

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

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

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение группы цехов ЗАО «Джи-Эм АВТОВАЗ»

Студент(ка)

С.В. Петренко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

О.В. Самолина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

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

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

АННОТАЦИЯ

Освещены вопросы электроснабжения цехов GM – AVTOVAZ. Приведены расчёты электрических нагрузок. Даны основные данные силовых трансформаторов, электрических аппаратов, проводников. Показан выбор электрооборудования цеховых сетей. Рассмотрены вопросы фазозамещения. Представлены результаты расчётов короткого замыкания. Рассмотрены устройства защиты систем электроснабжения предприятия. Проработанная концепция сети и защиты электроснабжения цехов надёжно выполняет все требования в отношении потребной мощности, надёжности снабжения и качества электроэнергии.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Краткая характеристика объекта исследования	6
1.1 Оборудование предприятия.....	8
2 Определение ожидаемых электрических нагрузок	10
2.1 Расчёт электрических нагрузок от силовых потребителей	10
2.2 Осветительные установки	16
3 Выбор и обоснование места сооружения цеховых трансформаторных подстанций, распределительных пунктов	19
3.1 Выбор числа и мощности трансформаторов	19
3.2 Компенсация реактивной мощности	22
4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения	27
5 Выбор сечения кабелей, шинопроводов, токопроводов	34
6 Расчёт токов короткого замыкания	36
7 Релейная защита в системах электроснабжения предприятия	43
8 Молниезащита и заземление	47
Заключение	50
Список используемых источников	52
Приложения.....	54

ВВЕДЕНИЕ

Основными потребителями электроэнергии являются промышленные предприятия и гражданские здания. Они расходуют более 78% всей электроэнергии, вырабатываемой в стране.

Ввод в действие новых предприятий, расширение существующих, рост их энерговооружённости, широкое внедрение различных видов электротехнологий во всех отраслях производств, огромное жилищное строительство выдвигают проблему рационального электроснабжения потребителей.

Системой электроснабжения называют совокупность установок для выработки, распределения и потребления электроэнергии.

Система распределения большого количества электроэнергии должна обладать высокими техническими и экономическими показателями и базироваться на новейших достижениях современной техники. Поэтому электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий должно основываться на использовании современного конкурентоспособного электротехнического оборудования и прогрессивных схем питания, широком применении автоматизации.

Современное электрооборудование требует качественное и надёжное электропитание. Получение электроэнергии требует больших материальных затрат от государства и приводит к нарушению экологии. Поэтому перед энергетикой ставится проблема экономии электроэнергии.

Одним из испробованных путей минимизации потерь электроэнергии является компенсация реактивной мощности потребителей при помощи местных источников реактивной мощности, причём важное значение имеет правильный выбор их типа, мощности, местоположения и способа автоматизации. Также более экономичны сети и установки трёхфазного тока с частотой 50 Гц по сравнению с сетями и установками однофазного применения, так как от трёхфазных сетей могут питаться как однофазные, так и трёхфазные потребители.

Наряду с трёхфазным током в некоторых отраслях применяют постоянный ток, который получают путём выпрямления переменного тока. В большин-

стве случаев это электролизные установки химической промышленности и цветной металлургии, а также железнодорожный и городской электротранспорт.

В современных условиях главными задачами специалистов, осуществляющих проектирование, монтаж и эксплуатацию современных систем электроснабжения промышленных предприятий и гражданских зданий, являются правильное определение электрических нагрузок, рациональная передача и распределение электроэнергии, обеспечение необходимой степени надёжности электроснабжения, качества электроэнергии на зажимах электроприёмников, электромагнитной совместимости приёмников электрической энергии с питающей сетью, экономия электроэнергии и других материальных ресурсов.

1 Краткая характеристика объекта исследования

Генеральное рамочное соглашение о создании ЗАО «Джи Эм – АВТОВАЗ» между представителями Дженерал Моторс, АВТОВАЗа и Европейского Банка Реконструкции и Развития было достигнуто 27 июня 2001 года. В начале августа было зарегистрировано СП. Производственная площадка СП расположена рядом с территорией АВТОВАЗа.

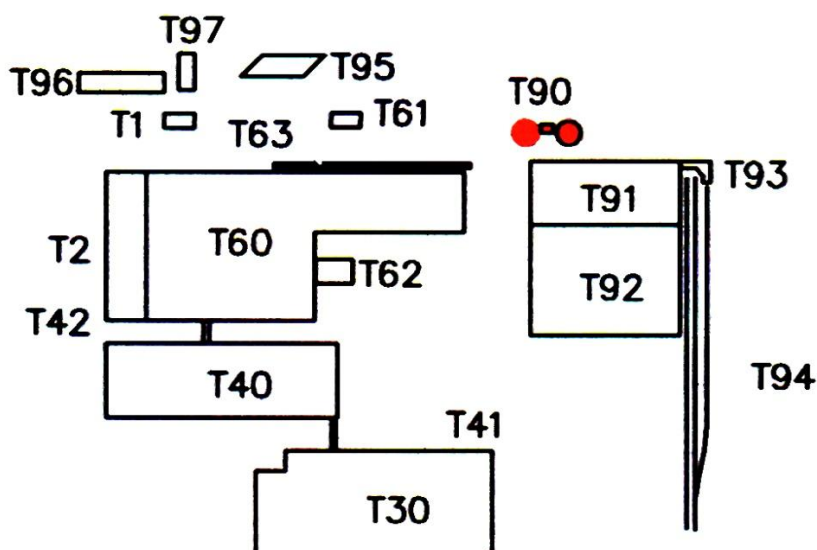
Общая площадь СП составляет 137564 м². Производственные мощности включают:

- цех финишной сборки чёрного кузова, в том числе, линию штамповки деталей кузова (на АВТОВАЗе), линию сварки каркаса кузова (на АВТОВАЗе);
- цех окраски (Т-40);
- цех сборки (Т-60);
- экспедиция (подготовка к отгрузке автомобилей);
- административный корпус.

Производственная структура предприятия обеспечивает рациональную организацию производственного процесса в пространстве. Для этого при размещении отдельных подразделений на территории предприятия руководствовались следующими основными принципами:

- расположение цехов по ходу производственного процесса.

Цехи, склады и иные объекты производственной инфраструктуры предприятия размещаются так, чтобы обеспечить кратчайший путь движения материалов и наименьший пробег транспортных средств в ходе производственного процесса (без обратного и встречного движения, излишних пересечений). Объекты на территории предприятия и его подразделений размещаются так, чтобы была возможность их дальнейшего расширения и реконструкций с минимальными затратами времени и ресурсов. План предприятия предоставлен на рисунке 1.



T1	Проходная с проездной	T63	Испытательный трек
T2	Административно-бытовой корпус	T90	Станция автоматических установок пожаротушения
T30	Приёмочный цех и склад цеха сборки	T91	Крытая стоянка товарных автомобилей
T40	Цех окраски	T92	Открытая стоянка товарных автомобилей
T41	Транспортная галерея из корпуса 68 в цех окраски	T93	Железнодорожная загрузочная рампа
T42	Транспортная галерея из цеха окраски в цех сборки	T94	Железнодорожный путь
T60	Цех сборки	T95	Стоянка трейлеров
T61	Подземный склад ГМС с операторной	T96	Парковка личного транспорта
T62	Зона хранения пустых контейнеров	T97	Стоянка велосипедов

Рисунок 1- Схема генплана СП GM АВТОВАЗа

1.1 Оборудование предприятия

Максимальные значения токов короткого замыкания составляют:

- на стороне 110 кВ – 20 кА от ТЭЦ ВАЗа;
- на стороне 10 кВ – 18,7 кА.

В соответствии с указанными значениями токов короткого замыкания выбрано оборудование 110 кВ и 10 кВ.

На стороне 110 кВ устанавливается разъединитель SGF 123n – 100 – 2E и элегазовый выключатель LTB-145-DI, на стороне 10 кВ - шкафы типа К61, К63 с вакуумным выключателем ВВЭ- 10/31,5У3.

Для защиты от перенапряжений на выводах 110 кВ устанавливается ограничитель перенапряжений типа EXIM R108 – СН123. Работа трансформатора с изолированной и с трансформатора (нейтралю) установлен ограничитель перенапряжений EXIM R072 – СН123, а для заземления нейтрали заземлитель ЗОН-110М-ПУ1.

Для защиты от перенапряжений на выводах 10 кВ устанавливаются ограничители перенапряжений ОПН-РС/TEL-10/12,7УХЛ1. Вся аппаратура, панели, шкафы управления, приборы расчётного учёта расхода электроэнергии устанавливаются в ЗРУ – 10 кВ.

На территории автосборочного завода (на производственных площадках цеха сборки, Т60) расположен двухсекционный распределительный пункт 10 кВ (РП – Джи ЭМ) из шкафов типа NXPLUS C. Питание РП – 10 кВ – по радиальной схеме с разных секций РУ- 10 кВ ГПП-6 двумя кабельными вводами. Питающие сети выполняются кабелями 10 кВ типа N2XSY 3x1x185 в одножильном исполнении с медными жилами. Номинальный ток кабеля 914 А, расчётный ток 595 А. Кабели прокладываются в земле в кабельных траншеях, и в непроходном кабельном канале.

В цехе сборки (Т 60) устанавливаются три одотрансформаторных подстанции 10/0,4 кВ мощностью 1250 кВт (ТП601 – ТП603). В цехе окраски (Т 40) устанавливаются четыре одотрансформаторных подстанции 10/0,4 кВ мощностью 1250 кВт каждая (ТП401 – ТП404).

Трансформаторная подстанция ТП 405 10/0,33/0,33 кВ, мощностью 630 кВт.

Суммарная установленная мощности транспортных подстанций составляет 9380 кВт. Питающие сети от РП Джи Эм до транспортных подстанций выполняются кабелями N2XSY 3x1x95, прокладываемые в лотках в корпусах завода и в кабельных траншеях в земле до цеха Т 40. Категория электроснабжения основных потребителей автосборочного завода – II. Потребители I категории – система пожарной и охранной сигнализации, компьютерной сети, обеспечиваются резервным питанием. В соответствии с ПУЭ на территории автосборочного завода и в цехах сборки, окраски и в цехе приёмки кузовов основной класс среды – невзрыво, не пожароопасный. На складе растворителей и подземном складе ГСМ класс среды по ПУЭ – В1а. В цехе окраски (Т 40) камеры грунтовки и окраски среда в них классифицируется, как В – 1а.

2 Определение ожидаемых электрических нагрузок

2.1 Расчёт электрических нагрузок от силовых потребителей

Расчётная активная нагрузка находится по средней нагрузке и коэффициентом максимума и использования [3,4,5,6,7,8]

$$P_p = K_M \cdot K_{II} \cdot P_H, \quad (1)$$

где K_M – коэффициент максимума активной нагрузки; K_{II} – коэффициент использования; P_H – номинальная активная мощность группы (цеха), приведённая к ПВ=100%.

Расчётная реактивная нагрузка группы электроприёмников (n_{Σ}):

$$\text{при } n_{\Sigma} \geq 10 \cdot Q_p = P_H \cdot K_{II} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

Коэффициент использования характеризует использование активной мощности и представляет отношение средней мощности за наиболее загруженную смену к номинальной мощности:

$$K_{II} = \frac{P_{CM}}{P_{НОМ}} \quad (3)$$

Коэффициент использования по цеху Т 40:

$$K_{II} = \frac{3521}{5193} = 0,68 \quad (4)$$

При подсчёте коэффициента использования по цеху Т 60 учитывались значения n_{Σ} и m , так как показатель силовой сборки (m) достаточно велик $m=33,8$

Коэффициент использования по цеху Т 60:

$$K_{II} = \frac{17 \cdot 3180 \cdot 8}{33,8 \cdot 2251} = 0,71 \quad (5)$$

Коэффициент спроса – отношение максимальной активной мощности группы электроприёмников к номинальной мощности:

$$K_C = \frac{P_{МАКС}}{P_{НОМ}} \quad (6)$$

По данным GM АвтоВАЗа коэффициент спроса по цеху Т 40 равен 0,85, по цеху Т 60 – 0,75.

Коэффициент максимума – отношение расчётного максимума активной мощности нагрузки и средней мощности за наиболее загруженную смену:

$$K_{MAX} = \frac{P_{МАКС}}{P_{НОМ}} \quad (7)$$

Коэффициент максимума находится по графику зависимости K_{MAX} от K_{II} и $n_{Э}$, рисунок 2 [3]

Показатель силовой сборки:

$$m = \frac{P_{НОМ.МАХ}}{P_{НОМ.МИН}} \quad (8)$$

Для цеха Т40:

$$m = \frac{3604,0}{45,4} = 7,9 \quad (9)$$

При $n \geq 5$; $K_{II} \geq 0,2$; $m \geq 3$

$$n_{Э} = n = 32$$

Коэффициент максимума для цеха Т 40 равен 1,11.

Для цеха Т 60 показатель силовой сборки:

$$m = \frac{1094,6}{32,4} = 33,8$$

При $n \geq 5$; $K_{II} \geq 0,2$; $m \geq 3$

$$n_{Э} = n = 17$$

Коэффициент максимума для цеха Т 60 равен 1,12.

$$\text{Расчётная активная нагрузка: } P_p = K_M \cdot K_{II} \cdot P_H \quad [3] \quad (10)$$

$$\text{Для цеха Т 40: } P_p = 0,68 \cdot 1,11 \cdot 5193 = 3919,6 \text{ кВт}$$

$$\text{Для цеха Т 60: } P_p = 0,71 \cdot 1,12 \cdot 2251 = 1790,0 \text{ кВт}$$

$$\text{Расчётная реактивная нагрузка: } Q_p = K_{II} \cdot \text{tg} \varphi \cdot P_H \quad (11)$$

$$\text{Для цеха Т 40: } Q_p = 0,68 \cdot 0,62 \cdot 5193 = 2189,0 \text{ кВар}$$

$$\text{Для цеха Т 60: } Q_p = 1,12 \cdot 0,62 \cdot 2251 = 1563,2 \text{ кВар}$$

Полная максимальная расчётная мощность определяется:

$$S_{МАКС} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (12)$$

По цеху Т 40: $S_{МАКС} = \sqrt{3919,1^2 + 2189,0^2} = 4488,9 \text{кВА}$

По цеху Т 60: $S_{МАКС} = \sqrt{1790,0^2 + 1563,2^2} = 2376,3 \text{кВА}$

Расчётный ток определяется по формуле: $J = \frac{S_{МАКС}}{\sqrt{3} \cdot U_H}$ (13)

По цеху Т 40: $J = \frac{4488,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6832,0 \text{А}$

По цеху Т 60: $J = \frac{2376,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3616,9 \text{А}$

Потребная максимальная мощность цеха Т 40;

$$S_{МАХ.ПОТ} = \sqrt{3521^2 + 2181,7^2} = 4142,2 \text{кВА}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_{\Sigma_{МАХ}}}{S_{МАХ.ПОТ}} = \frac{3521}{4142} = 0,85$$
 (14)

($S_{МАХ.ПОТ}$ – некомпенсированная при $\cos \varphi_1$).

$$S'_{МАХ} = \sqrt{P_{\Sigma_{МАХ}}^2 + (\sin \varphi_2 \cdot S'_{МАХ})^2} = 3874,0 \text{кВА}$$
 (15)

($S'_{МАХ}$ компенсированная при $\cos \varphi_2 = 0,92$)

Потребная максимальная мощность цеха Т 60;

$$S_{МАХ.ПОТ} = \sqrt{3180,8^2 + 1945,9^2} = 3728,8 \text{кВА}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_{\Sigma_{МАХ}}}{S_{МАХ.ПОТ}} = \frac{3180,8}{3728} = 0,85$$
 (16)

($S_{МАХ.ПОТ}$ – некомпенсированная при $\cos \varphi_1$).

$$S'_{МАХ} = \sqrt{P_{\Sigma_{МАХ}}^2 + (\sin \varphi_2 \cdot S'_{МАХ})^2} = 3497 \text{кВА}$$
 (17)

($S'_{МАХ}$ компенсированная при $\cos \varphi_2 = 0,92$)

По цеху Т 40 расчётная полная максимальная мощность близкая к потребной максимальной мощности.

По цеху Т 60 расчётная полная мощность значительно ниже потребной полной мощности, потому в дальнейших расчётах пользуемся потребной мощностью (по данным ГМ АвтоВАЗ) для цехов Т 40 и Т 60.

Для цеха Т 40:

Активная мощность – 3521 кВт.

Реактивная мощность – 2181,8 кВАР.

Для цеха Т 60:

Активная мощность – 3180,8 кВт.

Реактивная мощность – 1945,9 кВАР.

Результаты расчётов по приведённым расчётам приведены в таблицах А1 и Б2 (Приложения).

В таблице 1 приведены электрические нагрузки по заводу, в таблице 2 – годовой расход электроэнергии также по заводу.

Таблица 1 – Электрические нагрузки по заводу.

Наименование цеха х)	Силовое оборудование			Освещение		
	Установ. мощность кВт	Коэф. спроса	Потреб. расчётная мощность кВт	Установ. мощность кВт	Коэф. спроса	Потреб. расчётная мощность кВт
Т 30	230	0,7	161	35,9	0,9	32,3
Т 40	5193	0,85	4414	73,5	0,9	66,2
Т 60	2251	0,75	1688	85,5	0,9	77
Т 1	111	0,5	55,5	8,5	0,9	7,6
Т 2	418	0,9	376	45,5	0,9	41
Т 61	5	0,7	3,5	12	0,9	10,8
Т 90	90	0,7	63	2	0,9	1,8
Т 91				9	0,9	8,1
Т 92				10	0,9	9
Т 93	1	0,7	0,7	3,7	0,9	3,3
Территория завода	5,2	0,8	41,6	5	0,9	4,5

Всего:	8351		6803,3	290		261,6
---------------	-------------	--	---------------	------------	--	--------------

х) Наименование цехов приведены на рис 1 (план завода).

Суммарная установленная мощность по заводу 8612,6 кВт с учётом 20% резерва мощности:

$$P_{уст} = (P_{yc} + P_{yo}) \cdot 1,2 = (8351 + 290,6) \cdot 1,2 = 10370 \text{ кВт} \quad (18)$$

Расчётная мощность по заводу составила 7093,9 кВт с учётом 20% резерва мощности:

$$P_{уст} = (P_{yc} + P_{yo}) \cdot 1,2 = (6803,3 + 261,6) \cdot 1,2 = 8478 \text{ кВт} \quad (19)$$

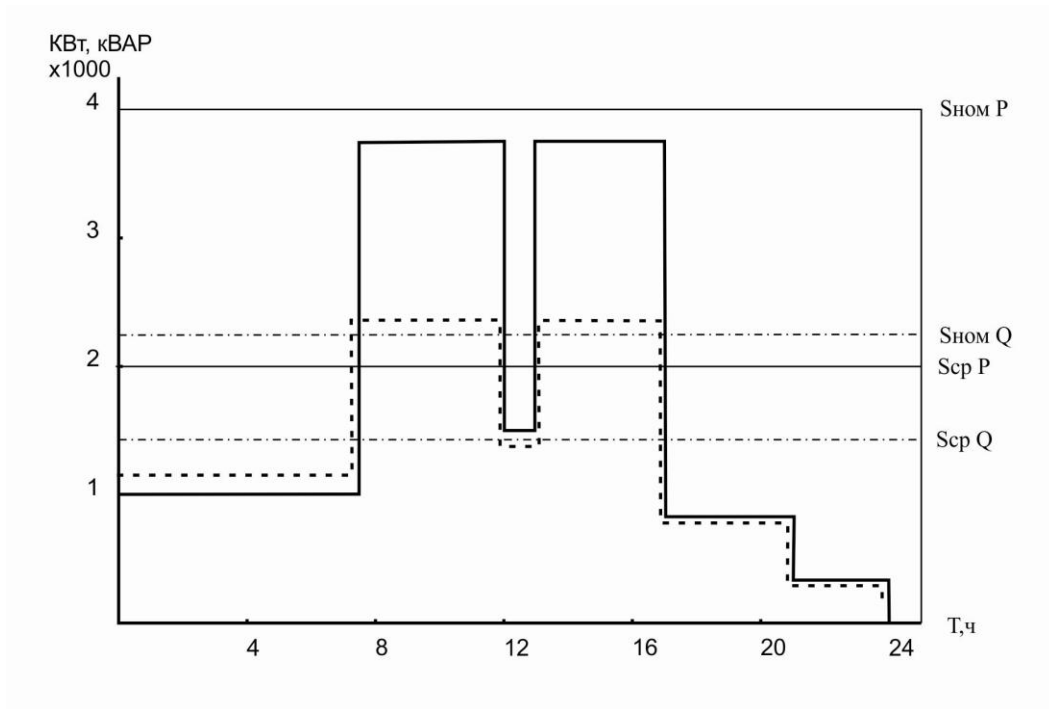
Таблица 2 – Годовой расход электроэнергии по заводу.

№ п/п	Наименование групп электроприёмников	Потребляемая мощность, кВт	Годовой расход электроэнергии тыс. кВт
1	Низковольтные электроприёмники	6803,3	52673,9
2	Электроосвещение	261,6	1555,7
	Итого:	7093,9	54229,6

Учитывая процент цехов Т 40 и Т 60 от общего количества электрических нагрузок, потребляемая мощность по цеху Т 40 составляет 64,9%, по цеху Т 60 – 24,8%. Годовой расход электроэнергии (низковольтные электроприёмники) по цеху Т 40 составляют 34185,4 тыс. кВт, по цеху Т 60 – 13063,1 тыс. кВт.

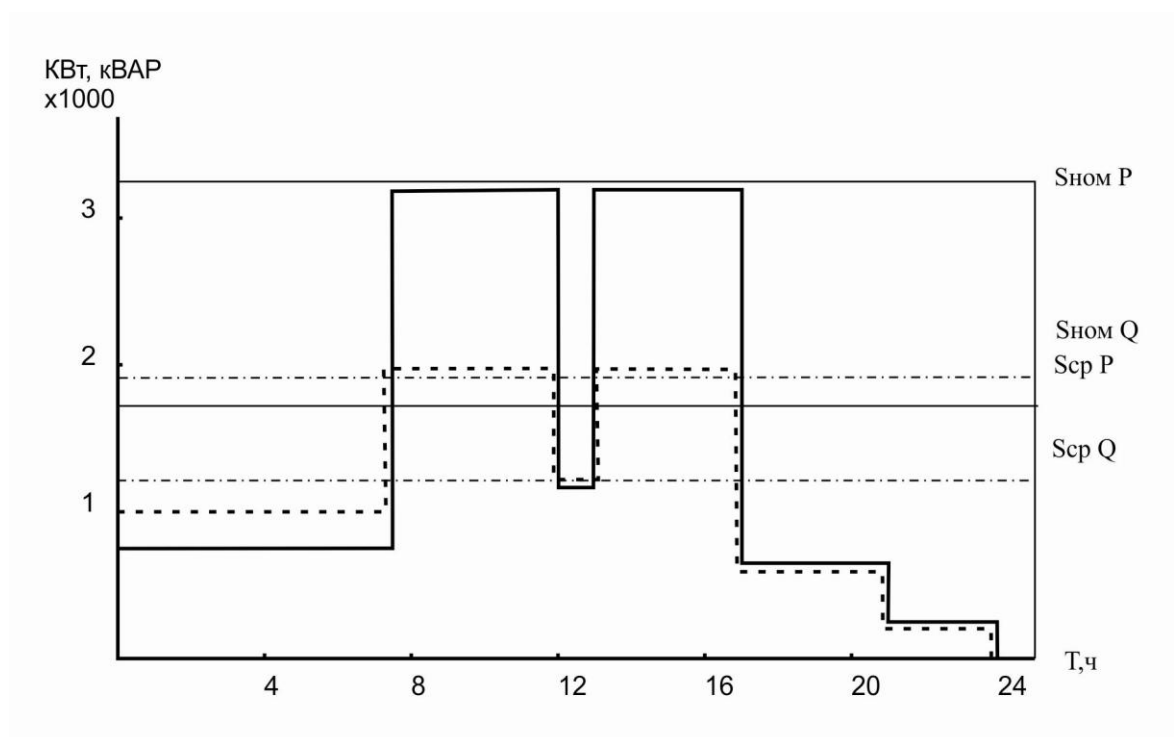
Процент электроосвещения по цеху Т 40 составляет 25,2%, по цеху Т 60 – 29,4%. Годовой расход электроэнергии на электроосвещение составит: по цеху Т 40 – 392,0 тыс. кВт·ч; по цеху Т 60 – 457,4 тыс. кВт·ч.

При определении средних нагрузок [7] по цехам Т 40 и Т 60 были использованы графики нагрузок по этим цехам, приведённые на рисунках 3 и 4.



———— активная мощность, кВт;
 - - - - - реактивная мощность, кВАР;
 ————— средняя нагрузка активной и реактивной мощности.

Рисунок 2 – Суточный график нагрузки цеха Т 40



———— активная мощность, кВт;
 - - - - - реактивная мощность, кВАР;

средняя нагрузка активной и реактивной мощности.

Рисунок 3 – Суточный график нагрузки цеха Т 60

По цеху Т 40:

$$S_{CP,P} = \frac{(8 \cdot 1,2 + 3,5 \cdot 4 + 1,5 \cdot 1 + 3,5 \cdot 4 + 0,90 \cdot 4 + 3 \cdot 0,5) \cdot 10^3}{24} = 1852 \text{ кВА}$$

$$S_{CP,Q} = \frac{(8 \cdot 1,1 + 2,3 \cdot 4 + 1,4 \cdot 1 + 2,3 \cdot 4 + 0,90 \cdot 4 + 3 \cdot 0,5) \cdot 10^3}{24} = 1404 \text{ кВА}$$

По цеху Т 60:

$$S_{CP,P} = \frac{(8 \cdot 2,0 + 3,2 \cdot 4 + 1,4 \cdot 1 + 3,2 \cdot 4 + 0,60 \cdot 4 + 3 \cdot 0,5) \cdot 10^3}{24} = 1575 \text{ кВА}$$

$$S_{CP,Q} = \frac{(8 \cdot 1 + 2,4 \cdot 4 + 1,4 \cdot 1 + 2,4 \cdot 4 + 0,6 \cdot 4 + 3 \cdot 0,5) \cdot 10^3}{24} = 1208 \text{ кВА}$$

2.2 Осветительные установки

На территории завода и цехах предусмотрены следующие системы и виды освещения:

- системы: общая и комбинированная;
- виды: рабочие, эвакуационные, аварийные;
- охранное освещение вдоль границ территории завода;
- освещение дорог для прохода людей и движения транспорта.

Выбор типа и количества светильников произведено в соответствии с назначением помещений и характеристикой окружающей среды [11, 12, 13]

В корпусах завода в качестве источников света для общего рабочего освещения цехов устанавливаются с ртутными лампами типа ДРИ и ДРИЗ, светильники с люминисцентными лампами мощностью 18; 36 и 65 Вт с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ПРА) с пониженными потерями электроэнергии и с электронными ПРА.

Аварийное освещение в производственных корпусах выполняется светильниками с лампами накаливания. Для уличного освещения применяется светильники с лампами ДНаТ.

Напряжение сети электроосвещения 380/220 В.

Напряжение на лампах общего освещения 220 В, напряжение для питания ремонтного освещения 36 В от трансформатора 220/36 В.

Распределительные щитки рабочего и аварийного освещения приняты ШК85; ОЩВ6; ПР8511 В. Для снижения потерь электроэнергии и сокращения потребности в кабелях и проводах коммутационных сетей с зарядными лампами высокого давления применяются групповые и трёхфазные конденсаторы, устанавливаемые отдельно или в комплекте со щитом освещения типа ШК – 85.

Все металлические нормально истоковедущие части осветительного оборудования занулены в соответствии с требованиями ПУЭ путём присоединения нулевым защитным проводником к шинам заземления щитов освещения.

Расчёт электрического освещения цеха производится по методу коэффициента использования светового потока. [12, 13]

Для упрощения расчёта общая считаемая площадь считается без учёта внутреннего деления на станочное отделение и вспомогательные, служебные, бытовые двухэтажные помещения.

Определяется площадь помещения цеха Т 60:

$$S = a \cdot b \quad (20)$$

$$a_1 = 80 \text{ м}; a_2 = 70 \text{ м}; b_1 = 75 \text{ м}; b_2 = 30 \text{ м}.$$

a – длина помещения, м.

b – ширина помещения, м.

$$S = (a_1 \cdot b_1) + (a_2 \cdot b_2) = 6000 + 2100 = 8100 \text{ м}^2$$

Определяется индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(H_1 - h_2) \cdot (a + b)} = \frac{8100}{(11 - 1) \cdot [(80 + 75) + (70 + 30)]} = 3,18 \quad (21)$$

H_1 – высота цеха минус метр, м.

h_2 – высота рабочей поверхности, м.

Определяется коэффициент запаса $K_3 = 2$

Определяются коэффициенты отражения потолка, стен и пола.

Потолок: 50%; стены: 30%; пол: 10%.

Предполагаем к установке металлогалогенные светильники ((ДРИ) с лампой фирмы SYLVANIA HIS – T (P=400 Вт, $\Phi_{л}=32500$ ЛМ, $K_3=2$, $n=1$).

Требуемое количество светильников:

а) число рядов светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{л}} \text{ шт.}, \quad (22)$$

E – требуемая горизонтальная освещённость, лк

S – площадь цеха, m^2 ;

η – коэффициент использования;

K_3 – коэффициент запаса;

n – количество ламп в светильнике;

$\Phi_{л}$ – световой поток одной лампы.

$$N = \frac{300 \cdot 8100 \cdot 2}{0,6 \cdot 1 \cdot 32500} = 250 \text{ шт.}$$

Расчётные активные и реактивные нагрузки освещения цеха Т 40:

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л} \quad (23)$$

$P_{л}$ – мощность одной лампы:

$$P_{осв} = 250 \cdot 1 \cdot 0,4 = 100 \text{ кВт}$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg \varphi, \text{ при } \cos \varphi = 0,85, \text{ } tg \varphi = 0,63 \quad (24)$$

$$Q_{осв} = 100 \cdot 0,63 = 63 \text{ кВАР}$$

Площадь цеха Т 40:

$$S = a \cdot b$$

$$S = 110 \cdot 40 = 4400 \text{ м}^2$$

Индекс помещения цеха Т 40:

$$i = \frac{S}{(H_1 - h_2) \cdot (a + b)} = \frac{4400}{(11 - 1) \cdot 150} = 2,9 \approx 3 \quad (25)$$

Коэффициенты отражения потолка, стен, пола: потолок: 50%; стены: 30%; пол: 10%.

Так же, как и в цехе Т 60 в цехе Т 40 установлены металлогалогенные светильники (ДРИ).

Требуемое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\lambda}} = \frac{300 \cdot 4400 \cdot 2}{0,6 \cdot 1 \cdot 32500} = 135 \text{ шт}$$

Расчётные активные и реактивные нагрузки освещения по цеху Т 40:

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{\lambda}$$

$$P_{осв} = 135 \cdot 1 \cdot 0,4 = 54,2 \text{ кВт}$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg} \varphi$$

$$Q_{осв} = 54,2 \cdot 0,63 = 34,1 \text{ кВАР}$$

По данным ГМ АвтоВАЗа потребляемая расчётная мощность освещения: по цеху Т 40 – 66,2 кВт, по цеху Т 60 – 77 кВт. Установленная мощность освещения: по цеху Т 40 – 73,2 кВт; по цеху Т 60 – 85,5 кВт.

3 Выбор и обоснование места сооружения цеховых трансформаторов

3.1 Выбор числа, типа и мощности трансформаторов

В цехе сборки Т 60 установлены три однотрансформаторных подстанции 10/0,4 кВ мощностью 1250 кВА (ТП 601 ... ТП 603).

В цехе окраски Т 40 установлены четыре однотрансформаторных подстанции 10/0,4 кВ мощностью 1250 кВА каждая (ТП 401 ... ТП 404).

Трансформаторная подстанция ТП 405 10/0,33/0,33 кВ мощностью 630 кВА предназначена для линии катафореза.

Суммарная установленная мощность трансформаторных подстанций составляет: $1250\text{кВА} \cdot 7 + 630\text{кВА} = 9380\text{кВА}$

Выбор трансформаторов осуществляется по суммарной расчётной активной мощности цехов:

цеха Т 40 – 3521 кВт;

цеха Т 60 – 3180 кВт.

Потребители цехов относятся ко II категории электроснабжения.

Количество трансформаторов подстанций цеха определяется по выражению [4, 7, 8]:

$$N = \frac{P_p}{K_3 \cdot S_{\text{НОМ.ТР}}}, \text{ где} \quad (26)$$

P_p – расчётная активная нагрузка цеха;

K_3 – допустимый коэффициент трансформаторов в нормальном режиме;

$S_{\text{НОМ.ТР}}$ – выбранная номинальная мощность цеховых ТП.

При преобладании нагрузок II категории коэффициент трансформаторов $K_3=0,7$.

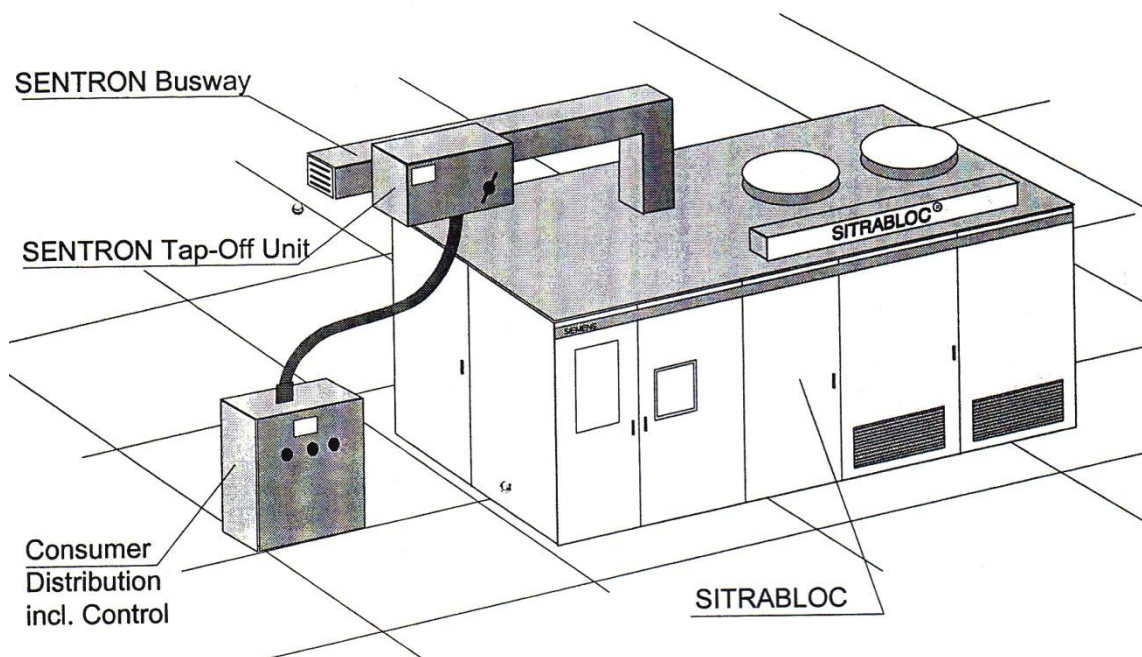
$$\text{По цеху Т 40: } N = \frac{3521}{0,7 \cdot 1250} = 4,02$$

$$\text{По цеху Т 60: } N = \frac{3180}{0,7 \cdot 1250} = 3,60$$

Согласно данным GM АвтоВАЗа были выбраны для цехов Т 40 и Т 60 компаундовые трансформаторы мощностью 1250 кВА, по 4 – в цехе Т 40 и 3 – в цехе Т 60.

Правильность выбора трансформаторов указанной мощности и их количества подтверждается данными таблицы 3 и таблицы 4 баланса мощности для цеха Т 40 и цеха Т 60, где потребности в мощностях обеспечены в нормальном и аварийном режимах.

На рисунке 4 представлен блок подстанции SITRABLOC трансформатора GEAFOL, мощностью 1250 кВА.



SENTRON Busway – Шина SENTRON;

SENTRON Tap-Off Unit – Шинная осветительная коробка SENTRON;

Consumer Distribution Control – Распределение между потребителями, включая управление

Составные части подстанции SITRABLOC:

- Трансформаторный киоск с установленным на крыше вентилятором для режима работы AN/AF;
- Трансформатор GEAFOL (с изоляцией литевой смолой) с герметичным заземляющим переключателем;
- Автоматический выключатель низкого напряжения в соответствии с нагрузкой трансформатора в режиме AF.
- Оборудование для автоматической компенсации коэффициента мощности;

- Панель управления и измерительных приборов, а также блок интерфейса для централизованного контроля (если требуется);
- Универсальное подключение к шинной распределительной системе низкого напряжения.

Рисунок 4 - Подстанция SITRABLOC

Таблица 3 – Баланс мощности для цеха Т 40

Покрытие потребности в мощности в сети на 0,4 кВ цеха Т 40	
<p>Нормальный режим (NB)</p> <p>n=4 питающих компаундовых трансформаторов на 1250 кВА</p> <p>Вентиляторы подстанции SITRABLOC выключены</p> $S_{zul} - NB > S'_{\Sigma \max}$ $S_{zul} - NB > 4 \cdot 1250 \text{ кВА}$ $S_{zul} - NB > 5000 \text{ кВА}$ <p>5000 кВА > 3874,0 кВА</p> <p>Покрытие потребности в мощности в нормальном режиме обеспечено</p>	<p>Аварийный режим (NB)</p> <p>n=3 питающих компаундовых трансформаторов на 1250 кВА</p> <p>Вентиляторы остающихся в работе подстанции SITRABLOC выключены</p> $S_{zul} - NB > S'_{\Sigma \max}$ $S_{zul} - NB > 1,4 \cdot 3 \cdot 1250 \text{ кВА}$ $S_{zul} - NB > 5250 \text{ кВА}$ <p>5250 кВА > 3874,0 кВА</p> <p>Покрытие потребности в мощности в аварийном режиме обеспечено</p>

Таблица 4 – Баланс мощности для цеха Т 60

Покрытие потребности в мощности в сети на 0,4 кВ цеха Т 60	
Нормальный режим (NB)	Аварийный режим (NB)

<p>n=3 питающих компаундовых трансформаторов на 1250 кВА</p> <p>Вентиляторы подстанции SITRABLOC выключены</p> $S_{zul} - NB > S'_{\Sigma_{max}}$ $S_{zul} - NB > 3 \cdot 1250 \text{ кВА}$ $S_{zul} - NB > 3750 \text{ кВА}$ $3750 \text{ кВА} > 3874,0 \text{ кВА}$ <p>Покрытие потребности в мощности в нормальном режиме обеспечено</p>	<p>n=2 питающих компаундовых трансформаторов на 1250 кВА</p> <p>Вентиляторы остающихся в работе подстанции SITRABLOC выключены</p> $S_{zul} - NB > S'_{\Sigma_{max}}$ $S_{zul} - NB > 1,4 \cdot 2 \cdot 1250 \text{ кВА}$ $S_{zul} - NB > 3500 \text{ кВА}$ $3500 \text{ кВА} > 3874,0 \text{ кВА}$ <p>Покрытие потребности в мощности в аварийном режиме обеспечено</p>
---	--

3.2 Компенсация реактивной мощности

Поскольку обе сети на 0,4 кВ в цехах Т 40 и Т 60 снабжают большое количество потребителей с разной потребной мощностью и разной продолжи-

тельностью включения, улучшения коэффициента мощности. $\cos \varphi$ лучше всего обеспечивается децентрализованной компенсацией на стороне низкого напряжения подстанций.

Согласно данным трансформатор 1250/10/0,42 кВ.

$P_{xx}=3,9$ кВт; $P_{кз}=11,2$ кВт; $U_K=60\%$; $i_0=1,3\%$; $S_H=1250$ кВА; $K_3=0,8$

Потери на трансформаторе:

$$\Delta P_m = N_T \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 1 \cdot (3,9 + 0,64 \cdot 11,2) = 11,07 \text{ кВт} \quad (27)$$

$$\Delta Q_m = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 1 \cdot (1,3 + 0,64 \cdot 11,2) = 8,47 \text{ кВАР} \quad (28)$$

где : N_T – количество трансформаторов;

ΔP_m - потеря активной мощности 1 трансформатора;

ΔQ_m - потеря реактивной мощности 1 трансформатора.

Расчётная нагрузка цеха Т 40 с учётом потерь в трансформаторе:

$$P_p = P_{\Sigma P} + N \cdot \Delta P_m \quad (29)$$

$$P_p = 3919,6 + 4 \cdot 11,07 = 3963,9 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{\Sigma P} + N \cdot \Delta Q_m \quad (30)$$

$$Q_p = 2189,4 + 4 \cdot 8,47 = 2222,9 \text{ кВАР}$$

Суммарная мощность компенсирующих устройств для цеха Т 40.

$$Q_{KV-MAX} = 1,1 \cdot Q_p - Q_1$$

$$Q_{KV-MIN} = Q_{MIN} - Q_2 \quad (31)$$

$$Q_{KV-MAX} = 1,1 \cdot 2222,9 - 622,4 = 1822,8 \text{ кВАР}$$

$$Q_{KV-MIN} = 1111,5 - 1111,5 = 0$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ напряжением до 1 кВ (цех Т 40):

$$Q_T = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{HT})^2 - P_{\Sigma P}^2} = \sqrt{(4 \cdot 0,8 \cdot 1250)^2 - 3919,6^2} = 798 \text{ кВАР} \quad (32)$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ:

$$Q_{KVH} = Q_2 - Q_T = 1111,5 - 798 = 313,5 \text{ кВАР}$$

Для цеха Т - 40:

$$Q_{KVH} = 313,5 \text{ кВАР}$$

$$Q_{KVH} > 100 \text{ кВАР}$$

КУ в цехе Т 40 должны быть установлены.

Мощность КУ, устанавливаемые на стороне 10 кВ:

$$Q_{KVH} = Q_{MAX} - Q_{KVH} \quad (33)$$

$$Q_{KVH} = 1822,8 - 798,2 = 1024,6 \text{ кВАР}$$

$Q_{KVH} > 800$ кВАР нужна установка КУ на стороне 10 кВ.

Расчётная нагрузка цеха Т 60 с учётом потерь в трансформаторе:

$$P_p = P_{\sum p} + N \cdot \Delta P_m$$

$$P_p = 1790 + 3 \cdot 11,07 = 1823,2 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{\sum p} + N \cdot \Delta Q_m$$

$$Q_p = 1563,2 + 3 \cdot 11,07 = 1596,4 \text{ кВАР}$$

Суммарная мощность компенсирующих устройств для цеха Т 60.

$$Q_{KV-MAX} = 1,1 \cdot Q_p - Q_1 \quad (34)$$

$$Q_{KV-MIN} = Q_{MIN} - Q_2 \quad (35)$$

$$Q_{KV-MAX} = 1,1 \cdot 1596,4 - 446,8 = 1309,2 \text{ кВАР}$$

$$Q_{KV-MIN} = 446,8 - 446,8 = 0$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть с напряжением до 1 кВ (цех Т 60):

$$Q_T = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{HT})^2 - P_{\sum p}^2} = \sqrt{(3 \cdot 0,8 \cdot 1250)^2 - 1790^2} = 2407,5 \text{ кВАР} \quad (36)$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ:

$$Q_{KVH} = Q_{\sum p} - Q_T$$

$$Q_{KVH} = 1596,4 - 2407,5 = -811,1 \text{ кВАР}$$

Так как $Q_{KVH} < 100$ кВАР установка компенсирующего устройства не требуется (цех Т 60).

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

$$Q_{KVB} = Q_{MAX} - Q_{KVH}$$

$$Q_{KVB} = 1309,2 - (-811,1) = 2120,1 \text{ кВАР}$$

Мощность КУ, устанавливаемые на стороне 10 кВ

$Q_{KVB} > 800$ кВАР в цехе Т 60 необходима установка КУ на стороне 10 кВ.

Благодаря вводу регулируемой фазокомпенсации на стороне низкого напряжения подстанций перенос реактивной мощности в обе сети на 0,4 кВ цехов Т 40 и Т 60 ограничен относительно короткими секциями шин и кабельными трассами. Чтобы путём компенсации улучшить коэффициент мощности сети с максимальной потребностью в активной мощности P_{MAX} с $\cos \varphi_1$ до $\cos \varphi_2$ требуется следующая реактивная мощность конденсатора Q_C :

$$Q_C = P_{MAX} \cdot (tg \varphi_1 - tg \varphi_2), \text{ где:} \quad (37)$$

$$tg \varphi_2 = \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \varphi_2}{\cos^2 \varphi_2}}$$

$\cos \varphi_1$ - коэффициент мощности без компенсации;

$\cos \varphi_2$ - улучшенный коэффициент мощности после компенсации.

Для улучшения коэффициента мощности сети с $0,70 \leq \cos \varphi_1 \leq 0,80$ до

$0,90 \leq \cos \varphi_2 \leq 0,94$ около 40% номинальной мощности трансформатора S_T требуется в качестве реактивной мощности конденсатора. Таким образом, требуемую реактивную мощность конденсатора Q_C для регулируемой фазокомпенсации на подстанциях TS 401 – TS 404 и TS 601 – TS 603 можно вычислить:

$$Q_C = 0,4 \cdot S_T = 0,4 \cdot 1250 \text{ кВА} = 500 \text{ кВАР} \quad (38)$$

Для реализации регулирования реактивной мощности, подогнанной к конкретному режиму нагрузки, вычисленную реактивную мощность конденсатора Q_C необходимо разбить на отдельные ступени.

Для регулируемой фазокомпенсации в обеих сетях на 0,4 кВ цехов Т 40 и Т 60 подобраны 2 – 3 ступени переключения с мощностями ступеней

$Q_{C1} = 100 \text{ кВАР}$; $Q_{C2} = 200 \text{ кВАР}$; $Q_{C3} = 200 \text{ кВАР}$ на каждую подстанцию. Таким образом, регулируемая фаза компенсация в сети 0,4 кВ цеха Т 40 осуществляется с 12 ступенями фазокомпенсации переключения, а в сети 0,4 кВ цеха Т 60 – 9 ступенями. Подстанции оборудованы недрогированными конденсаторами.

Используемые на подстанциях конденсаторные блоки типа 4RB5250-5AB52 ($U_m = 525V$; $Q_c = 100кВАР$ при $U_B = 400V$ и 50 Гц) имеют 30% резерв для дополнительной термической нагрузки высшими гармониками.

4 Выбор и обоснование системы электроснабжения

Для снабжения цехов Т 40 и Т 60 сооружена подстанция РП – ГМ, оборудованная распределительным устройством NX Plus С на 10 кВ. РП типа NX Plus С представляет собой SF₆ изолированную систему силовых выключателей с одинарной системой сборных шин, предназначенную для стационарной установки. Подстанция РП – ГМ подключается к подстанции GPP – 6 (АвтоВАЗа) на 110/10 кВ посредством двух шлейфов, для чего используют две кабельные

системы типа 2xN2XSY3x1x185 мм². При сбое сборных шин или трансформаторов обе кабельные системы присоединяются к двум разным секциям сборных шин, питающих трёхобмоточный трансформатор на 63 МВА. При таком варианте подключения силовой секционный выключатель NX Plus C на подстанции РП – ГМ на 10 кВ должен оставаться разомкнутым во избежание уравнительных токов и недопустимо высоких токов короткого замыкания в случае сбоя.

Технические характеристики РП – ГМ приведены в таблице 5 и таблице 6 (по данным ГМ АвтоВАЗа).

Для потребителей II категории с целью обеспечения бесперебойности питания принять две параллельно проложенные кабельные линии. Двухлучевая сеть на 10 кВ подстанции РП – ГМ должна выполнять условия нагрузки и падения напряжения.

Таблица 5 - Технические характеристики распределительного устройства РП – ДжиЭМ

Описание	Технические данные	Единица изм.
Распределительное устройство MV	Изолированный SF 6	
тип	NXPLUS C	
В соответствии со следующими правилами	IEC 0056,60071,60129, 60265-1,60298,60420, 60470,60529,60694,61243- 5/PEHLA Cat. 1-6/ действующий GOST	
Номинальное напряжение U_r	24	kV
Рабочие напряжение U_r	10	kV
Расчётное кратковременное пробивное напряжение частоты сети	50	1kV/1 min
Расчётное напряжение грозового импульса без пробоя U_p	125	kV
Расчётная частота	50	Hz

Продолжение таблицы 5

Расчётный нормальный ток	1000/1250	A
Расчётное кратковременное пробивное напряжение частоты сети	50	kV
Расчётное напряжение грозового импульса без пробоя U_p	125	kV
Расчётное кратковременное пробивное напряжение I_{kd} в течение 3 сек.	25	kA
Расчётный пиковый пробивной ток I_p	63	kA
Расчётный ток срабатывания при коротком замыкании I_{ma}	63	kA
Расчётный ток отключения при коротком замыкании I_{SC}	25	kA
Электрическая долговечность вакуумного прерывателя цепи при нормальном расчётном токе	10,000	Рабочие циклы
Электрическая долговечность вакуумного прерывателя цепи тока отключения при коротком замыкании	50	Циклы срабатывания-отключения
Расчётное давление заполнения $P_{ге}$ для изоляции при $20^{\circ}C$	500	hPA
Минимальное рабочее давление P_{me} для изоляции при ат $20^{\circ}C$	300	hPA
Температура окружающей среды	-5 up to +55	$^{\circ}C$
Реле сверх-тока в течение определённого времени на входе	7SJ6321	
Реле сверх-тока в течение определённого времени на выходе	7SJ6221	
Распределительное устройство тепловой нагрузки, 12 панелей	700	панель MJ

Дополнительно:

Аккумулятор тепловой нагрузки (18		
--	--	--

блочных батарей, в состоянии поставки)	600	kWh
Блок питания аккумулятора тепловой нагрузки	150	kWh

Таблица 6

Исходные данные в			Подстанция RP-GM на 10 кВ	
			Секция сборных шин Т40	Секция сборных шин выпрямители / Т60
1	Номинальное рабочее напряжение сети	$U_{нN}$ [kV]	10	10
2	Предварительное реактивное сопротивление сети	X_N [Ω]	0,35289	0,35289
3	Предварительное активное сопротивление сети	R_N [Ω]	0,04274	0,04274

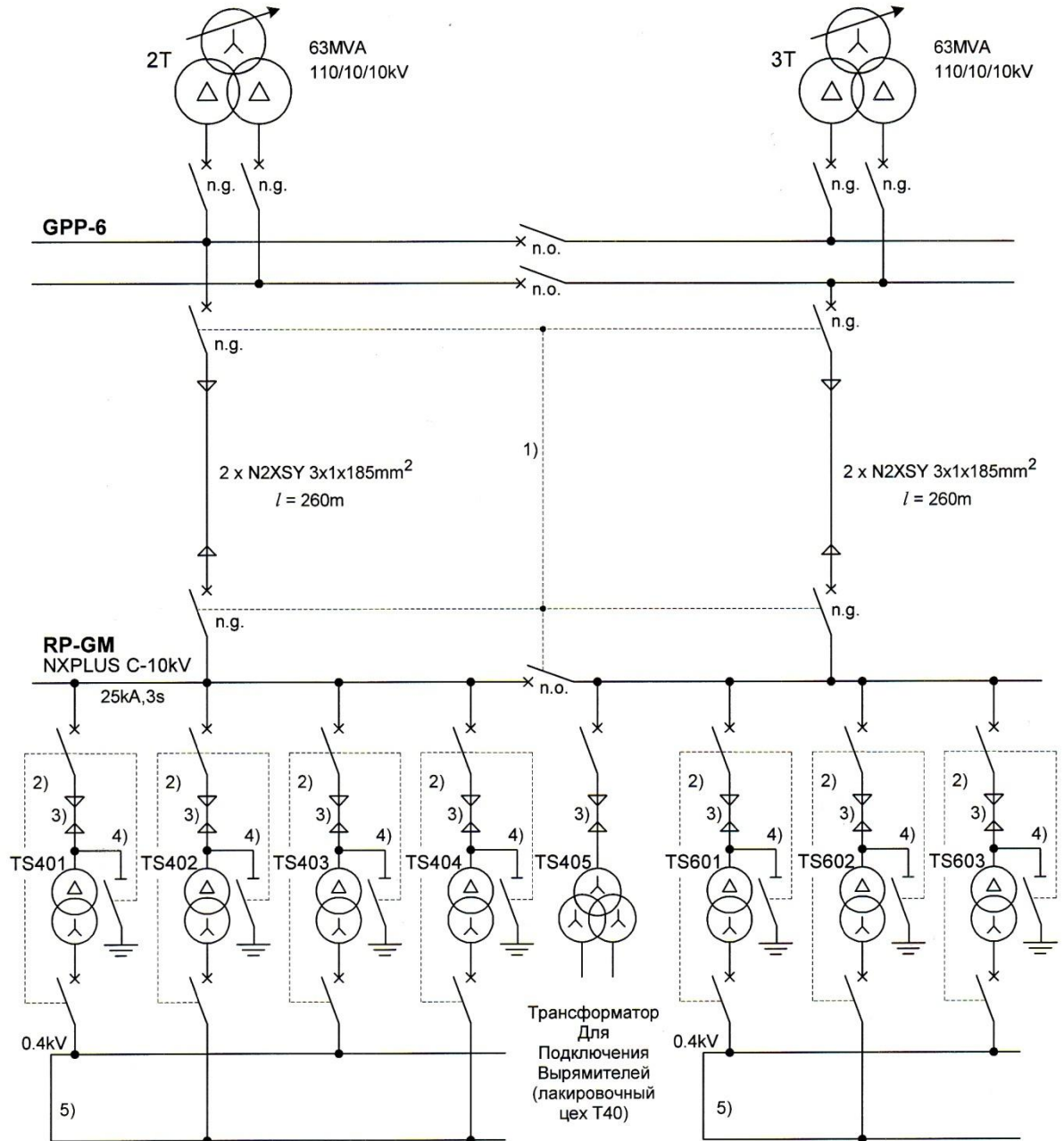
Продолжение таблицы 6

4	Мощность параллельно включенного эквивалентного трансформатора	$SrT - \sum$ [kVA]	5000	4380
5	Соотношение пика тока при включении и номинального тока	$\frac{IE1 - \sum}{IrT - \sum}$	8,2	8,5

	параллельно включенного эквивалентного трансформатора	[1]		
6	Результирующее напряжение короткого замыкания параллельно включённого эквивалентного трансформатора	$u_r Z$ [%]	6,0	6,0
7	Омическая составляющая результирующего напряжения короткого замыкания параллельно включённого эквивалентного трансформатора	$u_r R$ [%]	0,896	0,921
8	Коэффициент для количественного определение соотношения между разностью, получаемой из индукции насыщения и остаточной индукции, и номинальной индукцией	β [1]	1,429	1,430
9	Коэффициент затухания в зависимости от схемного узла трансформатора	K_4 [1]	2 с имеющейся обмоткой Δ	2 с имеющейся обмоткой Δ
10	Интервал времени	$K_{T0.5}$		

половинного значения	[Периоды]	15	14
----------------------	-----------	----	----

Расчётная нагрузка по заводу составила 7497,5 кВА.



Лакировочный цех Т40

TS401 - TS404 :
 $U_{rT} = 10/0.42kV$
 $S_{rT} = 1250 (1750)kVA$
 $u_{rZ} = 6\%$

Условные обозначения:

- п.о. нормально разомкнутый
- н.г. нормально замкнутый
- 1) Автоматика переключения с блокировкой при аварии сборных шин
- 2) Схема захвата

$U_{rT} = 10/0.33/0.33kV$
 $S_{rT} = 630/420/210kVA$
 $u_{rZ} = 6/3/0.6\%$

- 3) N2XS Y 3x1x95mm²
- 4) Предохранительная блокировка
- 5) Система многоамперных шин SENTRON на 2500 А

Сборочный цех Т60

TS601 - TS601 :
 $U_{rT} = 10/0.42kV$
 $S_{rT} = 1250 (1750)kVA$
 $u_{rZ} = 6\%$

Рисунок 6 – Электропитание 10/0,4 кВ цехов GM T 40/T 60

Значение K_3 на шинах (10 кВ) источника питания – 18,17 кА, K_3 отключена при коротком замыкании – 25 кА (расчётный кратковременный ток РП NX PLUS C).

При выборе питающего кабеля должны соблюдаться:

- 1) Нагрузочная способность: $J_{доп} > J_{MAX} \cdot p(n-1)$; (39)

- 2) Тепловыделение при токе короткого замыкания:

$J_{ТЗТК} > J_{ТЭКЗ}$, где $J_{ТЗТК}$ - тепловая нагрузочная способность тока короткого замыкания (для кабеля с сечением жил равным 185 мм^2 $J_{ТЗТК} = 27 \text{ кА}$)

- 1) Нагрузочная способность:

$J_{доп}$ – допустимый ток нагрузки.

$$J_{доп} = n \cdot J_r \cdot f_1 \cdot f_2, \text{ где} \quad (40)$$

n – число кабелей, работающих параллельно;

J_r – номинальная токовая нагрузка для прокладки пучков в земле

($J_r = 457 \text{ А}$);

f_1 – коэффициент для прокладке в земле ($f_1 = 0,93$) при удельном почвенно-термальном сопротивлении $1,0 \text{ км/Вт}$, коэффициенте загрузки $1,0$, допустимой при температуре проводника 90°С и температуре грунта 20°С (справочное руководство по кабелям фирмы SIEMENS)

f_2 - коэффициент для прокладке в земле ($f_2 = 0,70$ для 4-х жильных проводов в трёхфазном кабеле).

$$J_{доп} = 2 \cdot 457 \text{ А} \cdot 0,93_1 \cdot 0,7 = 595 \text{ А}$$

$$J_{MAXp}(n-1) = \frac{S_{max}(T60 \cdot T40)}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \text{ где} \quad (41)$$

S_{max} – максимальная расчётная нагрузка;

$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$

$$J_{MAXp}(n-1) = \frac{7497,5}{1,73 \cdot 10} = 433 \text{ А}$$

Требование (1) выполняется: $595 > 433$

2) Тепловыделение при токе короткого замыкания:

$$J_{ТНКЗ} > J_{ТЭТК},$$

где $J_{ТНКЗ}$ - тепловая нагрузочная способность тока короткого замыкания

$$(J_{ТНКЗ} = 27 \text{ кА для кабеля с сечением жил равным } 185 \text{ мм}^2 \quad t_k = 1 \text{ сек})$$

$J_{ТЭТК}$ - тепловой эквивалент тока короткого замыкания.

$$J_{ТЭТК} = J_K'' \cdot \sqrt{m+n}, \text{ где} \quad (42)$$

J_K'' - начальный симметричный ток короткого замыкания ($J_{K_{\max}}'' = 18,7 \text{ кА}$ на 10 кВ шинпровода 10 кВ станции GPP-6);

m – постоянная тока короткого замыкания ($m=0$ при $t_k \geq 1,0 \text{ с}$);

n – переменная составляющая тока короткого замыкания ($n=1$ при коротком замыкании вдали от источника).

$$J_{ТЭТК} = 18,7 \text{ А} \cdot \sqrt{0+1} = 18,7 \text{ А}$$

Второе требование выполняется:

$$27 \text{ кА} > 18,7 \text{ кА}$$

Расчёт токов нагрузки в нормальном режиме:

$J_{\text{МН}}$ – максимальная расчётная нагрузка;

$J_{\text{доп}}$ – допустимый ток нагрузки.

$$J_{\text{доп}} > J_{\text{МН}}$$

$$J_{\text{доп}} \quad J_{\text{МН}}$$

$$595 \text{ А} > 229,7 \text{ А (кабельная система №1)}$$

$$595 \text{ А} > 244,0 \text{ А (кабельная система №2)}$$

Двойная лучевая сеть на 10 кВ с нормально разомкнутым продольным соединением на подстанции РП – ГМ надёжно передаёт требуемую мощность.

Расчёт токов нагрузки в аварийном режиме:

Анализ потоков нагрузки:

$$J_{\text{доп}} > J_{\text{МН}}$$

$$J_{\text{доп}} \quad J_{\text{МН}}$$

595 А > 474 А (отказ кабельной системы №1)

595 А > 474 А (отказ кабельной системы №2)

Двойная лучевая сеть на 10 кВ надёжно выполняет условия для аварийного режима. Устойчивость к току короткого замыкания РП – ГМ и кабелей приведены в таблице В3 и Г4 (в Приложении).

5 Выбор сечения кабелей, токопроводов, шинопроводов

Расчёт сечения питающего кабеля приведён в главе 4, где выбрано сечение кабеля 185 мм² и подтверждена его нагрузочная способность, а также требование тепловыделения при токе короткого замыкания.

Для расчёта допустимой в нормальном и аварийном режиме токовой нагрузки кабелей на 10 кВ N2XSV3x195 мм² используется следующее уравнение (данные GM АвтоВАЗа):

$$J'_{PT} = J_{PT} \cdot f_g \cdot f_H, \text{ где} \quad (43)$$

J_{PT} – расчётный ток, равный 358 А при пучковой прокладке в воздухе;

f_g - коэффициент пересчёта для отклонений температуры воздуха, равный 0,91 для $g = 40^\circ$

f_H - коэффициент пересчёта для укладки нескольких кабелей рядом $f_H = 0,96$ при $n=3$ параллельной системы.

$$J'_{PT} = 358 \cdot 0,91 \cdot 0,96 = 313 \text{ А}$$

Расчёт потоков нагрузок в нормальном режиме.

Для снабжения потребителей в нормальном режиме 4 подстанции СИТРАВЛОК в цеху Т 40 включены параллельно. Нормальный режим в сборочном цехе Т 60 характеризуют 3 параллельно включённые подстанции СИТРАВЛОК.

Результаты расчёта потоков нагрузок:

Цех Т 40

J_{PT}		J'_{PT}
313А	>	54,97 А (соединительный кабель TS 401)
313А	>	56,54 А (соединительный кабель TS 402)
313А	>	56,96 А (соединительный кабель TS 403)
313А	>	59,62 А (соединительный кабель TS 404)

Цех Т 60

J_{PT}		J'_{PT}
313A	>	67,65 А (соединительный кабель TS 601)
313A	>	63,56 А (соединительный кабель TS 602)
313A	>	69,42 А (соединительный кабель TS 603)

Условие нагрузки выполняется кабелями сечением 95 мм² в нормальном режиме надёжно.

Расчёт потоков нагрузки в аварийном режиме.

Аварийный режим имеет место тогда, когда снабжение сети 10/0,4 кВ должны обеспечивать n-1 параллельно включённых трансформаторов. После отказа одного трансформатора остающиеся в работе n-1 трансформаторы должны обеспечить и мощность отказавшегося. Соответственно и большую нагрузку несут и соединительные кабели сечением 95 мм².

Цех Т 40

J_{PT}		J'_{PT}
313A	>	81,96 А (TS 401 отказал)
313A	>	80,78 А (TS 402 отказал)
313A	>	80,26 А (TS 403 отказал)
313A	>	77,90 А (TS 404 отказал)

Цех Т 60

J_{PT}		J'_{PT}
313A	>	104,49 А (TS 601отказал)
313A	>	102,02 А (TS 602 отказал)
313A	>	104,80 А (TS 603 отказал)

Как в нормальном, так и в аварийном режиме перегрузка соединительных кабелей сечением 95 мм² исключена.

Этот результат показывает, что для выбора соединительных кабелей важна не столько недопустимая токовая нагрузка, а требуемая устойчивость к току короткого замыкания. Наряду с недопустимыми перегрузками оборудования должны быть исключены недопустимые падения напряжения.

Анализ падения напряжения при использовании кабелей сечением 185 мм² приведён в главе 4.

Для определения потери напряжения при применении кабеля сечением 95 мм² применяется уравнение:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot l_0 \cdot J_p (\tau_{y0} \cdot \cos \varphi + x_{y0} \cdot \sin \varphi) \quad (44)$$

По данным [7] $\tau_{y0} = 0,194$ Ом/км; $x_{y0} = 0,083$ Ом/км;

Коэффициент загрузки кабелей: по цеху Т 40 – 0,19; по цеху Т 60 в среднем 0,22.

Для цеха Т 40 падение напряжения составляет:

$$\Delta U = 1,73 \cdot 56,9 \cdot 0,1 \cdot (0,194 \cdot 0,85 + 0,083 \cdot 0,54) \cdot 4 = 8 \text{ В}$$

Для цеха Т 60:

$$\Delta U = 1,73 \cdot 69,4 \cdot 0,1 \cdot (0,194 \cdot 0,85 + 0,083 \cdot 0,54) \cdot 3 = 7,2 \text{ В}$$

Падение напряжения незначительно, то есть напряжение у потребителей практически не будет отличаться от номинального.

Сечения кабелей 185 мм² и 95 мм² выбраны верно и условия нагрузки полностью выполняется кабелями таких сечений.

Проверка условия нагрузки и падения напряжения в нормальном и аварийном режимах для установленных в цехах Т 40 и Т 60 многоамперных шин на 800 и 2500 А представлены в таблицах Д5, Е6, Ж7, И8, К9 (в Приложении).

Условия нагрузки и падения напряжения полностью выполняются как в нормальном, так и аварийном режимах (по данным ГМ АвтоВАЗа). Шины SENTRON™ по данным указанных таблиц не перегружаются в нормальном и аварийном режиме.

Ни одна из установленных в цехах Т 40 и Т 60 многоамперных шин SENTRON™ на 2500 и 800 А не подвергается термической перегрузке.

6 Расчёт токов короткого замыкания

Причинами коротких замыканий могут быть механические повреждения изоляций, износ, старение, приводящие к ухудшению электрических свойств электроустановок и прочее.

Последствия коротких замыканий являются резкое увеличение тока в короткозамкнутой цепи и снижение напряжения в отдельных точках системы. Расчёт сетей на 10/0,4 кВ выполнен компонентами программ SINCAL «короткое замыкание». Проведены следующие расчёты:

- 3-контактный расчёт тока короткого замыкания для определения аварийных токов в целях подтверждения устойчивости оборудования к току короткого замыкания;

- 3-контактный расчёт тока короткого замыкания для определения мощности короткого замыкания;

Приняты во внимание следующие:

- Расчёт аварийного тока с мощностью короткого замыкания $S'_k = 323,9 \text{ МВА}$ ($J'_k = 18,7 \text{ кА}$), заданной АвтоВАЗом на сборных шинах 10 кВ главного распредустройства GPP-6.

Распредустройство NXPlus C на 10 кВ (подстанция RP-GM).

Технические характеристики подстанция RP-GM приведены в главе 4 (таблица 9 и 10).

Подстанция RP-GM SF₆ – изолированная стационарная установка с силовыми выключателями NXPlus C устойчивыми к короткому замыканию, если:

$$J_{PT} > J''_k;$$

$$J'_{PT} > i \cdot p;$$

$$J_{T.C.} > J_{TЭГ},$$

J_{PT} - расчётный ток выключения при коротком замыкании ($J_{PT} = 25 \text{ кА}$);

J'_{PT} - расчётный ток включения при коротком замыкании ($J'_{PT} = 63 \text{ кА}$);

J_k'' - начальный переменный ток короткого замыкания (по цеху Т 40 – 19,8 кА, по цеху Т 60 – 19,75 кА);

$J_{T.C.}$ - допустимая термическая способность распреустройства NXPlus C выдерживать нагрузку тока короткого замыкания:

$$J_{T.C.} = J_{PKT} \cdot \sqrt{t_{pt}/t_k}, \text{ где} \quad (45)$$

i_p – ударный ток короткого замыкания (по цеху Т 40 – 46,54 кА, по цеху Т 60 – 46,46 кА);

J_{PKT} - расчётный кратковременный ток распреустройства NXPlus C ($J_{PKT}=25$ кА);

t_{pt} - максимальная продолжительность короткого замыкания ($J_{pt}=3$ сек);

t_k - максимальная продолжительность короткого замыкания $t_k=0,9$ сек, это время соответствует максимальному времени защитного выключения $J >$ обеих отводных панелях на 10 кВ главного распреустройства GPP-6).

$J_{TЭГ}$ - термически эквивалентный ток короткого замыкания:

$$J_{TЭГ} = J_k'' \cdot \sqrt{m+n}, \text{ где} \quad (46)$$

n – переменная составляющая тока короткого замыкания;

m - постоянная составляющая тока короткого замыкания.

Основанная на результатах 3-контактного расчёта тока короткого замыкания программой SINCAL проверка условий тока короткого замыкания для установленного на подстанции RP-GM распреустройства приведена в таблице Г4(в Приложении).

Соблюдение условия тока короткого замыкания предусмотренными к использованию кабелями на 10 кВ типа N2XSV3x185 мм² и типа NSXSV3x1x95 мм² приведены в таблице В3.

В соответствии с проверкой, как кабели на 10 кВ для присоединения подстанции RP-GM, так и кабели присоединения подстанции SITPABLOC имеют устойчивые к короткому замыканию сечения проводов.

Оборудование для использования в сетях на 0,4 кВ:

Силовые выключатели трансформатора на 3200А – 3WL 1232 – 4.

Самую высокую нагрузку при коротком замыкании для силовых выключателей трансформатора на 3200 А SENTRON 3WL 1232 – 4 создают короткие замыкания на зажимах вторичной стороны. Тогда через силовые выключатели трансформатора в затронутой аварией подаче питания протекает суммарный ток короткого замыкания $J_{\sum K3} \cdot F_1$. При $n \geq 2$ параллельных подачах питания этот суммарный ток короткого замыкания всегда складывается из отдельных токов короткого замыкания $n-1$ трансформаторов.

$$(J_{\sum K3-F1} = J_{K(n-1)Tp} = \sum_{i=1}^{n-1} J_{K-Tri}) \quad (47)$$

Дополнительно суммарный ток короткого замыкания $J_{\sum K3-F1}$ ещё повышается на долю, приходящуюся на асинхронные двигатели NS устанавливающие обратную связь в случае короткого замыкания. Поэтому нагрузка при коротком замыкании для силовых выключателей трансформаторов в цехах Т 40 и Т 60 рассчитывается следующим образом:

$$J_{\sum K3-F1}(T40) = J_{K-SINCAL,0}(T40) - J_{K-T}$$

$$J_{\sum K3-F1}(T60) = J_{K-SINCAL,0}(T60) - J_{K-T}, \text{ где}$$

J_{K-T} – отдельный ток короткого замыкания, сам не протекающий через силовой выключатель того трансформатора, на вторичной стороне которого произошло короткое замыкание на зажимах ($K_{K-T}=27,4 \dots 27,7$ кА)

$J_{K-SINCAL,0}(T40)$ - рассчитанный по программе SINCAL суммарный ток короткого замыкания $n=4$ параллельно питающих трансформаторов на 1250 кВА и асинхронных двигателей низкого напряжения, устанавливающих обратную связь в случае короткого замыкания.

$J_{K-SINCAL,0}(T60)$ - рассчитанный по программе SINCAL суммарный ток короткого замыкания $n=3$ параллельно питающих трансформаторов на 1250 кВА и асинхронных двигателей низкого напряжения, устанавливающих обратную связь в случае короткого замыкания.

Силовые выключатели трансформатора SENTRON 3WL 1232 устойчивы к току короткого замыкания, если:

$$J_{KC}(3WL1232) > J''_{HT}$$

$$J_{KB}(3WL1232) > i_{y.T}$$

$$J_{TC}(3WL1232) > T_{TЭГ}, \text{ где}$$

J_{KC} - расчётный допустимый рабочий ток выключения при коротком замыкании для 3WL 1232 ($J_{KC}(3WL 1232) = 100$ кА);

J_{KB} - расчётный допустимый рабочий ток включения при коротком замыкании для 3WL 1232 ($J_{KB}(3WL 1232) = 220$ кА);

J_{TC} - термическая способность 3WL 1232 выдерживать токовую нагрузку короткого замыкания:

$$J_{TC}(3WL1232) = J_{KW}(3WL1232) \cdot \sqrt{t_{p.np.}/t_K}, \text{ где} \quad (48)$$

J_{KW} - расчётный ток малой продолжительности выключателя 3WL 1232 ($J_{KW} = 85$ кА);

$t_{p.np.}$ - расчётная продолжительность короткого замыкания $t_{p.np.} = 0,5$ сек;

t_K - максимальная продолжительность короткого замыкания $t_K = 0,1$ сек.

J''_{HT} - начальный переменный ток короткого замыкания для места аварии F-1;

i_{yT} - ударный ток короткого замыкания для места аварии F-1;

$J_{TЭГ}$ - термически эквивалентный ток короткого замыкания для места аварии F-1.

$$J_{TЭГ} = J_{HT} \cdot \sqrt{m_{F1} + n_{F1}}, \text{ где} \quad (49)$$

m_{F-1} - постоянная составляющая тока короткого замыкания для места аварии F-1;

n_{F-1} - переменная составляющая тока короткого замыкания для места авар

Данные расчётов выполнения условий тока короткого замыкания силовыми выключателями, установленными в цехе Т 40 и цехе Т 60 приведены в таблицах Л10, М11 (в Приложении).

Как показывают данные силовые выключатели 3WL 1232 трансформатора на 3200 А устойчивы к короткому замыканию.

Силовые разъединители на 0,4 кВ с держателями низковольтных предохранителей большой разрывной мощности на 500 А и 630 А.

В соответствии с результатами 3-контактного расчёта тока короткого замыкания по программе SINCAL максимальный начальный переменный ток короткого замыкания $J_{HT}''=95,35$ кА, а максимальный ударный ток короткого замыкания $i_{yT}=200,22$ кА. Силовые разъединители на 0,4 кВ должны выполнять два условия тока короткого замыкания:

$$I_{cm} > I_c$$

$$I_{cw}^2 \cdot t_{cw} > I^2 \cdot t_a$$

I_{cm} - расчётный допустимый ток включения при коротком замыкании силового разъединителя низкого напряжения с низковольтными предохранителями большой разрывной мощности по DIN 43620;

$I_{cm}=105$ кА при использовании силового разъединителя типа 3KL61 для плавких вставок низковольтных предохранителей большой разрывной мощности с расчётным током длительной нагрузки $500 \text{ A} \leq I_n \leq 630 \text{ A}$

(см. каталог фирмы «Сименс» NS PS – 20001/2002, стр. 13/45)

I_c - максимальный прямой ток низковольтных предохранителей большой разрывной мощности

Типа 3NA3 365 ($I_n = 500 \text{ A}$):

$$I_c = 50 \text{ kA при } I_{K \text{ max}}'' = 95,35 \text{ A}$$

Типа 3NA3 372 ($I_n = 630 \text{ A}$):

$$I_c = 64 \text{ kA при } I_{K \text{ max}}'' = 95,35 \text{ A.}$$

$I_{cw}^2 \cdot t_{cw}$ - расчётная величина джоулева тепла силового разъединителя низкого напряжения

$$I_{cw}^2 \cdot t_{cw} = 1024 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \text{s для силового разъединителя типа 3KL61}$$

I_{cw} - расчётный ток малой продолжительности силового разъединителя низкого напряжения

$I_{cw} = 32$ кА для для силового разъединителя типа ЗКЛ61

t_{cw} - расчётная продолжительность короткого замыкания силового разъединителя низкого напряжения

$I_{cw} = 1,0$ сек для силового разъединителя типа ЗКЛ61

$I^2 \cdot t_a$ - величина разрывного $I^2 \cdot t$ низковольтных предохранителей большой разрывной мощности $U_{nN} = 400V$ АС

тип ЗНА3 365 ($I_n = 500$ А):

$$I^2 \cdot t_a = 2,26 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \text{ s}$$

тип ЗНА3 372 ($I_n = 630$ А):

$$I^2 \cdot t_a = 4,34 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \text{ s}$$

Вследствии 3-контактного короткого замыкания максимальный прямой ток $J_C = 64$ кА имеет место тогда, когда силовой разъединитель низкого напряжения ЗКЛ 61 используется в сочетании с низковольтным предохранителем большой разрывной мощности ЗНА3372 на 630 А. Этот прямой ток меньше расчётного допустимого тока включения при коротком замыкании $J_{CM} = 105$ кА силового разъединителя низкого напряжения, то есть динамическое условие тока короткого замыкания выполняют все силовые разъединители З КЛ в сочетании с низковольтными предохранителями большой разрывной мощности.

По сравнению с расчётной величиной джоулева тепла силового разъединителя низкого напряжения З КЛ 61 - $J_{cw}^2 \cdot t_{cw} = 1024 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \text{ s}$ δ - величина разрывного $J^2 \cdot t$ низковольтного предохранителя большой разрывной мощности ЗНА3 365 на 630 А составляет лишь $J^2 \cdot t = 4,34 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \text{ s}$. Поэтому надёжно выполняется и термическое условие тока короткого замыкания.

Определение максимального прямого тока с использованием предохранителей на 500 А приведены на рисунках П1, Р2 (в Приложении).

Многоамперные шины SENTPOL™ на 2500 А и 800 А.

Самая высокая нагрузка током короткого замыкания при эксплуатации сетей на 0,4 кВ в случае массивного 3-компактного короткого замыкания имеет место непосредственно на многоамперных шинах SENTPOL™ на 2500 А и 800 А. Тогда в месте аварии F 2 протекает суммарный ток короткого замыкания $J_{K\Sigma-F2}$

Многоамперные шины SENTPOL™ на 2500 А и 800 А устойчивы к короткому замыканию, если выполняются условия:

$$J_{py} > i_{p\max} - F_2; \quad (50)$$

$$J_{TC} > J_{\max.тер} - F_2, \text{ где} \quad (51)$$

J_{py} - расчётная устойчивость к ударному току многоамперных шин SENTPOL™ (J_{py} на 2500 А = 315 кА; J_{py} на 800 А – 148 кА)

J_{TC} - термическая способность выдерживать нагрузку током короткого замыкания многоамперных шин SENTPOL™.

$$J_{TC} > J_{CW} \cdot \sqrt{t_{CW}/t_K}, \text{ где} \quad (52)$$

J_{CW} - расчётный ток малой продолжительности многоамперных шин (J_{CW} на 2500 А = 130 кА; J_{CW} на 800 А – 47 кА);

t_{CW} - расчётная продолжительность короткого замыкания многоамперных шин (t_{CW} на 2500 А = 1,0 сек; t_{CW} на 800 А – 1,0 сек);

t_K - максимальная продолжительность короткого замыкания ($t_K=0,3$ сек);

$i_{p\max} - F_2$ - максимальный ударный ток короткого замыкания в месте аварии F-2;

$J_{\max.тер}$ - максимальный термически эквивалентный ток короткого замыкания в месте аварии F-2

$$J_{\max.тер} - F_2 = J_{K\max}'' - F_2 \cdot \sqrt{m_{F-2} + n_{F-2}}, \text{ где} \quad (53)$$

$J_{K\max-F2}''$ - максимальный начальный переменный ток короткого замыкания на месте аварии F-2.

Для многоамперных шин на 2500 А и 800 А, установленных в цехах Т 40 и Т 60 выполнение указанных условий тока короткого замыкания проверяется в таблицах Ф12, Х13 (в Приложении).

7 Релейная защита в системах электроснабжения предприятия

Для снабжения цехов Т 40 и Т 60 оборудовано следующими устройствами защиты:

- используемые на АвтоВАЗе максимальные реле тока с выдержкой времени ABBRE525 с чувствительным выявлением тока замыкания на землю в отводных панелях главного распределительного устройства GPP-6 на 10 кВ;

- цифровые максимальные реле тока с выдержкой времени SIPROTEC 7SJ63 с чувствительным выявлением тока замыкания на землю и его направление в питающих панелях подстанции RP-GM на 10 кВ;

- цифровые максимальные реле тока с выдержкой времени SIPROTEC 7SJ62 со схемой Холмигрина для выявления замыкания на землю в отводных панелях трансформаторов подстанции RP-GM на 10 кВ.

Максимальные реле тока с выдержкой времени ABBRE525 подключены к 3-контактным трансформаторам тока с коэффициентом трансформации $n = 1500$ А/1 А. Подключение цифровых максимальных реле тока с выдержкой времени SIPROTEC 7SJ63 осуществляется через 3-контактные трансформаторы тока с коэффициентом трансформации $n = 1000$ А/1 А. Для подключения цифровых максимальных реле тока с выдержкой времени SIPROTEC 7SJ62 все отводные панели трансформаторов на 10 кВ оснащены 3-контактными трансформаторами на 100 А/1 А. Необходимая в случае короткого замыкания стабильность срабатывания цифровых максимальных реле тока с выдержкой SIPROTEC 7SJ62 и 7SJ63 при подключении к трансформаторам тока на 100 А/1 А и на 1000 А/1 А проверяется. Для выявления ёмкостного тока замыкания на землю в диапазоне $10 \text{ А} < J_{CE} \leq 35 \text{ А}$ трансформаторы тока с кольцевыми стержнями на 1000 А/1 А не пригодны. Поэтому для реализации чувствительного выявления тока замыкания на землю в питающих панелях на 10 кВ подстанции RP-GM используются дополнительные кабельные трансформаторы тока с коэффициентом трансформации $n = 60 \text{ А/1 А}$.

В основу концепции защиты сетей на 0,4 кВ, выполненных как система TN-C-S для цехов Т 40 и Т60 положены следующие устройства защиты:

- силовые выключатели на 3200 А 3WL 1232-4 с расцепителем ETU 45В для защиты от перегрузки, короткого замыкания с небольшой выдержкой вре-

мени и короткого замыкания без выдержки времени в питающих панелях многоамперных шин подстанции SITRABLOC;

- низковольтные предохранители большой разрывной мощности с номинальным током $J_H \leq 630$ А в отводных коробах системы многоамперных шин SENTRON™ на 2500 А.

Подтверждением селективности многократно питаемых сетей на 0.4 кВ для цехов Т 40 и Т 60 даётся путём сравнения характеристик срабатывания выключателей с характеристиками включенных на выходе низковольтных предохранителей большой разрывной мощности.

Настройка и координация селективной защиты.

В основу настройки защиты для селективного отключения многоконтактных аварий положено следующие условие возбуждения:

$$f_B \cdot J_{B \max} \leq J_{an} \leq \frac{J_{K \min}}{f_a}, \text{ где} \quad (64)$$

J_{an} – ток срабатывания возбуждения $J < 1 \ J >>$

f_a - коэффициент надёжности срабатывания ($f_a = 1,25 - 2,0$);

f_B - коэффициент, учитывающий условия эксплуатации – развитие нагрузки, режим мешающей нагрузки, переходные процессы, сбои трансформаторов тока и коэффициент возврата ($f_B = 1,7$ для кабелей);

$J_{B \max}$ - максимальный рабочий ток;

$J_{K \min}$ - минимальный ток короткого замыкания ($J_{K \min} = J_{K2}''$)

Для проверки селективности настройки защиты были составлены цепи ступенчатой защиты и ступенчатые диаграммы.

* *STW T60. TOG*: цепь ступенчатой защиты и диаграмма, сеть на 10 кВ подстанции RP-GM, SITRABLOC TS 601 –TS 603;

* *STW2T 405. TOG*: цепь ступенчатой защиты и диаграмма, сеть на 10 кВ подстанции RP-GM, трехобмоточный трансформатор TS 405 на 630/420/210 кВА;

* *STW3T40.TOG*: цепь ступенчатой защиты и диаграмма, сеть на 10 кВ подстанции RP-GM, SITRABLOC TS 401 –TS 404.

Как показывает сравнение характеристик вышеназванных ступенчатых диаграмм, всегда срабатывает защитное устройство, расположенное перед многоконтактной аварией. Наряду с обеспечением селективности назначение параметров по условию возбуждения должно также препятствовать ложным срабатываниям при включении трансформаторов, установленных в цехах T40 и T60. Заранее такие ложные срабатывания можно предотвратить только в том случае, если пиковая кривая при включении не пересекается характеристикой срабатывания $I_E > I_{EE}$ цифровых максимальных реле тока с выдержкой времени 7SJ62 и 7SJ63. Для цифровых максимальных реле тока с выдержкой времени 7SJ63 показывают сравнение характеристики срабатывания $I_E > I_{EE}$ с суммарной пиковой кривой при включении трансформаторов, установленных в цехах T40 и T60. Сопоставляется кривая срабатывания $I_E > I_{EE}$ цифровых максимальных реле тока с выдержкой времени 7SJ62 с пиковой кривой при включении компаундового трансформатора GEAFOL на 1250 кВА и трехобмоточного трансформатора на 630/420/210 кВА. Как показывает сравнение, даже при отключенной стабилизации пика тока при включении не имеют место ложные защитные срабатывания, обусловленные пиками тока при включении. Характеристики срабатывания $I_E > I_{EE}$ и пиковые кривые при включении рассчитаны по программе Siemens-Excel RUSH.XLS. В соответствии с поставленной целью – эксплуатации с изолированной нейтралью, 1-контактные аварии не отключаются. Это распределение аварийного тока является базой для настройки возбуждения $I_E > I_{EE}$ на реле SIPROTEC 7SJ62 и 7SJ63. Величина возбуждения $I_E > I_{EE}$ превышает только тогда, когда место замыкания на землю располагается за реле SIPROTEC 7SJ63 и 7SJ62, если смотреть в направлении потока энергии.

Параметры настройки, кладущиеся в основу для назначения по месту параметров 7SJ62 und 7SJ63, для концепции защиты двойной лучевой сети

на 10кВ с нормально соединением на подстанции RP-GM (таблицы настройки Я1, Я2 (в Приложении)).

Об изменении коммутационного состояния, наступающего в качестве ответной реакции на защитное срабатывание, информирует диаграмма коммутационного состояния. Согласно диаграмме принцип действия коммутационной автоматики должен быть пригоден для эксплуатации двойной лучевой сети на 10 кВ с нормально разомкнутым продольным соединением на подстанции RP-GM. Сравнения реагирования на перегрузку TS/63, TS/62 трансформаторов приведены на рисунках ЩЗ, Э4, Ю5, Я6 (в Приложении).

Проверка стабильности срабатывания цифровых реле SIPROTEC 7SJ63 и 7SJ62.

Правильное функционирование защиты сети зависит от характеристики передачи входящих в защитную систему трансформаторов тока. В эту систему подстанции RP-GM на 10 кВ входят трансформаторы тока со следующими параметрами:

Питающие панели: $u = 1000\text{A}/1 \text{ A}$, $P_{BN} = 10\text{VA}$, $K_{ALK} = 10$, $R_i = 3,6 \text{ Ом}$

Отводные панели: $u = 100\text{A}/1 \text{ A}$, $P_{BN} = 10\text{VA}$, $K_{ALK} = 10$, $R_i = 2,2 \text{ Ом}$

Трансформаторы тока должны передавать на цифровые реле SIPROTEC 7SJ63 и 7SJ62 возникающие в сети на 10 кВ максимальные токи без мешающих токовых и угловых погрешностей. Характеристика передачи трансформаторов тока описываются рабочей краткостью насыщения K_{ALF}^* . Рабочая кратность насыщения K_{ALF}^* рассчитывается так:

$$K_{ALF}^* = K_{ALF} \cdot \frac{R_{BN} + R_i}{R_{BC} + R_i} \quad (65)$$

K_{ALF} - номинальная кратность насыщения ($K_{ALF} = 10$)

R_i – внутреннее полное сопротивление нагрузки ($R_i (1000\text{A}/1\text{A}) = 3,6 \text{ Ом}$, $R_i (100\text{A}/1\text{A}) = 2,2 \text{ Ом}$)

R_{BN} – номинальное полное сопротивление нагрузки трансформатора тока

$$R_{BN} = \frac{P_{BN}}{I_{N2}^2} \quad (66)$$

P_{BN} – номинальная мощность трансформатора ($P_{BN}=10$ VA)

I_{N2} – вторичный номинальный ток трансформатора тока ($I_{N2} = 1,4$)

R_{BC} – фактическое полное сопротивление нагрузки

$$R_{BC} = R_{Relais} + R_l \quad (67)$$

R_{Relais} - полное сопротивление нагрузки цифрового реле SIPROTEC 7SJ63 и 7SJ62

$$R_{Relais} = \frac{P_{Relais}}{I_{N2}^2} \quad (68)$$

P_{Relais} - потребность в мощности цифрового реле SIPROTEC 7SJ63 и 7SJ62 ($P_{Relais} = 0,1$ W)

R_l - полное сопротивление нагрузки линии, проложенной от трансформаторов тока к реле

$$R_l = \frac{2 \cdot l \cdot \zeta}{A} \quad (69)$$

l – длина провода ($l=4,5$ м)

ζ - удельное сопротивление ($\zeta = 0,0179 \Omega \cdot mm^2 / m$)

A – поперечное сечение провода ($A = 4 mm^2 Cu$)

Требуемая стабильность срабатывания 7SJ63 и 7SJ62 обеспечена в том случае, если с рассчитанной по уравнению рабочей кратностью насыщения K_{ALF}^* выполняется следующее условие:

$$K_{ALF}^* \geq 20$$

8 Молниезащита и заземление подстанции

Корпуса завода имеют вторую категорию молниезащиты класса Б и оборудованы молниеотводами в виде:

- молниеприемной сетки, прокладываемой по «мягкой» кровле зданий;

- стержневых молниеотводов для защиты продувочных клапанов РП, устанавливаемых на кровле корпусов;

Отдельно-стоящих стержневых молниеотводов на складе растворителей и на подземном складе ГСМ.

В качестве заземляющих устройств используются железобетонные фундаменты колонн и искусственные заземлители. Все контуры заземления имеют надежную электрическую связь с молниеприёмными сетками и молниеотводами.

Сопrotивление заземляющих устройств не более 10 Ом.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током предусматривается:

- в электроустановках напряжением до 1кВ – зануление;
- в электроустановках напряжением 10 кВ с глухозаземленной нейтралью – заземление.

Заземление и зануление выполнено в соответствии с требованиями ПУЭ.

Предусмотрена защита зданий и сооружений завода от вторичных проявлений молний и заноса высокого потенциала через металлические коммуникации. Защита выполняется путем заземления металлических корпусов электрического оборудования и электроаппаратов, а также трубопроводов нВ вводе в здания выполнением перемычек между трубопроводами и другими протяжными конструкциями в местах их сближения на расстояние менее 10см через каждые 30м.

В качестве нулевых защитных и заземляющих проводников используются:

- нулевая жила черырехжильных кабелей;
- в осветительных сетях нулевая защитная жила пятижильных и трехжильных кабелей;
- лотки электропроводки;
- металлические корпуса магистральных шинопроводов.

На вводах в здания в соответствии с ПУЭ выполняются также системы выравнивания потенциалов. В качестве главной шины заземления используются шины заземления силовых распределительных шкафов, контуры заземления корпусов.

Дополнительной мерой защиты людей от поражения электрическим током является установка устройств защитного отключения (УЗО) в розеточных сетях бытовых нагревательных электроприборов.

Расчёт заземляющего устройства

Сопротивление заземления железобетонного фундаментов зданий цехов Т 40 и Т 60:

$$R_{\phi} = \frac{\rho_p}{\sqrt{S}} \text{ Ом}; \quad (70)$$

Для цеха Т 40:

$$R_{\phi 1} = R_{e1} = \frac{150}{\sqrt{8100}} = 1,67 \text{ Ом}$$

Для цеха Т 60:

$$R_{\phi 2} = R_{e2} = \frac{150}{\sqrt{4400}} = 2,26 \text{ Ом}$$

ρ_p - расчётное удельное сопротивление грунта;

$S \text{ м}^3$ – площадь, ограниченная периметром цехов.

$$\rho_p = K_{ces} \cdot \rho \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (71)$$

$$\rho_p = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное сопротивление грунта (суглинок) [10]

$K_{ces} = 1,5$ – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта [10]

Для обеспечения $R_3 = 0,5 \text{ Ом}$, необходимо выполнить дополнительные искусственные заземлители сопротивлением:

$$R_u = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} \quad (72)$$

$$R_{u1} = \frac{1,67 \cdot 0,5}{1,67 - 0,5} = 0,71 \text{ Ом}$$

$$R_{u2} = \frac{2,26 \cdot 0,5}{2,26 - 0,5} = 0,64 \text{ Ом}$$

Сопротивление растеканию единичного вертикального заземлителя равно:

$$R_{OBЭ} = \frac{\rho_p}{2\pi l} \cdot \left(\ln \cdot \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right) \quad [10] \quad (73)$$

$$R_{OBЭ} = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \left(\ln \cdot \frac{2 \cdot 2}{16 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 65,2 \text{ Ом}$$

Определение примерного числа вертикальных заземлителей при принятом коэффициенте использования $K_{uB}=0,64$ [10]:

$$N = \frac{R_{OBЭ}}{K_{uB} \cdot R_{II}} = \frac{65,2}{0,64 \cdot 4} = 25,5 \approx 26, \text{ где} \quad (74)$$

R_{II} – сопротивление искусственного заземлителя.

При отсутствии естественных заземлителей принимается равным допустимому сопротивлению заземляющего устройства $R_u = R_{э} = 4 \text{ Ом}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа посвящена оценке электроснабжения ЗАО ДЖИ-ЭМ-АВТОВАЗа с категорией электроснабжения основных потребителей автосборочного завода – II

Проработанная концепция сети и защиты для электроснабжения цеха Т40 и Т60 надежно выполняет все обусловленные производственными процессами требования в отношении потребной мощности, надежности снабжения и качества электроэнергии.

Проведен расчет электрических нагрузок от силовых потребителей, обоснованы места сооружения цеховых трансформаторных подстанций, распределительного пункта, построена картограмма электрических нагрузок, произведено обоснование схемы электроснабжения, расчет токов короткого замыкания и релейной защиты.

Подтверждено, что все предусмотренное к применению в сетях 10/0,4 кВ оборудование подобраны так, что они выдерживают термические и динамические нагрузки током короткого замыкания. Обе кабельные системы, используемые для двойной лучевой сети на 10 кВ подстанция RP-GM типа $2 \times N2 \times SV3 \times 1 \times 185 \text{ мм}^2$, не подвергаются термической перегрузке ни в нормальном, ни в аварийном режиме. Перегрузка кабелей типа $N2 \times SV3 \times 1 \times 95 \text{ мм}^2$, предусмотренных для межсистемного соединения подстанций SITRABLOC TS401 – TS404 и TS601 – TS603, исключена как в нормальном, так и в аварийном режимах.

Установлено, что в цехе Т40 и Т60 для передачи энергии между подстанциями SITRABLOC TS401 – TS404, использованы многоамперные шины SENTRON™ на 2500А. Многоамперные шины не подвергаются термической перегрузке ни в нормальном, ни в аварийном режиме. Также распределение нагрузочных токов надежно контролируется установленными в цехах Т40 и Т60 многоамперными шинами SENTRON™ на 800А.

Отмечено, что при снабжении цехов Т40 и Т60 недопустимые падения напряжения не наступают ни в нормальном, ни в аварийном режимах (максимальное падение напряжения в аварийном режиме $\leq 4.3\%$)/

Подстанции SITRABLOC TS401 – TS404 и TS601 – TS603 оборудованы недресселированными конденсаторами. Благодаря использованию конденсаторных блоков с расчетным напряжением $U_M=525V$ все подстанции SITRABLOC создают необходимую предпосылку к дополнительному дресселированию, если она понадобится.

Для параллельного включения установленных рассредоточено компаундовых трансформаторов на 1250кВА создана система TN-C с общим нейтральным и защитным проводом PEN. Исполнение сетей на 0,4кВ цехов Т40 и Т60 как системы TN-C-S обеспечивает достаточную электромагнитную совместимость.

Благодаря устройствам защиты, используемым в сети на 10кВ подстанции RP-GM, выполняются все требования, предъявляемые к безопасной и надежной эксплуатации с изолированной нейтралью. В случае многократного короткого замыкания характеристика передачи трансформаторов тока, предусмотренных в панелях на 10 кВ подстанции RP-GM, приводит к надежному срабатыванию цифровых реле SITROTEC 7SJ63 и 7SJ62. Для защиты от коротких замыканий и перегрузок на выводах питания сетей на 0,4кВ используются силовые выключатели 3WL 1232-4 на 13200А с разъединителем ETU45В.

Импортное силовое, светотехническое и другое электрооборудование, а также кабельные изделия и монтажные материалы, примененные на заводе, имеют сертификаты соответствия техническим и пожарным нормам Российской Федерации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). - С. - Пб.: Энергоатомиздат, 2000 г.
2. Craig D. B., Ford G.L. The response of strain bus to short – circuit currents // IEEE Trans. PAS – 99. 1980. N 2. P. 434 – 442.
3. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Высшая школа, 1990.
4. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1983.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1995.
6. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1973.
7. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб пособие для вузов. - М: Энергоатомиздат, 1987.
8. Narbutovskih P. Simplified graphical method of computing thermal transients // AIEE Trans. 1947. Vol. 66. P. 78 – 81.
9. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования/ Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М: Энергоатомиздат, 1991.
10. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети/ Под ред. А.А. Федорова и Г.В.Сербиновского. - М.: Энергоатомиздат. - 1986.
11. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Электрооборудование и автоматизация/ Под ред. А.А. Федорова и Г.В.Сербиновского. - М.: Энергоатомиздат. – 1986.
12. Справочная книга по светотехнике/ Под ред. Ю.Б.Айзенберга. - М.: Энергтоомиздат, 1995.
13. Жежеленко И.В., Кротков Е.А., Степанов В.П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей. - Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2001.

14. Rieder W. Arc – circuit interaction near current zero // IEEE Trans. PAS. 1972. Vol. 92. P. 705 – 713.
15. Электротехнический справочник: В 3 т. Т. 3. В 2 кн. Кн.1. Производство и распределение электрической энергии (Под общ. ред. профессоров МЭИ: И.Н.Орлова (гл.ред.) и др. -М.: Энергоатомиздат, 1988.
16. Двоскин Л.И. Схемы и конструкции распределительных устройств. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
17. Дрошев К.И. Комплектные РУ 6-35кВ. . - М.: Энергоатомиздат. – 1982.
18. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учеб. пособие для вузов – М: Энергоатомиздат, 1989.
19. Nahman J., Salamon D. Analitical expressions for the resistance of grouding grids in nonuniform soil // IEEE Trans. PAS. April 1984. P. 880 – 885.
20. Kane R.E., Wagner C.L. New generation of oilless circuit breakers 115 – 345 кВ // IEEE Trans. PAS. 1971. Vol. 90, N 2. P. 628 – 635.
21. Салтыкова О.А., Вахнина В.В. Релейная защита понизительной подстанции: Учеб. пособие. – Тольятти: Кассандра, 2000.
22. ГОСТ 28249 – 93. Короткие замыкания в электроустановках переменного напряжения до 1 кВ – М.: Издательство межгосударственных стандартов 1994.