.....	9
2.3 Определение реактивной и активной осветительной нагрузки.....	12
2.4 Определение суммарных электрических нагрузок по корпусу.....	13
2.5 Монтаж светильников и прокладка кабелей.....	14
3 Расчет числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	16
3.1 Предварительный расчет мощности и числа трансформаторов.....	16
3.2 Расчет номинальной мощности трансформаторной подстанции...	16
3.3 Выбор КТП.....	22
3.4 Расчет контура заземления для КТП 1600/10/0,4.....	23
3.5 Расчет контура заземления для КТП-СЭЩ-П 1000/10/0,4.....	23
4 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения.....	27
5 Выбор оборудования внутрицеховой сети.....	28
5.1 Выбор оборудования внутрицеховой сети с учетом разделенияЭП.....	28
5.2 Выбор измерительных трансформаторов тока.....	37
6 Расчет токов короткого замыкания.....	38
6.1 Параметры расчетной схемы.....	39
6.2 Расчет токов короткого замыкания.....	41
6.3 Проверка оборудования.....	45

Заключение.....	46
Список используемой литературы.....	47

Введение

В своё время Никола Тесла сказал: «Смениться множество поколений и наши машину будут питаться энергией, которую они смогут получать в любой точки вселенной. Ведь энергия вокруг нас» Никола тесла, 1892 г.

И действительно ведь на сегодняшний момент в нашеммирес каждым днем увеличивается производство автомобилей. С возрастанием производства, возрастает и требование предъявляемые к электроэнергии. Более сложный процесс производства требует от электроэнергии повышенной надежности, качества и экономичности.

Грамотно подобранное электроэнергетическое оборудование считается гарантом длительной и бесперебойной работы всех объектов производства, поэтому должно применяться новейшее электроэнергетическое оборудование.

Данный научно-технический-комплекс был открыт 4 сентября 1986 года правительством СССР: «Время, когда создавался научно-технический центр, было непростым для всей страны. Тем не менее, завод нашел силы и средства, чтобы завершить проект НТЦ» - отметил Евгений ШМЕЛЕВ, вице-президент АВТОВАЗа по техническому развитию.

Электроснабжение данного комплекса осуществляется от ГПП 110/10 кВ. Далее кабель проходит по воздушным линиям электропередач до пяти ТП 10/04 кВ. В самом здании все электрооборудования цехов запитывается кабелями от сети 0,4 кВ.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается одно из зданий с несколькими цехами научно-технического центра АО «АВТОВАЗ».

Целью данной выпускной квалификационной работы является рассмотрение показателей качества электроэнергии и надежности электрооборудования и электрохозяйства сооружения.

1 Краткая характеристика объекта

Данный научно-технический центр принадлежит компании АО «АвтоВАЗ» и расположен недалеко от промышленных цехов. Данный комплекс специализируется на испытание электрооборудовании автомобиля.

Электроснабжение здания и цехов, располагающихся в нем, происходит от ГПП, расположенной в промышленной части производства. Потребители комплекса научно-технического центра и относящихся к ним цехов относят к 2 категории надежности электроснабжения.

Перечень цехов, которые входят в здании научно-технического центра приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень цехов входящих в здания научно-технического центра.

Цех с азотрубой для испытания автомобиля
Цех с климатической камерой
Цех по испытанию электрооборудования автомобиля
Цех по испытанию и проверки аккумуляторных батарей
Цех по испытанию жгутов и проводов
Цех по проверки электромагнитной совместимости

2 Определения ожидаемых электрических нагрузок по цеху

2.1 Определение электрических нагрузок

Для начала рассчитываем общую активную мощность каждой подгруппы электроприемников:

$$P_{н.Σ} = P_{ном} \cdot n \quad (1)$$

Далее для каждого из электроприемника выписываем соответствующие коэффициенты использования (k_u) и коэффициенты мощности ($\cos\varphi$)

После чего определяем коэффициент силовой сборки:

$$m = \frac{P_{н.макс}}{P_{н.мин}} \quad (2)$$

$$m = \frac{534}{2} = 267 \Rightarrow m > 3$$

Находим среднесменные активную и реактивную нагрузки для каждой подгруппы электроприемников:

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{нΣ} \quad (3)$$

$$Q_{CM} = P_C \cdot tg\varphi \quad (4)$$

Так же находим средний коэффициент использования и среднее значение $tg\varphi_{cp}$ по цеху без учета освещения:

$$K_{и.ср} = \frac{\sum P_{CM}}{\sum P_{H,\Sigma}} \quad (5)$$

$$K_{и.ср} = \frac{1618,65}{3303,5} = 0,49 ;$$

$$tg\varphi_{cp} = \frac{\sum Q_{CM}}{\sum P_{CM}} \quad (6)$$

$$tg\varphi_{cp} = \frac{1639,849}{1618,665} = 1,01.$$

Устанавливаем количество эффективных электроприемников:

$$n_э = \frac{(\sum P_{H,\Sigma})}{\sum (P_{H,\Sigma}^2)}; \quad (7)$$

$$n_э = 7 \text{ шт.}$$

Находим коэффициент максимума

$$K_M = 1,58 .$$

Определяем расчетную активную и реактивную нагрузку трехфазных электроприемников:

$$P_p = K_M \cdot \sum P_{CM};$$

$$P_p = 1,58 \cdot 1618,65 = 2557,47 \text{ кВт}; \quad (8)$$

Учитываю то, что $n_э > 10$, то

$$\begin{aligned} Q_p &= \sum Q_{см} \cdot 1,1; \\ Q_p &= 1803,83 \text{ квар.} \end{aligned} \tag{9}$$

Определяем полную расчетную нагрузку:

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \\ S_p &= \sqrt{2557,47^2 + 1803,83^2} = 3129,61 \text{ кВА} \end{aligned} \tag{10}$$

Определяем расчетный ток:

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \\ I_p &= \frac{3129,61}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 4517,21 \text{ А} \end{aligned} \tag{11}$$

2.2 определение электрических нагрузок освещения

Расчеты количества и мощности люминесцентных ламп произведены в программе DiaLux 4.13.

Для каждого цеха используется одна и та же формула

$$S = a \cdot b - c \cdot d \tag{12}$$

Где a – это длина цеха, b – это ширина цеха, c – общая длина не относящаяся к территории цеха.

Далее по формуле определяем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (a + b)} \quad (13)$$

Где H - это высота цеха; h_1 - это высота подвеса светильника, h_2 - высота рабочей поверхности.

Определяем средний коэффициент отражения потолка, стен и пола:

Потолок 65%

Стены 50%

Пол 30%

По [2] определяем необходимый уровень освещения в цеху.

По рекомендации к установке [5] был принят светильник ЛСПО СТС с 4 люминесцентными лампами в одном светильнике, мощность каждой лампы 58 Вт.

Данные светильники хорошо подходят как основной источник света на крупных предприятиях и цехов, складских объектов, спортивных арен и торговых помещений. Так как в научно-техническом центре все цеха разной высоты, то этот светильник идеально подходит для установки в этих цехах, так как светильник можно устанавливать на высоте от 5 и до 16 метров. И он будет обеспечивать равномерное освещение от 300 Лк до 2000 Лк. В светильнике так же встроен микроконтроллер с классом точности 0.98 и его класс энергопотребления АВАТ(BestAvailableTechnology).

Корпус состоит из листовой стали, покрытая стойкой краской белого цвета, со съемными отражателями, которые можно как монтировать, так и демонтировать без отключения самого светильника. Это обеспечивает удобство чистки. Далее на рисунке 1 и 2 показан внешний вид светильника ЛСПО СТС 4x58.



Рисунок 1-внешний вид светильника ЛСПО СТС 4x58



Рисунок 2 - внешний вид светильника ЛСПО СТС 4x58.

Кривые силы распределения света показаны на рисунке 3.

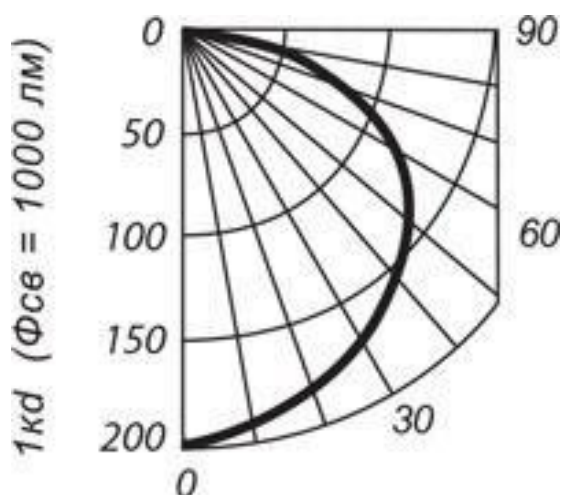


Рисунок 3 – Кривые силы распределения света

По формуле определяется требуемое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (14)$$

Где E — это требуемая горизонтальная освещенность; S —это площадь цеха; K_3 — это коэффициент запаса; η — это коэффициент использования; n — это количество ламп в светильнике; $\Phi_{\text{л}}$ — это световой поток одной лампы.

2.3 Расчет реактивной и активной осветительной нагрузки:

$$P_{\text{осв}} = \Sigma \cdot n \cdot P_{\text{с}}; \quad (15)$$

$$P_{\text{р.осв}} = 60,06 \text{ кВт};$$

$$\cos\varphi = 0,85 \Rightarrow \text{tg}\varphi = 0,62.$$

Полученное значение – это активная осветительная нагрузка. С помощью $\text{tg}\varphi$ рассчитываем расчетную реактивную нагрузку.

$$Q_{p.осв} = 60,06 \cdot 0,62 = 37,23 \text{квар.}$$

Определим полную рабочую осветительную нагрузку:

$$S_{p.осв} = \sqrt{60,06^2 + 37,23^2} = 65,93 \text{кВа}$$

Далее найдем расчетный ток осветительной нагрузки по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \quad (1)$$
$$I_{осв} = \frac{65,93}{1,73 \cdot 0,4} = 85,2 \text{ А} \quad 6)$$

2.4 Вычисление суммарных электрических нагрузок по корпусу

Рассчитываем суммарную активную и реактивную мощность:

$$P_{\Sigma} = P_p + P_{p.осв}; \quad (17)$$

$$P_{\Sigma} = 2557,47 + 60,06 = 2617,535 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = Q_p + Q_{p.осв}; \quad (18)$$

$$Q_{\Sigma} = 1803,834 + 37,24 = 1841,07 \text{квар.}$$

Определяем полную суммарную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (19)$$

$$S_p = \sqrt{2617,53^2 + 1841,07^2} = 3200 \text{ кВА}$$

Определяем суммарный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 0,4};$$
$$I_p = \frac{3200}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 4619 \text{ A.}$$

20)

2.5 Монтаж светильников и прокладка кабелей

Монтаж светильников происходит за счет подвеса к нижнему поясу фермы. Крепление к ферме происходит с помощью двух металлических профилей, ответвительная коробка закрепляется к одному из профилей. Сам светильник устанавливается на разной высоте, так как ранее говорилось что, в научно-техническом центре, разные цеха имеют разную высоту. Схемамонтажа светильников представлена на рисунке 4.

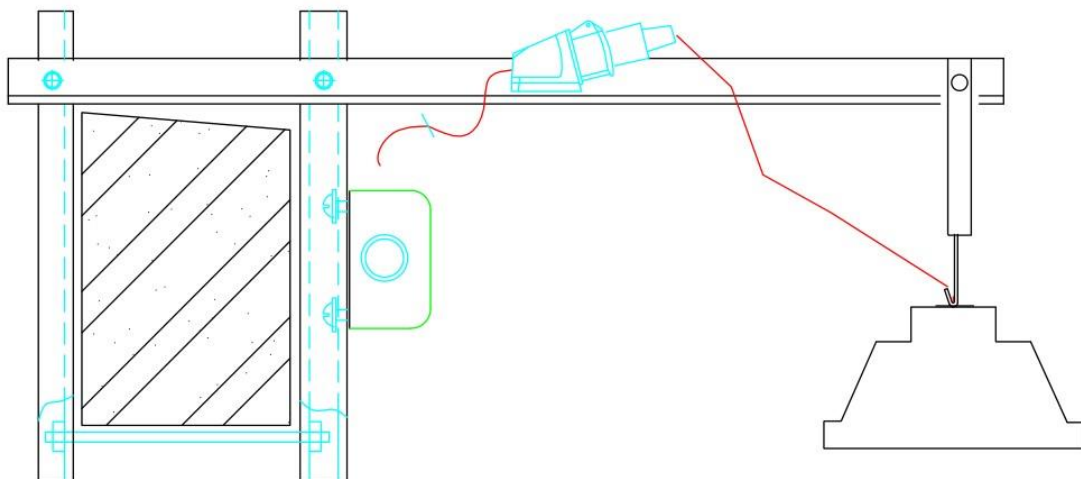


Рисунок 4 – схема монтажа светильника

Но также нужна прокладка кабелей для системы аварийного освещения. Прокладывания кабелей системы аварийного освещения проходит в отдельном лотке, который так же закреплён на нижнем поясе фермы[3]. Пример прокладки приведен на рисунке 5. Монтаж эксплуатационного светильника осуществляется разными способами так как высота цехов варьируется от 5 и до 12,5 метров.

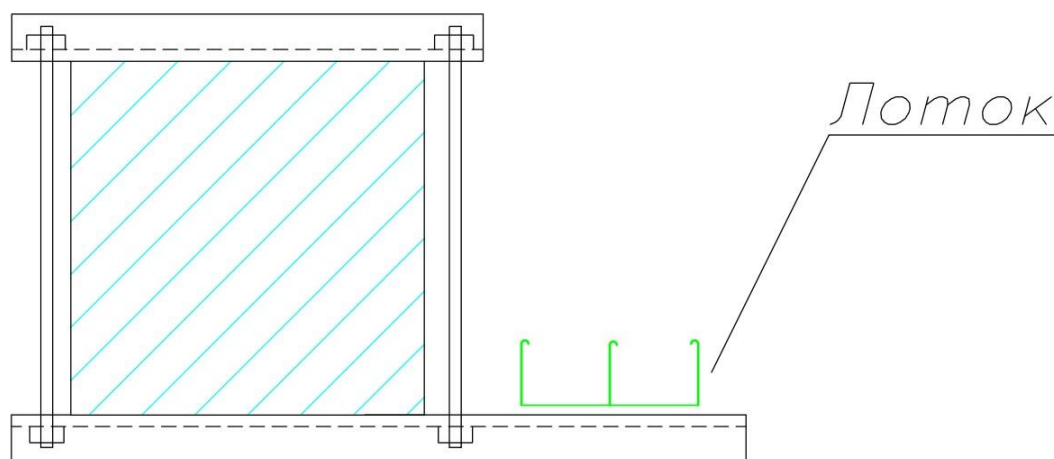


Рисунок 5 – прокладка лотков.

3 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

3.1 Предварительный расчет числа и мощности трансформаторов

Поскольку в здании находится 5 ТП, расчет был осуществлён по индивидуальной расчетной активной мощности ТП.

$$P_{p\Sigma} = 1269,95 \text{ кВт};$$

$$Q_{p\Sigma} 991,57 \text{ квар}$$

$$S_{\text{ном}} = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T};$$

$$S_{\text{ном}} \frac{1269,95}{0,8 \cdot 2} = 793,72 \text{ кВА}$$

(21)

$$S_{p\Sigma} 1611,16 \text{ кВА};$$

Так как научно-исследовательский центр является потребителем 2 категории надежности электроснабжения, к установки принимались пять трансформаторов. Выбор трансформаторов был осуществлён расчетом экономического анализа.

Исходя из данных условий принимаем $K_3 = 0,8$.

3.2 Расчет номинальной мощности трансформаторной подстанции

Рассмотрим вариант с пятью трансформаторами ТМГ 1000/10/04

По справочнику находим:

$$\Delta P_{xx} = 1,55 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 10,8 \text{ кВт};$$

$$U_{кз} = 6\%;$$

$$S_H = 1000 \text{ кВА};$$

$$i_o = 1,2\%.$$

Потери в трансформаторе

$$\Delta P_{T\Sigma} = N_T \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}); \quad (22)$$

$$\Delta P_{T\Sigma} = 5 \cdot (0,2 + 0,8^2 \cdot 10,8) = 35,56 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = N_T \cdot (P_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \frac{S_H}{100}; \quad (23)$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = 5 \cdot (1,3 + 0,8^2 \cdot 6) \cdot \frac{1000}{100} = 257 \text{ квар.}$$

Где N_T количество трансформаторов; ΔP_T — это потери активной мощности одного трансформатора; ΔQ_T — это потери реактивной мощности одного трансформатора.

Определяем расчетную нагрузку корпуса с учетом потерь в трансформаторе.

$$P_p = P_{P\Sigma} + P_{T\Sigma}; \quad (24)$$

$$P_p = 1269,95 + 35,56 = 1305,51 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma}; \quad (25)$$

$$Q_p = 991,57 + 257 = 1248,57 \text{ квар.}$$

Реактивная мощности в часу минимума нагрузки:

$$Q_{min} = Q_p \cdot 0,5; \quad (26)$$

$$Q_{min} = 1248,57 \cdot 0,5 = 624,28 \text{ квар.}$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = a \cdot P_p;$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = 0,28 \cdot 1305,57 = 365,56 \quad (28)$$

Экономическое обоснование реактивной мощности в часы максимума предприятия

$$Q'_{\varepsilon 1} = Q_P' - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}} \quad (27)$$

$$Q'_{\varepsilon 1} = 1248,57 - 0,7 \cdot 0 = 1248,57$$

Где $a = 0,28$; $Q_{\text{сд}} = 0$

Из-за пониженного напряжения в часы наибольших нагрузок принимаем меньшее из значений:

$$Q_{\varepsilon 1} = 365,56 \text{ квар.}$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{\varepsilon 2} = Q_{\text{min}} + Q_K;$$

$$Q'_{\varepsilon 2} = 624,28 + 0 = 624,28; \quad (29)$$

$$Q''_{\varepsilon 2} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\varepsilon 1}); \quad (30)$$

$$Q''_{\varepsilon 2} = 624,18 - (1248,57 - 365,56) = 258,83$$

где $Q_K = 0$

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем большее из значений:

$$Q_{\varepsilon 2} = 624,28$$

Рассчитываем общую мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку.маx}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\text{э1}}; \quad (31)$$

$$Q_{\text{ку.маx}} = 1,1 \cdot 1248,57 - 365,56 = 971,31 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{ку.миn}} = Q_{\text{миn}} - Q_{\text{э2}}; \quad (32)$$

$$Q_{\text{ку.миn}} = 624,28 - 624,28 = 0 \text{ квар.}$$

Все КУ настраиваемые:

Реактивная мощность, которая должна передаваться из сети 10 кВ в сеть с напряжением 1 кВ не должна компенсироваться.

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\text{э1}} - (Q_p - Q_{p\Sigma}) \quad (33)$$

$$Q_{\text{эн}} = 365,56 - (1248,57 - 991,57) = 108,56 \text{ квар.}$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_H)^2 - P_{P\Sigma}^2}; \quad (34)$$

$$Q_T = \sqrt{(5 \cdot 0,8 \cdot 1000)^2 - 1269,95^2} = 3793,05 \text{ квар.}$$

Далее рассчитываем мощность КУ на стороне 1 кВ:

$$Q_{\text{ку}} = Q_{P\Sigma} - Q_T; \quad (35)$$

$$Q_{\text{ку}} = 991,57 - 3793,05 = -2801,48$$

По расчетным данным видно, что на территории установлена конденсаторная установка.

Мощность КУ, которые установлены на стороне 10кВ:

$$Q_{\text{КУ.В}} = Q_{\text{КУ.max}} - Q_{\text{КУ.Н}}; \quad (36)$$

$$Q_{\text{КУ.В}} = 971,31 - 2801,48 = -1830,17 \text{ квар.}$$

По данным расчета видно, что на стороне 10 кВ так же установлен КУ.
Затраты на установку КТП с трансформатором ТМГ-1000:

$$C = C_0(\Delta P_{\text{xx}} \cdot N_{\text{мп}} \cdot T_p + \tau_n \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \frac{1}{N_{\text{мп}}}) \quad (37)$$

$$C = 0,87(1,55 \cdot 5 \cdot 8760 + 0,8^2 \cdot 10,5 \cdot 2886 \cdot 0,2) = 62438,84 \text{ тыс. руб.};$$

C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора; C – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь

$$C_0 = \left(\frac{a}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p; \quad (38)$$

$$C_0 = \left(\frac{441 \cdot 10^{-3}}{4500} + 0,18 \cdot 10^{-5} \right) \cdot 8760 = 0,87 \text{ тыс. } \frac{\text{руб}}{\text{кВт}} \cdot \text{год}$$

Где a – это основная ставка двухставочного тарифа; β – это дополнительная плата за 1кВт·час потребляемой электроэнергии; T_p – время работы трансформатора в году; T_M – время использования максимальной нагрузки предприятия в год.

Время максимальных потерь рассчитывается по формуле, представленной далее.

t – время наибольших потерь.

$$t = \left(0,124 \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_p; \quad (39)$$

$$t = \left(0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ ч.}$$

Общие затраты на установку КТП с трансформатором ТМ-1600

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot (K_m \cdot N_T) + C;$$
$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot (475000 \cdot 2 + 62438,84 \cdot 2) = 225773,87 \quad 40) \quad ($$

где E – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП; K_m – стоимость одной ТП;

По данным расчетам делаем вывод, что 5 трансформаторов ТМГ 1000/10/0,4 – является наиболее рациональным выбором. Исходя из условий эксплуатации и так же возможности монтажа выбранную КТП. Выбраны несколько трансформаторов ТМГ 1000/10/0,4 производства ЭТК «Русский Трансформатор»

Данный трансформатор представлен на рисунке 6



Рисунок 6 - Внешний вид ТМГ 1600/10/0,4

3.3 Выбор номинальной мощности подстанции 192

Выбор трансформатора для трансформаторной подстанции 192 был выполнен по принципу, как и с выбором трансформаторной подстанции 193.

В результате к установке была принята ТП с пятью трансформаторами производства ЭТК «Русский трансформатор»

3.4 Выбор КТП

Для ТП 192 и 193 были выбраны КТП-СЭЩ-П. Данные КТП должны быть установлены на заранее подготовленной площадке и заранее подготовленном фундаменте в соответствии с техническими условиями[6]. Так как научно-технический центр — это закрытый объект то будет представлен только внешний вид.

Данный внешний вид КТП-СЭЩ-П показан на рисунке 7.



Рисунок 7 -Внешний вид КТП-СЭЩ-П

3.5 Расчет контура заземления для КТП-СЭЩ-П 1000/10/0,4

Нужно принять во внимание что данный контур заземления монтировался в грунт с большим удельным сопротивлением, это серьезно

усложнило конструкцию, так же увеличила габариты заземляющего устройства и привела к невозможности размещения данной конструкции заземления.

В связи с этим срочно расположили вертикальные и горизонтальные электроды заземления и произвели выемку грунта из песка и засыпку черноземом.

Нормируемое сопротивление заземляющего устройства $R_3 = 0,4 \text{ Ом}$ с учетом 1.7.101 ПУЭ 7-изд так как удельное сопротивление грунта более

$$\rho = 1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^3.$$

$$R_3 = \rho \cdot 0,01 \cdot 4;$$

$$R_3 = 300 \cdot 0,01 \cdot 4 = 12 \text{ Ом},$$

где: ρ – это удельное сопротивление грунта (песок).

Удельное сопротивление засыпаемого грунта (чернозём)

$$\rho = 0,6 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^3$$

При устройстве заземлений в тяжелых грунтах с грунтом заполнителем, расчетное удельное сопротивление этого грунта определяется по формуле:

$$\rho_{\text{расч}} = \frac{\rho_{\text{гр}}}{K};$$

$$\rho_{\text{расч}} = \frac{300}{3} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}^3 = 0,1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^3, \quad 41) \quad ($$

где: $\rho_{\text{гр}}$ - это удельное сопротивление грунта (песок); K - коэффициент, значение которого для вертикальных заземлителей из угловой стали 50x50x5 и длиной 2,5 м при размещении в котлованах радиусом (r) 2 м.

Климатическая зона – III. Среднее значение коэффициента сезонности для протяженности заземлителей $K_{п}=2$, для стержневого заземлителя $K_{с}=1,4$

Заземляющее устройство выполнено в виде контура из стальной полосы сечением 40x4 мм приложенной на глубине 0,5м вокруг подстанции и стержней из угловой стали 50x50x5мм длиной 3м. Общая длина полосы по плану 30м для 5 электродов заземления.

Расстояние между вертикальными заземлителями, составляет 5м.

Сопротивление одиночного стержня составляет:

$$R_{в} = 0,00318 \cdot \rho_{расч} \cdot K_{с}$$
$$R_{в} = 0,00318 \cdot 0,1 \cdot 10^4 \cdot 1,4 = 44,5 \text{ Ом} \quad (42)$$

где: $\rho_{расч}$ – это расчетное удельное сопротивление грунта ($\text{Ом} \cdot \text{см}^3$)

Количество стержней – 5 шт.

Из данных справочника коэффициент использования стержней равен $\eta_{в} = 0,8$

Сопротивление всех стержней растеканию тока будет равно:

$$R_{с} = \frac{R_{0}}{n \cdot \eta_{в}};$$
$$R_{с} = \frac{44,5}{5 \cdot 0,8} = 11,125 \text{ Ом.} \quad (43)$$

Длина протяженного заземлителя (полоса 40x4 мм) будет 30м. глубина заложения $t=50\text{см}$ и ширина заземлителя $b=0,4 \text{ см}$.

Сопротивление протяженного заземлителя равно:

$$R_{с} = \left(\frac{0,366}{l} \right) \cdot \rho_{расч} \cdot K_{п} \cdot \lg \left(2 \cdot \frac{l^2}{b \cdot t} \right); \quad (44)$$

$$R_c = \left(\frac{0,366}{3000} \right) \cdot 1,0 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot \lg \left(2 \cdot \frac{3000^2}{0,4 \cdot 50} \right) = 14,528 \text{ Ом}$$

Действительное сопротивление протяженного заземлителя:

$$R_{\Pi} = \frac{R_{\text{пр}}}{\eta_{\text{в}}};$$
$$R_{\Pi} = \frac{14,528}{0,8} = 18,16 \text{ Ом};$$
(45)

Сопротивление всего заземляющего устройства:

$$R_{\Pi} = \frac{R_c \cdot R_{\Pi}}{R_c + R_{\Pi}};$$
$$R_{\Pi} = \frac{14,528 \cdot 18,16}{14,528 + 18,16} = 8,07 < 12 \text{ Ом.}$$
(46)

4 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения

В системах электроснабжения существует система внешнего электроснабжения и система внутреннего электроснабжения.

Система внешнего электроснабжения данного комплекса научно-технического центра выполнена от ГПП через воздушные линии электропередач.

Схемы внутреннего электроснабжения бывают магистральными, радиальными и также смешанными. Данный комплекс относится к 2 категории надежности электроснабжения. В следствии чего в данных цехах были установлены магистральные системы электроснабжения, так как экономически эта система была наиболее экономически выгодная и безопасна.

5 Выбор оборудования внутрицеховой сети

Для расчета токов КЗ на различных участках сети нужно знать характеристики всех элементов сети в данном научном комплексе. Выбор автоматов, кабельных линий и остального оборудования выполняется согласно расчетным значениям номинальных токов электрооборудования, которое расположено в научно-техническом центре.

5.1 Выбор оборудования внутрицеховой сети

Выбор оборудования производится с учетом номинального напряжения, возможности выдержать короткое замыкание и остальных характеристик нужного оборудования. Далее будет представлена таблице 2 в которой указаны электроприемники научно-технического центра и так же будет приведено значение этих электроприемников.

Таблица 2 – электроприемники цехов.

	P_n кВт	n	$\cos\varphi$	$K_{и}$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_n кВт	$P_{см}$ кВт	$Q_{см}$ квар
Инструментальный стол	4	4	0,5	0,06	1,73	20	1,2	2,076
Токарный станок	9	1	0,5	0,14	1,73	10	1,4	2,455
Радиально-сверлильный станок	18	1	0,4	0,16	1,73	20	3,2	5,512
Установка контроля системы охлаждения	11	1	0,8	0,8	0,75	15	12	9,2
Опорный рабочий стол	2	4	0,5	0,06	1,73	8	0,48	0,93
Определения контроля герметичности	14	2	0,85	0,8	0,75	28	22,42	16,8
Определения контроля утечек	5	1	0,6	0,8	0,75	5	4	3
Стенд для проверки генераторов	145	3	0,8	0,35	1,33	142	49,15	63,43
Стенд для проверки стартеров	3	2	0,5	0,14	1,73	3	4,2	3,26
Сканер для компьютерной диагностики двигателей	5	3	0,45	0,12	2,3	5	0,6	1,38
Сканер для компьютерной диагностики автоматической трансмиссии	2	3	0,95	0,95	0,33	60	48	13,73

Продолжение таблицы2

Стенд для проверки и ремонта аккумуляторных батарей	2	1	0,7	0,14	1,73	2	0,27	0,48
Оборудование для проверки стеклоподъемников	22	1	0,7	0,5	1,02	20	10	10,23
Стенд для проверки всего электрического оборудования автомобиля	28	1	0,5	0,14	1,73	30	4,24	7,33
Оборудование для проверки системы блокировки передних и задних дверей, подушки безопасности с электронным управлением	5	3	0,85	0,7	2,3	5	4	3,45
Стенд с электромеханическими усилителями руля	62	1	0,7	0,8	1,02	68	54,4	55,48
Оборудование по управлению электронными системами управления стеклоочистителями	3	1	0,5	0,06	1,73	8	0,48	0,83
Стенд для проверки систем климат контроля, кондиционеров, отопителей и вентиляторов	8	2	0,85	0,7	0,62	20	14	8,87
Специальное оборудование для проверки антиблокировочных и противобуксовочных системы тормозов с электронным управлением	11	1	0,85	0,8	0,75	15	12	9,8

5.1.1 Выбор кабельных линий

Для питания электрооборудования цехов от ТП в соответствии с ПУЭ ст 2.1.17 были выбраны кабели марки ВВГ(а)-LS[1]. Сечение проводников было выбрано исходя из расчетных токов электроприемников, по условию нагрева согласно ПУЭ.

Для каждой ТП в комплексе научно-технического центра приходят разные токи. В данном случае была рассмотрена ТП 192.

От ГПП до ТП 192

$$I_p = 112,9 \text{ А.}$$

Исходя из данных здесь расположен кабель АПвВнг(В)-LS-3x70+1x35.

Для каждого типа электроприемника находим номинальный рабочий ток:

Для трехфазных электроприемников:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} \quad (47)$$

Список кабелей, расположенных в цеха представлен в таблице 3

Таблица 3 – расположение кабелей

	Сечение кабеля, мм ²	Номинальный рабочий ток, А
Инструментальный стол	ВВГ 5x2,5	15,15152
Токарный станок	ВВГ 5x6	30,30303
Радиально-сверлильный станок	ВВГ 4x16	60,6060
Установка контроля системы охлаждения	ВВГ 5x4	28,4090
Опорный рабочий стол	ВВГ 5x1,5	6,06060
Определения контроля герметичности	ВВГ 5x4	26,5151
Определения контроля утечек	ВВГ 5x1,5	9,469697
Стенд для проверки генераторов	ВВГ 3x150+1x16	359,8485
Стенд для проверки стартеров	ВВГ 5x1,5	6,06060
Сканер для компьютерной диагностики двигателей	ВВГ 5x2,5	18,9393
Сканер для компьютерной диагностики автоматической трансмиссии	ВВГ 5x1,5	3,189793
Стенд для проверки и ремонта аккумуляторных батарей	ВВГ 5x1,5	6,06060
Оборудование для проверки стеклоподъемников	ВВГ 4x16	60,6060

Продолжение таблицы 3

Стенд для проверки и ремонта аккумуляторных батарей	ВВГ 5x1,5	6,06060
Оборудование для проверки стеклоподъемников	ВВГ 4x16	60,6060
Стенд для проверки всего электрического оборудования автомобиля	ВВГ 3x25+1x16	90,9090
Оборудование для проверки системы блокировки передних и задних дверей, подушки безопасности с электронным управлением	ВВГ 5x1,5	9,469697
Стенд с электромеханическими усилителями руля	ВВГ 3x70+1x30	147,1861
Оборудование по управлению электронными системами управления стеклоочистителями	ВВГ 5x1,5	6,06060

Продолжение таблицы 3

Стенд для проверки систем климат контроля, кондиционеров, отопителей и вентиляторов	ВВГ 5x2,5	17,82531
Специальное оборудование для проверки антиблокировочных и противобуксовочных системы тормозов с электронным управлением	ВВГ 5x6	30,3030

5.1.2 Выбор шинопроводов

Для электроснабжения цехов были выбраны шинопроводы ШМА 4 производства компании ОАО «Омега» так как эти шинопроводы соответствовали условиям пожарной безопасности [7].

5.1.3 Выбор автоматических выключателей

Все электроприемники данного научно-технического центра имеют стандартные выключатели ВА-СЭЩ LBA, так как эти выключатели соответствуют техническим условиям предприятия [8]. Данный выключатель показан на рисунке 8.



Рисунок 8 - Выключатель ВА-СЭЩ LBA

Для защиты электроприемников были выбраны автоматические выключатели, изготовленные компанией «ЗАО «Группа Компаний «Электроцит»-ТМ-Самара». Данные автоматические выключатели соответствует условиям пожарной безопасности, и так же эти выключатели могут монтироваться в ответвительную секцию шинпровода ШМА 4. Так как данный научный комплекс развивается и разрабатывает что-то новое каждый день эта удобно в случае, когда будет строиться новый цех. Список выбранных автоматических выключатели и их номинальный ток представлены в таблице 4.

Таблица 4 – автоматические выключатели.

Цех в котором установлен выключатель	Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А
Инструментальный стол	EASY 9 3П 16А	16
Токарный станок	EASY 9 3П 32А	32
Радиально-сверлильный станок	EASY 9 3П 63А	63
Установка контроля системы охлаждения	EASY 9 3П 32А	32

Продолжение таблицы 4

Радиально-сверлильный станок	EASY 9 3П 63А	63
Установка контроля системы охлаждения	EASY 9 3П 32А	32
Опорный рабочий стол	EASY 9 3П 10А	10
Определения контроля герметичности	EASY 9 3П 32А	32
Определения контроля утечек	EASY 9 3П 10А	10
Стенд для проверки генераторов	Compact NSX400	400
Стенд для проверки стартеров	EASY 9 3П 10А	10
Сканер для компьютерной диагностики двигателей	EASY 9 3П 20А	20
Сканер для компьютерной диагностики автоматической трансмиссии	EASY 9 3П 10А	10
Стенд для проверки и ремонта аккумуляторных батарей	EASY 9 3П 10А	10
Оборудование для проверки стеклоподъемников	EASY 9 3П 63А	63
Стенд для проверки всего электрического оборудования автомобиля	Compact NSX100	100
Оборудование для проверки системы блокировки передних и задних дверей, подушки безопасности с электронным управлением	EASY 9 3П 10А	10
Стенд с электромеханическими усилителями руля	Compact NSX160	160
Оборудование по управлению электронными системами управления стеклоочистителями	EASY 9 3П 10А	10
Стенд для проверки систем климат контроля	EASY 9 3П 20А	20

5.2 Выбор измерительного трансформатора тока

В качестве измерительного трансформатора тока был установлен трансформатор компании «IEK»[9]. Данный трансформатор легко монтируется на шину, но также имеет возможность пломбирования крышки клемных зажимов вторичной обмотки. Трансформатор тока серии ТТИ-100 показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – внешний вид трансформатора ТТИ-100

6 Расчет токов короткого замыкания

Для электроэнергетической системы характерны следующие режимы работы: нормальный, аварийный, послеаварийный и ремонтный, но аварийный режим является кратковременным режимом работы, а остальные — продолжительными. Основной причиной перехода энергосистемы из нормального (ремонтного) состояния к аварийному является короткое замыкание. В электроэнергетических системах, работающих с заземленной нейтралью, различают четыре вида короткого замыкания: однофазное, двухфазное, двухфазное на землю и трехфазное. Из них наиболее часто возникает однофазное короткое замыкание, вероятность которого возрастает с увеличением напряжения сети. Данный факт связан с ростом расстояния между фазами. Вероятность возникновения короткого замыкания определяется его видом, а также классом напряжения сети, в которой оно происходит.

И из - за возникновения в электрических установках коротких замыканий, которые сопровождаются резким увеличением тока, появляется необходимость защиты электрооборудования от токов короткого замыкания. Защитное оборудование научно-технического центра было выбрано с учетом возможности отключения поврежденного участка цепи и с сохранением работоспособности остальных участков цепи, которые не повредили токи короткого замыкания. Главной причиной возникновения токов короткого замыкания в электрической цепи является нарушение изоляции токоведущих частей электрических установок и нарушение техники безопасности персоналом, работающим на предприятии.

В современных мощных электроустановках токи короткого замыкания достигают огромных значений. Механические усилия, которые возникают

между отдельными токоведущими частями машин, аппаратов и элементов распределительных устройств способны вызвать значительные повреждения.

Для надежной работы электрического оборудования все её элементы должны обладать достаточной устойчивостью против максимальных механических усилий при возникновении ударного тока короткого замыкания.

Расчеты выполняются в соответствии с методикой, рекомендованной ГОСТом 28248 – 93 на расчеты токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ и так же во внимание была принята рекомендация по работе с коротким замыканием [6].

Короткие замыкания рассчитывались в двух точках согласно схеме, изображенной на рисунке 9:

К1 – на шинах РУ 0,4 кВ

К2 – для самого мощного электроприемника из ближайших ТП

6.1 Параметры расчетной схемы

Трансформатор Т1:

ТМГ – 1000; схема соединения обмоток Y/Y_H

$$S_H = 1000 \text{ кВА};$$

$$U_{H_{ВН}} = 10 \text{ кВ}; U_{H_{НН}} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_K = 5,5\%;$$

$$R_T = 2,5 \text{ мОм};$$

$$X_T = 5,41 \text{ мОм}$$

Автоматический выключатель АВ1:

$$R_{AB1} = 0,1 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0,05 \text{ мОм};$$

Автоматический выключатель АВ2:

$$R_{AB2} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$X_{AB2} = 0,1 \text{ мОм};$$

Кабельная линия КЛ1:

Кабель АПВВнг(В)- LS – 3x35+1x25

$$l = 250 \text{ м};$$

$$R_{уд} = 0,078 \text{ мОм/м};$$

$$X_{уд} = 0,0587 \text{ мОм/м};$$

$$R_{КЛ1} = 0,078 \cdot 250 = 19,5 \text{ мОм};$$

$$X_{КЛ1} = 0,0587 \cdot 250 = 14,67 \text{ мОм};$$

Кабельная линия КЛ2:

2 кабеля ВВГ 4x185

$$l = 10 \text{ м};$$

$$R_{уд} = 0,103 \text{ мОм/м};$$

$$X_{уд} = 0,0596 \text{ мОм/м};$$

$$R_{КЛ1} = \frac{0,103 \cdot 10}{2} = 0,515 \text{ мОм};$$

$$X_{КЛ1} = \frac{0,059 \cdot 10}{2} = 0,295;$$

Трансформатор тока ТТ1

$$R_{TT1} = 0,42 \text{ мОм};$$

$$X_{TT1} = 0,67 \text{ мОм};$$

6.2 Расчет токов КЗ

На рисунке 10 и 11 соответственно приведены электрическая схема и схема замещения для расчетов токов короткого замыкания на разных участках электрической сети.

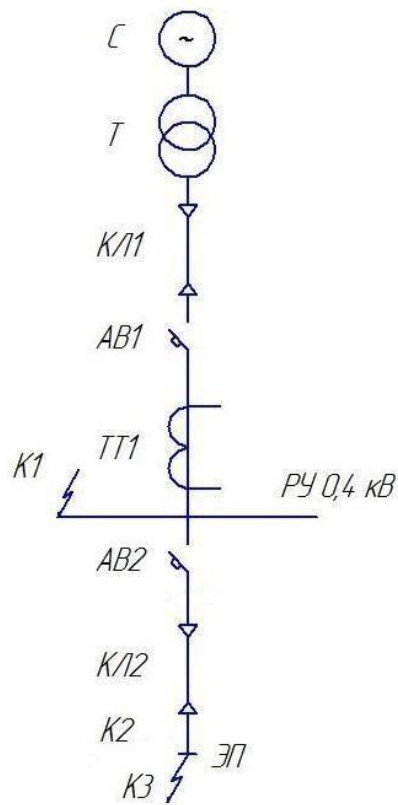


Рисунок 10 – расчетная электрическая схема

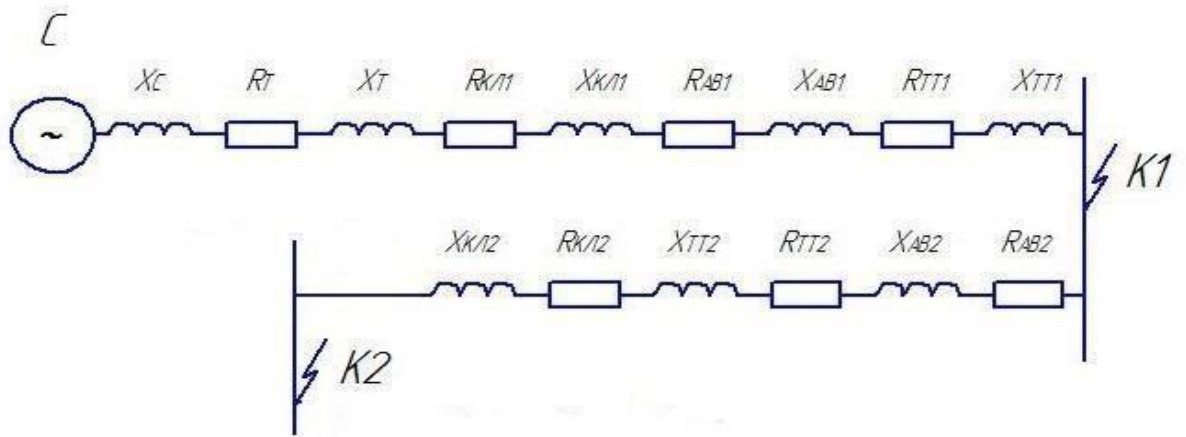


Рисунок 11 – схема замещения

K1:

$$\mathbf{R}_{\Sigma K1} = \mathbf{R}_T + \mathbf{R}_{AB} + \mathbf{R}_{TT1} + \mathbf{R}_{KL1}; \quad (48)$$

$$\mathbf{R}_{\Sigma K1} = 22,52 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_T + X_{AB} + X_{TT1}; \quad (49)$$

$$X_{\Sigma K1} = 20,8 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}; \quad (50)$$

$$Z_{\Sigma K1} = 30,65 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}};$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 30,65} = 7,53 \text{ кА};$$

(51)

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K1}}{R_{\Sigma K1}} = 0,92 \Rightarrow K_{yK1} = 0,5;$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{yK1} \cdot I_{K1}^{(3)};$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot 0,5 \cdot 7,53 = 5,32 \text{ кА};$$

(52)

K2:

$$\mathbf{R}_{\Sigma K2} = \mathbf{R}_{\Sigma K1} + \mathbf{R}_{AB2} + \mathbf{R}_{KL2}; \quad (53)$$

$$\mathbf{R}_{\Sigma K2} = 23,285 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{AB2} + X_{KL2}; \quad (54)$$

$$X_{\Sigma K2} = 21,195 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma R2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} \quad (55)$$

$$Z_{\Sigma R2} = 31,48 \text{ МОм}$$

;

Ток трехфазного металлического короткого замыкания:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{KZ}}; \quad (56)$$
$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 31,48} = 7,33 \text{ кА};$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 0,91 \Rightarrow K_{yK2} = 0,5;$$
$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{yK1} \cdot I_{K2}^{(3)}; \quad (57)$$
$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot 0,5 \cdot 7,33 = 5,33 \text{ кА};$$

6.3 Проверка оборудования

Для того чтобы проверить ударный ток короткого замыкания на автоматическом выключателе нужно выбрать 3 точки.

По расчётным ударным точкам короткого замыкания для проверки пригодности автоматического выключателя было выбрано три точки.

По ударному току короткого замыкания точки К1 была проведена проверка автоматического выключателя ВА-СЭЩ. Данные выключатели рассчитаны на ударные токи до 65 кА и, следовательно, были подобраны верно.

$$K1: i_{yK1} = 5,32 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА};$$

Так же по ударному току короткого замыкания К2 была проведена проверка автоматического выключателя ВА-СЭЩ. Эти выключатели так же рассчитаны на ударные токи до 65 кА и, следовательно, были подобраны верно.

$$K2: i_{yK2} = 5,18 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА}.$$

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе было рассмотрено электроснабжение и электропитание испытательных цехов научно-технического центра АО «АвтоВАЗ».

Были рассмотрены ТП марки КТП-СЭЩ-П которые установлены на предприятии. Был произведен расчет экономической целесообразности. Так же был произведён расчет контура заземления, который используется для защиты КТП.

Был рассмотрен кабель ВВГ(а)-LS который используется для питания электрооборудования научно-технического центра от ТП.

Так же были рассмотрены шинопроводы, защитная и измерительная аппаратура.

Произведен расчет токов короткого замыкания, который бы выполнен в соответствии с ГОСТом 28249-93 на сеть напряжения до 1 кВ.

Был произведен расчет токов короткого замыкания в двух точках системы РУ 0,4 кВ на вводах самого мощного из самых близких к ТП электроприемников.

Так же были рассчитаны ударные токи короткого замыкания:

$$i_{yк1} = 5,32 \text{ кА}; i_{yк2} = 5,18 \text{ кА}.$$

В итоге рассмотрения данного вопроса можно сказать, что, полученные в ходе измерения данные, были сравнены с паспортными данными автоматов, все автоматы на предприятии были выбраны верно.

Список используемой литературы

1. Самарская кабельная компания. Каталог продукции [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Самарская кабельная компания , 2016. – 76 с.
2. Transmission and Distribution Electrical Engineering, Colin Bayliss & Brian Hardy -1039 Pages * 2017 *
3. Electric Power Distribution System Engineering, Second Edition, Turan Gonen-858 Pages * 2007 *
4. Thermal behaviour of electrical conductors, Morgan V.T.-380 Pages * 2016 *
5. Electrical Design Criteria-Appendix A. - 533 Pages * 2015 *
6. Electric Engineering Handbook, Leonard L. Grigsby-503 Pages * 2015 *
7. Шинопровод магистральный ШМА4 1250-4000 А: каталог : разработчик и изготовитель СОЭМИ, 2016. – 48 с.
8. . Acti 9 [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Schneider Electric – М., 2016. – 426 с.
9. Каталог трансформаторов тока ТТИ [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель ИЕК , 2016. – 9 с.
10. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
11. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
12. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015. 330 с.
13. Правила устройства электроустановок. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. Главы 4.1, 4.2. [Электронный

ресурс]. - 7-е изд. - Электрон. текстовые данные. – М.: ЭНАС, 2013. – 104 с. ISBN 978-5-4248-0036-8.

14. Черненко Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции. Выполнение курсового проекта: учеб.-метод. пособие /Ю.В. Черненко. Тольятти: ТГУ, 2019. 89 с

15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: ИНФРА–М, 2017. – 262 с. ISBN 978-5-16-009744-

16. Вахнина В. В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 67 с

17. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: Учебник / Ю.Д. Сибикин. - М.: Инфра-М, 2017. - 89 с.

18. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.

19. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2018. - 192 с.

20. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 нормы [Текст]. – Введ. 2003 – 01 – 01.