

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения производства автомобильных шин

Обучающийся

В.А. Олейников

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

## Аннотация

В работе рассмотрены вопросы проектирования надёжной, экономичной и безопасной системы электроснабжения промышленного производства по выпуску автомобильных шин для легковых автомобилей и грузового автотранспорта.

Произведены расчёты по определению ожидаемых максимальных нагрузок, как по отдельным производственным корпусам, так и по предприятию в целом. Выполнен расчёт системы внутреннего искусственного освещения, выбраны светильники и определена потребность в их количестве для обеспечения требований по нормируемой освещённости.

Произведены расчёты по выбору количества и номинальной мощности силовых трансформаторов для установки на трансформаторных подстанциях предприятия, определена необходимость установки устройств компенсации реактивной мощности.

Произведён выбор элементов системы внутреннего электроснабжения предприятия, выбраны кабельные линии, распределительные пункты, коммутационные аппараты для защиты групповых линий и линий к отдельным электроприемникам.

Произведён расчёт токов короткого замыкания в характерных точках системы внутреннего электроснабжения предприятия, по полученным значениям проверена правильность выбора коммутационных аппаратов.

Произведён расчёт уставок релейной защиты силового трансформатора, установленного на главной понизительной подстанции предприятия.

Работа состоит из пояснительной записки объёмом 48 страниц, включающей в себя 15 таблиц с результатами вычислений и 3 графических рисунка с электрическими схемами и примерами выбранного оборудования. Графическая часть работы выполнена на 6 листах формата А1 и включает в себя схему электроснабжения, генеральный план предприятия, электрическую схему главной понизительной подстанции и её план-разрез.

## Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика основной деятельности предприятия .....	6
2 Анализ системы электроснабжения производства автомобильных шин.....	8
2.1 Анализ системы внешнего электроснабжения.....	8
2.2 Анализ показателей системы внутрицехового электроснабжения.....	8
3 Разработка мероприятий по реконструкции системы внутреннего электроснабжения производства автомобильных шин.....	10
3.1 Выбор коммутационно-защитных аппаратов для внутренней системы электроснабжения .....	12
3.2 Определение итоговых данных по расчётной нагрузке сборочного цеха №2 .....	16
3.3 Выбор схемы внутрицехового электроснабжения и элементов сети ....	25
3.4 Выбор количества и номинальной мощности силовых трансформаторов для установки на комплектной трансформаторной подстанции цеха.....	28
4 Реконструкция системы освещения производства автомобильных шин.....	33
4.1 Определение необходимого светового потока от одного светильника	33
4.2 Определение параметров схемы электроснабжения системы искусственного освещения.....	36
Заключение .....	44
Список используемых источников.....	46

## Введение

Рассматриваемое в работе предприятие было построено ещё в советские годы, многие десятилетия предприятие выпускало автомобильные шины, как для отечественных заводов по выпуску легковых автомобилей, так и для предприятий, выпускающих сельскохозяйственную технику.

К концу двухтысячных годов на предприятии сложилось предбанкротное состояние, установленное ещё в советские годы станочное оборудование за это время ни разу не обновлялось, ассортимент и качество выпускаемой продукции уже не могли удовлетворять потребностям в рыночных условиях.

Сама себестоимость производства, ввиду использования станков с низкой энергетической эффективностью, а также перерасход материалов при первичном производстве привели к снижению конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Исправить положение дел помогло сотрудничество с зарубежными производителями – лидерами в своей отрасли.

На предприятии применяется огромное количество регулируемого электропривода, использующего в своей работе как переменный ток, так и постоянный ток, при этом диапазон мощностей находится в очень широких пределах: от долей киловатта то почти 2 мегаватт, при этом суммарное количество установленных на предприятии электроприводов превышает 800 штук.

При этом всё ещё достаточно распространенным является электропривод, работающий на постоянном токе с тиристорной системой управления и достаточно низким коэффициентом полезного действия, многие мощности используемых двигателей на сегодняшнее время не соответствуют мощности исполнительных механизмов, что приводит к перерасходу электрической энергии.

Не в полной мере используются возможности установленных на предприятии синхронных двигателей для целей компенсации реактивной мощности.

Во многих производственных цехах до сих пор установлены системы освещения с устаревшими типами светильников, всё ещё используется лампы накаливания, люминесцентные лампы и дуговые ртутные лампы, что не только снижает общую экономичность системы внутреннего освещения на предприятии, но также оказывает негативный эффект на экологичность всей системы электроснабжения.

Ввиду высокой конкуренции среди производителей шин, а также конкуренции со стороны поставщиков с азиатского рынка, одной из угроз для предприятия является снижение объемов выпуска шинной продукции, что приводит к увеличению удельных расходов электрической энергии на выпуск единицы продукции и делает её ещё менее конкурентоспособной.

Таким образом, одной из основных целей в данной выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения предприятия, которая бы позволила обеспечить надёжное электроснабжение технологического процесса производства шин при минимальном уровне потерь электрической энергии в элементах сети, создала безопасные условия труда для персонала предприятия.

## 1 Краткая характеристика основной деятельности предприятия

В работе рассматриваются вопросы реконструкции системы электроснабжения сборочного цеха номер два основного предприятия по выпуску массовых шин для легковых автомобилей.

В данном цеху выполняются работы по раскрою и установке полос металлического корда, сборки покрышек и составных частей, подготовки резиновых смесей. Внутри цеха установлено специализированное сборочное оборудование и поточные линии.

Ведутся работы по обновлению технологического процесса, постепенно устаревшее оборудование заменяется на современные аналоги, выпускаемые ведущими мировыми производителями.

Связь основных технологических процессов производства приведена на рисунке 1.

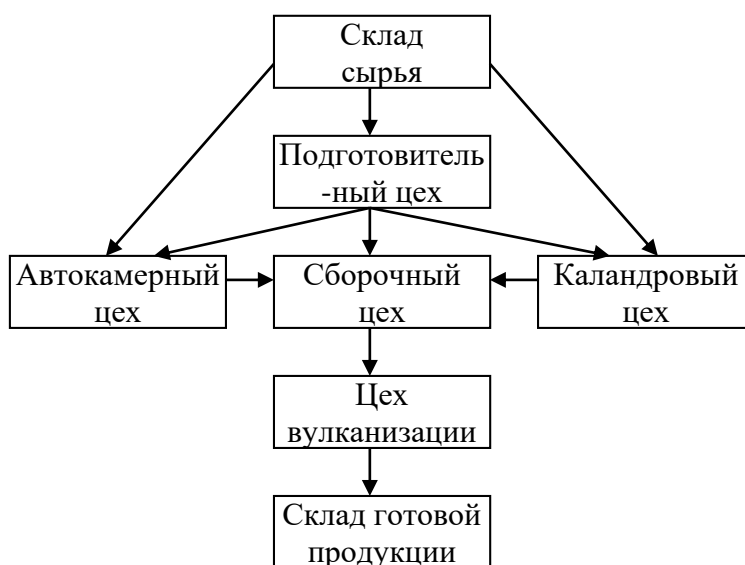


Рисунок 1 - Связь основных технологических процессов производства

Основные электроприёмники цеха относятся ко второй категории электроснабжения, являются основными электроприемниками производства, перерыв в электроснабжении допускается только на время ручного включения резерва, так как остановка основного производства может быть связана с

простоем большого количества рабочих. Основные приводы производственных механизмов относятся к электроприемникам большой и средней мощности, работают на переменном токе, на промышленной частоте 50 Гц. На рисунке 2 приведен внешний вид экструзионной линии по выпуску профилированных деталей фирмы «Troester» [3].

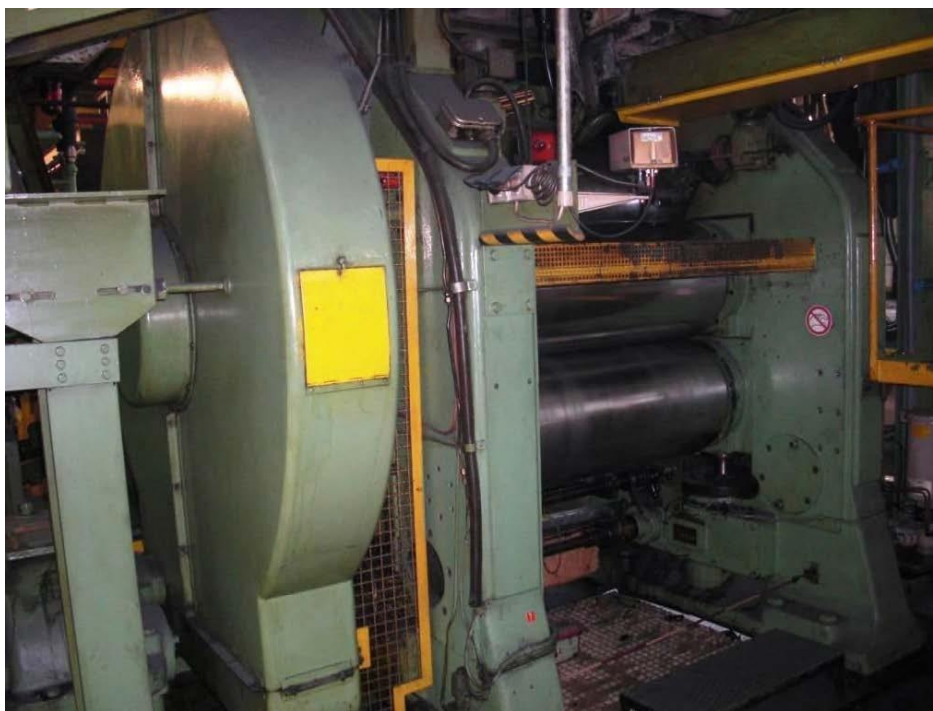


Рисунок 2 - Внешний вид трехвалкового каландра «Troester»

В настоящее время идёт интенсивное переоснащение производства, что снижает долю ручного труда и общую установленную мощность основного электрооборудования, но повышает требования к качеству поставляемой электрической энергии и к производственным навыкам обслуживающего персонала.

Выводы по разделу. Дана краткая характеристика производства и выпускаемой им продукции, показаны связи между технологическими процессами, установлено что основные электроприёмники промышленного цеха относятся ко второй категории по надежности электроснабжения. В настоящее время идет интенсивная замена устаревшего электрооборудования на новые высокоавтоматизированные поточные линии.

## **2 Анализ системы электроснабжения производства автомобильных шин**

### **2.1 Анализ системы внешнего электроснабжения**

Электроснабжение производства автомобильных шин производится по двум высоковольтным токопроводам на генераторном напряжении 6 кВ и двум высоковольтным воздушным линиям электропередачи 110 кВ от подстанции энергосистемы.

Передача электроэнергии по токопроводам осуществляется от близ расположенной городской ТЭЦ2. От генераторного напряжения получают питание 5 высоковольтных распределительных пунктов и 1 центральный распределительный пункт предприятия.

Нагрузкой этих высоковольтных распределительных пунктов являются как завод шин для легковых автомобилей, так и завод крупногабаритных шин, а также механический завод и компрессорная станция.

Главная понизительная подстанция предприятия получает питание по воздушным линиям 110 кВ от узловой подстанции электроэнергосистемы. От ГПП предприятия запитано производство крупногабаритных шин, вторая компрессорная станция, а также новый строящийся в настоящее время механический завод. На главной понизительной подстанции установлено два трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения мощностью по 25000 кВА каждый, напряжение на сборных шинах низкого напряжения 6 кВ.

### **2.2 Анализ показателей системы внутрицехового электроснабжения**

В сборочном цеху № 2, который рассматривается в данной работе установлена 2х трансформаторная цеховая подстанция №11 и распределительное устройство с номинальным напряжением 6 кВ.



На предприятии внедрена система коммерческого учета электрической энергии, расчётные приборы учёта установлены как на линиях от теплоэлектроцентрали и учитывают потребление электроэнергии на генераторном напряжении, так и на главной понизительной подстанции предприятия для учёта получаемой электроэнергии из внешней энергосистемы. Тарификация ведётся по трём внутренним зонам учета: пик, полупик и период минимального тарифа на электроэнергию [4].

Для учёта передаваемой тепловой энергии используются приборы установленные на стороне теплоэлектроцентрали, по многолетней договорённости между предприятием и ТЭЦ2 основной учёт тепловой энергии осуществляется со стороны ТЭЦ, при малом расходе тепла, когда достигается нижняя граница чувствительности установленных на ТЭЦ приборов, то расчёт осуществляется по приборам, установленным со стороны предприятия.

Внутри цеха используется в основном радиальная схема электроснабжения, выполненная при помощи кабелей, электроэнергия от трансформаторной подстанции поступает на распределительные пункты, а от них уже к конечным электроприемникам.

Выводы по разделу. В работе приведена краткая характеристика организации как системы внешнего электроснабжения промышленного предприятия, так и системы внутреннего электроснабжения сборочного цеха номер два.

### 3 Разработка мероприятий по реконструкции системы внутреннего электроснабжения производства автомобильных шин

«Согласно полученных данных об оборудовании сборочного цеха №2 на рассматриваемом участке имеются электроприемники с указанными в таблице 1 величинами мощности. Каждую единицу оборудования заменяем эквивалентным двигателем, который выбираем по условию:

$$P_H \geq P_{уст}, \quad (1)$$

где  $P_H$  – номинальная мощность двигателя;

$P_{уст}$  – установленная мощность единицы оборудования.

В дальнейшем будем использовать для расчетов показатели эквивалентных двигателей» [6].

В качестве примера произведём выбор электрического двигателя для передаточного механизма.

Передаточный механизм имеет паспорт на установленную мощность равную 3,5 кВт, согласно выражению 1 выбираем для него электрический двигатель 4А100S2У3 с номинальной мощностью равной 4 кВт и синхронной частотой вращения 3000 оборотов в минуту.

Поскольку внутри производственного цеха среда относится к нормальной, то выбираем нормальное исполнение электродвигателей IP44, без дополнительных средств защиты от внешних воздействий.

Действительный коэффициент загрузки для каждого из двигателей, определяем из выражения [9]:

$$I_{II} = \frac{P_{уст}}{P_H}, \quad (2)$$

$$I_{II} = \frac{3,5}{4} = 0,875.$$

По справочным данным определяем значение коэффициента полезного действия для двигателя  $\eta=86,5\%$  и значение коэффициента мощности  $\cos\varphi=0,89$ . Находим значение кратности пускового тока для выбранного электродвигателя  $I_n / I_n = 6,5$ .

Результаты выбора электродвигателей и их технические характеристики для основного технологического оборудования цеха заносим в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты выбора электродвигателей и их технические характеристики для основного технологического оборудования цеха

№ на плане цеха	Сокр. наименование агрегата	<i>n, шт</i>	<i>P<sub>уст</sub>, кВт</i>	<i>P<sub>ном</sub>, кВт</i>	ЭД	<i>cosφ</i>	$\eta, \%$	$I_n / I_n$	$K_s$
78	Вальцы	1	415	450	СД2-85/57-10	0,9	94,1	5,9	0,92
11,12	ПРМ	2	3,5	4,0	4A100S2Y3	0,89	86,5	6,5	0,88
79,80,81, 82	Вент. установка	4	17	18,5	4A160M2Y3	0,92	88,5	7,0	0,92
1,2,3,4,5, 18,53,55, 56	СПП	9	4,6	5,5	4A100L2Y3	0,88	88,0	7,5	0,84
84	Трансп. лента	1	5,3	5,5	4A100L2Y3	0,91	87,5	7,5	0,96
19,20,29	АСПР	3	32,0	37,0	4A200M2Y3	0,89	90,0	7,5	0,87
16	Трансп. лента	1	2,2	2,2	4A80B2Y3	0,87	83	6,5	1,0
17,54	АСПР	2	21,6	22,0	4A180S2Y3	0,91	88,5	7,5	0,98
83	Трансп. лента	1	2,0	2,2	4A80B2Y3	0,87	83	6,5	0,91
21,52	АСПРВ	2	15,0	15,0	4A160S2Y3	0,91	88,0	7,0	1,00
41,45	Кран-балка	2	36	37	4A200M2Y3	0,89	90,0	7,5	0,97
22	А70м	1	8,5	11,0	4A132M2Y3	0,87	88,0	7,5	0,77
9,10,46, 47,48,51	Фрезерный станок	6	5,5	5,5	4A100L2Y3	0,91	87,5	7,5	1,0
23,24,25, 26,27,28, 35,36,37, 38,39	СПР2М	11	7,0	7,5	4A112M2Y3	0,88	87,5	7,5	0,93
6,7,8, 49,50	Токарный станок	5	4,3	5,5	4A100L2Y3	0,88	88	7,5	0,78
30	TR-20	1	8,7	11,0	4A132M2Y3	0,87	88,0	7,5	0,79
42,43	KALEMAR	2	53,7	55	4A225M2Y3	0,92	91	7,5	0,98
31	T-10	1	6,0	7,5	4A112M2Y3	0,83	87,5	7,5	0,80
14,15	KRUPP	2	17,6	18,5	4A160M2Y3	0,92	88,5	7,0	0,95
32,33,34	A-70	3	8,46	11,0	4A132M2Y3	0,87	88,0	7,5	0,77
13,75,76, 77	ДРМ	4	17,1	18,5	4A160M2Y3	0,92	88,5	7,0	0,92

Продолжение таблицы 1

№ на плане цеха	Сокр. наименование агрегата	<i>n, шт</i>	<i>P<sub>уст.</sub>, кВт</i>	<i>P<sub>ном.</sub>, кВт</i>	ЭД	<i>cosφ</i>	<i>η, %</i>	$\frac{I_n}{I_n}$	<i>K<sub>з</sub></i>
40	APC0	1	25,0	30,0	4A180M2Y3	0,88	90,5	7,5	0,83
57,58,59, 60,61,62, 63,64,65, 66,67,68, 69,70,71	СПДУ65И	15	9,5	11,0	4A132M2Y3	0,87	88,0	7,5	0,86
44	TROESTER	1	302,24	315,0	4A355M2Y3	0,91	93,0	7,0	0,96
72,73,74	Каландр	3	95,3	110,0	4A280S2Y3	0,88	91,0	7,0	0,87

### 3.1 Выбор коммутационно-защитных аппаратов для внутренней системы электроснабжения

«Основными видами защит электрических сетей и электроприемников напряжением до 1кВ являются защиты от перегрузки и токов КЗ. Защита от токов КЗ должна осуществляться для всех электрических сетей и электроприемников.

В качестве аппаратов защиты применяются автоматические выключатели и предохранители.

Для защиты электродвигателей от перегрузки и от токов, возникших при обрыве одной из фаз, применяются также тепловые реле магнитных пускателей» [9].

Методику выбора коммутационных аппаратов рассмотрим на примере выбора автоматического выключателя для защиты линии к технологическому агрегату «Тройстер».

Номинальное значение тока агрегата определяем путём деления его номинальной мощности, известной из паспортных данных, на номинальное значение напряжения, коэффициент полезного действия и номинальный коэффициент мощности:

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

где « $P_n$  – номинальная мощность ЭП;  
 $U_n$  – номинальное напряжение ЭП;  
 $\cos\varphi_n$  – номинальный коэффициент мощности ЭП;  
 $\eta_n$  – номинальный КПД ЭП» [4].

$$I_H = \frac{315,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,93 \cdot 0,91} = 565,51 \text{ А},$$

Определим значение пикового тока через кратность пускового тока для выбранного типа двигателя [11]:

$$I_{II} = I_H \cdot \frac{I_{II}}{I_H} \quad (4)$$

где « $\frac{I_{II}}{I_H}$  – кратность пускового тока» [11].

$$I_{II} = 565,51 \cdot 7,0 = 3958,59 \text{ А},$$

Выбираем номинальное значение тока магнитного пускателя по условию его превышения расчётного значения тока:

$$I_{н.пуск} \geq I_p \quad (5)$$

где « $I_{н.пуск}$  – номинальный ток пускателя» [11].

При выполнении расчёта для одиночного электроприемника, в качестве расчётного тока принимается его номинальный ток [12].

При выборе автоматического выключателя определяется его номинальный ток, который должен превышать расчётное значение и номинальный ток расцепителя, который также должен быть ближайшим большим к расчётному значению тока [13]:

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_p ; \quad (6)$$

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_p , \quad (7)$$

где « $I_{\text{ном.а}}$  и  $I_{\text{ном.р}}$  – номинальные токи автомата и его расцепителя» [10].

Ток срабатывания, выбранного расцепителя, должен быть на 25% выше пикового значения тока в линии для исключения ложных срабатываний при протекании пиковых токов [10]:

$$I_{\text{ср.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}} \quad (8)$$

При выполнении расчётов для индивидуальных электроприемников, в качестве расчётного значения тока принимается номинальный ток одного электроприемника, а в качестве пикового значения тока используется пусковой ток данного электроприёмника.

Установка выбранных коммутационных аппаратов, а именно автоматических выключателей, производится либо в распределительных шкафах, щитах, ответвительных коробках шинопроводов.

По представленной выше методике произведём проверку и выбор автоматического выключателя к технологическому агрегату «Тройстер», выбираем автоматический выключатель ВА51-39, рассчитанный на номинальный ток 630А, с номинальным током расцепителя, равным 630А, и мгновенным током срабатывания расцепителя 6300А:

Проверка по номинальному току автоматического выключателя:

$$630 \text{ А} \geq 565,51 \text{ А};$$

Проверка по номинальному току расцепителя:

$$630 \text{ А} \geq 565,51 \text{ А};$$

Определение 25-процентного превышения пикового тока и проверка на

отстройку от него:

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 3958,59 = 4948,24 \text{ А};$$

$$6300 \text{ А} \geq 4948,21 \text{ А}.$$

В таблицу 2 заносим результаты расчётов номинальных мощностей, номинальных токов и пускового тока для двигателей технологических агрегатов, выбранные параметры пускателей, расчетные значения 25-процентного превышения пускового тока, а также номинальные значения токов и токов расцепителей для выбранных автоматических выключателей.

Таблица 2 - Результаты расчётов номинальных мощностей, номинальных токов и пускового тока для двигателей технологических агрегатов, выбранные параметры пускателей, расчетные значения 25-процентного превышения пускового тока, а также номинальные значения токов и токов расцепителей для выбранных автоматических выключателей

№ на плане цеха	n, шт	Технолог. агрегат и ЭД к нему			Пускатель ПМЛ		1,25 × I <sub>пуск</sub> , А	Автоматический выключатель ВА-51			
		P <sub>н</sub> , кВт	I <sub>н</sub> , А	I <sub>пуск</sub> , А	Артикул	I <sub>н</sub> , А		Артикул ул	I <sub>н.авт</sub> , А	I <sub>н.р.</sub> , А	I <sub>н.эл.м.</sub> , А
79,80, 81,82	4	18,5	34,52	241,65	3600	40	302,07	31	100	40	400
11,12	2	4,0	7,89	51,31	1600	10	64,14	25	25	8	80
84	1	5,5	10,49	78,71	2600	25	98,39	25	25	12,5	125
1,2,3,4,5, 18,53,55, 56	9	5,5	10,79	80,93	2600	25	101,16	25	25	12,5	125
16	1	2,2	4,63	30,09	1600	10	37,61	25	25	6,3	44,1
19,20,29	3	37,0	70,18	526,36	5600	80	657,96	31	100	80	800
83	1	2,2	4,63	30,09	1600	10	37,61	25	25	6,3	44,1
17,54	2	22,0	41,50	311,28	4600	63	389,10	31	100	50	500
41,45	2	37	70,18	526,36	5600	80	657,96	31	100	80	800
21,52	2	15,0	28,46	199,21	3600	40	249,02	31	100	31,5	315
9,10,46, 47,48,51	6	5,5	10,49	78,71	2600	25	98,39	25	25	12,5	125
22	1	11,0	21,83	163,72	2600	25	204,65	25	25	25	250
9,10,46, 47,48,51	6	5,5	10,49	78,71	2600	25	98,39	25	25	12,5	125
23,24,25, 26,27,28, 35,36,37, 38,39	11	7,5	14,80	110,99	2600	25	138,74	25	25	16	160

Продолжение таблицы 2

№ на плане цеха	n, шт	Технолог. агрегат и ЭД к нему			Пускатель ПМЛ		1,25 × $I_{пуск}, A$	Автоматический выключатель ВА-51			
		$P_n,$ кВт	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	Артикул	$I_n,$ А		Артик ул	$I_{н.авт},$ А	$I_{н.р.},$ А	$I_{н.эл.м.},$ А
6,7,8, 49,50	5	5,5	10,79	80,93	2600	25	101,16	25	25	12,5	125
30	1	11,0	21,83	163,72	2600	25	204,65	25	25	25	250
42,43	2	55	99,81	748,60	6600	125	935,75	31	100	10 0	1000
31	1	7,5	15,69	117,68	2600	25	147,10	25	25	16	160
44	1	315,0	565,51	3958,59	-	-	4948,23	39	630	630	6300
72,73,74	3	110,0	208,70	1460,91	-	-	1826,13	35	250	25 0	3000
57,58,59, 60,61,62, 63,64,65, 66,67,68, 69,70,71	15	11,0	21,83	163,72	2600	25	204,65	25	25	25	250
14,15	2	18,5	34,52	241,65	3600	40	302,07	31	100	40	400
32,33,34	3	11,0	21,83	163,72	2600	25	204,65	25	25	25	250
13,75,76, 77	4	18,5	34,52	241,65	3600	40	302,07	31	100	40	400
40	1	30,0	57,23	429,25	4600	63	536,56	31	100	63	630

### 3.2 Определение итоговых данных по расчётной нагрузке сборочного цеха №2

Для определения расчётных нагрузок по узлам питания в таблицы 3-11 сводим исходные данные по подключению к узлам питания электроприемников, заносим туда данные об их количестве, номинальной мощности, справочные данные о коэффициенте использования, коэффициенте мощности, определяем номинальные значения токов для отдельных электроприемников и максимальные пусковые значения токов для двигателей. Расчёты выполняем по методу расчётного коэффициента. Отдельно в таблицы записываем данные по распределительным пунктам и по распределительным шинопроводам, которые предполагаются для установки внутри цеха.



Таблица 3 – Перечень электроприемников получающих питание от распределительного пункта №1, данные о номинальной мощности, номинальных и пусковых токах, справочные данные о коэффициентах использования и мощности

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
1	фрезерный станок-автомат СПП-30	5,5	0,2	0,6	10,79	80,93	1,33
2	фрезерный станок-автомат СПП-30	5,5	0,2	0,6	10,79	80,93	1,33
3	фрезерный станок-автомат СПП-30	5,5	0,2	0,6	10,79	80,93	1,33
4	фрезерный станок-автомат СПП-30	5,5	0,2	0,6	10,79	80,93	1,33
5	фрезерный станок-автомат СПП-30	5,5	0,2	0,6	10,79	80,93	1,33
83	Лента транспортная	2,2	0,5	0,75	4,63	30,09	0,88

Таблица 4 – Перечень электроприемников получающих питание от распределительного пункта №2, данные о номинальной мощности, номинальных и пусковых токах, справочные данные о коэффициентах использования и мощности

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
6	Токарный станок MetalMaster RED S712 16218	5,5	0,16	0,6	10,79	80,93	1,33
7	Токарный станок MetalMaster RED S712 16218	5,5	0,16	0,6	10,79	80,93	1,33
8	Токарный станок MetalMaster RED S712 16218	5,5	0,16	0,6	10,79	80,93	1,33
9	Токарно-фрезерный станок MetalMaster MML 2550 M 17036	5,5	0,16	0,6	10,49	78,71	1,33

Продолжение таблицы 4

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
10	Токарно-фрезерный станок MetalMaster MML 2550 M 17036	5,5	0,16	0,6	10,49	78,71	1,33
11	Профилегибочный станок PRM 100FH	4,0	0,2	0,6	7,89	51,31	1,33
12	Профилегибочный станок PRM 100FH	4,0	0,2	0,6	7,89	51,31	1,33
13	Вальцовочный станок ручной DRM 1270	18,5	0,17	0,65	34,52	241,65	1,17

Таблица 5 – Перечень электроприемников получающих питание от распределительного пункта №3, данные о номинальной мощности, номинальных и пусковых токах, справочные данные о коэффициентах использования и мощности

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
52	Желобонакатный станок VOLL V-Groover	15,0	0,2	0,6	28,46	199,21	1,33
53	фрезерный станок-автомат СПП-30	5,5	0,2	0,6	10,79	80,93	1,33
54	Желобонакатный станок VOLL V-Groover	37,0	0,2	0,6	41,5	311,28	1,33
55	фрезерный станок-автомат СПП-30	5,5	0,2	0,6	10,79	80,93	1,33
56	фрезерный станок-автомат СПП-30	5,5	0,2	0,6	10,79	80,93	1,33
82	Вентиляционная установка	18,5	0,7	0,85	34,52	241,65	0,62

Таблица 6 – Перечень электроприемников получающих питание от распределительного пункта №4, данные о номинальной мощности, номинальных и пусковых токах, справочные данные о коэффициентах использования и мощности

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
72	Трехвалковый каландр для резины ХУ-3I(Г)	110	0,17	0,65	208,7	1460,9	1,17
73	Трехвалковый каландр для резины ХУ-3I(Г)	110	0,17	0,65	208,7	1460,9	1,17
74	Трехвалковый каландр для резины ХУ-3I(Г)	110	0,17	0,65	208,7	1460,9	1,17
75	Вальцовочный станок ручной DRM 1270	18,5	0,17	0,65	34,52	241,65	1,17
76	Вальцовочный станок ручной DRM 1270	18,5	0,17	0,65	34,52	241,65	1,17
77	Вальцовочный станок ручной DRM 1270	18,5	0,17	0,65	34,52	241,65	1,17

Таблица 7 – Перечень электроприемников получающих питание от распределительного шинопровода №1, данные о номинальной мощности, номинальных и пусковых токах, справочные данные о коэффициентах использования и мощности

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
14	Шиноборочные машины Kgrupp	18,5	0,2	0,6	34,52	241,65	1,33
15	Шиноборочные машины Kgrupp	18,5	0,2	0,6	34,52	241,65	1,33
16	Транспортная лента	2,2	0,5	0,75	4,63	30,09	0,88
17	Агрегаты для сборки покрышек типа АСПР 2-630-1210 М	22,0	0,2	0,6	41,5	311,28	1,33
18	фрезерный станок-автомат СПП-30	5,5	0,2	0,6	10,79	80,93	1,33

Продолжение таблицы 7

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
19	Агрегаты для сборки покрышек типа АСПР 2-630-1210 М	37,0	0,2	0,6	70,18	526,36	1,33
20	Агрегаты для сборки покрышек типа АСПР 2-630-1210 М	37,0	0,2	0,6	70,18	526,36	1,33
21	SPV 500 C Visprom Комбинированный токарно фрезерный станок	15,0	0,2	0,6	28,46	199,21	1,33
22	Станки для сборки покрышек модели А-70М	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
79	Вентустановка	18,5	0,7	0,85	34,52	241,65	0,62

Таблица 8 – Перечень электроприемников получающих питание от распределительного шинпровода №2, данные о номинальной мощности, номинальных и пусковых токах, справочные данные о коэффициентах использования и мощности

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
23	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
24	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
25	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33

Продолжение таблицы 8

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ <i>кВт</i>	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ <i>А</i>	$I_{пуск},$ <i>А</i>	$tg\varphi$
26	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
27	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
28	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
29	Агрегаты для сборки покрышек типа АСПР 2-630-1210 М	37,0	0,2	0,6	70,18	526,36	1,33
30	Станок ТР-20 для сборки второй стадии легковых покрышек	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
31	ФРТ LEM T 10 Горизонтально-расточной станок с ЧПУ	7,5	0,2	0,6	15,69	117,68	1,33
32	Станок А-70 для сборки первой стадии легковых покрышек	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
33	Станок А-70 для сборки первой стадии легковых покрышек	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
34	Станок А-70 для сборки первой стадии легковых покрышек	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33

Таблица 9 – Перечень электроприемников получающих питание от распределительного шинпровода №3, данные о номинальной мощности, номинальных и пусковых токах, справочные данные о коэффициентах использования и мощности

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
35	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
36	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
37	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
38	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
39	Станок для сборки покрышек СПР 2-980-1600 Полимермаш	7,5	0,2	0,6	14,8	110,99	1,33
40	Станок Shaublin 125CNC на системе Fanuc Oi-TD	30	0,2	0,6	57,23	429,25	1,33
41	Электроподъемник	37	0,2	0,5	70,18	526,36	1,73
80	Вентустановка	18,5	0,7	0,85	34,52	241,65	0,62

Таблица 10 – Перечень электроприемников получающих питание от распределительного шинпровода №4, данные о номинальной мощности, номинальных и пусковых токах, справочные данные о коэффициентах использования и мощности

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
42	Станок фирмы «Kalemard» по раскрою каландрованной резиновой смеси	55	0,17	0,65	99,81	748,6	1,17
43	Станок фирмы «Kalemard» по раскрою каландрованной резиновой смеси	55	0,17	0,65	99,81	748,6	1,17
45	Электроподъемник	37	0,2	0,5	70,18	526,36	1,73
46	Токарно-фрезерный станок MetalMaster MML 2550 M 17036	5,5	0,16	0,6	10,49	78,71	1,33
47	Токарно-фрезерный станок MetalMaster MML 2550 M 17036	5,5	0,16	0,6	10,49	78,71	1,33
48	Токарно-фрезерный станок MetalMaster MML 2550 M 17036	5,5	0,16	0,6	10,49	78,71	1,33
49	Токарный станок MetalMaster RED S712 16218	5,5	0,16	0,6	10,79	80,93	1,33
50	Токарный станок MetalMaster RED S712 16218	5,5	0,16	0,6	10,79	80,93	1,33
51	Токарно-фрезерный станок MetalMaster MML 2550 M 17036	5,5	0,16	0,6	10,49	78,71	1,33

Таблица 11 – Перечень электроприемников получающих питание от распределительного шинпровода №5, данные о номинальной мощности, номинальных и пусковых токах, справочные данные о коэффициентах использования и мощности

Порядковый номер на плане цеха	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$K_u$	$\cos\varphi$	$I_n,$ А	$I_{пуск},$ А	$tg\varphi$
57	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
58	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
59	Станок СПД 675-950И	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
60	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
61	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
62	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
63	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
64	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
65	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
66	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
67	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
68	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
69	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
70	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
71	Станок СПД 675-950	11,0	0,2	0,6	21,83	163,72	1,33
81	Вентустановка	18,5	0,7	0,85	34,52	241,65	0,62
84	Транспортная лента	5,5	0,5	0,75	10,49	78,71	0,88

Рассмотренный ранее мощный электроприемник-каландр Troester получает питание напрямую от шин низкого напряжения трансформаторной подстанции.

В таблице 12 приведены итоговые данные по расчетам нагрузок для всех групп электроприемников.



Таблица 12 - Итоговые данные по расчетам нагрузок для всех групп электроприемников

Узел питания	$n$ , шт	$P_{уст}$ , кВт	$N_э$	$K_u$	$K_p$	$P_p$ , кВт	$K_p'$	$tg\phi_{cp}$	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А	$I_{лик}$ , А
РП№1	6	29,70	5,65	0,22	1,58	10,41	1,1	-	9,13	13,85	21,04	99,81
РП№2	8	54,00	5,55	0,17	1,88	18,50	1,1	-	12,84	22,52	34,22	270,00
РП№3	6	87,00	3,73	0,31	1,53	40,69	1,1	-	28,92	49,92	75,84	378,82
РП№4	6	385,50	3,98	0,17	2,18	143,07	1,1	-	84,28	166,04	252,27	1677,70
ШР№1	10	185,20	7,41	0,25	1,35	63,57	1,1	-	58,15	86,15	130,89	643,22
ШР№2	12	133,50	7,93	0,20	1,48	39,62	1	-	35,60	53,27	80,93	593,25
ШР№3	8	123,00	5,23	0,28	1,42	48,20	1,1	-	42,73	64,41	97,86	610,18
ШР№4	9	180,00	4,26	0,17	2,08	65,16	1,1	-	45,89	79,70	121,09	852,72
ШР№5	17	189,00	16,33	0,26	1,10	53,68	1	-	54,45	76,46	116,17	333,66
Итого по силовой нагрузке	83	1681,90	17,81	0,21	0,81	315,00	1	1,27	399	508,35	772,34	4617,82

По суммарному значению нагрузки будет производиться выбор цеховой трансформаторной подстанции.

### 3.3 Выбор схемы внутрицехового электроснабжения и элементов сети

Поскольку рассматриваемый в работе сборочный цех номер два относится к основному производству и перерыв электроснабжения его электроприемников вызовет остановку всего предприятия и простой большого числа рабочих, то основным агрегатам технологического процесса присваивается 2 категория по надежности электроснабжения.

По условиям окружающей среды внутри производственного помещения цех относится к помещению с нормальными условиями эксплуатации.

Для внутрицехового электроснабжения используем смешанную схему электроснабжения, позволяющую обеспечить надёжное электроснабжение потребителей 2 категории, часть электроприемников получает питание от распределительных пунктов РР-№02 запитанных от распределительного устройства низкого напряжения подстанции, другая часть равномерно расположенных по территории цеха производственных линий запитывается от

распределительных шинопроводов ШРА4, которые также получают питание от распределительного устройства низкого напряжения подстанции. Распределительные пункты используются для приёма большого объёма электрической энергии по кабельной линии большого сечения и дальнейшего распределения её по отдельным электроприемникам, кроме того, в распределительном пункте выполняются функции защиты оборудования и отходящих линий, производится установка коммутационной аппаратуры [15].

Питание распределительных пунктов и шинопроводов от цеховой трансформаторной подстанции осуществляется кабелями марки ВВГ, проложенными в лотках по строительным конструкциям.

На рисунке 3 приведена электрическая схема внутрицехового электроснабжения от 2х трансформаторной подстанции, между секциями шин 0,4 кВ ТП устанавливается секционный выключатель.

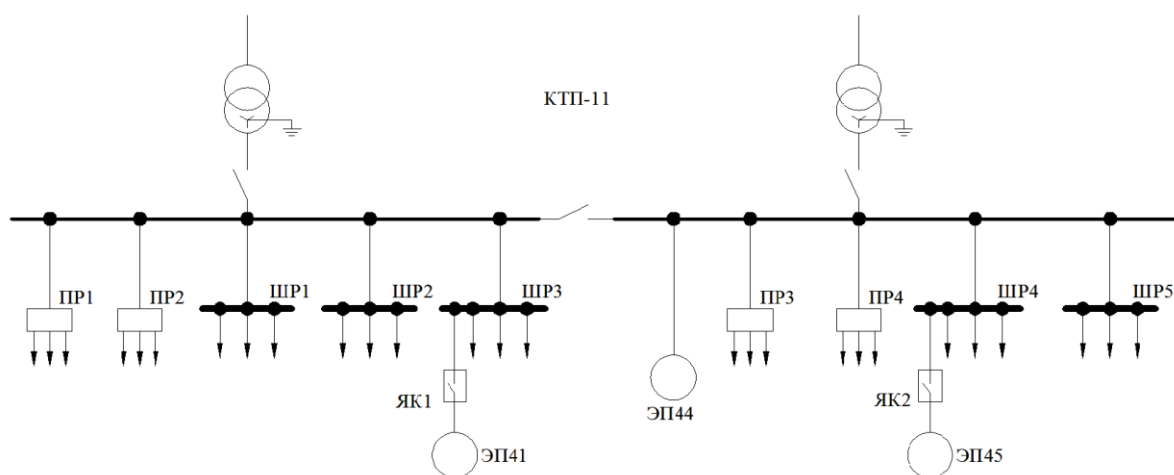


Рисунок 3 - Электрическая схема внутрицехового электроснабжения от 2х трансформаторной подстанции

Выбор кабельных линий для групповых сетей, соединяющих трансформаторную подстанцию и распределительные пункты или распределительные шинопроводы производим по условию согласования с выбранными ранее аппаратами защиты, а также с учётом длительно допустимых токов для выбираемых кабелей, с учётом их количества при

прокладке, условий среды в которой производится укладка кабеля и внешней температуры при эксплуатации.

В таблицу 13 заносим расчётные данные по токам, а также допустимые значения тока, марку и сечение выбранного кабеля. Все кабели прокладываются либо в кабельных лотках по стенам (КЛпС), либо внутри кабельного канала (КК).

Таблица 13 – Расчётные данные по токам, а также допустимые значения тока, марка и сечение выбранного кабеля

Начало и конец линии	$I_p, A$	$I_{расч}, A$	$K_3$	Количество проводов и сечение кабеля ВВГнг (если не указано иное)	$I_{дон}, A$	Выбранный способ прокладки КЛ
РУ 0,4 – РП №1	21,039	25	1	5×4	27	КЛпС
РУ 0,4 – РП №2	34,217	63	1	5×16	60	КЛпС
РУ 0,4 – РП №3	75,841	80	1	3×35+2×25	90	КЛпС
РУ 0,4 – РП №4	252,272	400	1	2×(3×120+2×70)	2×200	КК
РУ 0,4 – ШР №1	130,893	160	1	3×70+2×35	140	КЛпС
РУ 0,4 – ШР №2	80,929	125	1	3×50+2×25	110	КЛпС
РУ 0,4 – ШР №3	97,860	125	1	3×50+2×25	110	КЛпС
РУ 0,4 – ШР №4	121,086	160	1	3×70+2×35	140	КЛпС
РУ 0,4 – ШР №5	116,171	125	1	3×70+2×35	140	КЛпС
РУ 0,4 – ЭП №44	565,51	630	1	2×СБ (3×150+2×95)	300	КК
РУ 0,4 – ЭП №72	208,70	250	1	3×150+2×95	235	КК
РУ 0,4 – ЭП №73	208,70	250	1	3×150+2×95	235	КК
РУ 0,4 – ЭП №74	208,70	250	1	3×150+2×95	235	КК

Для линий, соединяющих распределительное устройство подстанции и распределительные пункты номер два, номер четыре и распределительный шинопровод номер 2 выбираем большее значение токов расцепителя нежели необходимое по расчётному току с целью обеспечения селективности

срабатывания защит. Увеличение сечения кабеля при этом не производится. Для проверки необходимо произвести расчёт однофазного тока короткого замыкания и определить кратность его превышения по отношению к току расцепителя, расчёт производим по методике, изложенной в [16].

Внутреннее сопротивление выбранного на подстанции силового трансформатора принимаем по данным завода-изготовителя равным:  $Z_m / 3 = 0,273 \text{ Ом}$ .

Протяжённость кабеля от распределительного устройства 0,4 кВ подстанции до второго распределительного пункта составляет 260 м, при этом активное погонное сопротивление фазной жилы кабеля равно 2,3 Ом/км, поскольку нулевая жила имеет такое же сечение, то её погонное сопротивление также составляет 2,3 Ом/км.

Определяем сопротивление фазные жилы и нулевого проводника к с учётом принятой в расчётах длины кабеля:  $r_\phi = 2,3 \cdot 0,26 = 0,6 \text{ Ом}$ ,  $r_n = 2,3 \cdot 0,26 = 0,6 \text{ Ом}$ .

Значение переходного сопротивления контактов автоматических выключателей принимаем равным  $r_n = 0,02 \text{ Ом}$ .

В расчётах индуктивное сопротивление кабельной линии не учитывается.

### **3.4 Выбор количества и номинальной мощности силовых трансформаторов для установки на комплектной трансформаторной подстанции цеха**

На промышленных предприятиях широкое распространение получили цеховые трансформаторные подстанции с одним или двумя силовыми трансформаторами, количество устанавливаемых трансформаторов как правило определяется в зависимости от категории надежности питаемых от подстанции электроприемников, так при наличии электроприемников второй

и первой категории по надежности электроснабжения, на подстанции устанавливается два силовых трансформатора, для питания электроприемников третьей категории используются одно трансформаторные подстанции.

При выборе мощности силовых трансформаторов учитывается суммарная нагрузка по цеху от силовых электроприемников и системы освещения, для трансформаторов принимается нормативный коэффициент загрузки в соответствии с питаемой от ТП категории по надежности электроприемников, прорабатываются вопросы компенсации реактивной мощности, что также может привести к снижению номинальной мощности выбираемого силового трансформатора.

Как правило, по дельной плотности нагрузки на подстанциях выбирают мощность силовых трансформаторов от 630 кВА до 2500 кВА на крупных предприятиях с высокой удельной плотностью нагрузки, при этом на подстанциях стараются использовать как можно меньшее количество разнотипных трансформаторов для уменьшения общего складского резерва трансформаторов и повышения их возможной взаимозаменяемости.

Трансформаторные подстанции в настоящее время, как правило, комплектуются комплектным оборудованием, все шкафы изготавливаются на заводе и собираются на предприятии из крупных блоков [17].

В зависимости от количества установленных на подстанции трансформаторов и питаемой категории по надежности электроснабжения у электроприемников выбирают следующие коэффициенты загрузки СТ:

- 0,65 - 0,7 – при двух установленных на подстанции трансформаторах и преобладающей доле первой категории по надежности электроснабжения;

- 0,7 - 0,8 – при двух трансформаторной подстанции и преобладании в нагрузке второй категории (в аварийном режиме предполагается отключение потребителей 3 категории), данные коэффициенты загрузки могут применяться для одно трансформаторной подстанции при условии наличия резервных перемычек по стороне низкого напряжения с соседними ТП;

- 0,9...0,95 – при установке на подстанции одного трансформатора, при этом на предприятии должен быть складской резерв трансформаторов с таким расчётом, что бы перерыв в электроснабжении не превышал одних суток.

Внутри цеха преобладают потребители 2 категории, поэтому выбираем 2 трансформаторную подстанцию, с учётом предполагаемой в будущем компенсации реактивной мощности выбор номинальной мощности силовых трансформаторов для ТП производим по суммарному значению активной мощности электроприемников, расположенных внутри цеха:

$$S_{mp} = \frac{P_{p\Sigma}}{1,4}, \quad (9)$$

$$S_{mp} = \frac{1208}{1,4} = 862,9 \text{ кВА}$$

По полученному расчётному значению выбираем силовые трансформаторы мощностью 1000 кВА, для них определяем действительный коэффициент загрузки в нормальном режиме при функционировании обоих трансформаторов [18]:

$$\beta_{тр.норм} = \frac{P_{p\Sigma}}{2 \cdot S_{mp}}, \quad (10)$$

$$\beta_{тр.норм} = \frac{1208}{2 \cdot 1000} = 0,604 ;$$

Находим коэффициент загрузки в послеаварийном режиме, при отключении одного из трансформаторов и протекании всей мощности потребителей через 1 оставшийся в работе трансформатор:

$$\beta_{тр.авар} = \frac{P_{p\Sigma}}{S_{mp}}, \quad (11)$$

$$\beta_{тр.авар} = \frac{1208}{1000} = 1,208.$$

По результатам выполненной проверки коэффициент загрузки силового трансформатора в нормальном режиме и коэффициент перегрузки в послеаварийном режиме находится в допустимых пределах.

В дальнейших расчётах при определении требуемой мощности устройств компенсации принимаем коэффициент загрузки силовых трансформаторов в нормальном режиме равным 0,7.

«Наибольшее значение реактивной мощности, которое может быть передано через масляный трансформатор в сеть до 1кВ при принятом коэффициенте загрузки трансформаторов определяется по следующему выражению» [15]:

$$Q_m = \sqrt{(1,1 \cdot S_m \cdot \beta_m \cdot N_{m.min})^2 - P_{P.H.}^2}, \quad (12)$$

где «1,1 – коэффициент, учитывающий систематическую допустимую перегрузку трансформаторов в течении 1 смены;

$\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформаторов;

$S_T$  – принятая номинальная мощность одного трансформатора, кВА;

$N_{T.min}$  – минимальное число цеховых трансформаторов» [15].

$$Q_m = \sqrt{(1,1 \cdot 1000 \cdot 0,7 \cdot 2)^2 - 1208^2} = 955,2 \text{ квар}.$$

Определяем суммарное значение реактивной мощности, выдаваемой устройствами компенсации реактивной мощности на стороне низкого напряжения [20]:

$$Q_{HK} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (13)$$

где « $Q_{P\Sigma}$  – расчетная реактивная нагрузка до 1кВ цеха» [20].

$$Q_{HK} = 399 - 955,2 = -556,2 \text{ квар}$$

Отрицательное расчётное значение показывает отсутствие необходимости компенсации реактивной мощности на стороне низкого напряжения силовых трансформаторов и наличия достаточного запаса для передачи всего объёма мощности через силовые трансформаторы.

Выводы по разделу.

Для основного технологического оборудования, расположенного внутри сборочного цеха номер 2 выбраны применяемые типы электродвигателей, определены их номинальные мощности, КПД, коэффициенты мощности и кратности пусковых токов.

Выполнены расчёты номинальных мощностей, номинальных токов и пускового тока для двигателей технологических агрегатов, выбраны параметры пускателей, расчетные значения 25-процентного превышения пускового тока, а также номинальные значения токов и токов расцепителей для выбранных автоматических выключателей.

Выполнен расчёт нагрузок по узлам питания, распределительным пунктам и распределительным шинопроводам. Определены итоговые данные по расчетам нагрузок для всех групп электроприемников.

Определены основные принципы построения внутрицеховой схемы электроснабжения, принята смешанная схема электроснабжения с использованием распределительных пунктов и распределительного шинопровода, выполнен расчёт сечения кабельных линий и способов их прокладки к отдельным электроприемникам и узлам питания.

Произведены расчёты по определению номинальной мощности СТ, установленных на комплектной трансформаторной подстанции исходя из суммарной мощности нагрузки и требований по надежности электроснабжения электроприемников, выбраны 2 силовых трансформатора мощностью по 1000 кВА каждый. Расчётным путём подтверждено отсутствие необходимости установки устройств компенсации реактивной мощности.



## 4 Реконструкция системы освещения производства автомобильных шин

### 4.1 Определение необходимого светового потока от одного светильника

В таблицу 14 заносим исходные данные, необходимые для дальнейших расчётов, требуемое значение минимальной горизонтальной освещённости на рабочей поверхности, коэффициенты запаса, величина которых основывается на исходных данных о чистоте помещений и периодичности обслуживания системы внутреннего искусственного освещения.

Таблица 14 - Исходные данные, необходимые для дальнейших расчётов, требуемое значение минимальной горизонтальной освещённости на рабочей поверхности, коэффициенты запаса

Помещение	$E$ , лк	$K_z$
Цех по сборке автомобильных шин	200	1,5
Буфет	200	1,5
КМ	200	1,5
ТПС	75	1,5
КМП	200	1,5
ЦКР	75	1,5
ГСМ	75	1,5

В помещениях проектируемого сборочного цеха принимаем следующие типы светильников:

- OWP OPTIMA LED в туалетах и помещении ТП;
- ARCTIC SAN/SMC в основных производственных помещениях.

В таблицу 15 заносим информацию о геометрических размерах каждого из помещений, выбранном количестве светильников, высоте их установки от уровня пола, а также расстояния как между рядами светильников, так и

отдельными светильниками в одном ряду, а также расстояние от стен помещения до ближайших светильников.

Таблица 15 - Информация о геометрических размерах каждого из помещений, выбранном количестве светильников, параметрах их установки

Помещение	АхВ, м	$H_p, м$	Расстояние между ОУ		Расстояние от стен до ближайших ОУ		N, шт
			$L_a, м$	$L_b, м$	$l_a, м$	$l_b, м$	
Цех по сборке автомобильных шин	203x100+ 88x172	6,2	4	1,75	0,75	2	650
Буфет	48x7	3,2	4	2,25	0,75	2	20
КМ	7x6	3,2	4	2,25	0,75	2	4
ТПС	20x7	3,2	4	2,25	0,75	2	14
КМП	13x10	3,2	4	1,5	1,5	2	6
ЦКР	24x12	3,2	4	2,25	0,75	2	20
ГСМ	10x6	3,2	4	2,25	0,75	2	10

Расчёты выполняем на примере цеха по сборке автомобильных шин с шириной помещения 6 м, длиной 12 м, а высотой подвеса светильников 3,2 м от уровня пола, нормируемая минимальная освещённость составляет 200 лк, а коэффициент запаса для чистого помещения с трёхгодовым циклом обслуживания светильников принимается равным 1,5;

Коэффициенты отражения потолка стен и пола принимаются равными 50, 30 и 10% соответственно.

Находим значение индекса для производственного помещения [19]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (14)$$

$$i = \frac{6 \cdot 12}{3,2 \cdot (6 + 12)} = 1,25.$$

Для установки в данном помещении выбран светильник ARCTIC SAN/SMC [8], По справочным данным представленным производителем

светильника определяем значение коэффициента использования светового потока равное 57%.

Определяем обходимое значение светового потока для одного светильника [22]:

$$\Phi_{mp} = \frac{E_{\min} \cdot K_3 \cdot S \cdot \mu}{n \cdot U}, \quad (15)$$
$$\Phi_{mp} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 35436 \cdot 1,1}{650 \cdot 0,57} = 4632 \text{ лм}.$$

Принимаем ближайший большая стандартное значение светового потока к для выбранного типа светильника:  $\Phi_{л} = 4900 \text{ лм}$ .

«Тогда отношение требуемого светового потока к световому потоку лампы равно» [21]:

$$\frac{\Phi_{mp}}{\Phi_{л}} = \frac{4632}{4900} = 0,945.$$

Находим удельную мощность системы искусственного электрического освещения путём деления суммарной активной мощности, потребляемой светильниками на площадь помещения [21]:

$$P_{уд} = \frac{N \cdot P_{л}}{S}, \quad (16)$$
$$P_{уд} = \frac{650 \cdot 80}{35436} = 1,5 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

Находим отклонение фактического значения светового потока от расчётного значения [21]:

$$\Delta = \frac{\Phi_{л} - \Phi_{mp}}{\Phi_{mp}} \cdot 100, \quad (17)$$

$$\Delta = \frac{4900 - 4632}{4632} \cdot 100 = 5,795 \% ;$$

Данное значение отклонение находится в допустимых пределах  $-10\% < \Delta = 5,795\% < +20\%$ .

«При расчёте на плане помещения с расположением светильников намечают одну (две) характерные точки с предполагаемой минимальной освещённостью. Для этой характерной точки определяют расстояние ( $d_i$ ).

Затем по таблице условных освещённостей определяют изолюксы:  $E_i = K(d_i, H_p)$ .

А затем по выражению:

$$\Phi_p = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot K_3}{\mu \cdot \sum E_i}, \quad (18)$$

определяют световой поток источника света, принимая  $\mu = 1,1 \dots 1,2$ » [21].

Светильники подключаются к сети переменного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением 220 вольт, корпуса светильников заземляются.

## 4.2 Определение параметров схемы электроснабжения системы искусственного освещения

«Расчет сечения осветительной сети выполняем по минимуму проводникового материала. При расчете разветвленной осветительной сети на минимум проводникового материала сечение каждого участка определяется:

$$S = \frac{\sum M + \sum \alpha m}{c \cdot \Delta U_{д}}, \quad (19)$$

где  $\sum M$  - сумма моментов рассчитываемого и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов линии, что и на рассчитываемом участке, кВт·м;  
 $S$  - сечение рассчитываемого участка, мм<sup>2</sup>;  
 $\sum \alpha m$  - сумма приведенных моментов участков с другим числом проводов, кВт·м;  
 $\alpha$  - коэффициент приведения моментов, определяемых по» [8];  
 $c$  – «коэффициент, зависящий от системы сети, напряжения сети и материала проводов  $c=44$ » [8];  
 $\Delta U_{д}$  – «величина предполагаемой потери напряжения, в процентах номинального напряжения» [24].

$$M = P \cdot L, \quad (20)$$

где  $P$  - величина расчётной нагрузки, приходящейся на данный участок сети, кВт;  
 $L$  - протяжённость участка сети, м.

«Допустимое значение потерь напряжения в осветительной сети ( $\Delta U_{доп}$ ) рассчитывается по формуле :

$$\Delta U_{доп} = U_{max} - U_{min} - \Delta U_{тр}, \quad (21)$$

где:  $U_{max}$  - максимально допустимое напряжение у наиболее удаленных ламп, % (105%);  
 $U_{min}$  – минимально допустимое напряжение у наиболее удаленных ламп, % (95%);  
 $\Delta U_{тр}$  - потери напряжения в трансформаторе, %» [24].

«Потери напряжения в трансформаторе определяются по формуле» [23]:

$$\Delta U_{TP} = K_3 \cdot (u_a \cdot \cos \varphi + u_p \cdot \sin \varphi), \quad (22)$$

где « $K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;

$u_a, u_p$  - активная и реактивная составляющие напряжения к.з. ук;

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности нагрузки трансформатора» [23].

$$u_a = \frac{\Delta P_K \cdot 100}{S_T}, \quad (23)$$

$$u_p = \sqrt{u_k^2 - u_a^2}, \quad (24)$$

где « $\Delta P_K$  - потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

$S_T$  - номинальная мощность трансформатора, кВА» [23].

Определим величину потерь напряжения в силовом трансформаторе подстанции:

$$\Delta U_{TP} = 0,63 \cdot (1,1 \cdot 0,93 + 5,39 \cdot 0,37) = 1,9 \%,$$

где « $K_3 = 0,63$  - существующая загрузка трансформаторов на ТП-4;

$\cos \varphi$  - существующий косинус по предприятию» [23];

$$u_a = \frac{11 \cdot 100}{1000} = 1,1 \%;$$

$$u_p = \sqrt{5,5^2 - 1,1^2} = 5,39 \% .$$

«Допустимая потеря напряжения в осветительной сети до наиболее удаленного светильника равна не более» [23]:

$$\Delta U_{доп} = 105 - 95 - 1,9 = 8,1 \%;$$

Находим значения моментов для участков сети М1-16, М17-32, М33-44:

$$P_{P1} = N \cdot P_1 \cdot K_{ППА}; \quad (25)$$

$$P_{P1} = 17 \cdot 80 \cdot 1,3 = 0,94 \text{ кВт};$$

$$L_{P1} = 133 \text{ м};$$

$$M_1 = 0,94 \cdot 133 = 28,1 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$P_{P2} = N \cdot P_2 \cdot K_{ППА}; \quad (26)$$

$$P_{P2} = 18 \cdot 80 \cdot 1,3 = 0,94 \text{ кВт};$$

$$L_{P2} = 141 \text{ м};$$

$$M_2 = 0,94 \cdot 141 = 22,5 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$P_{P3} = N \cdot P_3 \cdot K_{ППА}; \quad (27)$$

$$P_{P3} = 10 \cdot 80 \cdot 1,3 = 2,18 \text{ кВт};$$

$$L_{P3} = 77 \text{ м};$$

$$M_3 = 2,18 \cdot 77 = 26,2 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

Для щита освещения №1 определяем значение приведённого момента  $M_{ПП1}$  по следующему выражению:

$$M_{ПП1} = M_L + \alpha_I \cdot \sum_I^N M_I, \quad (28)$$

где:  $\alpha_I = 1$  - значение коэффициента для четырёхпроводной сети.

$$M_{ПП1} = 7,8 \cdot 150 + 1 \cdot (28,1 + 22,5 + 26,2 + 22,4 + 44,88) = 1314,08 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Находим сечение кабельной линии от трансформаторной подстанции до группового щита освещения №1:

$$S_{ПП1} = \frac{M_{ПП1}}{C \cdot \Delta U_{доп}}, \quad (29)$$

$$S_{\text{ПП1}} = \frac{1314,08}{44 \cdot 8,1} = 3,7 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение кабеля равным 10 мм<sup>2</sup>.

Определяем величину потерь напряжения в кабельной линии с принятым стандартным сечением:

$$\Delta U_{\text{ПП1}} = \frac{M_{\text{ПП1}}}{C \cdot S_{\text{СТАНД}}}, \quad (30)$$

$$\Delta U_{\text{ПП1}} = \frac{1314,08}{44 \cdot 10} = 2,98 \%,$$

При этом допустимые потери напряжения в самом групповом щите освещения составят:

$$\Delta U_{\text{ГЩ1}} = \Delta U_{\text{ДОП}} - \Delta U_{\text{ПП1}}; \quad (31)$$

$$\Delta U_{\text{ГЩ1}} = 8,1 - 2,98 = 5,12 \%.$$

Находим расчётные сечения проводов для каждой из групповых линий освещения.

$$S_1 = \frac{28,1}{44 \cdot 5,12} = 0,13 \text{ мм}^2;$$

$$S_2 = \frac{22,5}{44 \cdot 5,12} = 0,1 \text{ мм}^2;$$

$$S_3 = \frac{26,2}{44 \cdot 5,12} = 0,12 \text{ мм}^2;$$

$$S_4 = \frac{22,4}{44 \cdot 5,12} = 0,1 \text{ мм}^2;$$



По расчётным значениям выбираем стандартный провод сечением  $2,5 \text{ мм}^2$ .

$$\Delta U_{L1} = \frac{28,1}{44 \cdot 2,5} = 0,26 \% ;$$

$$\Delta U_{L2} = \frac{22,5}{44 \cdot 2,5} = 0,2 \% ;$$

$$\Delta U_{L3} = \frac{26,2}{44 \cdot 2,5} = 0,24 \% ;$$

$$\Delta U_{L4} = \frac{22,4}{44 \cdot 2,5} = 0,2 \% .$$

Определяем величину потерь напряжения до самого удалённого светильника, при этом расчётное значение потерь не должно превышать 10%:

$$\Delta U_{КОН} = \Delta U_{TP} + \Delta U_L + \Delta U_{L1}, \quad (32)$$

$$\Delta U_{КОН} = 1,9 + 2,98 + 0,41 = 5,29\% < 10\% ,$$

Расчётные потери напряжения оказались практически в два раза меньше предельно допустимых.

Находим значение тока в каждой из групповых линий:

$$I_{L1} = I_{L2} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot \cos \varphi} ; \quad (33)$$

$$I_{L1} = I_{L2} = \frac{0,94}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 1,5 \text{ A};$$

$$I_{L3} = \frac{P_3}{\sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot \cos \varphi} ; \quad (34)$$

$$I_{L3} = \frac{2,18}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 3,5 \text{ A};$$

$$I_{L4} = I_{L5} = \frac{P_4}{\sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot \cos \varphi}; \quad (35)$$

$$I_{L4} = I_{L5} = \frac{1,87}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 3 \text{ A};$$

$$I_L = \frac{P_{ГЩ1}}{\sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot \cos \varphi}; \quad (36)$$

$$I_L = \frac{7,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 12,5 \text{ A}.$$

Выбираем автоматические выключатели для установки в групповом щите освещения:

$$I_{РАСЧ} \geq I_{L1} \cdot K_3 = I_{L2} \cdot K_3; \quad (37)$$

$$I_{РАСЧ} \geq 1,5 \cdot 1,4 = 2,1 \text{ A};$$

где  $K_3 = 1,4$ , выбираем автомат с  $I_{НОМ} = 2,5 \text{ A}$ .

Проверяем выбранное сечение провода на допустимую перегрузку:

$$I_{ДОП\_ПРОВ} \geq K_{П} \cdot I_{НОМ\_РАСЧ}, \quad (38)$$

$$I_{ДОП\_ПРОВ} \geq 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ A},$$

где  $K_{П} = 1,25$  - коэффициент перегрузки;

$I_{ДОП\_ПРОВ} = 19 \text{ A}$  – длительно допустимый ток проводника.

Поскольку длительно допустимый ток для данного проводника равен 19 А, то условие проверки считается выполненным.

Выполним выбор автоматического выключателя для защиты от сверхтоков в линии между магистральным и групповым щитом освещения:

$$I_{РАСЧ} \geq I_L \cdot K_3, \quad (39)$$

$$I_{РАСЧ} \geq 12,5 \cdot 1,4 = 17,5 \text{ А.}$$

По расчётному значению выбираем автоматический выключатель с  $I_{НОМ} = 20 \text{ А}$ .

Проверяем выбранный проводник на нагрев максимально допустимым перегрузочным током:

$$I_{ДОП\_ПРОВ} \geq 1,25 \cdot 20 = 25 \text{ А,}$$

где  $I_{ДОП\_ПРОВ} = 42 \text{ А}$  – длительно допустимый ток проводника.

Поскольку длительно допустимый ток для данного проводника равен 42 А, то условие проверки считается выполненным.

Для остальных групповых линий расчёты производим аналогично.

Выводы по разделу.

Выполнен расчёт системы внутреннего искусственного освещения сборочного цеха производства автомобильных шин. Определены исходные геометрические параметры помещений, требования по нормируемой освещённости, коэффициенты запаса на основании периодичности циклов обслуживания светильников, выбраны типы светильников для установки в различных помещениях. Определено необходимое количество светильников для установки в каждом помещении, рассчитан световой поток одного светильника и выбрана его мощность. Произведён расчёт сечения проводников для групповых и магистральных сетей освещения, выполнены расчёты потерь напряжения в этих проводниках и выбраны аппараты защиты от сверхтоков.

## Заключение

Одной из основных целей в данной выпускной квалификационной работе являлась разработка системы электроснабжения предприятия, которая бы позволила обеспечить надёжное электроснабжение технологического процесса производства шин при минимальном уровне потерь электрической энергии в элементах сети, создание безопасных условий труда для персонала предприятия.

Дана краткая характеристика производства и выпускаемой им продукции, показаны связи между технологическими процессами, установлено что основные электроприёмники промышленного цеха относятся ко второй категории по надёжности электроснабжения. В настоящее время идет интенсивная замена устаревшего электрооборудования на новые высокоавтоматизированные поточные линии.

В работе приведена краткая характеристика организации как системы внешнего электроснабжения промышленного предприятия, так и системы внутреннего электроснабжения сборочного цеха номер два.

Для основного технологического оборудования, расположенного внутри сборочного цеха номер 2 выбраны применяемые типы электродвигателей, определены их номинальные мощности, КПД, коэффициенты мощности и кратности пусковых токов.

Выполнены расчёты номинальных мощностей, номинальных токов и пускового тока для двигателей технологических агрегатов, выбраны параметры пускателей, расчетные значения 25-процентного превышения пускового тока, а также номинальные значения токов и токов расцепителей для выбранных автоматических выключателей.

Выполнен расчёт нагрузок по узлам питания, распределительным пунктам и распределительным шинопроводам. Определены итоговые данные по расчетам нагрузок для всех групп электроприемников.

Определены основные принципы построения внутрицеховой схемы

электроснабжения, принята смешанная схема электроснабжения с использованием распределительных пунктов и распределительного шинопровода, выполнен расчёт сечения кабельных линий и способов их прокладки к отдельным электроприемникам и узлам питания.

Произведены расчёты по определению номинальной мощности СТ, установленных на комплектной трансформаторной подстанции исходя из суммарной мощности нагрузки и требований по надёжности электроснабжения электроприемников, выбраны 2 силовых трансформатора мощностью по 1000 кВА каждый. Расчётным путём подтверждено отсутствие необходимости установки устройств компенсации реактивной мощности.

Выполнен расчёт системы внутреннего искусственного освещения сборочного цеха производства автомобильных шин. Определены исходные геометрические параметры помещений, требования по нормируемой освещённости, коэффициенты запаса на основании периодичности циклов обслуживания светильников, выбраны типы светильников для установки в различных помещениях. Определено необходимое количество светильников для установки в каждом помещении, рассчитан световой поток одного светильника и выбрана его мощность. Произведён расчёт сечения проводников для групповых и магистральных сетей освещения, выполнены расчёты потерь напряжения в этих проводниках и выбраны аппараты защиты от сверхтоков.

## Список используемых источников

1. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения: электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с.
2. Гвоздев С.М. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 288 с.
3. Грунин В.К. Выпускная квалификационная работа бакалавра по проектированию систем электроснабжения промышленных объектов: учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016. 156 с.
4. Кабели и провода на напряжение до 1 кВ: каталог [Электронный ресурс]. URL:[http://www.simross.ru/files/35857/1KV\\_pr.pdf/](http://www.simross.ru/files/35857/1KV_pr.pdf/) (дата обращения: 05.12.2021).
5. Кашина С.Г. Электробезопасность. Защитные заземляющие устройства электроустановок: учебное пособие к практическим занятиям студентов. Казань: Изд-во КГАСУ, 2016. 137 с.
6. Конюхова Е.А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры): учебное пособие. Москва: РУСАЙНС, 2017. 160 с.
7. Котова Е.Н. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. унта, 2014. 216 с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие. М.: МЭИ, 2013. 412 с.
9. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018. 462 с.
10. Пункты распределительные серии ПР 11: техническая информация для выбора [Электронный ресурс]. URL:<http://ruscomplect.ru/pr11.htm/> (дата обращения: 05.02.2022).
11. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.

12. Сивков А.А. Основы электроснабжения: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. 180 с.
13. Старжинский В.Н. Проектирование защитного заземления: учебнометодическое пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 22 с.
14. Сумарокова Л.П. Основы расчёта систем внутризаводского электроснабжения: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 119 с.
15. Трансформаторы силовые с масляной и сухой изоляцией: каталог продукции [Электронный ресурс]. URL:<https://electroshield.ru/catalog/transformatory-silovie-raspredelitelnie/tmg-f-seshch-25-2-500-kva-6-10-15-20-35-kv/> (дата обращения: 25.02.2022).
16. Установки конденсаторные типа УКМ: руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL:<http://www.elektro-portal.com/> (дата обращения: 16.12.2021).
17. Фёдоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий: учебник для вузов. М.: Энергия, 2014. 360 с.
18. Шевченко Н.Ю. Электроснабжение: учебное пособие. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. 92с.
19. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: ФОРУМ, 2011. 136 с.
20. Calculation of lighting in the program DIALux evo 8.1: DIALux evo manual [Электронный ресурс]. URL:<https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALuxevo/manyal.pdf/> (дата обращения: 16.01.2022).
21. Conrad St. Pierre A practical guide to short-circuit calculations. England: Electric Power Consultant, 3 rd edition. 2015. 536 p.
22. Design of lightning protection system: guide to the design of lightning protection for industrial enterprises [Электронный ресурс]. URL:<https://www.dehn.cz/sites/default/files/uploads/dehn/pdf/> (дата обращения: 28.03.2022).

23. Panteleev V. Optimization model of power supply system of industrial enterprise. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. pp. 441 – 450.

24. Varetsky Y. Reactive power compensation in a powerful AC drives supply system// 2016 Electric Power Networks (EPNet). Szklarska Poreba. 2016. pp. 1-6.