

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

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование кафедры)

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

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

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство производственного  
корпуса машиностроительного завода»

Студент	<u>М.А. Мавлоназаров</u> (И.О. Фамилия)	_____
Руководитель	<u>В.И. Платов</u> (И.О. Фамилия)	_____
Консультанты	<u>И.Ю. Усатова</u> (И.О. Фамилия)	_____

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) \_\_\_\_\_  
(личная подпись)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Тольятти 2019

## АННОТАЦИЯ

Целью бакалаврской работы является реконструкция системы электроснабжения производственного корпуса машиностроительного завода. Разработанная мной система позволяет осуществить рациональное получение, распределение и потребление электроэнергии.

В данной бакалаврской работе представлены:

- анализ электрооборудования, эксплуатируемого на машиностроительном заводе;
- выбор схемы электроснабжения;
- расчет электрических нагрузок;
- расчет и выбор силового электрического оборудования;
- проверка защитных аппаратов на токи короткого замыкания;
- расчет заземления.

Объем пояснительной записки 49 страниц, в том числе 6 рисунков, 7 таблиц, 1 приложение.

## **ABSTRACT**

The purpose of the bachelor's work is the reconstruction of the power supply system of the production building of the machine-building plant. The system I developed allows for rational generation, distribution and consumption of electricity.

In this bachelor's work are presented:

- analysis of electrical equipment operated at a machine-building plant;
- choice of power supply;
- calculation of electrical loads;
- calculation and selection of power electrical equipment;
- check of protective devices for short-circuit currents;
- calculation of grounding.

The volume of the explanatory note is 49 pages, including 6 figures, 7 tables, 1 annex.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ состояния электроснабжения машиностроительного завода .....	7
1.1 Краткая характеристика АО «Курганский машиностроительный завод конвейерного оборудования» .....	7
1.2 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей .....	8
2 Реконструкция системы электроснабжения производственного корпуса .....	19
2.1 Выбор числа, мощности и типа силовых трансформаторов.....	19
2.2 Расчет токов короткого замыкания .....	26
3 Выбор и обоснование внутрицехового электроснабжения .....	31
3.1 Выбор внутреннего электротехнического оборудования.....	31
3.2 Выбор электротехнического оборудования корпуса по узлам силового питания .....	31
3.3 Выбор кабельных линий.....	31
3.4 Выбор шинпроводов .....	33
3.5 Выбор автоматических выключателей .....	34
3.6 Выбор измерительных трансформаторов тока .....	39
3.7 Защитное заземление КТП-СЭЩ-П 1000/10/0,4.....	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	43
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	44
Приложение А .....	47

## ВВЕДЕНИЕ

С ростом технологичности производственных процессов на машиностроительном заводе растут и требования, предъявляемые к количественным и качественным показателям системы электроснабжения. Во-первых, количество электрической энергии должно быть достаточным для удовлетворения возросших потребностей предприятия. Во-вторых, качество поставляемой электроэнергии должно быть стабильным и соответствовать всем нормативным требованиям.

Объектом исследования в данной работе является энергетическая система производственного корпуса Курганского машиностроительного конвейерного завода. В настоящее время она обладает рядом существенных недостатков, прежде всего, неоправданно высоким потреблением электроэнергии и поэтому нуждается в реконструкции.

Цель исследований – разработать предложения по оптимизации системы энергообеспечения и приведению ее в соответствие с современными требованиями. Для достижения этой цели нужно решить следующие задачи:

1. Проанализировать действующую на настоящее время систему энергоснабжения производственного корпуса и выявить ее слабые места.
2. Сформулировать технические предложения по реконструкции данной системы электроснабжения.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что присущие рассматриваемому производственному объекту недостатки имеют место и на многих других предприятиях. В особенности это относится к необходимости экономии энергии в современных экономических условиях.

Новизна исследований состоит в комплексном подходе к решению поставленных задач.

Основными источниками информации, использованными при написании данной работы, являлись строительные нормы и правила, правила

устройства электроустановок, методические указания к выполнению выпускной квалификационной работы и интернет-ресурсы.

Данная бакалаврская работа состоит из введения, заключения, списка использованных источников и основного материала, разделенного на три раздела.

# **1 Анализ состояния электроснабжения машиностроительного завода**

## **1.1 Краткая характеристика АО «Курганский машиностроительный завод конвейерного оборудования»**

Предприятие производит обширную номенклатуру технологического оборудования для перемещения, транспортировки, бункерования различных видов сырья и материалов. В основном это сыпучие материалы различной фракции, от очень мелких до достаточно крупных. Многие виды сырья обладают абразивными свойствами, что предъявляет повышенные прочностные требования к поверхностям, контактирующим с абразивными материалами. Это в свою очередь накладывает свой отпечаток на формирование стоимости изделий.

АО «КМЗ» является одним из немногих предприятий в Российской Федерации, относящихся к машиностроительной отрасли. История предприятия начинается еще в период индустриализации Советского Союза, с небольшой механической мастерской. Уже позднее данное предприятие было перепрофилировано на производство узкой номенклатуры изделий, образующих технологическое оборудование для перемещения грузов или просто, на конвейерное оборудование. В настоящее время спектр выпускаемого оборудования достаточно широк. Если слово конвейер достаточно известно, то такое оборудование как питатели, нории, стакеры малоизвестны. Важной статьей дохода предприятия является выпуск запасных частей для выпускаемого оборудования, выпуск дополнительного вспомогательного оборудования, расширяющего возможности уже действующего производства. Главными потребителями продукции являются предприятия добывающие полезные ископаемые, которые перерабатывают огромное количество руды, при извлечении из них требуемых минералов. На втором месте расположились предприятия агропромышленного комплекса, со своими комбайнами, элеваторами, сушилками и другим технологическим

оборудованием, применяемом в АПК. Отдельно можно отметить такие важные для страны области применения конвейерного оборудования как порты и терминалы, химические предприятия, предприятия топливно-энергетического комплекса. Благодаря грамотной политике менеджмента предприятия, в настоящее время завод активно развивается, осваиваются новые виды продукции, осваиваются новые рынки сбыта, проводится интервенция в ещё неосвоенные отрасли народного хозяйства. Большая работа проводится по повышению качества выпускаемой продукции. Предприятие повышает и расширяет свои гарантийные обязательства. Это стало возможным благодаря постоянной работе по модернизации выпускаемой продукции. Не маловажную роль играет и обратная связь от потребителей продукции. Но здесь мало иметь обратную связь, нужно правильно на неё реагировать.

## **1.2 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей**

Технологическое оборудование (ТО), размещенное в производственном корпусе, относится к 2 категории надежности электроснабжения. Наиболее энергоемким технологическим оборудованием являются литейные машины. Габаритные размеры помещения  $A \times B \times H = 156 \times 57 \times 15$  м. Высота потолка 15 метров. Расстояние между ГПП и ТП 250 метров. Мощности технологического оборудования ( $P_{наст}$ ) для единицы ТО представлены в таблице 1.

Таблица 1- Состав технологического оборудования производственного корпуса

№ п/п	Наименование электрооборудования	Номинальная мощность, $P_{пасп}$ , кВт
1	2	3
1	Станок зубонарезной	10



Продолжение таблицы 1

2	Винторезный станок	20
3	Фрезерный станок ЧПУ	30
4	Торцевой шлифовальный станок	5
5	Инструментальный стол	5
6	Радиально-сверлильный станок	20
7	Электроэрозионный станок	50
8	Сварочный участок	142,2
9	Маркировочный пресс	50
10	Установка контроля	15
11	Очистительная станция	10
12	Станок бесцентрошлифовальный	2
13	Подставка технологическая	2
14	Термическая печь	532
15	Фильтроустановка	54
16	Обрабатывающий центр	61
17	Моечная линия	86
18	Установка контроля герметичности	14
19	Мостовой кран	44
20	Установка контроля учета	5
21	Компрессор	68
22	Литьевая установка	344
23	Термическая установка	20
24	Подготовительный агрегат	2
25	Фильтрационная станция	20

Первой целью расчета систем подачи электроэнергии является расчет и выбор трансформаторной подстанции [1]. При правильном выборе трансформаторной подстанции исключаются перебои в подаче электрической энергии, повышается надежность системы электроснабжения и срок её эксплуатации. Начало проектирования состоит в выборе всех возможных потребителей электроэнергии, для которых определяется их

потребляемая мощность и электрический ток. Эти два ключевых параметра выбираются с учетом особенностей эксплуатации электропотребителей – коэффициента использования, коэффициента мощности. Данные коэффициенты можно определить непосредственно на месте в цеху с применением несложных измерительных приборов и наличие времени для наблюдения. Данный способ конечно не удобен, даже несмотря на высокую достоверность результатов. Гораздо удобнее воспользоваться справочником и взять эти данные из него.

Отдельно можно выделить расчет системы освещения. С точки зрения расчета и выбора трансформаторной подстанции расчет освещения должен предоставить нам информацию о потребляемой мощности освещением и силой потребляемого тока. Эти данные суммируются с другими электропотребителями. Для расчета освещения рекомендуется воспользоваться специализированным программным обеспечением. Наиболее популярной является программа расчета освещения DIALux. Её основное достоинство – бесплатное распространение. Если использовать компьютер и соответствующую программу, то для расчета освещения достаточно будет из справочников выбрать требуемые нормативы по освещенности в зависимости от назначения того или иного помещения, по каталогам выбрать «понравившиеся» светильники. Остальное программа сделает сама, т.е. определит необходимое количество светильников и их расположение. Нам останется только суммировать их мощности и токи.

### **1.2.1 Расчет нагрузок**

Суммарная потребляемая мощность определяется по формуле (1)

$$P_{n\Sigma} = P_n \cdot n, \quad (1)$$

Рассчитывается различие между наименьшим и наибольшим потребителем в относительных единицах:

$$m = \frac{P_{n\max}}{P_{n\min}}, \quad (2)$$

$$m = \frac{534}{2} = 267$$

Соотношение  $m > 3$ .

Групповой коэффициент использования потребителей электрической энергии  $K_{и}$  определяется по формуле (3)

$$k_u = \frac{\sum P_c}{\sum P_n} \quad (3)$$

где  $\sum P_c$  - средняя потребленная мощность за смену;

$\sum P_n$  - номинальная мощность технологического оборудования.

Принимаем коэффициент использования согласно таблицы 2.

Таблица 2 – Коэффициенты использования

Наименование электроприемника	Коэффициент использования $K_{и}$	Наименование электроприемника	Коэффициент использования $K_{и}$
1	2	3	4
Инструментальный стол	0,06	Опорный рабочий стол	0,06
фрезерный станок	0,14	Печь	0,8
токарный станок	0,14	Фильтрустановка	0,5
фрезерный станок ЧПУ	0,14	обрабатывающий центр	0,14
обрезной станок	0,12	моечная линия	0,7
радиально-сверлильный станок	0,16	установка контроля герметичности	0,8
электроэрозионный станок	0,14	кран	0,2
сварочный участок	0,35	установка контроля утечек	0,8
Маркировочный пресс	0,17	зарядная станция	0,8

Продолжение таблицы 2

установка контроля системы охлаждения	0,8	машина литья под давлением	0,5
машина промывки	0,7	плавильная печь	0,8
шлифовальный станок	0,14	станция подогрева ковшей	0,95
пылесборник	0,5		

За смену все технологическое оборудование в сумме потребляет электрическую энергию, которую можно определить по формуле (4)

$$P_c = \kappa_u \cdot \sum P_H, \quad (4)$$

Из формулы (4) находим:

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

Помимо активной энергии, технологическое оборудование потребляет и реактивную энергию [2]. Особенно много реактивной энергии сопровождает работу оборудования с индуктивностями (обмотками электрических двигателей, реле, дроссели и т.д.). Активная и реактивная энергия связаны с друг другом через  $tg\varphi$  (5)

$$Q_c = tg\varphi \cdot P_c, \quad (5)$$

$tg\varphi_{ср}$  принимаем по справочным данным в зависимости от  $\cos\varphi$ .

Из формулы (5) находим:

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

Определяем отношение двойной суммы номинальной мощности всего технологического оборудования к потребителю с наибольшим потреблением энергии (6)

$$n_{\varepsilon} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{H.наиб}}, \quad (6)$$

$$n_э = \frac{2 * 3303,5}{534} = 7,02$$

Принимаем  $n=7$ .

Используя  $n_э$  и  $m$  по справочнику подбираем  $\kappa_M = 1,58$  [3]. Окончательно определяем суммарное потребление активной мощности по формуле (7)

$$P_p = \Sigma P_c \cdot \kappa_M, \quad (7)$$

$$P_p = 1,58 * 1618,65 = 2557,47 \text{ кВт}$$

Для перехода от активной мощности к реактивной воспользуемся формулой (8) или (9)

$$Q_p = 1,1 \cdot \Sigma P_c \cdot \text{tg} \varphi_{cp} \quad (8)$$

$$Q_p = \Sigma P_c \cdot \text{tg} \varphi_{cp} \quad (9)$$

Формула (8) применима в случае если  $n_э < 10$ , а формула (9) если  $n_э > 10$  больше.

Для  $n_э = 7$ :

$$Q_p = 1,1 * 1618,65 * 1,01 = 1803,83 \text{ квар}$$

Из треугольника мощностей определяем полную потребляемую мощность технологического оборудования (2.10)

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (10)$$

$$S_p = \sqrt{2557,47^2 + 1803,83^2} = 3129,61 \text{ кВА}$$

Через полную мощность и величину рабочего напряжения рассчитаем потребляемый ток (2.11)

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (11)$$

$$I_p = \frac{3129,61}{\sqrt{3} * 0,4} = 4517,21 \text{ А}$$

Расчет выполним в виде таблицы 3.

Таблица 3 - Расчет электрических нагрузок КДЦ

№ п/п	Наименование электроприем- ников (ЭП)	Кол-во ЭП	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		$\frac{\cos\phi}{\text{tg}\phi}$	Расчетная нагрузка			I <sub>p</sub> , А
			Одного ЭП	Всех ЭП		P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	инструменталь- ный стеллаж	4	4	16	$\frac{0,5}{1,73}$	1,2	2,07	-	-
2	зубонарезной станок	1	19	19	$\frac{0,5}{1,73}$	2,8	4,84	-	-
3	винторезный станок	1	9	9	$\frac{0,5}{1,73}$	1,4	2,42	-	-
4	универсальный протяжной	1	29	29	$\frac{0,5}{1,73}$	4,2	7,26	-	-
5	обрезной станок	1	5	5	$\frac{0,4}{2,3}$	0,6	1,38	-	-
6	радиально- сверлильный станок	1	20	20	$\frac{0,5}{1,73}$	3,2	5,53	-	-
7	электроэрозиона я установка	1	49	49	$\frac{0,49}{1,69}$	6,5	11,98	-	-
8	термическое отделение	1	139	139	$\frac{0,58}{1,29}$	50,01	70,1	-	-
9	гильотина	1	49	49	$\frac{0,71}{1,21}$	9,1	10,11	-	-
10	контрольный стенд	1	15	15	$\frac{0,8}{1,75}$	12	9	-	-
11	очистительная установка	2	10	20	$\frac{0,85}{0,62}$	14	8,68	-	-
12	полировальная установка	1	1,8	1,8	$\frac{0,4}{1,69}$	0,31	0,79	-	-

Продолжение таблицы 3

13	измерительная установка	4	2	8	<u>0,5</u> 1,73	0,48	0,83	-	-
14	термоустановка	1	534	534	<u>0,95</u> 0,33	427,2	140	-	-
15	абсорбирующая установка	2	54	108	<u>0,5</u> 1,73	54	55	-	-
16	технологическая линия	7	59	501	<u>0,65</u> 1,11	70,69	99	-	-
17	линия дефектовки	3	916	169	<u>0,39</u> 2,28	119,3	281	-	-
18	испытательная станция	1	20	31	<u>0,78</u> 0,81	19,8	21,1	-	-
19	кран-балка	1	39	39	<u>0,69</u> 0,99	9,11	9,1	-	-
20	диффузор	1	4	4	<u>0,77</u> 0,82	3,7	2,9	-	-
21	гальваническое отделение	1	71	71	<u>0,68</u> 0,97	49,9	48,69	-	-
22	литьевая установка	3	299	1282	<u>0,71</u> 0,98	702	796	-	-
23	паяльная станция	4	19	58	<u>0,88</u> 0,29	51	14,2	-	-
24	установка термозакалки	3	3	6	<u>0,87</u> 0,29	8,11	3,18	-	-
25	накопитель	1	19	19	<u>0,69</u> 0,99	9	9,7	-	-
	Сумма					2557,4	1803, 8	3129	4517
	Освещение					60,06	37,23	65,93	85,2
	Всего					2617,5	1841	3200	4619

### 1.2.2 Расчет освещения

Определение количества светильников, необходимых для обеспечения в цехе требуемой освещенности, рассчитано с применением компьютерной программы DiaLux [4-6] .

Площадь освещения по полу помещения (12)

$$S = a * b - c * d \quad (12)$$

где a – длина корпуса, м;

b – ширина корпуса, м;

c – длина корпуса, на котором отсутствует технологическое оборудование;

d – ширина корпуса, на котором отсутствует технологическое оборудование.

Индекс помещения рассчитывается по формуле (13)

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

где H – расстояние от пола до потолка корпуса, м;

h<sub>1</sub> – расстояние от светильника до потолка помещения;

h<sub>2</sub> – расстояние от пола до столешницы.

Коэффициенты отражения согласно справочника: для потолка 70%, для стен 50%, для пола 30%.

Выполним расчет.

Для установки выбираем продукцию Самарской области, люминесцентные светильники серии ЛСПО [6,31] . Несмотря на появление светодиодного освещения, люминесцентные светильники полностью удовлетворяют требования по светотехническим показателям освещения (пульсациям, уровню освещенности и др.). При этом они дешевле светодиодных аналогов. И не смотря на немногим больший расход электрической энергии, при этом класс энергопотребления высокий А2, остаются актуальными и востребованными. Класс энергопотребления А2



создается благодаря современному микроконтроллерному ЭПРА АВАТ (Best Available Technology) [7]. Для освещения основного производственного корпуса выбрали светильники мощностью 58 Вт. Светильник такой мощности выдает световой поток более 2000 Лм. Пульсации светильника незначительные, менее 5%. Коэффициент мощности  $\cos \varphi = 0,98$ . Так как монтаж светильников будеи произведен в помещении, то заявленного класса пылевлагозащиты IP54 вполне достаточно. К достоинствам данного светильника можно также отнести универсальность крепежа, в частности подвес светильника возможен в большом диапазоне от 5 до 16 метров. КСС светильника показаны на рис. 1. Согласно рис. 1, угол распределения кривой света составляет  $120-130^\circ$ . Такой широкий угол рассеивания света позволит более равномерно распределить свет по поверхностям пола, стен и рабочих поверхностей технологического оборудования. Равномерное светораспределение также способствует снижению количества бликов. Всё это положительным образом скажется на меньшей утомляемости работающего в корпусе производственного персонала.

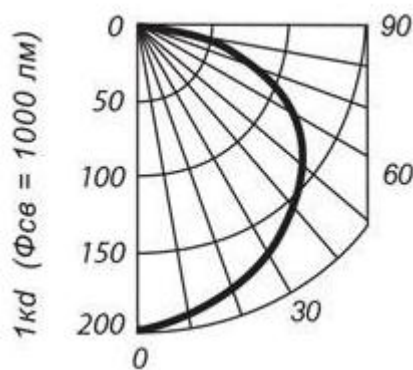


Рисунок 1- КСС светильника (половинка)

Для создания нужной освещенности потребуется следующее количество светильников (14)

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Kз}{\eta \cdot n \cdot \Phi л} \quad (14)$$

где  $E$  – нормативная освещённость, лк;

$S$  – произведение длины корпуса на его ширину,  $m^2$ ;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий потери в светильнике;

$\eta$  – коэффициент полезного действия;

$n$  – штучное количество источников света;

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

Определение потребляемой освещением мощности.

Расчетная активная осветительная нагрузка:

$$P_{осв} = n * P_c = 1036 * 0,058 = 60,06 \text{ кВт} \quad (15)$$

Для  $\cos\varphi$  светильников равное 0,85 находим  $tg\varphi$  равный 0,62.

Определяем расчетную реактивную нагрузку:

$$Q_{р.осв} = P_{осв} * tg\varphi = 60,06 * 0,62 = 37,23 \text{ квар} \quad (16)$$

Тогда полная осветительная нагрузка

$$S_{р.осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{р.осв}^2} = \sqrt{60,06^2 + 37,23^2} = 65,93 \text{ кВА} \quad (17)$$

Расчетный ток осветительной нагрузки  $I=65,93/(1,73*4)=85,2 \text{ А}$ .

Полученные данные занесены в таблицу 3.

## 2 Реконструкция системы электроснабжения производственного корпуса

### 2.1 Выбор числа, мощности и типа силовых трансформаторов

Основными нормативными документами, которыми необходимо руководствоваться перед тем, как приступить к проектированию трансформаторной подстанции являются ГОСТ 14209-85 и ГОСТ-13109-87 [13]. Количество фаз – три.

Так как в производственном корпусе располагается два ТП (один имеет номер ТП193, другой ТП194), расчёт будет производиться по индивидуальной расчётной активной мощности ТП. Для примера приведем расчет ТП193.

Расчётная активная мощность ТП193:

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

$$Q_{P\Sigma} = 991.57 \text{ квар};$$

$$S_{P\Sigma} = 1611.16 \text{ кВА}.$$

Номинальная полная мощность ТП193:

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{P_{P\Sigma}}{K_3 * N_T} = \frac{1269,95}{0,8 * 2} = 793,72 \text{ кВА} \quad (18)$$

Согласно нормативной документации для производственных помещений машиностроительного завода следует применять 2 категорию надежности электроснабжения. В качестве методики расчета воспользуемся методом экономического анализа.

Проанализируем вариант с двумя трансформаторами ТМГ-1000/10/04. Их технические характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4- Технические параметры трансформатора ТМГ-1000/10/04

Параметр	Величина
1	2
Уровни высокого и низкого напряжения	6/0,4 кВ или 10/0,4 кВ
Условия эксплуатации	Трансформатор предназначен для эксплуатации в среде, не относящейся к взрывоопасной
Допустимое разрежение	не более 1000 м над уровнем моря
Отношение времени работы трансформатора к времени простоя	продолжительный
Эксплуатационные температуры	от -45 °С до +40 °С - У1 от -60 °С до +40 °С - УХЛ1
Диапазон напряжений	Uном ±2х2,5%*
Допустимые мощности	от 25 до 1000 кВА
Обмоточные данные	У/Ун-0; Д/Ун-11; У/Зн-11

Шаг регулирования напряжения составляет 2,5% от номинального, что на низкой стороне 0,4 кВ составляет около 10В. Количество ступеней регулирования – пять. Для регулирования использован РПН на высокой стороне.

ТМГ-1000/10/04:

$$\Delta P_{xx} = 1,55 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{кз} = 10,8 \text{ кВт},$$

$$U_{кз} = 6\%,$$

$$S_H = 1000 \text{ кВА}$$

$$i_0 = 1,2 \%$$

Активные потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{T\Sigma} = N_T (P_{xx} + K_3^2 * P_{кз}) \quad (19)$$

где  $N_T$ - количество трансформаторов.

$$\Delta P_{T\Sigma} = 2 * 1,55 + 0,8^2 * 10,8 = 13,84 \text{ кВт}.$$

Реактивные потери в трансформаторе:

$$\Delta Q_{T\Sigma} = N_T(i_0 + K_3^2 * U_{кз}) \frac{S_H}{100} \quad (20)$$

$$\Delta S_{T\Sigma} = 2 * 1,2 + 0,8^2 * 6 \frac{1000}{100} = 102,8 \text{ квар.}$$

Расчетная нагрузка с учетом активных потерь трансформатора

$$P_P = P_{p\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma} \quad (21)$$

$$P_P = 1269,95 + 13,84 = 1284 \text{ кВт}$$

Расчетная нагрузка с учетом реактивных потерь трансформатора

$$Q_P = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma} \quad (22)$$

$$Q_P = 991,57 + 102,8 = 1094 \text{ кВт}$$

Минимальная мощность

$$Q_{min} = Q_P * 0,5 \quad (23)$$

$$Q_{min} = 1094 * 0,5 = 547,18$$

$$Q'_{\text{Э}1} = Q_P - 0,7 * Q_{\text{сД}} \quad (24)$$

$$Q'_{\text{Э}1} = 1094 - 0,7 * 0 = 1094 \text{квар}$$

$$Q''_{\text{Э}1} = \alpha * P_P \quad (25)$$

$$Q''_{\text{Э}1} = 0,28 * 1284 = 359,46$$

Принимаем  $Q_{\text{Э}1} = 359,46$  квар.

$$Q'_{\text{Э}2} = Q_{min} + Q_x \quad (26)$$

$$Q'_{\text{Э}2} = 547,18 + 0 = 547,18 \text{квар}$$

$$Q''_{\text{Э}2} = Q_{min} - Q_P - Q_{\text{Э}1} \quad (27)$$

$$Q''_{\text{Э}2} = 547,18 - 1094 - 359,46 = -187,72 \text{ квар}$$

Принимаем  $Q_{\text{Э}2} = 547,18$  квар

Совместная мощность КУ:

$$Q_{\text{ку.мах}} = 1,1 * Q_P - Q_{\text{Э}1} \quad (28)$$

$$Q_{\text{ку.мах}} = 1,1 * 1094 - 359,46 = 844,34 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{ку.мин}} = Q_{min} - Q_{\text{Э}2} \quad (29)$$

$$Q_{\text{ку.мин}} = 547,18 - 547,18 = 0$$

$$Q_{\text{ЭН}} = Q_{\text{Э}1} - Q_P - Q_{p\Sigma} \quad (30)$$

$$Q_{\text{ЭН}} = 359,46 - 1094 - 991,57 = 256,6$$

$$Q_T = \frac{(N_T * K_3 * S_H)^2 - P_{P\Sigma}^2}{2} \quad (31)$$

$$Q_T = \frac{(2 * 0.8 * 1000)^2 - 1269.95^2}{2} = 973.56 \text{ квар}$$

$$Q_{ку.н} = Q_{P\Sigma} - Q_T \quad (32)$$

$$Q_{ку.н} = 991,57 - 973,25 = 18,32 \text{ квар}$$

Компенсация не требуется.

КУ на низкой стороне:

$$Q_{ку.в} = Q_{ку.max} - Q_{ку.н} \quad (33)$$

$$Q_{ку.в} = 844,34 - 18,314 = 724,26 \text{ квар}$$

Компенсация на стороне 10 кВ не требуется.

Монтаж ТМГ-1000.

Удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь:

$$C = C_0(\Delta P_{xx} * N_{тр} * T_p + \tau_n * K_3^2 * \Delta P_{кз} \frac{1}{N_{тр}}) \quad (34)$$

где  $C_0$ - удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора (35)

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_m} + \beta * 10^{-2} * T_p \quad (35)$$

где  $\alpha$  – главный тариф;

$\beta$  – дополнительный тариф;

$T_p$  – эксплуатационное время;

$T_m$ - пиковое эксплуатационное время.

$\tau_n$ - время максимальных потерь (36)

$$\tau_n = (0,124 + \frac{T_m}{10000})^2 * T_p \quad (36)$$

$$\tau_n = (0,124 + \frac{4500}{10000})^2 * 8760 = 2886 \text{ ч}$$

$$C_0 = \frac{0,44}{4500} + 0,18 * 10^{-2} * 8760 = 0,87 \text{ т.руб/кВт * год}$$

$$C = 0,87(1,55 * 2 * 8760 + 0,8^2 * 10,5 * 2886 * 0,5) = 32062,07 \text{ т.руб}$$

Стоимость ТП по первому варианту:

$$Z_{кпт} = E * K_{ТП} * N_T + C \quad (37)$$

где  $E$  – нормативные отчисления;

$K_{ТП}$ - цена ТП.

$$Z_{КПТ} = 0,223 * 475000 * 2 + 32062,07 = 170049,14 \text{ т. руб}$$

Для второго варианта используем силовой трансформатор с близкими техническими характеристиками. Для примера выбираем ТМГ-1250/10/04. Данный трансформатор обладает похожими эксплуатационными характеристиками, может использоваться в холодном климате [8]. Его эксплуатационными ограничениями являются взрывоопасная среда, ударные вибрации.

ТМГ-1250/10/04:

$$\Delta P_{xx} = 1,75 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{кз} = 14 \text{ кВт},$$

$$U_{кз} = 6\%,$$

$$S_n = 1250 \text{ кВА}$$

$$i_0 = 0,9 \%$$

Активные потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{T\Sigma} = 2 * 1,75 + 0,8^2 * 14 = 18,32 \text{ кВт}.$$

Реактивные потери в трансформаторе:

$$\Delta S_{T\Sigma} = 2 * 1,3 + 0,8^2 * 6 * \frac{1250}{100} = 128,5 \text{ квар}.$$

Расчетная нагрузка с учетом активных потерь трансформатора

$$P_p = 1269,95 + 18,32 = 1288 \text{ кВт}$$

Расчетная нагрузка с учетом реактивных потерь трансформатора

$$Q_p = 991,57 + 128,5 = 1120 \text{ кВт}$$

Минимальная мощность:

$$Q_{min} = 1120 * 0,5 = 560 \text{ квар}$$

Согласно методики рассчитаем экономическую мощность, потребляемую в пиковые часы:

$$Q'_{\text{Э1}} = 1120 - 0,7 * 0 = 1120 \text{ квар}$$

$$Q''_{\text{Э1}} = 0,28 * 1269,95 = 360,71 \text{ квар}$$

С экономической точки зрения необходимо ориентироваться на наименьшую величину  $Q_{\text{Э1}} = 360,71$  квар

Согласно методики рассчитаем экономическую мощность, потребляемую в наименьшие пиковые часы:

$$Q'_{\text{Э2}} = 560 + 0 = 560 \text{ квар}$$

$$Q''_{\text{Э1}} = 560 - 1120 - 360,7 = -199,3 \text{ квар}$$

Принимаем  $Q_{\text{Э2}} = 560$  квар

Определяем суммарную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку.мах}} = 1,1 * 1120 - 360,7 = 871,3 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{ку.мах}} = 560 - 560 = 0 \text{ квар}$$

Рекомендуется использовать регулировку параметров КУ.

Определим размер не скомпенсированной реактивной мощности вырабатываемой технологическим оборудованием

$$Q_{\text{ЭН}} = 360,7 - 1120 - 991,57 = 232,2 \text{ квар}$$

Определим размер скомпенсированной реактивной мощности вырабатываемой технологическим оборудованием

$$Q_T = \sqrt{(2 * 0,8 * 1250)^2 - 1269,95^2} = 1545 \text{ квар}$$

Скомпенсированная реактивная мощность 1 кВ:

$$Q_{\text{ку.н}} = 991,57 - 1545 = -553,5 \text{ квар}$$

Так как значение отрицательное, КУ не применяется.

Скомпенсированная реактивная мощность 10 кВ:

$$Q_{\text{ку.в}} = 871,36 - 0 = 871,36 \text{ квар}$$

Компенсация реактивной мощности не требуется.

Стоимость КТП с ТМГ-1000.



Удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь:

где  $C_0$ - удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора (35)

$$C=0,87(1,75*2*8760+0,8^2*14*2886*0,5)=37892,2 \text{ т.руб}$$

Общие затраты на установку КТП с трансформатором ТМГ-1000/10/04:

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 * 670000 * 2 + 37892,2 * 2 = 374604,4 \text{ т.руб}$$

Исходя из расчётов можно сделать вывод, два трансформатора ТМГ 1000/10/0,4 – будет более оптимальным вариантом. Устанавливаем ТМГ 1000/10/0,4 (см. рис. 1) в количестве двух штук. Для второй аналогичной ТП также выбираем по аналогии с вышеизложенным материалом. Трансформаторы серии ТМГ выпускаются несколькими производителями на территории Российской Федерации и на Украине. Данная серия трансформаторов отличается высокой надёжностью, относительно зарубежных аналогов меньшей стоимостью. Трансформаторы постоянно модернизируются, в их конструкцию вносятся изменения, повышающие их надёжность. В основном это новые изоляционные материалы.



Рисунок 1 – Внешний вид ТМГ 1600/10/0,4

Для ТП 193 и 194 были выбраны КТП-СЕЩ-П (см. рис. 2). Данные КТП удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым выбранным

трансформаторным оборудованием Для их установки требуется фундамент, залитый в соответствии с техническими условиями.



Рисунок 2- Внешний вид КТП-СЭЦ-П

## 2.2 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания выполняется по схемам замещения. Правила составления расчетных схем приводятся в различной методической литературе, в том числе в ГОСТе 28249-93. Короткое замыкание для трансформатора это один из его режимов работы, несмотря на то, что он считается аварийным. При этом главным требованием для трансформатора в режиме короткого замыкания выдержать проходящие по его обмоткам токи короткого замыкания без деформаций своей активной части и магнитопровода. Деформация происходит под действием осевых, радиальных и тангенсальных сил, величина которых многократно увеличивается при возникновении токов короткого замыкания. Кроме непосредственно самой величины тока короткого замыкания большую опасность представляют ударные токи короткого замыкания, то есть можно сказать, это переходный процесс между номинальным или рабочим током, протекающим по обмоткам трансформатора, и установившемся значением тока короткого замыкания. Несмотря на очень незначительный период воздействия, ударные токи представляют для механической системы

трансформатора наибольшую опасность [9,10]. К основным последствиям воздействия токов короткого замыкания можно отнести термический пробой изоляции, смещение обмоток в осевом направлении, выгорание контактов, обрыв обмоточных проводов. Поэтому важно, чтобы за тот небольшой промежуток времени с момента скачка тока до момента срабатывания защитной аппаратуры, трансформатор не вышел из строя. Это же касается и другого электротехнического оборудования (РПН, разъединителей, автоматических выключателей и т.д.), которое необходимо проверять на стойкость к протеканию токов короткого замыкания [24]. Расчетная схема для разработанной системы электроснабжения показана на рис. 3:

- К1 - на шинах РУ 0,4 кВ;
- К2 – у максимального потребителя.

Преобразователь Т1:

- ТМГ - 1000;
- $Y / Y_H$ ;
- $S_H = 1000$  кВА;
- $U_{H.VH} = 10$  кВ;
- $U_{H.HH} = 0,4$  кВ;
- $U_k = 5,5\%$ ;
- $R_T = 2.5$  мОм;
- $X_T = 5,41$  мОм.

Автоматический выключатель АВ1:

- $R_{AB1} = 0.1$  мОм;
- $X_{AB1} = 0.05$  мОм.

Автоматический выключатель АВ2:

- $R_{AB2} = 0.25$  мОм;
- $X_{AB2} = 0.1$  мОм.

Кабельная линия КЛ 1:

- кабель АПВВнг(В)-LS – 3x35+1x25;
- $l = 250$  м;

- $R_{уд}=0,078$  мОм/м;
- $X_{уд}=0,0587$  мОм/м;
- $R_{кл.1}=0,078*250=19,5$  мОм;
- $X_{кл.1}=0,0587*250=14,67$  мОм

Кабельная линия КЛ 2:

- 2 кабеля ВВГ4х185;
- $l = 10$  м;
- $R_{уд}=0,103$  мОм/м;
- $X_{уд}=0,0596$  мОм/м;
- $R_{кл.1}=(0,103*10)/2=0,515$  мОм;
- $X_{кл.1}=(0,059*10)/2=0,295$  мОм.

Трансформатор тока ТТ1:

- $R_{ТТ1}=0.42$  мОм;
- $X_{ТТ1}=0.67$  мОм.

Расчетные электрические схемы замещения с указанием участков сети и узлов расчета показаны на рис. 3 и 4[15] .

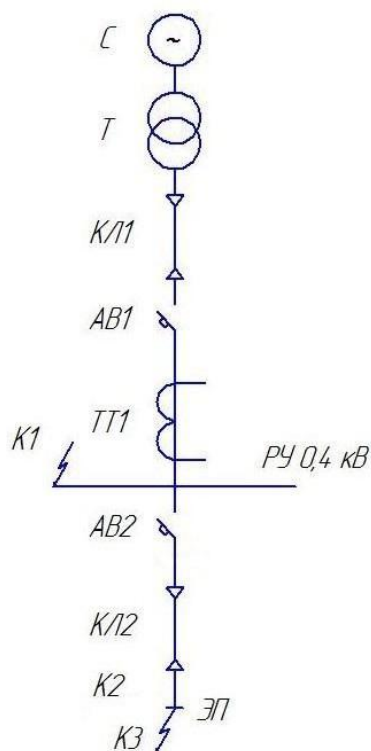


Рисунок 3 – Схема электрическая расчётная

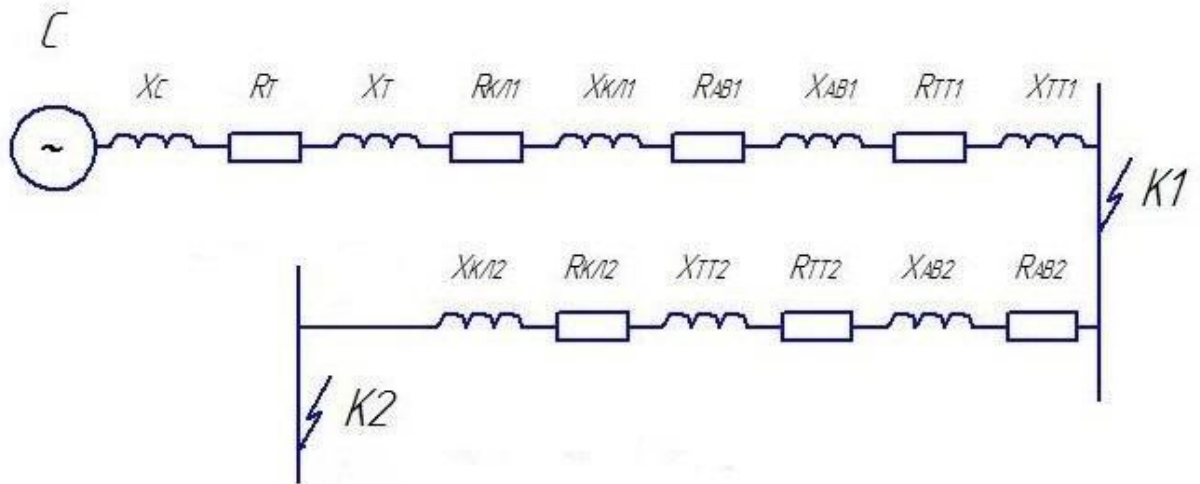


Рисунок 4 – Схема замещения

В точке K1:

$$R_{\Sigma K1} = R_T + R_{AB} + R_{TT1} + R_{KL1} = 22,52 \text{ мОм} \quad (38)$$

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_T + X_{AB} + X_{TT1} = 20,8 \text{ мОм} \quad (39)$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = 30.65 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{H.HH}}{\sqrt{3} * Z_{K1}} \quad (40)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} * 30.65} = 7.53 \text{ kA}$$

Ударный ток:

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} * K_{уд.к1} * I_{K1}^{(3)} \quad (41)$$

где коэффициент  $K_{уд.к1}=0,5$  выбирается в зависимости от соотношения  $X_{\Sigma K1}/R_{\Sigma K1} = 20,8/22,52=0,92$ .

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} * 0,5 * 7,53 = 5,32 \text{ кА.}$$

Для точки K2:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{AB2} + R_{KL2} = 23,285 \text{ мОм} \quad (42)$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{AB2} + X_{KL2} = 21,195 \text{ мОм} \quad (43)$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} = 31.48 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{H.HH}}{\sqrt{3} * Z_{K2}}$$
$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} * 31,48} = 7,33 \text{ kA}$$

Ударный ток:

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} * K_{уд.к1} * I_{K2}^{(3)}$$

где коэффициент  $K_{уд.к1}=0,5$  выбирается в зависимости от соотношения  $X_{\Sigma K1}/R_{\Sigma K1} = 21,195/23,285=0,91$ .

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} * 0,5 * 7,33 = 5,18 \text{ кА.}$$

Проверку пригодности автоматических выключателей проводим по расчетам ударного тока КЗ, в трех выбранных точках [16].

Автомат ВА-СЭЩ спроектирован противостоять переднему фронту тока короткого замыкания уровнем 65 кА. В расчетной схеме замещения, для проверки этого значения используются точки К1 и К2. Расчет показал, что ударный ток в К1 равен 5,32 кА, что значительно меньше 65 кА ( $i_{yk1} = 5,32 \text{ kA} \leq i_{BA} = 65 \text{ kA}$ ). Ударный ток К2 равен 5,18 кА, что также значительно меньше 65 кА ( $i_{yk1} = 5,18 \text{ kA} \leq i_{BA} = 65 \text{ kA}$ ).

### **3 Выбор и обоснование внутрицехового электроснабжения**

#### **3.1 Выбор внутреннего электротехнического оборудования**

Систему электроснабжения делят на внешнюю и внутреннюю систему электроснабжения.

Внешняя система электроснабжения производственного корпуса Курганского завода представляет собой закопанный в землю кабельный канал.

Распределительные узлы и технологическое оборудование можно объединить в систему разными способами, в зависимости от расположения линий, вводных устройств, коммутационной аппаратурой. Несмотря на многообразие способов подключения, приняты три схемы: магистральная, радиальная и объединяющая их – смешанная [17,30]. Для 2 категории наиболее подходит магистральная схема, позволяющая выстроить систему электроснабжения с наименьшими затратами на материалы. Одним из определяющих факторов при выборе внутрицехового электротехнического оборудования являются токи короткого замыкания, определенные в предыдущем разделе.

#### **3.2 Выбор электротехнического оборудования корпуса по узлам силового питания**

Группировка технологического оборудования по узлам питания произведена на основе выполненного ранее расчета электрических нагрузок и показана в таблице П1 Приложения 1.

#### **3.3 Выбор кабельных линий**

Для выбора сечения и марок кабелей, соединяющих ГПП, ТП и технологическое оборудование воспользуемся:

- данными об электрических нагрузках (таблица 3);
- рекомендациями ПУЭ;
- доступностью той или иной марки кабеля.

Для подключения ТП к ГПП применим кабели марки АПвВнг(В)-LS. Рабочий ток ТП 193 составляет  $I_p=72,35$  А. Ему удовлетворяет сечение кабеля 3х35+1х25 (три жилы сечением 35 мм<sup>2</sup> и одна жила сечением 25 мм<sup>2</sup>). Рабочий ток ТП 194 составляет  $I_p=112,9$  А . Ему удовлетворяет сечение кабеля 3х70+1х35 (три жилы сечением 70 мм<sup>2</sup> и одна жила сечением 35 мм<sup>2</sup>). Все жилы выполнены из медного сплава. Жила меньшего сечения предназначена для подключения нулевого проводника.

Для определения номинального тока через провода кабелей воспользуемся формулой (44)

$$I_K = \frac{P_H}{\sqrt{3} * U_H * \cos\varphi} \quad (44)$$

Результаты расчета в таблице 5.

Таблица 5- Выбор кабелей

Наименование электропотребителя	Номинальный рабочий ток, А	Сечение кабеля, мм <sup>2</sup>
1	2	3
главная линия	849	2 кабеля ВВГ 4х185
инструментальный стеллаж	14,82	ВВГ 5х2,5
зубонарезной станок	59,59	ВВГ 4х16
винторезный станок	29,29	ВВГ 5х6
универсальный протяжной	88,88	ВВГ 4х30
Станок отрезной	17,71	ВВГ 5х2,5
центровальный станок	59,59	ВВГ 4х16



Продолжение таблицы 5

электроэрозионная установка	148,48	ВВГ 3x70+1x35
термическое отделение	360	ВВГ 3x150+1x16
гильотина	121,4	ВВГ 3x35+1x25
контрольный стенд	27,32	ВВГ 5x4
очистительная установка	16,71	ВВГ 5x2,5
полировальная установка	5,98	ВВГ 5x1,5
измерительная установка	5,96	ВВГ 5x1,5
термоустановка	120,11	ВВГ 3x35+1x25
абсорбирующая установка	179,67	ВВГ 3x95+1x50
технологическая линия	319,65	ВВГ 3x150+1x90
линия дефектовки	25,47	ВВГ 5x4
испытательная станция	94,11	ВВГ 5x1,5
кран-балка	10,11	ВВГ 5x1,5
диффузор	151,12	ВВГ 3x70+1x30
литьевая установка	799,67	2 кабеля ВВГ 3x240
паяльная станция	29,77	ВВГ 5x6
установка темрозакалки	2,91	ВВГ 5x1,5
накопитель	39,37	ВВГ 5x10

### 3.4 Выбор шинопроводов

Магистральные линии, к которым подключается технологическое оборудование, сформируем из магистральных и распределительных

шинопроводов серий ШМА-5 и ШРА-5 с учетом номинальных токов потребления, характеристики которых приведены в таблице 6 [18] .

Таблица 6- Магистральные линии

Номер	Марка	Ток, А
ШРА 193-1	ШРА 5-400	319,11
ШРА 193-2	ШРА 5-250	179,33
ШМА 193-1	ШМА 5-2000	1430
ШРА194-1	ШРА5-630	490,11
ШМА 194-1	ШМА 5-1000	669,9
ШРА 194-2	ШРА 5-630	399,5
ШМА 194-1	ШМА 5-2000	1497

### 3.5 Выбор автоматических выключателей

Для защиты технологического оборудования, эксплуатируемого в производственном корпусе, используется различное защитное оборудование. Основным из них являются автоматические воздушные выключатели (далее АВВ) [19,24]. Современные АВВ работают в очень широком диапазоне как напряжений, так и токов. АВВ имеют встроенную защиту от перегрузок (при длительном протекании через АВВ токов выше номинальных) и защиту от токов короткого замыкания (при мгновенном скачке протекающего тока). Между собой, как по моделям, так и по производителям, АВВ в основном как раз и отличаются своими защитными характеристиками, т.е. как, а главное через какое время, АВВ среагирует на изменение тока. Важно подобрать АВВ с соответствующей защитной характеристикой для того или иного технологического оборудования. Если срабатывание будет происходить раньше, то возможны ложные срабатывания, если позже – возможен выход из строя защищаемого оборудования. Для установки в проектируемой

системе выбраны АВВ серии LBA производства Самарского завода «Электроцит».

Автоматические выключатели серии ВА-СЭЦ-В и их вспомогательные устройства стойки к воздействию внешних климатических факторов и соответствуют требованиям категории размещения - ТЗ по ГОСТ 15150, МЭК 68-2-1, МЭК 68-2-2, МЭК 68-2-11.

Выключатели предназначены для работы в следующих условиях [25,29]:

- нижнее значение температуры окружающего воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$  (при хранении  $60^{\circ}\text{C}$ ) для выключателей с микропроцессорными расцепителями типов N и A;

- нижнее значение температуры окружающего воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$  (при хранении  $60^{\circ}\text{C}$ ) для выключателей с микропроцессорными расцепителями типов P и S;

- верхнее значение температуры окружающего воздуха  $+40^{\circ}\text{C}$  (при хранении  $+60^{\circ}\text{C}$ );

- при относительной влажности воздуха 85% максимальная температура  $+40^{\circ}\text{C}$ , при относительной влажности воздуха 90% максимальная температура  $+20^{\circ}\text{C}$ ;

- при увеличении температуры окружающей среды до  $+60^{\circ}\text{C}$ , номинальный ток выключателей уменьшается;

- окружающая среда не содержит газы, жидкости и пыль в концентрациях, нарушающих работу выключателей - тип атмосферы II и III в соответствии с ГОСТ 15150;

- степень загрязнения промышленными выбросами - IV в соответствии с ГОСТ Р 50030.1;

- место установки выключателя защищено от попадания воды, масла и эмульсии;

- высота установки над уровнем моря до 2000 м.

Автоматические выключатели ВА-СЭЩ-В при установке на отметке более 25 м в соответствии с ГОСТ 17516.1 устойчивы к воздействиям, характеризующимся ускорением:

- 0,5g в диапазоне частот от 0,5 до 100 Гц;
- 0,75g в диапазоне частот от 2 до 15 Гц в горизонтальном направлении;
- 0,5g в диапазоне частот от 2 до 15 Гц в вертикальном направлении, что соответствует интенсивности землетрясений 7 баллов по MSK-64.

Внешний вид ВА-СЭЩ LBA на рисунке 5.



Рисунок 5- Автоматический выключатель ВА-СЭЩ LBA

Номинальный режим работы выключателей - продолжительный. Допускается длительная работа при напряжении до  $1,1 U_e$ . Автоматические выключатели созданы в соответствии с МЭК60947-2 и способны отключить короткое замыкание с током  $I_{cs}$  до трех раз, при условии, что пауза между отключением и последующим включением была не менее 3 минут. Степень защиты выключателей от воздействия окружающей среды IP30, а при наличии пылезащищающей крышки, в соответствии с ГОСТ 14254 - IP50.

Технологическое оборудование защищено автоматами “Schneider Electric”, которые отвечают всем современным требованиям, предъявляемым к защитной и коммутационной аппаратуре (см. табл. 7) [28].

Таблица 7 – Выбор автоматических выключателей

Цепь	Марка, тип, модель, мм <sup>2</sup>	Номинальный рабочий ток, А
1	2	3
от ТП до ШРА193-2	ВА-СЭЦ TS 250А	250
от ТП до ШМА193-1	ВА-СЭЦ LBA 2000А	2000
от ТП до ШРА192-1	ВА-СЭЦ TS 630А	630
от ТП до ШМА192-1	ВА-СЭЦ LBA 800А	800
от ТП до ШМА192-2	ВА-СЭЦ TS 630А	630
от ТП до ШМА192-1	ВА-СЭЦ LBA 2000А	2000
инструментальный стеллаж	EASY 9 3П 16А	16
зубонарезной станок	EASY 9 3П 63А	63
универсальный протяжной	Compact NSX100	100
винторезный станок	EASY 9 3П 32А	32
радиально-сверлильный станок	EASY 9 3П 63А	63

Продолжение таблицы 7

1	2	3
обрезной станок	EASY 9 3П 20А	20
электроэрозионная установка	Compact NSX160	160
термическое отделение	Compact NSX400	400
гильотина	Compact NSX160	160
контрольный стенд	EASY 9 3П 32А	32
очистительная установка	EASY 9 3П 20А	20
полировальная установка	EASY 9 3П 10А	10
измерительная установка	EASY 9 3П 10А	10
термоустановка	Compact NSX160	160
абсорбирующая установка	Compact NSX250	250
технологическая линия	Compact NSX400	400
линия дефектовки	EASY 9 3П 32А	32
диффузор	Compact NSX160	160
литьевая установка	EASY 9 3П 32А	32
испытательная станция	Compact NSX100	100

Продолжение таблицы 7

1	2	3
кран-балка	EASY 9 3П 10А	10
паяльная станция	Compact NSX100	100
установка темрозакалки	EASY 9 3П 10А	10
накопитель	Compact NSX160	160

### 3.6 Выбор измерительных трансформаторов тока

Для измерения токов большой амплитуды используются трансформаторы тока (далее ТТ) [27,30] . Опыт эксплуатации ТП показал высокую надежность и практичность трансформаторов тока от европейского производителя электротехнического оборудования “IEK”. Для применения в нашей ТП выбрал ТТ серии ТТИ (см. рис. 6)



Рисунок 6- Трансформатор тока ТТИ-100

Выбранное оборудование для измерения токов показано в таблице 8.

Таблица 8- Измерение силы тока

Линия	Марка, модель	Класс точности	Ток измеряемый, А	Ток на выходе ТТ, А
от ТП до печи	ТТИ-100 1000/5	0,5	1000	5
от ТП до ШРА193-1	ТТИ-А 400/5	0,5	400	5
от ТП до ШРА 193-2	ТТИ-А 250/5	0,5	250	5
от ТП до ШМА193-1	ТТИ-100 2000/5	0,5	2000	5
от ТП до ШРА 192-1	ТТИ-А 800/5	0,5	800	5
от ТП до ШМА 192-1	ТТИ-А 800/5	0,5	800	5
от ТП до ШРА 192-2	ТТИ-А 800/5	0,5	800	5
от ТП до ШМА 192-1	ТТИ-100 2000/5	0,5	2000	5

### 3.7 Защитное заземление КТП-СЭЩ-П 1000/10/0,4

Исследования грунта в районе строительства ТП показали наличие песчаника, что негативно скажется на затратах при строительстве контура заземления. Это связано с высоким удельным сопротивлением песка (более 300 Ом\*м). Кроме этого произойдет увеличение размеров контура, которые выйдут за габариты строительной площадки. В этом случае рациональнее произвести замену песчаника на черноземный грунт с более низким удельным сопротивлением [26]. Удельное сопротивление черноземного



грунта  $\rho=1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^3$ . Ему должно соответствовать сопротивление заземлителя  $R_3=4 \text{ Ом}$ .

Для определения сопротивления заземлителя применяется эмпирическая формула (45)

$$R_3 = \rho * 0,14 * 4 \quad (45)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление грунта (чернозем засыпной). Выбираем  $\rho=0,1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^3$ .

$$R_3 = 100 * 0,14 * 4 = 56 \text{ Ом}$$

Наиболее оптимальная конструкция заземляющего контура собирается из стальных полос, свариваемых друг с другом. Глубина залегания контура определяется расчетом. Оптимальной глубиной залегания считается 50 см. Вертикальные стержни обычно изготавливаются из стальных уголков, с оптимальным расстоянием между ними 500 см. Вертикальный стержень имеет сопротивление:

$$R_B = 0.00318 * \rho_{\text{расч}} * K_C \quad (46)$$

где  $K_C$  – среднее значение коэффициента сезонности для стержневого заземлителя. Принимаем  $K_C=1,4$ .

$$R_B = 0.00318 * 100 * 1,4 = 44,5 \text{ Ом.}$$

Принимаем количество стержней равно  $n=5$ . Эффективность использования стержня  $\eta_{\text{И}}=0,8$ .

Суммарное стержневое сопротивление (47)

$$R_C = \frac{R_0}{n * \eta_{\text{И}}} \quad (47)$$

$$R_C = \frac{44,5}{5 * 0,8} = 11,125 \text{ Ом}$$

Искомое сопротивление:

$$R_C = \frac{0,366}{l} * \rho_{\text{расч}} * K_{\text{П}} * \lg\left(2 \frac{l^2}{b * t}\right) \quad (48)$$

$$R_C = \frac{0,366}{3000} * 100 * 2 * \lg \left( 2 \frac{3000^2}{0,5 * 50} \right) = 14,528 \text{ Ом.}$$

Действительное сопротивление протяженного заземлителя

$$R_{\Pi} = \frac{R_{\Pi P}}{\eta_{\Pi}} \quad (49)$$

$$R_{\Pi} = \frac{14,528}{0,8} = 18,16 \text{ Ом}$$

Сопротивление всего заземляющего устройства

$$R_{3Y} = \frac{R_C * R_{\Pi}}{R_C + R_{\Pi}} = \frac{11,125 * 18,16}{11,125 + 18,16} = 6,89 \text{ Ом.} \quad (50)$$

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполнения бакалаврской работы были обоснованы технические предложения по реконструкции системы электроснабжения производственного корпуса Курганского машиностроительного завода. На основе изучения технической документации и требований руководящих документов были выявлены несоответствия существующей системы электроснабжения современным требованиям.

Были рассчитаны электрические нагрузки и на их основе выбраны основные элементы системы электроснабжения – кабельная продукция, коммутационные элементы и т.п. Также была рассчитана система освещения. Обобщение всех данных по потреблению электроэнергии производственным корпусом позволило сформулировать технические предложения по реконструкции вышеуказанной системы.

Полученные в ходе расчетов и анализа требований руководящих документов рекомендации могут найти применение на других подобных предприятиях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение: учеб. пособие для приклад. Бакалавриата. Томский политехн. ун-т. - 2-е изд., 2016. 179 с.
2. Энергосбережение в низковольтных электрических сетях при несимметричной нагрузке [Электронный ресурс] : монография / Ф.Д. Косоухов [и др.] ; под ред. Ф. Д. Косоухова. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. 280 с.
3. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 марта 2007 г. - М.: КНОРУС, 2007.
4. Коэффициенты использования  $K_{И}$  и  $\cos\phi$  машиностроительного оборудования [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Онлайн Электрик». URL: [https://online-electric.ru/dbase/kicos.php? query=&type=%EE&type4](https://online-electric.ru/dbase/kicos.php?query=&type=%EE&type4). Дата обращения (05.05.2019)
5. Вопросы электроснабжения, электрооборудования физкультурно-оздоровительного комплекса [Электронный ресурс]/ Учебные материалы для студентов. URL: <http://vunivere.ru/work68937>. Дата обращения (07.05.2019)
6. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - 2-е изд., испр.- М.: Форум: Инфра-М, 2017.-214 с., ил. [1].
7. Маньков, В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. Справочное пособие. СПб: НОУ ДПО "УМИТЦ "Электро Сервис", 2016 664с.
8. Козловская В.Б. Электрическое освещение: справочник. 2-е изд. - Минск: Техноперспектива, 2018. 271 с.
9. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения М.: Высшая школа, 2016.
10. Синенко Л.С и др. Системы электроснабжения: сб. заданий по курсовому проектированию. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2014. 84 с.

11. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98. Под ред. Б.Н. Неклепаева. М.: НЦ ЭНАС, 2015. 152 с.
12. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справочник: учеб. пособие - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2016. 480 с.
13. Сибикин Ю. Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2015. 384с.
14. Электротехника: Учебное пособие для ВУЗов: в 3 ч. под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.Л. Шестакова – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2015. – Кн. 3: Электроснабжение. 2015. 639 с.:
15. Сибикин Ю. Д. Электрооборудование нефтяной и газовой промышленности. Книга 1. Оборудование систем электроснабжения. Учебник - М.: ИП РадиоСофт, 2015. 352 с.
16. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч. 1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. 185с.
17. Мельников М.А. Внутризаводское электроснабжение: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – 180 с.
18. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: учебное пособие– М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2018. 480 с.
19. Суворин А. В. Электрическое освещение: сб. примеров и задач. Краснояр. гос. техн. ун-т. - Красноярск : КГТУ, 2014. 120 с.
20. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. – М.: «Высшая школа», 2014. 256с.
21. Красник В. В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств. - М.: НЦ ЭНАС, 2015. 512 с.

22. Правила устройства электроустановок в вопросах и ответах. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. Пособие для изучения и подготовки к проверке знаний. - М.: НЦ ЭНАС, 2015. - 770 с.

23. Типовая инструкция по эксплуатации и ремонту комплектных распределительных устройств 6-10 кВ. ТИ 34-70-025-84. РД 34.20.506. - М.: Энергия, 2016. 452 с.

24. Повный А. В. Оборудование трансформаторных подстанций. Учебное пособие, Москва, 2016. 99 с.

25. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. Москва: Академия, 2014. 448 с.

26. Карнеева Л.К. и др. Электрооборудование электростанций и подстанций. Справочные данные. Иваново: МЗЭТ ГОУ СПО ИЭК. 2016. 224с.

27. Electric Power Substations Engineering (Electric Engineering Handbook). Third Edition. Edited by John D. McDonald. CRC Press, May 16, 2016.- 536 pages

28. GRID 2030: A National Vision for Electricity's Second 100 years, United States Department of Energy, Office of Electric Transmission and Distribution, 2015

29. A. Apostolov and M. Janssen. IEC 61850 impact on substation design, paper number 0633, IEEE PES, 2018.

30. Electric Power Generation, Transmission, and Distribution, Third Edition Edited by Leonard L. Grigsby. CRC Press, 2015. 489 pages

31. Electric Power Transformer Engineering, Third Edition Edited by James H. Harlow. CRC Press, 2016. 657 pages.

Приложение А

Таблица А1- Расчет нагрузок с учетом разделения ЭП

	Р <sub>н</sub> кВт	n	cosφ	Ки	tgφ	m	Р <sub>н</sub> кВт	Р <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар	пэ	Км	Р <sub>р</sub> кВт	Q <sub>р</sub> квар	Sp кВа	Ip А
Печь	534	1	0,95	0,8	0,33		534	427,2	140,976						
Итого															
ШРА 193-1															
Инструментальный стол	5	4	0,5	0,06	1,73		20	1,2	2,076						
фрезерный станок	20	1	0,5	0,14	1,73		20	2,8	4,844						
токарный станок	10	1	0,5	0,14	1,73		10	1,4	2,422						
обрезной станок	5	1	0,4	0,12	2,3		5	0,6	1,38						
радиально-сверлильный станок	20	1	0,5	0,16	1,73		20	3,2	5,536						
сварочный участок	142,5	1	0,6	0,35	1,33		142,5	49,875	66,33375						
установка контроля системы охлаждения	15	1	0,8	0,8	0,75		15	12	9						
машина промывки	10	2	0,85	0,7	0,62		20	14	8,68						
шлифовальный станок	2	1	0,5	0,14	1,73		2	0,28	0,4844						
Опорный рабочий стол	2	4	0,5	0,06	1,73	>3	8	0,48	0,8304						
Итого					1,43			85,835	101,5866	3	2,28	195,7038	111,7452	225,3	325,24
ШРА 193-2															
фрезерный станок ЧПУ	30	1	0,5	0,14	1,73		30	4,2	7,266						
электроэрозионный станок	50	1	0,5	0,14	1,73		50	7	12,11						
маркировочный пресс	50	1	0,65	0,17	1,17		50	8,5	9,945						
кран	44	2	0,7	0,2	1,02		88	17,6	17,952						
Итого				0,65				37,3	47,273	4	3,11	116,003	52,0003	127,12	183,48
ШМА 193-1															
машина литья под давлением	344	2	0,65	0,5	1,17		688	344	402,48						
Итого тп 193							1702,5	894,335	692,3156	9	1,2	1073,202	761,5471	1315,9	1899,3

Продолжение таблицы А1

	$P_n$ , кВт	n	cosφ	Ки	tgφ	m	$P_n$ , кВт	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	пэ	Км	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВа	$I_p$ , А
ШМА 194-1 обрабатывающий центр	61	8	0,5	0,14	1,73		488	68,32	118,1936						
Итого								68,32	118,1936	3	2,28	155,7696	130,013	337,79	487,56
ШМА 194-2 моечная линия	86	2	0,4	0,7	2,3		172	120,4	276,92						
установка контроля герметичности	14	2	0,8	0,8	0,75		28	22,4	16,8						
установка контроля утечек	5	1	0,8	0,8	0,75		5	4	3	3	2,28	334,704	326,392	467,5	674,7
Итого								146,8	296,72						
ШРА 194-2 плавильная печь	20	3	0,95	0,8	0,33		60	48	15,84						
станция подогрева ковшей	2	4	0,95	0,95	0,33		8	7,6	2,508						
пылесборник	20	1	0,7	0,5	1,02		20	10	10,2						
зарядная станция	68	1	0,7	0,8	1,02		68	54,4	55,488						
Итого								120	84,036	3	2,28	273,6	92,4396	280,32	404,6
ШМА 194-2 машина литья под давлением	344	2	0,65	0,5	1,17		688	344	402,48						
итого тп 194								679,12	901,4296	4	1,87	1269,954	991,5726	1611,16	2325,51