

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 «Реконструкция системы электроснабжения механосборочного
производства Ликино-Дулевского автобусного завода»

Студент

Н.К.Казаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2020

Аннотация

В выпускной квалификационной работе проведена реконструкция системы электроснабжения механосборочного производства Ликино-Дулёвского автобусного завода, включающая выполнение следующих исследований: характеристика предприятия и анализ схемы электроснабжения предприятия и механосборочного производства, реконструкцию схемы электрической сети механосборочного производства, выбор технологического оборудования механосборочного производства, выбор аппаратуры защиты и управления технологического оборудования механосборочного производства, выбор и проверка сечений проводников технологического оборудования механосборочного производства, расчёт силовых электрических нагрузок механосборочного производства, выбор сечения кабелей питающей силовой сети механосборочного производства, выбор аппаратов защиты питающей силовой сети механосборочного производства, реконструкция электрического освещения механосборочного производства, расчёт экономических показателей системы электроснабжения механосборочного производства, расчёт электрических нагрузок предприятия, выбор числа и мощности трансформаторов ГПП и цеховых ТП, расчёт токов короткого замыкания.

Разработан комплекс мероприятий по технике безопасности и охране труда при выполнении работ. Рассчитано заземление трансформаторной подстанции механосборочного производства.

Работа состоит из 83 страниц, 6 чертежей формата А1.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Краткая характеристика объекта проектирования	7
1.1 Краткая характеристика предприятия и его структурных подразделений	7
1.2 Описание системы электроснабжения предприятия	12
1.3 Характеристика помещений и оборудования участка механосборочного производства	15
2 Реконструкция системы электроснабжения участка механосборочного производства	21
2.1 Реконструкция схемы электрической сети участка механосборочного производства	21
2.2 Выбор технологического оборудования участка механосборочного производства	22
2.3 Выбор аппаратуры защиты и управления технологического оборудования участка механосборочного производства	25
2.4 Выбор и проверка сечений проводников технологического оборудования участка механосборочного производства	30
2.5 Расчёт силовых электрических нагрузок участка механосборочного производства	32
2.6 Выбор сечения кабелей питающей силовой сети участка механосборочного производства	39
2.7 Выбор аппаратов защиты питающей силовой сети участка механосборочного производства	40
2.8 Реконструкция электрического освещения участка механосборочного производства	41

2.9 Расчёт экономических показателей системы электроснабжения участка механосборочного производства.....	50
2.10 Расчёт электрических нагрузок предприятия	55
2.11 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП и цеховых ТП.....	64
2.12 Расчёт токов короткого замыкания	66
3. Мероприятия по технике безопасности и охране труда	73
3.1. Мероприятия по охране труда и технике безопасности при выполнении работ	73
3.2. Расчёт контура заземления ТП участка механосборочного производства ...	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	81
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	82

Введение

Основная задача механосборочного производства – обеспечение своевременного быстрого и качественного процесса сборки необходимого оборудования. В целях решения этой задачи необходимо совершенствовать производственную базу, обеспечивая надежную работу машин и оборудования во всех отраслях народного хозяйства.

Целью работы является реконструкция системы электроснабжения механосборочного производства Ликино-Дулёвского автобусного завода.

Актуальность работы обусловлена необходимостью реконструкции и модернизации электрических сетей и оборудования промышленных предприятий и гражданских сооружений с обеспечением необходимой степени надёжности, экономичности и качества электроэнергии согласно основным положениям [1-4].

Объектом исследования является механосборочное производство Ликино-Дулёвского автобусного завода.

Предметом исследования являются электрическое оборудование и сети системы электроснабжения участка механосборочного производства Ликино-Дулёвского автобусного завода.

Работа состоит из трёх разделов, в которых исследуются и раскрываются основные задачи работы, а именно:

- в первом разделе приводится краткая характеристика структуры и организации предприятия, описание системы электроснабжения предприятия, описание оборудования и системы электроснабжения участка механосборочного производства;

- во втором разделе работы проводятся реконструкция схемы электрической сети участка механосборочного производства; выбор технологического оборудования, аппаратуры защиты и управления, сечений

проводников и расчёт нагрузок питающей и распределительной сети механосборочного производства; выбор силовых трансформаторов ТП; реконструкция электрического освещения механосборочного производства; расчёт электрических нагрузок предприятия, выбор числа и мощности трансформаторов ГПП и цеховых ТП, расчёт токов короткого замыкания;

- в третьем разделе разрабатывается комплекс мероприятий по технике безопасности и охране труда при выполнении работ, а также осуществляется расчёт контура заземления ТП механосборочного производства.

В графической части приведены следующие чертежи:

1. План расположения цехов на территории предприятия.
2. Однолинейная схема электроснабжения предприятия.
3. План расположения силового оборудования участка механосборочного производства.
4. Однолинейная электрическая схема силового оборудования участка механосборочного производства.
5. План расположения осветительного оборудования участка механосборочного производства.
6. Однолинейная электрическая схема освещения участка механосборочного производства.

Все исследования в работе выполняются с использованием рекомендованной литературы и нормативных документов.

1. Краткая характеристика объекта проектирования

1.1 Краткая характеристика предприятия и его структурных подразделений

Ликино – Дулёвский автобусный завод – это промышленное предприятие, специализирующиеся на изготовлении автобусов, троллейбусов, а также запасных частей и комплектующих к ним [5].

Предприятие является непосредственным производителем автобусов среднего, большого и особо большого класса и расположено в Ликино-Дулёво Московской области.

Творческий труд коллектива сотрудников всегда высоко оценивался руководством страны.

За время существования предприятия более четырехсот сотрудников стали обладателями высоких государственных наград.

До 2025 года предприятие планирует увеличить объем производства более чем в два раза, а выработку на одного работника в год с 660 до 1 270 тыс. руб./год.

На техническое перевооружение планируется выделить значительные средства.

Основной целью деятельности предприятия является получение прибыли.

В стратегические планы на ближайшие 3-5 лет, входит выход на новые рынки сбыта и полная автоматизация бизнес-процессов (контроль исполнения документов, составления и выписки документов, учетные и складские операции и многое другое) обеспечивает качественное повышение уровня работы предприятия, омоложение коллектива.

Отбор персонала на предприятии проводится руководителем организации на конкурсной основе.

От того, как будет осуществляться отбор кандидатов на открытые вакансии и какие люди будут отобраны для работы, зависит вся последующая деятельность предприятия.

Перед тем, как нанять подходящего кандидата на должность руководитель определяет, какие задачи будет сотрудник и каковы индивидуальные и социальные характеристики этой работы.

Неправильный выбор может принести к непоправимым последствиям для сотрудника и организации.

При определении того, соответствует ли вид работы работнику, нельзя поддаваться первому впечатлению, оно, как правило, обычно бывает обманчивым.

Структура служебных подразделений представлена линейными и функциональными службами.

Однако такая структура имеет и ряд существенных недостатков, которые заключаются в следующем:

- разногласия, возникающие в процессе выполнения их должностных обязанностей;
- противодействие линейных менеджеров работе функциональных специалистов;
- неправильная интерпретация информации, передаваемой линейным исполнителям функциональными менеджерами.

В рассматриваемой организации Генеральный директор является высшим исполнительным органом управления. Он контролирует работу всех без исключения органов управления института и его структурных подразделений.

Генеральный директор непосредственно руководит разработкой стратегии предприятия, а также непосредственно контролирует работу заместителей генерального директора по направлениям, директора по персоналу и главного бухгалтера.

В таблице 1 рассмотрены показатели финансовой деятельности предприятия за 2017-2019 гг.

Таблица 1 – Динамика показателей финансово-хозяйственной деятельности Ликино – Дулёвский автобусный завод за 2017-2019 гг.

Показатели	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Отклонения по годам, тыс. руб.		Темп роста, %	
	тыс. руб.			2018 г. к 2017 г.	2019 г. к 2018 г.	2018 г. к 2017 г.	2019 г. к 2018 г.
Выручка от реализации	138760	292120	315430	153360	23310	211	108
Себестоимость продаж	51370	109040	170460	57670	6142	212	156
Валовая прибыль	87390	183080	144970	95690	-3811	209	79
Управленческие расходы	101720	150580	108060	48860	-4252	148	72
Прибыль от продаж	14330	32500	36970	46830	447	227	114
Проценты к уплате	7280	6000	5600	-1280	-400	82	93
Прочие доходы	11310	136390	151490	125080	15100	1206	111
Прочие расходы	20800	128810	140120	108010	11310	619	109
Прибыль до налогообложения	31100	34080	42680	65180	8600	209	125
Чистая прибыль предприятия	31100	29860	34650	60990	4790	196	116

Известно, что квалификационный уровень работников во многом зависит от их возраста.

Поэтому необходимо изучить изменения в составе работников по этому признаку.

Технологический процесс предприятия представляет собой единый комплекс цехов и участков [5], в которых непосредственно выполняется основные операции, представленные на рисунке 1.

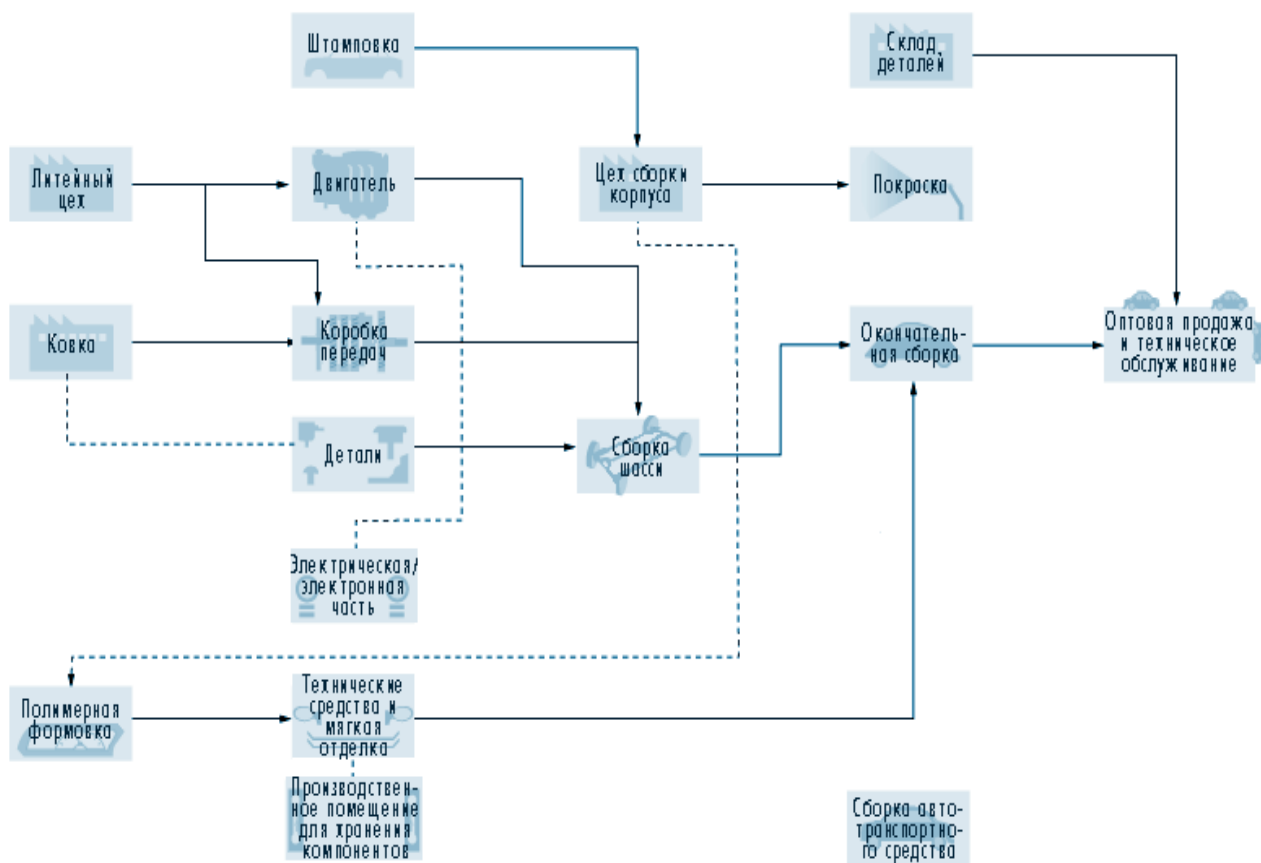


Рисунок 1 – Технологический процесс на Ликино – Дулёвском автобусном заводе

На территории предприятия расположены основные производственные цеха и участки, непосредственно выполняющие важную роль в технологическом процессе [5]:

- литейный цех – применяется для изготовления различных механизмов и узлов автомобилей с помощью литья. Подразделяется на отделы чёрного литья (например, для производства блоков цилиндров двигателя и других деталей и механизмов) и цветного литья (изделия из алюминия: головки

цилиндров, картера коробок передач, блоки цилиндров двигателя и других деталей и механизмов);

– штамповочный цех – необходим для производства сборочных узлов для изготовления панелей кузовов и других подобного рода изделий;

– кузнечно – термический цех – в цеху применяются процессы горячей и холоднойковки с последующей термической обработкой. В данном цеху изготавливаются детали двигателя, трансмиссии и подвесок, а также других деталей и механизмов;

– механический цех – необходим для высококачественной механической обработки узлов и деталей;

– цех кузовов – необходим для технологического процесса окончательной сборки кузовов и агрегатов из готовых и обработанных изделий;

– цех шасси и амортизаторов – необходим для технологического процесса окончательной сборки шасси и амортизаторов из готовых и обработанных изделий;

– участок механосборочного производства – необходим для технологического процесса предварительной механической и термической обработки изделий, а также «доводки» узлов и деталей до нужного состояния с помощью механических и термических операций, производимых на оборудовании, с последующей сборкой узлов и агрегатов.

Указанный участок механосборочного производства является темой работы и детально рассматривается в работе далее.

Кроме того, для окрашивания кузовов, деталей и механизмов есть цех покраски.

На территории предприятия также расположено заводоуправление с техническими службами, обеспечивающих технологический процесс производства. Цех внешней и внутренней отделки предназначен для

декоративной отделки кузова и салона, корпуса, установок подушек сидений, монтаж сидений, приборной доски, внешних и внутренних панелей кузова.

Приёмо – сдаточные испытания готовой продукции проводятся в испытательной лаборатории, в которой есть всё необходимое оборудование для проверки узлов и механизмов.

Структурные подразделения предприятия с указанием суммарной активной нагрузки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Структурные подразделения Ликино – Дулёвского автобусного завода

№ п/п	Наименование цеха (участка)	$\sum P_n$, кВт
1	Литейный цех	2500
2	Штамповочный цех	1550
3	Цех покраски	520
4	Цех внешней и внутренней отделки	480
5	Кузнечно – термический цех	2270
6	Механический цех	850
7	Испытательная лаборатория	460
8	Заводоуправление с техническими службами	360
9	Цех шасси и амортизаторов	520
10	Цех кузовов	780
11	Участок механосборочного производства	380

1.2 Описание системы электроснабжения предприятия

Электроснабжение предприятия осуществляется от главной понизительной подстанции (ГПП), представляющей собой двухтрансформаторную подстанцию ТП – 35/10 кВ, от которой получает питание четыре ТП – 10/0,4 кВ, непосредственно питающие цеха предприятия. На питающей ТП – 35/10 кВ установлено 2 силовых трансформатора ТДН-4000/35. Конструктивно ОРУ-35 кВ выполнена открыто, на ней имеется следующее оборудование (рисунок 1.2): разъединители РДЗ-35/1000, вакуумные выключатели марки ВР35НСМ, трансформаторы тока ТФЗМ-П-35-І, разрядники РВТ 35 кВ и 10 кВ [5]. Распределительное устройство 10 кВ ТП-

35/10 выполнено комплектным с применением ячеек типа КРУ марки КУ-10С. Для защиты отходящих линий в КРУ-10 кВ применяются высоковольтные вакуумные выключатели ВВ/TEL-10/630-12.5/31.5, для питания вторичных цепей коммутации используются трансформаторы тока марки ТПОЛ-Э-12.

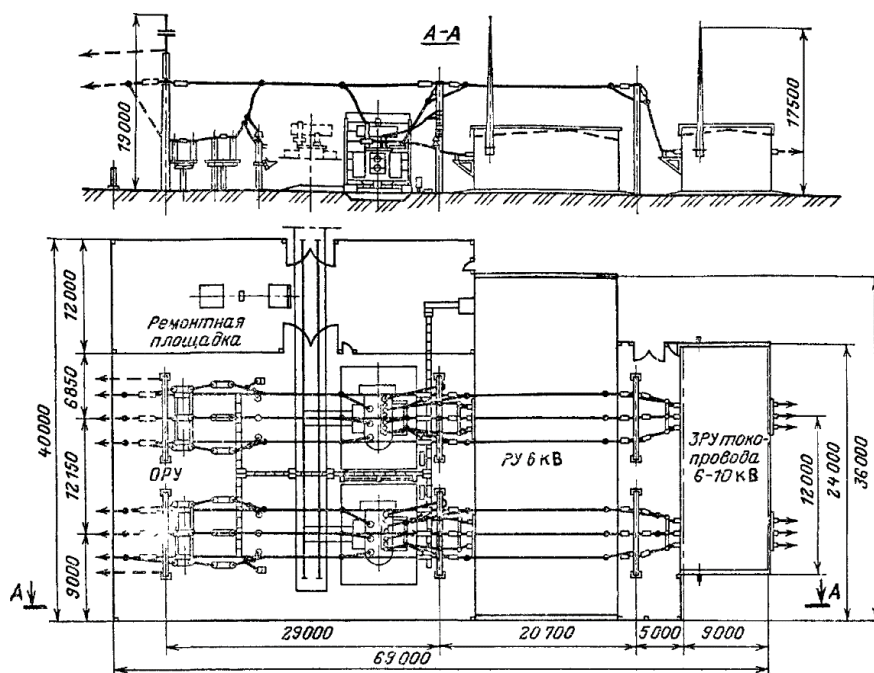


Рисунок 2 – Конструктивное выполнение питающей ТП 35/10 кВ

Питание цехов предприятия осуществляется от трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ, преобразующих электроэнергию напряжением 10 кВ до напряжения 0,38/0,22 кВ для её распределения потребителям предприятия [5]. Всего на территории предприятия расположено четыре двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ, на которых установлены силовые трансформаторы марки ТМ-1600/10.

Конструктивно указанные ТП-6/0,4 кВ выполнены закрытыми (ЗТП) в виде отдельно стоящих одноэтажных ТП с кабельными вводами. Такая подстанция состоит из силовых трансформаторов 10/0,4 кВ, распределительных устройств управления, релейной защиты и автоматики.

Отходящие линии, питающие потребителей цехов от ТП-10/0,4 кВ, выполнены по радиальной схеме кабелем марки АВВГ разных сечений. Эти линии осуществляют питание распределительных щитов РЩ, которые непосредственно питают щиты управления, в свою очередь, питающих электроприёмники предприятия [5].

Для питания и защиты силовой и осветительной нагрузки на вводах радиальных линий установлены распределительные щиты типа РЩ-12 (рисунок 3).

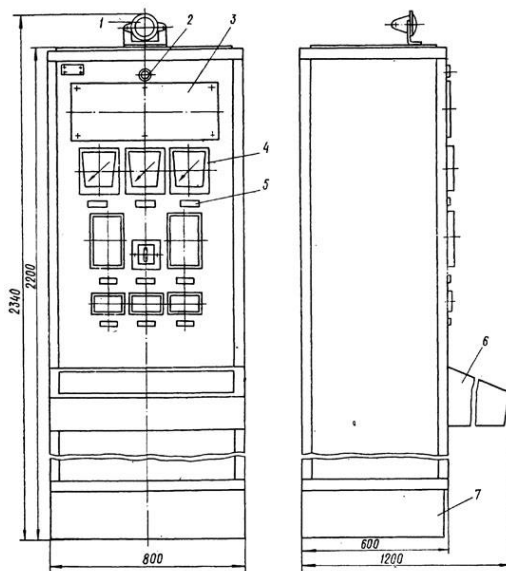


Рисунок 3 – Конструкция силового распределительного щита РЩ-12

В данных щитах имеются автоматические выключатели, обеспечивающие защиту и коммутацию соответствующей линии.

Далее от силового распределительного щита получают питание щиты управления (имеют различную конструкцию и исполнение в зависимости от подключённого к нему оборудования и схемы его питания).

В щитах управления находятся вводной автоматический выключатель, обеспечивающие защиту и коммутацию цепи, магнитные пускатели, необходимые для пуска, остановки и реверсирования электродвигателей.

На наружной панели щитов управления находится кнопочная станция.

От щитов управления отходят кабели непосредственно к электрооборудованию.

Конструкция описанных выше щитов управления представлена на рисунке 4.

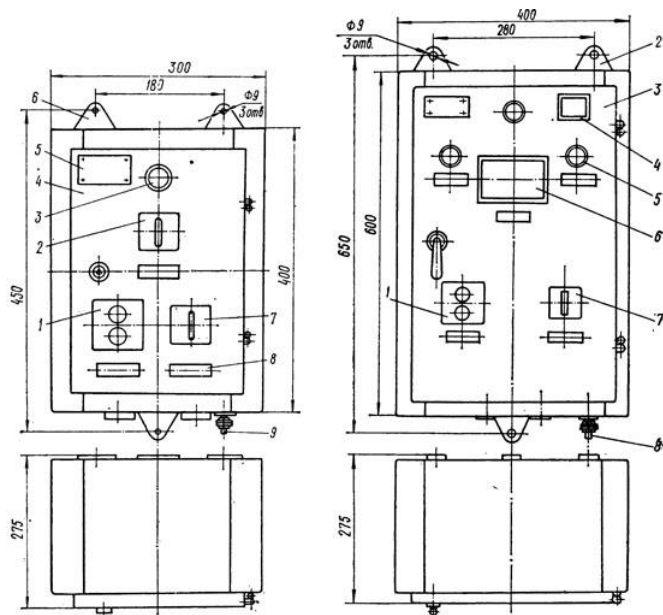


Рисунок 4 – Конструкция щитов управления

План расположения цехов на территории предприятия представлен на графическом листе 1, однолинейная схема электроснабжения предприятия показана на графическом листе 2.

1.3 Характеристика помещений и оборудования участка механосборочного производства

В работе подробно рассматривается участок механосборочного производства.

Данный участок необходим для технологического процесса предварительной механической и термической обработки изделий, а также

«доводки» узлов и деталей до нужного состояния с помощью механических и термических операций, производимых на оборудовании, с последующей сборкой узлов и агрегатов.

Сборка изделий – важнейшая технологическая операция, способная выявить все возможные ошибки и недостатки, допущенные на предыдущих стадиях производства, включая проектирование. Это - одна из финальных стадий производственного цикла.

На данном этапе изготовленные и обработанные детали соединяются между собой тем или иным способом: сваркой, болтовыми соединениями, прессовкой, заклёпочными соединениями и т.д.

В зависимости от способа монтажа деталей и узлов требуется различный инструмент, оборудование и оснастка [5].

Участок механосборочного производства располагает всем необходимым инструментом, устройствами и оборудованием (электрическим, пневматическим, гидравлическим и ручным), необходимыми для осуществления самых разнообразных сборочных, регулировочных и ремонтных операций [5].

Наличие всего необходимого инструмента и оборудования позволяет существенно увеличить оперативность и качество выполняемых работ.

По надёжности электроснабжения рассматриваемый участок механосборочного производства относится ко II категории надёжности, однако получает питание от ТП-2 одной кабельной линией на напряжении 0,38/0,22 кВ, что является недопустимым согласно требований [1].

Известно, что II категория – это потребители, перерыв электроснабжения которых связан с массовым недовыпуском и браком продукции, простоем большого количества рабочих, механизмов, что в значительной степени сказывается на технологическом процессе и результатах производства [1,6].

Для таких потребителей перерыв в электроснабжении нежелателен, но допускается на время, необходимое для включения резервного питания действием дежурного персонала [1,6].

Поэтому для питания участка механосборочного производства должен быть предусмотрен второй источник питания с учётом требований резервирования согласно [1,6].

Участок механосборочного производства представляет собой строение, собранное из металлических конструкций, стены и кровля изготовлены из сборных панелей. Фундамент – заливной с применением цементно-бетонной смеси, полы – цементные.

Высота до подвесного потолка от пола 6 метров, длина 36 метров, ширина 24 метра. Изнутри стены участка механосборочного производства обшиты металлическим профильным листом 0,5 мм (белого цвета), подвесной потолок также в виде металлического профильного листа 0,5мм (белого цвета).

По длине строения располагаются опорные стальные колонны несущей фермы-кровли по длине участка механосборочного производства, начиная от угла через каждые шесть метров.

Из участка механосборочного производства предусмотрены четыре выхода.

Освещение участка механосборочного производства - естественное и искусственное. Площадь окон должна составлять не менее 30% от площади пола.

Искусственное освещение выполняется промышленными светодиодными светильниками с креплением к подвесному потолку, светильники размещаются равномерно по цеху. Также предусмотрено аварийное освещение, щиток аварийного освещения питается от второй секции сборных шин трансформаторной подстанции [1,6]. Управление освещением (щитки рабочего

и аварийного освещения) находятся вблизи центрального входа в участок механосборочного производства [1,6].

Вентиляция участка механосборочного производства - естественная и искусственная.

Участок механосборочного производства должен иметь самостоятельные вентиляционные системы.

Вентиляционные каналы размещаются за подвесным потолком (отдельно приток с электроподогревом воздуха и вытяжка).

Управление вентиляцией размещается вблизи центрального входа.

Установка обогрева участка механосборочного производства располагается в служебном помещении.

Водоснабжение холодной водой – централизованное от источников, находящихся вне участка механосборочного производства. Подогрев воды осуществляется также для санитарно-гигиенических нужд.

На рассматриваемом участке механосборочного производства имеются следующие помещения, выполняющие непосредственную роль в технологическом процессе [5]:

- производственное помещение (отделение) участка механосборочного производства, в котором установлено основное технологическое оборудование: металлорежущие станки (токарно – винторезные, консольно – фрезерные, токарно – карусельный, барабанный шлифовальный), пресс, гильотина, сварочное оборудование. В производственном помещении непосредственно осуществляется основной технологический процесс, заключающийся в организации сварочных, механических и сборочных работ для необходимых процессов сборки узлов и механизмов. Производственное отделение разделено на две секции, первая из которых предназначена для механической и сварочной

обработки, доводки узлов и агрегатов, вторая – для сборки узлов и агрегатов;

- помещения технического обеспечения №1 и №2 – необходимы для обеспечения потребности собственных нужд участка механосборочного производства в технических коммуникациях: водоснабжении, водоотведении, горячей воде, технических приспособлениях для уборки и т.д. В данных помещениях установлено техническое оборудование обеспечения производства (насосы воды, фекальные насосы, вентиляция и др.).

В данных помещениях также хранится резервное ремонтное оборудование, а также необходимые для производства материалы, приспособления и инструменты.

Помещения технического обеспечения непосредственно прилегают к помещению участка механосборочного производства, что связано с потребностями технологического процесса;

- санитарно – технические помещения – служат для обеспечения естественных потребностей персонала участка механосборочного производства, а также для поддержания их физического здоровья и эстетического внешнего вида. В состав санитарно – технических помещений входит туалет, душевая, санитарный узел;

- бытовые помещения – служат для обеспечения удобств обслуживающего и ремонтного персонала участка механосборочного производства.

Как было указано ранее, схема электроснабжения участка механосборочного производства не отвечает требованиям [1], т.к. относится ко II категории надёжности и требует двух независимых источников питания.

В связи с этим в работе проводится реконструкция системы электроснабжения участка механосборочного производства.

Также требуется модернизация кабельных линий и электрических аппаратов участка механосборочного производства.

Электрическая распределительная сеть участка механосборочного производства, которая рассматривается в работе далее, выполнена кабелями с алюминиевыми жилами марки АВВГ.

В последнее время проводка не соответствует новым нагрузкам, а также участились случаи выхода из строя кабелей вследствие несоответствия их сечения нагрузкам, которые значительно увеличились.

Данные линии устарели технически и нуждаются в модернизации.

Кроме того, участились случаи выхода из строя аппаратов защиты – автоматов марки А, установленных в 80-х годах 20 века вследствие их износа и выработки ресурса. Они также нуждаются в модернизации.

Также во многих помещениях используются морально и технично устаревшие лампы накаливания и устаревшие люминисцентные лампы, которые приводят к повышенному энергопотреблению.

Исходя из вышесказанного предлагается:

1. Для питания потребителей участка механосборочного производства (распределительная сеть) заменить устаревшие кабели с алюминиевыми жилами марки АВВГ на инновационные кабели марки ВВГнг с медными жилами.

2. Заменить устаревшие автоматы марки А на современные автоматы марки ВА, обладающие компактностью, надёжностью и улучшенными техническими характеристиками.

3. Заменить устаревшие лампы накаливания марки Б, а также люминисцентные лампы марки ЛБ на светодиодные источники освещения.

Указанные мероприятия осуществляются в работе далее.

2 Реконструкция системы электроснабжения участка механосборочного производства

2.1 Реконструкция схемы электрической сети участка механосборочного производства

Как было сказано ранее, в связи с реконструкцией, на участке механосборочного производства планируется установка нового дорогостоящего оборудования, а также проведение некоторых основных технологических операций, которые не были изначально предусмотрены проектом.

Кроме того, так как участок механосборочного производства относится ко II категории надёжности, для его питания должен быть предусмотрен второй источник питания с учётом требований резервирования согласно [1].

Поэтому электроснабжение участка механосборочного производства осуществляется от шин распределительного устройства низшего напряжения (РУ НН) трансформаторной подстанции ТП-2 напряжением 10/0,4 кВ двумя кабельными линиями, получающими питание от разных трансформаторов указанной ТП-10/0,4 кВ согласно [1].

В схеме ТП-10/0,4 кВ на стороне НН необходимо использовать секционированную систему сборных шин.

При этом резервирование на ТП-10/0,4 кВ осуществляется на стороне НН с помощью секционного автомата.

Силовые распределительные шкафы, в свою очередь, получают питание от шин НН ТП-10/0,4 кВ пятижильным кабелем АВВГ, проложенным в лотках [2]. СРШ прикрепляются к колоннам строительного модуля [2].

В СРШ устанавливаются автоматические трехполюсные выключатели номинальным током до 100А [2,17].

Распределение электроприёмников по СРШ проводится в работе далее после расчёта силовых электрических нагрузок участка механосборочного производства.

Однолинейная схема силового оборудования участка механосборочного производства приведена в графической части работы на листе 3.

2.2 Выбор технологического оборудования участка механосборочного производства

С учётом реконструкции, частично устанавливается новое, современное оборудование на рассматриваемом участке механосборочного производства. Описание типов оборудования приведено в работе ранее.

Проводится выбор и проверка электродвигателя на примере вытяжного вентилятора (номер 1 по плану).

Выбор и проверка мощности двигателя проведена на примере вытяжного вентилятора участка механосборочного производства согласно [7] по выражению

$$P_{дв} = \frac{Q \cdot P}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_a}, кВт \quad (1)$$

где Q - производительность вентиляционной установки, м³/с;

η_n - КПД механической передачи;

η_a - КПД вентиляционной установки;

P - давление воздуха, Па.

По выражению (1):

$$P_{дв} = \frac{1,7 \cdot 1850}{1000 \cdot 0,78 \cdot 0,95} = 4,24 кВт$$

Расчётная мощность двигателя с учётом коэффициента запаса

$$P_{\text{дв}}' = P_{\text{дв}} \cdot K_3, \quad (2)$$

где K_3 – коэффициент запаса.

По выражению (2)

$$P_{\text{дв}}' = 4,24 \cdot 1,2 \approx 5,1 \text{ кВт}.$$

Выбор электродвигателя вентиляционной установки участка механосборочного производства осуществляется по [7].

Результаты выбора электродвигателя вентиляционной установки участка механосборочного производства приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Выбор электродвигателя вентиляционной установки участка механосборочного производства

Типоразмер электродвигателя	$P_{\text{дв}}$, кВт	$S_{\text{дв}}$, %	КПД, о.е.	$\cos \varphi$	$M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$	$M_n / M_{\text{ном}}$	$M_{\text{мин}} / M_{\text{ном}}$	$I_n / I_{\text{ном}}$
4A112M4УЗ	5,5	5	0,875	0,91	2,2	2	1,6	7,5

Синхронная частота вращения электродвигателя вентиляционной установки участка механосборочного производства - 1500 об/мин.

Проверка двигателя по условиям перегрева [7]:

$$M_{\text{ном.дв}} \geq M_c, H \cdot м \quad (3)$$

где M_c - статический момент нагрузки, Нм;

$M_{\text{ном}}$ - номинальный момент, который развивает двигатель, Нм.

$$M_{\text{ном.дв}} = \frac{9,55 P_{\text{ном.дв}}}{n_{\text{ном.дв}}}, H \cdot м \quad (4)$$

где $n_{\text{ном.дв}}$ - номинальная частота вращения электродвигателя, об/мин.

$$n_{ном.дв} = n_1(1 - S_{ном.дв}), об / мин \quad (5)$$

где n_1 - синхронная частота вращения электродвигателя, об / мин.

По выражениям (3-5):

$$n_{ном.дв} = 1500(1 - 0,05) = 1425 об / мин,$$

$$M_{ном.дв.р} = \frac{9,55 \cdot 4,24}{1425} = 28,4 Н \cdot м,$$

$$M_c = 1,1 \cdot 28,4 = 31,4 Н \cdot м,$$

$$M_{ном.дв} = \frac{9,55 \cdot 5,5}{1425} = 36,9 Н \cdot м.$$

Условие (2.3) выполняется

$$36,9 > 31,4, Н \cdot м.$$

Проверка двигателя в условиях пуска и перегрева выполняется.

Электродвигатели остального оборудования участка механосборочного производства выбраны и проверены аналогично.

Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 –Выбор электродвигателей оборудования участка механосборочного производства

№	Наименование оборудования участка	Тип электро-двигателя	Параметры электродвигателя			
			$P_{ном}$, кВт	η , %	$\cos\varphi$	$K_{пуск}$
1	Вентилятор вытяжной	4A100L2Y3	5,5	0,875	0,91	7,5
2	Станок токарно-винторезный Opti TU8020/TU8030	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
3	Консольно-фрезерный станок 6Н11	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
4	Токарно-карусельный станок с фрезерной функцией модели RAL-16M	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
5	Насос подачи воды №1	4A100L2Y3	5,5	0,875	0,91	7,5
6	Насос подачи воды №2	4A100L2Y3	5,5	0,875	0,91	7,5
7	Барабанный шлифовальный станок JET DDS-237	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
8	Фекальный насос	4A112M2Y3	7,5	0,875	0,88	7,5
9	Гильотинные механические ножницы НГМ-6,3	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
10	Сварочный аппарат ВДУ 505	-	10	1	1	2,5
11	Компрессор производственный	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
12	Установка аргонодуговая EVOSPARK EVOTIG 650	-	18	1	1	2,5
13	Насос теплоподачи	4A80B2Y3	2,2	0,830	0,87	6,5
14	Вентилятор дутьевой установки	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
15	Гидравлический пресс П6328Б	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
16	Вентилятор вытяжной	4A90L2Y3	3	0,845	0,88	6,5
17	Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	-	22	1,000	0,35	3
18	Вентилятор производственный	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5

Расположение выбранного электрооборудования участка механосборочного производства показано на графическом листе №1.

2.3 Выбор аппаратуры защиты и управления технологического оборудования участка механосборочного производства

Защита электроприемников участка механосборочного производства от токов перегрузки и токов короткого замыкания в работе выполняется

автоматическими выключателями серии ВА 51, которые монтируются непосредственно в силовых распределительных шкафах (СРШ).

Для управления электродвигателями (процессы пуска, остановки и реверсирования) применяются магнитные пускатели марки ПМЛ.

Расчетное значение тока электродвигателя согласно [8]:

$$I_p = \frac{P_{уст}}{\sqrt{3}U_c \cos\varphi_{ном} \eta_{ном}}, A, \quad (6)$$

где $P_{уст}$ – установленная мощность установки с электродвигателем, кВт;

U_c – номинальное значение напряжения электрической сети, кВ;

$\cos\varphi_{ном}$ – номинальное значение коэффициента мощности электродвигателя;

$\eta_{ном}$ – номинальное значение коэффициента полезного действия электродвигателя.

Пусковой ток электродвигателя равен [8]:

$$I_{пуск} = K_{пуск} \cdot I_p, \quad (7)$$

где $K_{пуск}$ – коэффициент пуска.

Номинальные токи автомата и его расцепителя выбирают согласно [8]:

$$I_{ном.а} \geq I_p, \quad (8)$$

$$I_{ном.р} \geq I_p. \quad (9)$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя автомата согласно [8]:

$$I_{ср.р} \geq K_n \cdot I_{тик}, \quad (10)$$

где K_n – значение нормируемого коэффициента надежности.

Для защиты одиночных электродвигателей согласно [8]:

$$I_p = I_{ном};$$

$$I_n = I_{пуск}.$$

Значение тока срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя определяется так [8]:

$$I_{ср.р.} = K_{т.о.} I_{ном.р.}, \quad (11)$$

где $K_{т.о.}$ – кратность тока отсечки.

Кратность тока отсечки электромагнитного расцепителя автоматического выключателя определяется так [8]:

$$K_{т.о.} \geq \frac{K_n \cdot I_n}{I_{ном.р.}}. \quad (12)$$

Для примера выбирается автомат для защиты и коммутации электроприёмника №1 участка механосборочного производства по плану.

Расчетный ток электроприемника №1 участка механосборочного производства по выражению (6):

$$I_p = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,880 \cdot 0,91} = 10,49 A.$$

Пусковой ток электроприемника №1 участка механосборочного производства по выражению (7):

$$I_{\text{пуск}} = 7,5 \cdot 10,49 = 78,71 \text{ A.}$$

Принимается выключатель марки ВА 51-25 со следующими параметрами [8]: $I_{\text{на}}=25 \text{ A}$; $I_{\text{нр}}=12,5 \text{ A}$; $K_{\text{то}}= 10$.

Проверка по условию (12) выполняется.

$$10 > \frac{1,25 \cdot 78,71}{12,5} = 7,87.$$

Условия выбора выполняются, окончательно принимается автоматический выключатель ВА51-25/12,5 [9].

Выбор магнитных пускателей осуществляется из соотношения [8].

$$I_{\text{нэ}} \geq I_{\text{н}}, \text{ A.} \quad (13)$$

где $I_{\text{нэ}}$ – номинальный ток нагревательного элемента теплового реле.

Для ЭП №1 (вытяжного вентилятора) значение $I_p=10,49 \text{ A}$.

Выбирается пускатель марки ПМЛ 2230 с $I_{\text{ном}} = 25 \text{ A}$.

Условие (2.13) выполняется:

$$25 \text{ A} > 10,49 \text{ A.}$$

Выбор остальных автоматических выключателей и магнитных пускателей участка механосборочного производства осуществлён аналогичен и результаты выбора и проверки приведён в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор защитной аппаратуры технологического оборудования

№	Наименование оборудования	Параметры электроприемника						Параметры автомата				Параметры пускателя	
		$P_{дв},$ кВт	$\eta, \%$	$\cos \varphi$	$K_{п}$	I_p, A	$I_{п}, A$	Марка	$I_{на},$ А	$I_{нр},$ А	$K_{т.о}$	Марка	$I_{ном},$ А
1	Вентилятор вытяжной	5,5	0,875	0,91	7,5	10,49	78,71	ВА 51-25	25	12,5	10	ПМЛ 2230	25
2	Станок токарно-винторезный Opti TU8020/TU8030	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 51-25	25	20	10	ПМЛ 2230	25
3	Консольно-фрезерный станок 6Н11	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 51-25	25	20	10	ПМЛ 2230	25
4	Токарно-карусельный станок с фрезерной функцией модели RAL-16M	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 51-25	25	20	10	ПМЛ 2230	25
5	Насос подачи воды №1	5,5	0,875	0,91	7,5	10,49	78,71	ВА 51-25	25	12,5	10	ПМЛ 2230	25
6	Насос подачи воды №2	5,5	0,875	0,91	7,5	10,49	78,71	ВА 51-25	25	12,5	10	ПМЛ 2230	25
7	Барабанный шлифовальный станок JET DDS-237	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 51-25	25	20	10	ПМЛ 2230	25
8	Фекальный насос	7,5	0,875	0,88	7,5	14,80	110,99	ВА 51-25	25	16	10	ПМЛ 2230	25
9	Гильотинные механические ножницы НГМ-6,3	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 51-25	25	20	10	ПМЛ 2230	25
10	Сварочный аппарат ВДУ 505	8	1	1	-	12,15	-	ВА 51-25	25	12,5	10	-	-
11	Компрессор производственный	11	0,880	0,9	7,5	16,50	123,73	ВА 51-25	25	20	10	ПМЛ 2230	25
12	Установка аргонодуговая EVOSPARK EVOTIG 650 P DC	18	1	1	-	27,35	-	ВА51-31	100	31,5	10	-	-
13	Насос теплоподдачи	2,2	0,830	0,87	6,5	4,63	30,09	ВА 51-25	25	5	10	ПМЛ 2230	25
14	Вентилятор дутьевой установки	11	0,880	0,9	7,5	16,50	123,73	ВА 51-25	25	20	10	ПМЛ 2230	25
15	Гидравлический пресс П6328Б	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 51-25	25	20	10	ПМЛ 2230	25
16	Вентилятор вытяжной	3	0,845	0,88	6,5	6,13	39,84	ВА 51-25	25	6,3	10	ПМЛ 2230	25
17	Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	22	1,000	0,35	-	95,50	-	ВА51-31	100	100	10	-	-
18	Вентилятор производственный	11	0,880	0,91	7	24,66	172,65	ВА 51-25	25	25	10	ПМЛ 2230	25

2.4 Выбор и проверка сечений проводников технологического оборудования участка механосборочного производства

Проводники электрических сетей всех типов выбираются по значению допустимого нагрева длительным расчетным током [9]:

$$I_{доп.} \geq I_{доп.} / K_n; \quad (14)$$

$$I_{доп.} \geq K_3 I_3 / K_n; \quad (15)$$

где I_p – значение расчетного ток электроприемника, А;

K_n – значение поправочного коэффициента, который учитывает условия прокладки;

K_3 – кратность длительно-допустимого тока кабельной линии по отношению к току срабатывания защитного аппарата;

I_3 – номинальное значение тока защитного аппарата, А.

Для подключения электроприемников участка механосборочного производства используются медные кабели ВВГнг, проложенные в трубах [9].

Выбираются для прокладки медные кабели марки ВВГнг (прокладка – в полу в пластмассовой трубе).

По выражениям (14) и (15).

$$I_{доп.} \geq 10,49 / 1 = 10,49 \text{ А};$$

$$I_{доп.} \geq 1 \cdot 12,5 = 12,5 \text{ А}.$$

Выбираются кабель марки ВВГнг 5х1,5 с $I_{доп.} = 19 \text{ А}$ [9,10], прокладка – в бетонном полу в пластмассовой трубе диаметром 32 мм [10].

Для остальных электроприемников участка механосборочного производства выбор сводится в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбор сечения проводников технологического оборудования

№	Наименование оборудования	I_p, A	I_3, A	K_n	K_3	$I_p/K_n, A$	$(I_3 \cdot K_3)/K_n, A$	Параметры проводника		Диаметр трубы
								Марка	$I_{дон}, A$	
1	Вентилятор вытяжной	10,49	12,5	1	1	10,49	12,5	ВВГнг 5х1,5	19	32
2	Станок токарно-винторезный Opti TU8020/TU8030	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг 5х2,5	27	32
3	Консольно-фрезерный станок 6Н11	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг 5х2,5	27	32
4	Токарно-карусельный станок с фрезерной функцией модели RAL-16М	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг 5х2,5	27	32
5	Насос подачи воды №1	10,49	12,5	1	1	10,49	12,5	ВВГнг 5х1,5	19	32
6	Насос подачи воды №2	10,49	12,5	1	1	10,49	12,5	ВВГнг 5х1,5	19	32
7	Барабанный шлифовальный станок JET DDS-237	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг 5х2,5	27	32
8	Фекальный насос	14,80	16	1	1	14,80	16	ВВГнг 5х2,5	27	32
9	Гильотинные механические ножницы НГМ-6,3	18,42	20	1	1	18,42	20	ВВГнг 5х2,5	27	32
10	Сварочный аппарат ВДУ 505	12,15	12,5	1	1	12,15	12,5	ВВГнг 5х1,5	19	32
11	Компрессор производственный	16,50	20	1	1	16,50	20	ВВГнг 5х2,5	27	32
12	Установка аргонодуговая EVOSPARK EVOTIG 650 P DC	27,35	31,5	1	1	27,35	31,5	ВВГнг 5х4	32	32
13	Насос теплоподачи	4,63	5	1	1	4,63	5	ВВГнг 5х1,5	19	32
14	Вентилятор дутьевой установки	18,42	20	1	1	18,42	20	ВВГнг 5х2,5	27	32
15	Гидравлический пресс П6328Б	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг 5х2,5	27	32
16	Вентилятор вытяжной	6,13	6,3	1	1	6,13	6,3	ВВГнг 5х1,5	19	32
17	Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	24,66	25	1	1	24,66	25	ВВГнг 5х2,5	27	32
18	Вентилятор производственный	95,50	100	1	1	95,50	100	ВВГнг 5х16	116	80

2.5 Расчёт силовых электрических нагрузок участка механосборочного производства

Для расчёта силовых нагрузок необходимо прежде всего распределить электроприёмники по СРШ.

Распределение электроприемников участка механосборочного производства по СРШ приведено в таблице 7.

Таблица 7 – Распределение электроприемников участка механосборочного производства по СРШ

№ СРШ	№ ЭП	Наименование электроприемников	$P_{ном}$, кВт	Количество, шт
СРШ 1	2	Станок токарно-винторезный Opti TU8020/TU8030	11	2
	16	Вентилятор вытяжной	3	1
	17	Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	22	3
	18	Вентилятор производственный	11	2
СРШ 2	3	Консольно-фрезерный станок 6Н11	11	1
	10	Сварочный аппарат ВДУ 505	8	2
	11	Компрессор производственный	11	3
	13	Насос теплоподачи	2,2	1
	5	Насос подачи воды №1	5,5	1
СРШ 3	1	Вентилятор вытяжной	5,5	2
	6	Насос подачи воды №2	5,5	4
	8	Фекальный насос	7,5	2
СРШ 4	7	Барабанный шлифовальный станок JET DDS-237	11	2
	15	Гидравлический пресс П6328Б	11	2
	12	Установка аргонодуговая EVOSPARK EVOTIG 650 P DC	18	3
СРШ 5	14	Вентилятор дутьевой установки	11	3
	4	Токарно-карусельный станок с фрезерной функцией модели RAL-16M	11	1
	9	Гильотинные механические ножницы НГМ-6,3	11	2

Расчетные нагрузки от силовых электроприемников для СРШ определяется методом упорядоченных диаграмм [1,2].

Активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену [1,2]:

$$P_{см} = P_{ном} \cdot k_u, кВт. \quad (16)$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot tg\varphi, \text{квар.} \quad (17)$$

Групповой коэффициент использования [1,2]:

$$k_u = \frac{P_{cm}}{P_{ном}}. \quad (18)$$

Эффективное количество электроприемников [1,2].

$$n_э = \frac{(\Sigma P_{ном})^2}{P_{ном}^2}. \quad (19)$$

Далее определяется коэффициент расчетной нагрузки K_p по [2].

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников [1,2].

$$P_p = P_{cm} \cdot k_p, \text{кВт.} \quad (20)$$

Средневзвешенный коэффициент активной нагрузки [1,2]:

$$\cos\varphi_{cp.эвэ} = \frac{\Sigma P_{ном} \cdot \cos\varphi}{\Sigma P_{ном}}. \quad (21)$$

Расчетная реактивная нагрузка [1,2]:

$$Q_p = P_{cm} \cdot tg\varphi_{cp.эвэ} \cdot k_{pp}, \text{квар,} \quad (22)$$

где K_{pp} – значение коэффициента расчетной реактивной нагрузки.

Полная расчётная нагрузка [1,2]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА.} \quad (23)$$

Расчетный ток группы электроприемников [1,2]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А.} \quad (24)$$

Значение пикового тока [1,2]:

$$I_{тик} = I_{н.п.} + (I_{ол.} - k_u \cdot I_n), \text{А.} \quad (25)$$

где $I_{н.п.}$ – максимальный пусковой ток данного электроприемника;

k_u – коэффициент использования максимального электроприемника;

I_n – значение номинального тока данного электроприемника.

В работе рассматривается расчет силовых электрических нагрузок на примере СРШ-1 участка механосборочного производства по выражениям (16–25).

По условиям (16) и (17):

$$P_{см} = 10 \cdot 2 \cdot 0,14 = 2,8 \text{кВт.}$$

$$Q_{см} = 2,8 \cdot 1,73 = 4,85 \text{квар.}$$

По условию (18):

$$k_u = \frac{31,24}{122} = 0,26.$$

По условию (19):

$$n_s = 7,33 \text{шт.}$$

Коэффициент расчетной нагрузки равен $K_p = 1,23$ [2].

По условию (20):

$$P_p = 31,24 \cdot 1,23 = 38,43 \text{кВт.}$$

По условию (21):

$$\cos \varphi_{\text{ср.взв}} = 0,5.$$

Тогда значение $\text{tg} \varphi_{\text{ср.взв}} = 1,75$.

По условию (22):

$$Q_p = 1,1 \cdot 31,24 \cdot 1,75 = 60,31 \text{квар.}$$

По условию (23):

$$S_p = \sqrt{38,43^2 + 60,31^2} = 71,51 \text{кВА.}$$

По условию (24):

$$I_p = \frac{71,51}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 108,65 \text{А.}$$

По условию (25):

$$I_{тик} = 286,5 + (108,65 - 0,2 \cdot 95,5) = 376,05 \text{ A.}$$

Результаты расчета силовых электрических нагрузок для СРШ-1 участка механосборочного производства приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет нагрузок для СРШ-1

№ ЭП	Электроприемник.	$P_{ов.}$	Кол-во, шт.	k_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{см}$	$Q_{см}$
2	Станок токарно-винторезный Opti TU8020/TU8030	11	2	0,14	0,8	0,75	2,80	4,85
16	Вентилятор вытяжной	3	1	0,14	0,75	0,88	0,42	0,73
17	Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	22	3	0,2	0,8	0,75	13,20	30,24
18	Вентилятор производственный	11	2	0,65	0,8	0,75	13,00	9,75
Итого		113	8	-	-	-	31,24	48,72
Групповой к-т использования		K_u					0,26	
Эффективное кол. электроприемников		$n_э$					7,33	
Коэффициент расчетной мощности		K_p					1,23	
Расчётная активная нагрузка группы эл.приемников		P_p	кВт				38,43	
Средневзвешенный		$\cos\varphi$	о.е				0,50	
Средневзвешенный		$tg\varphi$	о.е				1,75	
Расчетная реактивная нагрузка		Q_p	квар.				60,31	
Полная максимальная нагрузка		S_p	кВА.				71,51	
Расчётный максимальный ток		I_p	А				108,65	

Аналогично проводится расчёт нагрузок для остальных СРШ участка механосборочного производства, а также на вводе в участок (последняя строка таблицы 9), и результаты расчётов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет силовых нагрузок участка механосборочного производства

Электроприёмник	Кол-во, шт	Установленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_s	K_p	Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном.}$	$P_{ном. общ}$				$P_{см.,}$ кВт	$Q_{см.,}$ квар			$P_{p.,}$ кВт	$Q_{p.,}$ квар	$S_{p.,}$ кВА	$I_{p.,}$ А	$I_{n.,}$ А.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
СРШ1															
Станок токарно-винторезный Оп1 TU8020/TU8030	2	11	22	0,14	0,5	1,73	2,80	4,85							
Вентилятор вытяжной	1	3	3	0,14	0,5	1,73	0,42	0,73							
Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	3	22	66	0,2	0,4	2,29	13,20	30,24							
Вентилятор производственный	2	11	22	0,65	0,8	0,75	13,00	9,75							
Итого по СРШ1	8		113	0,26	0,50	1,75	31,24	48,72	7,33	1,23	38,43	60,31	71,51	108,7	376,1
СРШ2															
Консольно-фрезерный станок	1	11	11	0,14	0,5	1,73	1,4	2,42							
Сварочный аппарат ВДУ 505	2	8	16	0,8	1	0	12,8	0							
Компрессор производственный	3	11	33	0,14	0,5	1,73	3,61	6,26							
Насос теплоподачи	1	2,2	2,2	0,14	0,5	1,73	0,31	0,53							
Насос подачи воды №1	1	5,5	5,5	0,1	0,5	1,73	0,35	0,61							
Итого по СРШ2	8		67,7	0,32	0,64	1,20	18,47	9,82	7,08	1,28	23,64	24,45	34,01	51,7	192,7
СРШ3															
Вентилятор вытяжной	2	5,5	11	0,14	0,5	1,73	1,54	2,67							
Насос подачи воды №2	4	5,5	22	0,14	0,5	1,73	3,08	5,33							
Фекальный насос	2	7,5	15	0,14	0,5	1,73	2,10	3,64							
Итого по СРШ3	8		48	0,14	0,50	1,73	6,72	11,64	7,84	1,78	11,96	12,80	17,52	26,6	135,5

Продолжение таблицы 9

Электроприёмник	Кол-во, шт	Установленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_s	K_p	Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном.}$	$P_{ном. общ}$				$P_{см.,}$ кВт	$Q_{см.,}$ квар			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А	$I_n,$ А.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
СРШ4															
Барабанный шлифовальный станок JET DDS-237	2	11	22	0,14	0,5	1,73	2,80	4,85							
Гидравлический пресс П6328Б	2	11	22	0,14	0,5	1,73	2,80	4,85							
Установка аргонодуговая EVOSPARK EVOTIG 650 P DC	3	18	54	0,8	1	0,00	43,20	0,00							
Итого по СРШ4	7		98	0,52	0,79	0,78	48,80	9,70	6,44	1,13	55,14	42,05	69,35	105,4	246,5
СРШ5															
Вентилятор дутьевой установки	3	18	54	0,8	1	0,00	43,20	0,00							
Токарно-карусельный станок с фрезерной функцией модели RAL-16M	1	11	11	0,14	0,5	1,73	1,40	2,42							
Гильотинные механические ножницы НГМ-6,3	2	11	22	0,8	1	0,00	12,80	0,00							
Итого по СРШ5	6		66	0,33	0,65	1,18	18,23	9,41	5,95	1,28	23,34	23,70	33,26	50,53	191,7
Всего по участку											152,51	163,31	223,45	339,6	831,9

2.6 Выбор сечения кабелей питающей силовой сети участка механосборочного производства

Выбор сечения кабелей питающей силовой сети участка механосборочного производства аналогичен выбору проводников к отдельным электроприемникам и должны удовлетворять условиям выбора и проверки:

$$I_{доп} \geq I_p / K_n, A, \quad (26)$$

$$I_{доп} \geq K_3 \cdot I_3 / K_n, A, \quad (27)$$

где I_p – значение расчетного тока группы электроприемников СРШ, А;

K_n – значение поправочного коэффициента, который учитывает условия прокладки;

K_3 – кратность длительно-допустимого тока кабеля по отношению к току срабатывания защитного аппарата;

I_3 – номинальное значение тока аппарата защиты, А.

В качестве примера выбирается сечение и марка кабеля для питания СРШ-1, при этом расчетный ток СРШ $I_p = 108,65$ А. Необходимо учесть, что данная сеть защищена автоматическим выключателем ВА 57-35 с $I_{нр}=125$ А. Предварительно выбирается небронированный кабель марки АВВГ 5х35 для которого $I_{доп} = 130$ А [2].

Условие (26) выполняется:

$$130 > 108,65 / 1 = 108,65, A.$$

Условие (27) выполняется:

$$130 > 1 \cdot 125 / 1 = 125, A.$$

Окончательно выбирается кабель АВВГ 5x35 с $I_{дон} = 130$ А [2]. Выбор сечения остальных кабелей питающей силовой сети участка механосборочного производства проведён аналогично и результаты сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Выбор сечения кабелей питающей силовой сети участка механосборочного производства

Наименование СРШ	I_p , А	K_n	K_3	I_p / K_n , А	I_3 , А	$(K_3 \cdot I_3) / K_n$, А	Марка кабеля	$I_{дон}$, А
Вводной кабель	339,6	1	1	339,6	400	400	2хАВВГ 5х50	2х175
СРШ1	108,65	1	1	108,65	125	125	АВВГ 5х35	130
СРШ2	51,57	1	1	51,57	80	80	АВВГ 5х25	105
СРШ3	26,62	1	1	26,62	80	80	АВВГ 5х25	105
СРШ4	105,36	1	1	105,36	125	125	АВВГ 5х35	130
СРШ5	50,53	1	1	50,53	80	80	АВВГ 5х25	105

2.7 Выбор аппаратов защиты питающей силовой сети участка механосборочного производства

Для защиты линий, питающих СРШ, выбираются автоматические выключатели серии ВА. При этом выбор автоматов для защиты СРШ производится аналогично выбранным автоматам, защищающим электроприёмники [1,2]. Результаты выбора автоматических выключателей защиты питающей силовой сети участка механосборочного производства сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Выбор автоматов питающей силовой сети участка механосборочного производства

№ СРШ	I_n , А	I_p , А	Тип автомата	$I_{на}$, А	$I_{нр}$, А	$K_{т.о}$
Вводной автомат	339,6	-	ВА57-39	400	400	12
СРШ1	108,65	376,05	ВА57-35	250	125	12
СРШ2	51,57	192,76	ВА57-35	250	80	12
СРШ3	26,62	135,54	ВА57-35	250	80	12
СРШ4	105,36	246,55	ВА57-35	250	125	12
СРШ5	50,53	191,73	ВА57-35	250	80	12

2.8 Реконструкция электрического освещения участка механосборочного производства

Расчёт электрического освещения участка механосборочного производства состоит из светотехнического и электротехнического расчётов [10,11]. При этом в работе выбираются и применяются инновационные светодиодные лампы, которые заменили устаревшие и неэффективные лампы накаливания, использовавшиеся ранее [11].

Для освещения производственных помещений участка механосборочного производства принимаются следующие системы освещения [10,11]:

- рабочее освещение;
- дежурное освещение;
- аварийное освещение.

Расчёт проводится на примере для производственного помещения №1 участка механосборочного производства. Освещение выполняется с применением светодиодных источников света с использованием светильников со степенью защиты IP44, т.к. среда в помещении присутствует высокая влажность и испарения [10,11]. В связи с этим, выбирается светильник типа PHILIPS LEDX27E (производственный) с установкой одной светодиодной лампы (тип цоколя – E27) [11]. Для освещения помещения выбирается равномерное размещение светильников по вершинам прямоугольников как наиболее рациональное [10,11].

Оптимальное расстояние между светильниками в ряду [11]:

$$\lambda_c \cdot H_p \leq L \leq \lambda_э \cdot H_p, \quad (28)$$

где H_p – значение расчётной высоты подвеса светильника, м;

λ_c , $\lambda_э$ – относительные светотехнические и энергетические выгоднейшие расстояния между светильниками, м.

Расчётная высота подвеса светильника вычисляется [17]:

$$H_p = H_o - h_{ce} - h_{pab}, \quad (29)$$

где H_o - высота помещения, м;

$h_{ce} = 0,5$ м - высота свеса светильника;

h_{pab} - высота освещаемой рабочей поверхности от пола, м.

По рассчитанному значению L , длине A и ширине B помещения определяют число светильников по длине помещения, шт [11]:

$$N_A = \frac{A - 2l_A}{L} + 1. \quad (30)$$

Число светильников по ширине помещения, шт [11]:

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L} + 1. \quad (31)$$

Общее число светильников, шт [11]:

$$N_{\Sigma} = N_A \cdot N_B. \quad (32)$$

Действительное расстояние между светильниками и рядами [11]:

$$L_A = \frac{A}{N_A - a}, \quad (33)$$

$$L_B = \frac{B}{N_B - a}. \quad (34)$$

Проводится расчёт размещения светильников по выражениям (28 – 34) для производственного помещения №1:

Расчётная высота подвеса светильника [10,11]:

$$H_p = 3 - 0,5 - 1 = 2,5 \text{ м.}$$

Оптимальное расстояние между светильниками [10,11]:

$$1,5 \cdot 2,5 = 3,75 \leq L = 4 \leq 2 \cdot 2,5 = 5.$$

Число светильников по длине помещения, шт, [10,11]:

$$N_A = \frac{24 - 2 \cdot 0,5}{4} + 1 \approx 8.$$

Число светильников по ширине помещения, шт, [10,11]:

$$N_B = \frac{12 - 2 \cdot 0,5}{4} + 1 \approx 3.$$

Общее число светильников [10,11]:

$$N_{\Sigma} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ шт.}$$

Действительное расстояние между светильниками [10,11]:

$$L_A = \frac{24}{8} = 3 \text{ м.}$$

Действительное расстояние между рядами [10,11]:

$$L_B = \frac{12}{3} = 4 \text{ м.}$$

Расчёт освещения помещения подсобных помещений участка механосборочного производства проводится методом коэффициента использования светового потока [10,11]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta_u}, \quad (2.35)$$

где E_n - заданная минимальная освещенность, лк;

K_3 - коэффициент запаса ($K_3=1,15$ для светодиодных ламп);

S – суммарная площадь помещения участка, подлежащая освещению, м²;

Z – нормируемый коэффициент неравномерности освещения;

N - суммарное число светильников, шт.;

η_u – нормируемое значение справочного коэффициента использования светового потока, о.е.

Для определения справочного коэффициента использования светового потока в относительных единицах, необходимо найти индекс помещения [10,11]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)}. \quad (36)$$

Далее, пользуясь справочными материалами, выбирается стандартный тип лампы со световым потоком [11]. Применяются инновационные светодиодные лампы [11].

Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного источника света рассчитывается [10,11]:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{ис} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%. \quad (37)$$

Индекс помещения [11]:

$$i = \frac{66 \cdot 16}{4,5 \cdot (66 + 16)} = 2,86.$$

Для выбранного типа светильника PHILIPS LEDX27E при значении $i=2,86 \approx 3$ по [10,11] определяется справочный коэффициент использования светового потока в относительных единицах, который равен значению $\eta_{и} = 0,76$.

Световой поток светильника [10,11]:

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1050 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,76} = 2184,6 \text{ лм.}$$

Выбирается светодиодная LED лампа типа PHILIPS LED Bulb A-150 со стандартным световым потоком $\Phi_{ст} = 2300$ лм [11]. Данный тип лампы подходит для выбранного ранее светильника PHILIPS LEDX27E.

Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного источника света находится в допустимых пределах (-10÷20%) [10,11]:

$$\Delta\Phi = \frac{2300 - 2184,5}{2184,5} \cdot 100 = 5,28\%.$$

Результаты светотехнического расчёта помещений участка механосборочного производства приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты светотехнического расчёта помещений участка механосборочного производства

Помещение	Тип светильника	Тип лампы	Число светильников по длине, шт	Число светильников по ширине, шт	Общее число светильников, шт
ПТО №1	PHILIPS LEDX27E	PHILIPS LED Bulb A-200	2	3	6
ПТО №2	PHILIPS LEDX27E	PHILIPS LED Bulb A-200	2	3	6
Произв. помещение №1	PHILIPS LEDX27E	PHILIPS LED Bulb A-150	8	3	24
Произв. помещение №2	PHILIPS LEDX27E	PHILIPS LED Bulb A-150	8	3	24
Сан. – тех. помещения	PHILIPS LEDX27E	PHILIPS LED Bulb A-200	2	3	6
Бытовые помещения	PHILIPS LEDX27E	PHILIPS LED Bulb A-200	2	3	6

Ввод в помещение участка механосборочного производства осуществляется кабельной линией напряжением 380/220 В. При этом для обеспечения необходимого резервирования производственных помещений принимается установка двух вводных щитов освещения, которые питаются от разных секций шин низкого напряжения двухтрансформаторной ТП-10/0,4 кВ [1,2]. От каждого вводного щитка освещения получают питания 3 магистральных щитка освещения (на каждое помещение), что значительно повышает надёжность и безопасность схемы [10,11]. В качестве вводного щитка освещения используется щит с монтажной панелью, типа УОЩВ [10,11]. В качестве коммутационного аппарата на вводе в щиток освещения установлен

трёхфазный автоматический выключатель. Общее освещение выполняется трёхфазным с однофазными ответвлениями к отдельным группам светильников и в отдельные помещения участка механосборочного производства.

В результате проведённого анализа литературных источников, выбирается следующая прокладка осветительной сети [10,11]:

1) питающая сеть (кабель 220/380 В) – кабель от щитка вводного щитка освещения до магистральных щитков и далее для питания групп светильников-прокладывается по стене в кабель-канале размером 25x16 мм. Кабель-канал крепится к конструкциям дюбель-гвоздями 8x60, под головку шурупа подкладывается шайба для надежной фиксации кабель-канала [2];

2) распределительная сеть (изолированный провод 220 В) – трёхжильный кабель – прокладка по тросу (тросовая проводка), что значительно облегчает доступ к светильникам, упрощает их монтаж, обслуживание и ремонт. Крепление кабеля осуществляется пластиковыми монтажными хомутами через каждые 0,5 м.

Кроме всего прочего, необходимо провести расчёт и проверку сечения проводников по допустимой потере напряжения согласно [1]:

$$S = \frac{\sum P_i \cdot l_i}{C \cdot \Delta U_i \cdot \cos \varphi}, \quad (38)$$

где $P_i \cdot l_i$ – значение электрического момента нагрузки на i - м участке электрической сети освещения, кВт·м;

P_i – значение суммарной мощности нагрузки на i - м участке электрической сети освещения, кВт;

l_i – суммарная длина i - го участка электрической сети освещения, м;

ΔU_i – нормируемое значение потерь напряжения на i - м участке сети освещения, % ($\Delta U_i \leq 2,5\%$);

C – нормируемый коэффициент, значение которого зависит от

напряжения сети, материала токоведущей жилы, условий и типа прокладки сети и числа проводов в группе данного осветительного участка [1];

$\cos \varphi$ – значение установленного коэффициента мощности осветительной нагрузки.

Сечения жил выбранных проводников на каждом участке осветительной сети определяется током нагрузки (допустимым нагревом, а также допустимым значением потери напряжения, которое рассчитано на данном участке. Результаты выбора сечения проводников осветительной сети помещений участка механосборочного производства сводятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Результаты выбора сечения проводников осветительной сети участка механосборочного производства

№ п/п	Назначение	ΣP_i , кВт	l_i , м	Марка проводника	ΔU_d , %
Вводной ЩО №1					
1	Кабель к вводному ЩО №1	6,0	288	ВВГнг(5x10)	2,3
Помещения технического обеспечения №1					
2	Магистральный кабель	1,2	36	ВВГнг(5x1,5)	1,4
3	Ответвления (линии освещения)	0,4	12	ВВГнг(3x1,5)	0,5
Производственное помещение №1					
4	Магистральный кабель	3,6	180	ВВГнг(5x4)	2,1
5	Ответвления (линии освещения)	1,2	60	ВВГнг(3x1,5)	0,7
Помещения технического обеспечения №2					
6	Магистральный кабель	1,2	36	ВВГнг(5x1,5)	1,4
7	Ответвления (линии освещения)	0,4	12	ВВГнг(3x1,5)	0,5
Вводной ЩО №2					
8	Кабель к вводному ЩО №2	6,0	288	ВВГнг(5x10)	2,3
Санитарно – технические помещения					
9	Магистральный кабель	1,2	36	ВВГнг(5x1,5)	1,4
10	Ответвления (линии освещения)	0,4	12	ВВГнг(3x1,5)	0,5
Производственное помещение №2					
11	Магистральный кабель	3,6	180	ВВГнг(5x4)	2,1
12	Ответвления (линии освещения)	1,2	60	ВВГнг(3x1,5)	0,7
Бытовые помещения					
13	Магистральный кабель	1,2	36	ВВГнг(5x1,5)	1,4
14	Ответвления (линии освещения)	0,4	12	ВВГнг(3x1,5)	0,5

В качестве магистральных щитков освещения используются щитки типа ОЩВ. В данном щитке используются автоматические выключатели (автоматы) серии ВА [3]. Магистральные щитки освещения (МЩО) получают питание от вводного щитка освещения и размещаются на стенах. От каждого вводного щита освещения получают питание 3 магистральных щитка освещения для питания линий освещения.

При этом от каждого магистрального щитка освещения питаются 3 отходящих линии (для их защиты установлено 3 автомата) [3].

Далее производится выбор автоматических выключателей, находящихся во вводном щитке освещения (выключатели – трёхфазные) и магистральных щитках освещения (однофазные выключатели).

Ток уставки автоматического выключателя I_a определяется [3]:

$$I_a \geq I_p, \quad (39)$$

где I_p – расчетный ток нагрузки участка линии, защищаемого данным автоматическим выключателем, А.

Расчетный ток нагрузки участка линии определяется так [2]:

$$I_p = \frac{K_{одн} \cdot K_{ППА} \cdot P}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi}, \quad (40)$$

где $K_{одн}$ - коэффициент одновременности (для осветительных сетей принимается $K_{одн}=1$);

$K_{ППА}$ - коэффициент, зависящей от вида нагрузки.

Результаты выбора автоматов для защиты и коммутации проектируемой осветительной сети участка механосборочного производства сводятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты выбора автоматов для защиты и коммутации осветительной сети участка механосборочного производства

№ п/п	Назначение	ΣP_i , кВт	I_p , А	Тип автомата	I_a , А
Вводной ЩО №1					
1	Вводной автомат	6,0	9,6	ВА47-29-3Р-10	10
Помещения технического обеспечения №1					
2	Магистральный автомат	1,2	1,9	ВА47-29-3Р-6,3	6,3
3	Ответвления (линии освещения)	0,4	2,0	ВА47-29-1Р-6,3	6,3
Производственное помещение №1					
4	Магистральный автомат	3,6	5,7	ВА47-29-3Р-6,3	6,3
5	Ответвления (линии освещения)	1,2	6,1	ВА47-29-1Р-6,3	6,3
Помещения технического обеспечения №2					
6	Магистральный автомат	1,2	1,9	ВА47-29-3Р-6,3	6,3
7	Ответвления (линии освещения)	0,4	2,0	ВА47-29-1Р-6,3	6,3
Вводной ЩО №2					
8	Вводной автомат	6,0	9,6	ВА47-29-3Р-10	10
Санитарно – технические помещения					
9	Магистральный автомат	1,2	1,9	ВА47-29-3Р-6,3	6,3
10	Ответвления (линии освещения)	0,4	2,0	ВА47-29-1Р-6,3	6,3
Производственное помещение №2					
11	Магистральный автомат	3,6	5,7	ВА47-29-3Р-6,3	6,3
12	Ответвления (линии освещения)	1,2	6,1	ВА47-29-1Р-6,3	6,3
Бытовые помещения					
13	Магистральный автомат	1,2	1,9	ВА47-29-3Р-6,3	6,3
14	Ответвления (линии освещения)	0,4	2,0	ВА47-29-1Р-6,3	6,3

2.9 Расчёт экономических показателей системы электроснабжения участка механосборочного производства

В качестве исходных данных для расчета принимаются данные о затратах на разработку и внедрение системы электроснабжения участка механосборочного производства, включая выбранное новое электрооборудования участка механосборочного производства, электрические сети, аппараты и т.д. Задачей технико - экономического расчёта является определение капиталовложений на систему электроснабжения участка механосборочного производства, а также расчёт годовых эксплуатационных расходов [20].

В результате технико - экономического расчёта определяется величина приведенных затрат [20]:

$$З = E_n K + И, \text{ тыс. руб.}, \quad (41)$$

где E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаемый равным 0,12 [20];

K - капитальные затраты на систему электроснабжения участка механосборочного производства;

$И$ - годовые эксплуатационные расходы.

Капитальные затраты на систему электроснабжения участка механосборочного производства в работе определяются по укрупнённым показателям стоимости соответствующего оборудования [20]:

$$K = K_o + K_c + K_a, \text{ тыс. руб.}, \quad (42)$$

где K_o – капитальные затраты на оборудование, тыс.руб.;

K_c – капитальные затраты на, тыс.руб.;

K_a – капитальные затраты на электрические аппараты, тыс.руб.

Стоимость оборудования упрощённо (по укрупнённым показателям) определяется стоимостью оборудования, а также типом и мощностью приводного двигателя, стоимостью системы управления, особенностями комплектации [20]. Результаты расчёта капитальных затрат на систему электроснабжения участка механосборочного производства сведены в таблицу 15 (оборудование), таблицу 16 (электрические сети) и таблицу 17 (электрические аппараты).

Таблица 15 – Результаты расчёта капитальных затрат на оборудование участка механосборочного производства

№	Наименование оборудования	Тип двигателя	Кол-во, шт	Стоимость единицы, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
1	Вентилятор вытяжной	4A100L2Y3	2	22,5	45,0
2	Станок токарно-винторезный Opti TU8020/TU8030	4A132M2Y3	2	82,0	164,0
3	Консольно-фрезерный станок 6H11	4A132M2Y3	1	262,0	262,0
4	Токарно-карусельный станок с фрезерной функцией модели RAL-16M	4A132M2Y3	1	180,0	180,0
5	Насос подачи воды №1	4A100L2Y3	1	31,0	31,0
6	Насос подачи воды №2	4A100L2Y3	4	31,0	124,0
7	Барабанный шлифовальный станок JET DDS-237	4A132M2Y3	2	240,0	480,0
8	Фекальный насос	4A112M2Y3	2	36,0	72,0
9	Гильотинные механич. ножницы НГМ-6,3	4A132M2Y3	2	61,0	122,0
10	Сварочный аппарат ВДУ 505	-	2	62,0	124,0
11	Компрессор производств.	4A132M2Y3	3	48,0	96,0
12	Установка аргонодуговая EVOSPARK EVOTIG 650	-	3	320,0	960,0
13	Насос теплоподачи	4A80B2Y3	1	4,2	4,2
14	Вентилятор дутьевой установки	4A132M2Y3	3	28,0	84,0
15	Гидравлический пресс П6328Б	4A132M2Y3	2	120,0	240,0
16	Вентилятор вытяжной	4A90L2Y3	1	18,0	18,0
17	Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	-	3	40,0	120,0
18	Вентилятор производственный	4A132M2Y3	2	28,0	56,0
Всего по участку		-		-	3182,2

Таблица 16 – Результаты расчёта капитальных затрат на сети

№	Марка проводника	Длина, м	Стоимость 1 м, руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
1	ВВГнг 5х1,5	2600	38,0	98,8
2	ВВГнг 5х2,5	1800	44,0	79,2
3	ВВГнг 5х4	450	48,0	21,6
4	ВВГнг 5х16	280	180,0	50,4
5	АВВГ 5х35	640	110,0	70,4
6	АВВГ 5х25	800	86,0	68,8
Всего по участку		-	-	389,2

Таблица 17 – Результаты расчёта капитальных затрат на аппараты

№	Наименование аппарата	Марка, тип	Кол-во, шт	Стоимость единицы, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
1	Выключатель автоматический	ВА	72	1,2	86,4
2	Пускатели магнитные	ПМЛ	28	0,85	25,6
Всего по участку			-	-	112,0

Суммарные капитальные затраты на систему электроснабжения участка механосборочного производства:

$$K = 13182,2 + 389,2 + 112,0 = 13683,4 \text{ тыс. руб.}$$

Согласно [20], расходы на монтаж принимаются равными 30% от суммарных капитальных затрат на систему электроснабжения участка механосборочного производства:

$$I_m = 0,3 \cdot K, \text{ тыс. руб.}$$

$$I_m = 0,3 \cdot 13683,4 = 4105 \text{ тыс. руб.}$$

В состав годовых эксплуатационных расходов входят соответствующие расходы на оборудование I_o , сети I_c и электрические аппараты I_A [20].

Эти составляющие находят по выражению [20]:

$$I = I_s + I_a, \text{ тыс. руб.} \quad (43)$$

где I_a - издержки на амортизацию;

I_s - издержки на эксплуатацию.

Издержки на амортизацию I_a определяются по норме отчисления на амортизацию от капитальных затрат [20]:

$$I_a = \frac{a_p}{100} K, \text{ тыс.руб.} \quad (44)$$

где a_p - коэффициент амортизации, %, принимаемый по [20].

Эксплуатационные издержки $I_э$ определяются [20]:

$$I_э = \frac{э_p}{100} K, \text{ тыс.руб.} \quad (45)$$

где $э_p$ - отчисления на ремонты и обслуживание электрической сети, %.

Результаты расчёта приведены в таблицах 18 – 20.

Таблица 18 – Расчёт годовых эксплуатационных расходов на оборудование

Определяемый показатель	Ед. измерения	Значение
Издержки на амортизацию, ($a_p = 5,2 \%$)	тыс. руб.	165,5
Издержки на эксплуатацию, ($э_p = 1,2 \%$)	тыс. руб.	38,2
Годовые эксплуатационные расходы	тыс. руб.	203,7

Таблица 19 – Расчёт годовых эксплуатационных расходов на сети

Определяемый показатель	Ед. измерения	Значение
Издержки на амортизацию, ($a_p = 6,7 \%$)	тыс. руб.	26,1
Издержки на эксплуатацию, ($э_p = 0,8 \%$)	тыс. руб.	3,1
Годовые эксплуатационные расходы	тыс. руб.	29,2

Таблица 20 – Расчёт годовых эксплуатационных расходов на аппараты

Определяемый показатель	Ед. измерения	Значение
Издержки на амортизацию, ($a_p = 6,7 \%$)	тыс. руб.	7,5
Издержки на эксплуатацию, ($э_p = 5,9 \%$)	тыс. руб.	6,6
Годовые эксплуатационные расходы	тыс. руб.	14,1

Суммарные годовые эксплуатационные расходы участка механосборочного производства:

$$K = 203,7 + 29,2 + 14,1 = 247,0 \text{ тыс. руб.}$$

Суммарная величина приведенных затрат участка механосборочного производства составляет:

$$З = 0,12 \cdot 13683,4 + 247 = 1889,0 \text{ тыс. руб.}$$

2.10 Расчёт электрических нагрузок предприятия

Определяются расчетные силовые нагрузки цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода по методу коэффициента спроса:

$$P_{p.n} = K_c P_{ном}, \quad (46)$$

где $P_{ном}$ – суммарное значение номинальной активной мощности силовых электроприемников цеха, кВт;

K_c – значение коэффициента спроса данной группы электроприемников [4].

Расчетная реактивная мощность цехов, квар:

$$Q_{p.n} = tg \varphi \cdot P_{p.n}, \quad (47)$$

где $tg \varphi$ – значение коэффициента реактивной мощности, соответствующий значению коэффициента активной мощности $cos \varphi$.

В качестве примера приводится расчет электрических силовых нагрузок литейного цеха. Вычисляется расчетная активная мощность литейного цеха Ликино-Дулёвского автобусного завода по формуле (46):

$$P_{p.n} = 0,5 \cdot 2500 = 1250 \text{ кВт.}$$

Вычисляется расчетная реактивная мощность литейного цеха Ликино-Дулёвского автобусного завода по формуле (47):

$$Q_{p.n} = 0,75 \cdot 1250 = 937,5 \text{ квар.}$$

Полная мощность расчетная мощность литейного цеха Ликино-Дулёвского автобусного завода, кВА:

$$S_{p.n} = \sqrt{P_{p.n}^2 + Q_{p.n}^2} \quad (48)$$
$$S_{p.n} = \sqrt{1250^2 + 937,5^2} = 1562,5 \text{ кВА.}$$

Значение расчетного тока литейного цеха Ликино-Дулёвского автобусного завода по (48), А:

$$I_p = \frac{1562,5}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 85,9 \text{ А.}$$

Результаты расчета приведены в таблице 21.

Расчетные нагрузки освещения цехов определяется по методу коэффициента спроса так, кВт:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{н.о.н} K_{п.р.а}, \quad (49)$$

где $K_{c.o} = 0,95$ – значение коэффициента спроса осветительной нагрузки [4];

$P_{н.о.н}$ – суммарное значение номинальной нагрузки освещения, кВт;

$K_{np.a} = 1,05$ – значение коэффициента, который учитывает потери активной мощности в пускорегулирующей аппаратуре для светодиодных ламп.

Суммарное номинальное значение мощность осветительной нагрузки цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода:

$$P_{ном.о} = P_{уд.о} F_{ц}, \quad (50)$$

где $P_{уд.о}$ – значение удельной установленной мощности осветительной нагрузки на 1 м^2 освещаемой площади цеха, кВт/м² [11];

$F_{ц}$ – площадь цеха, м².

Освещение цехов выполняется светодиодными лампами.

При этом расчётная реактивная нагрузка освещения определяется по выражению:

$$Q_{p.о} = P_{p.о} \cdot tg\varphi_o, \quad (51)$$

где $tg\varphi_o$ – значение коэффициента реактивной мощности освещения.

Приводится расчет осветительной нагрузки для литейного цеха Ликино-Дулёвского автобусного завода по условиям (49) – (51):

$$P_{уд.о} = 15 \text{ Вт/м}^2,$$

$$F = 50 \cdot 100 = 5000 \text{ м}^2,$$

$$P_{ном.о} = 5000 \cdot \frac{15}{1000} = 75 \text{ кВт},$$

$$P_{p.о} = 75 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 74,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.о} = 75 \cdot 0,43 = 32,3 \text{ кВАр}.$$

Расчеты для остальных цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода проведены аналогично и сведены в таблицу 2.

Полная расчетная нагрузка цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода, кВА:

$$S_{p.n} = \sqrt{(P_{p.n} + P_{p.o})^2 + (Q_{p.n} + Q_{p.o})^2}. \quad (52)$$

Расчетные суммарных полной $S_{p.ГПП}$, активной $P_{p.ГПП}$ и реактивной $Q_{p.ГПП}$ нагрузок ГПП Ликино-Дулёвского автобусного завода, отнесенные к шинам $U = 10$ кВ ГПП, определяются по расчетным активным и реактивным нагрузкам всех цехов (как силовых – $P_{p.n}$, $P_{p.в}$, $Q_{p.n}$, $Q_{p.в}$, так и осветительных $P_{p.o}$ и $Q_{p.o}$) с учетом потерь мощности в цеховых силовых трансформаторах ($\Delta P_{тц}$, $\Delta Q_{тц}$) и коэффициента одновременности максимумов $K_{рм}$ нагрузки:

$$P_{p.ГПП} = (\Sigma P_{p.n} + \Sigma P_{p.в}) K_{рм} + \Sigma P_{p.o} + \Sigma \Delta P_{тц} \text{ кВт}, \quad (53)$$

$$Q_{p.ГПП} = (\Sigma Q_{p.n} + \Sigma Q_{p.в}) K_{рм} + \Sigma Q_{p.o} + \Sigma \Delta Q_{тц} \text{ квар}, \quad (54)$$

где $K_{рм} = 0,95$ – коэффициент одновременности максимумов нагрузки потребителей.

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{P_{p.ГПП}^2 + Q_{p.ГПП}^2} \text{ кВА}. \quad (55)$$

Расчетная реактивная нагрузка на вводах трансформаторов ГПП Ликино-Дулёвского автобусного завода:

$$Q_{\text{в1}} = tg \varphi_{\text{в1}} P_{p.ГПП} \text{ квар}, \quad (56)$$

где $tg \varphi_{\vartheta 1} = 0,328$ — экономически целесообразное значение коэффициента реактивной мощности на шинах 6-10 кВ РУ ГПП, соответствующее $\cos \varphi_{\vartheta 1} = 0,95$.

Т.к. на данном этапе трансформаторы ГПП еще не выбраны, то потери мощности в них приближенно определяют по формулам:

$$\Delta P_{m.ГПП} = 0,02 S_{p1,ГПП} \text{ кВт}, \quad (57)$$

$$\Delta Q_{m.ГПП} = 0,1 S_{p1,ГПП} \text{ квар}, \quad (58)$$

где $S_{p1,ГПП} = \sqrt{P_{p.ГПП}^2 + Q_{\vartheta 1}^2}$ кВА — полная расчетная нагрузка, отнесенная к сборным шинам 10 кВ ГПП с учетом компенсации реактивной мощности.

Тогда полная расчетная нагрузка на шинах высшего напряжения 35 кВ ГПП цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода:

$$S_{p.n} = \sqrt{P_{p.n}^2 + Q_{p.n}^2} = \sqrt{(P_{p.ГПП} + \Delta P_{m.ГПП})^2 + (Q_{p.ГПП} + \Delta Q_{m.ГПП})^2} \text{ кВ}\cdot\text{А}. \quad (59)$$

Производится расчет для литейного цеха Ликино-Дулёвского автобусного завода.

Полная расчетная нагрузка по (55):

$$S_{p.n} = \sqrt{(775 + 74,8)^2 + (581,3 + 32,3)^2} = 1048,2 \text{ кВА}.$$

Потери в трансформаторах цеховой ТП по (57), (58):

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 1048,2 = 21,0 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 1048,2 = 104,8 \text{ квар}.$$

Расчетные полная $S_{p.ГПП}$, активная $P_{p.ГПП}$ и реактивная $Q_{p.ГПП}$ нагрузки цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода, отнесенные к шинам $U = 10$ кВ ГПП без учета компенсации реактивной мощности, находятся по формулам (53), (54):

$$P_{p.ГПП} = 4398 \cdot 0,95 + 951 + 256 = 5385,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.ГПП} = 1986 \cdot 0,95 + 431 + 627 = 2944,7 \text{ квар};$$

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{(5385,1)^2 + (2944,7)^2} = 6137,6 \text{ кВА}.$$

Расчетные полная $S_{p.ГПП}$, активная $P_{p.ГПП}$ и реактивная $Q_{p.ГПП}$ нагрузки цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода, отнесенные к шинам $U = 10$ кВ ГПП с учетом компенсации реактивной мощности, находятся по формулам (56) – (58):

$$Q_{\varepsilon I} = 0,328 \cdot 5385,1 = 1766,3 \text{ квар};$$

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{(5385,1)^2 + (1766,3)^2} = 5667,4 \text{ кВА}.$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 5667,4 = 113,3 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 5667,4 = 566,7 \text{ квар}.$$

Тогда полная расчетная нагрузка на шинах высшего напряжения 35 кВ ГПП Ликино-Дулёвского автобусного завода по (59):

$$S_{p.n} = \sqrt{(5385,1 + 113,3)^2 + (1766,3 + 566,7)^2} = 5972,9 \text{ кВА}.$$

Результаты расчётов приведены в таблице 23.

Таблица 21 – Расчет электрических силовых нагрузок цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода

№,п/п	Наименование цеха	Рном., кВт	K_c	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВ·А	Ip, А
1	Литейный цех	2500	0,5	0,8	0,75	1250	937,5	1562,5	85,9
2	Штамповочный цех	1550	0,5	0,8	0,75	775	581,3	968,8	53,2
3	Цех покраски	520	0,35	0,7	1,02	182	185,6	259,9	14,3
4	Цех внешней и внутренней отделки	480	0,35	0,7	1,02	168	171,4	240,0	13,2
5	Кузнечно – термический цех	2270	0,4	0,8	0,75	908	681	1135,0	62,4
6	Механический цех	850	0,4	0,6	1,33	340	452,2	565,8	31,1
7	Испытательная лаборатория	460	0,3	0,8	0,75	138	103,5	172,5	9,5
8	Заводоуправление с техническими службами	360	0,3	0,7	1,02	108,5	110,2	154,3	8,5
9	Цех шасси и амортизаторов	520	0,4	0,6	1,33	208	276,6	346,1	19,0
10	Цех кузовов	780	0,4	0,7	1,02	321	327,4	458,5	25,2
11	Участок механосборочного производства					152,5	163,3	223,5	12,9
12	ИТОГО					4865	2290	5377,0	307,3

Таблица 22 – Расчет нагрузки освещения цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода

Номер цеха п/п	Наименование цеха	$F_{ц}, м^2$	$P_{уд.о}, Вт/м^2$	$P_{ном.о}, кВт$	$K_{с.о}$	тип лампы	$K_{пр.а}$	$tg\varphi_o$	$P_{р.о}, кВт$	$Q_{р.о}, квар$
1	Литейный цех	5000	15	75,0	0,95	LED	1,05	0,43	74,8	32,3
2	Штамповочный цех	5000	15	75,0	0,95	LED	1,05	0,43	74,8	32,3
3	Цех покраски	5000	17	85,0	0,95	LED	1,05	0,43	84,8	36,5
4	Цех внешней и внутренней отделки	5000	17	85,0	0,85	LED	1,05	0,43	84,8	36,5
5	Кузнечно – термический цех	5000	17	85,0	0,95	LED	1,05	0,43	84,8	36,5
6	Механический цех	5000	15	75,0	0,95	LED	1,05	0,43	74,8	32,3
7	Испытательная лаборатория	6000	17	102,0	0,95	LED	1,05	0,43	101,7	43,8
8	Заводоуправление с техническими службами	4000	18	72,0	0,95	LED	1,05	0,43	71,8	30,9
9	Цех шасси и амортизаторов	4500	15	67,5	0,6	LED	1,05	0,43	67,3	28,9
10	Цех кузовов	11250	15	168,8	0,6	LED	1,05	0,43	168,4	72,4
11	Участок механосборочного производства	1200	15	18,0	0,95	LED	1,05	0,43	17,9	7,7
-	Освещение территории предприятия	122250	4	48,9	0,95	LED	1,05	0,43	48,8	21,0
ИТОГО		179200							1033	466

Таблица 23 – Расчет суммарных нагрузок цехов Ликино-Дулёвского автобусного завода

№,п/п	Наименование цеха	Р _{рн} , кВт	Р _{р.о} , кВт	Q _{рн} , квар	Q _{р.о} , квар	Р _р , кВт	Q _р , квар	Sp, кВт·А	ΔP _т , кВт	ΔQ _т , квар
1	Литейный цех	1250	74,8	937,5	32,3	1324,8	969,8	1644,0	1,6	8,2
2	Штамповочный цех	775	74,8	581,3	32,3	849,8	613,6	1048,2	21,0	104,8
3	Цех покраски	182	84,8	185,6	36,5	266,8	222,1	347,1	6,9	34,7
4	Цех внешней и внутренней отделки	168	84,8	171,4	36,5	252,8	207,9	327,3	6,5	32,7
5	Кузнечно – термический цех	908	84,8	681	36,5	992,8	717,5	1224,9	24,5	122,5
6	Механический цех	340	74,8	452,2	32,3	414,8	484,5	637,8	12,8	63,8
7	Испытательная лаборатория	138	101,7	103,5	43,8	239,7	147,3	281,3	5,6	28,1
8	Заводуправление с техническими службами	108	71,8	110,2	30,9	179,8	141,1	228,6	4,6	22,9
9	Цех шасси и амортизаторов	208	67,3	276,6	28,9	275,3	305,5	411,2	8,2	41,1
10	Цех кузовов	321	168,4	327,4	72,4	489,4	399,8	631,9	12,6	63,2
11	Участок механосборочного производства	-	17,9	-	7,7	170,4	171,0	241,4	10,76	54,8
12	Освещение территории предприятия	-	48,8	-	21,0	48,8	21,0	53,1	0,25	5,3
13	Итого на стороне 10 кВ, без учета компенсации РМ	4398,0	951,0	1986,0	431,0	5385,1	2944,7	6137,6	256,0	627,0
14	Потери в трансформаторах ГППс учетом компенсации РМ					5385,1	1766,3	5667,4	113,3	566,7
15	Итого на стороне ВН					5498,4	2333,0	5972,9		

2.11 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП и цеховых ТП

Проводится выбор номинальной мощности силовых трансформаторов для установки на ГПП Ликино – Дулёвского автобусного завода.

Так как на предприятии имеются потребители I-й и II-й категорий по надёжности электроснабжения, на ГПП принимается установка двух силовых трансформаторов.

Мощность одного силового трансформатора ГПП определяется так:

$$S_{ном} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_3} \quad (60)$$

где n – количество силовых трансформаторов на ГПП, $n = 2$;

K_3 – коэффициент загрузки силовых трансформаторов на ГПП, $K_3 = 0,75 - 0,8$.

По условию (60):

$$S_{ном} = \frac{5972,9}{2 \cdot 0,78} = 3828,8 \text{ кВА.}$$

Предварительно принимаются к установке на ГПП два силовых трансформатора марки ТМН-4000/35.

Проверяются выбранные трансформаторы по перегрузочной способности при условии аварийного отключения второго трансформатора с отключением потребителей III-й категории надёжности:

$$1,4S_{ном} \geq S_p - S_{III}; \quad (61)$$

где S_{III} – расчётная активная нагрузка потребителей III-й категории надёжности.

По условию (61):

$$1,4 \cdot 4000 = 5600 > 5972,9 - 593,8 = 5379,1 \text{ кВА}.$$

Условия выбора и проверки силовых трансформаторов для установки на ГПП Ликино – Дулёвского автобусного завода выполняются.

Выбор трансформаторов цеховых ТП производится по удельной плотности нагрузки:

$$\sigma_{\text{уд}} = S_{\text{см}} / F_{\text{ц}}, \text{кВА} / \text{м}^2, \quad (62)$$

где $S_{\text{см}}$ – полная расчетная нагрузка цеха, кВА.

$$S_{\text{см}} = K_{\text{зс}} S_{\text{р}}; \quad (63)$$

где $F_{\text{ц}}$ – площадь цеха по генплану, м^2 .

Для литейного цеха:

$$\sigma_{\text{уд1}} = 1644 / 5000 = 0,33 \text{ кВА} / \text{м}^2.$$

Далее выбор номинальной мощности трансформаторов цеховых ТП проводится аналогично выбору трансформаторам ГПП по (60) с обязательной проверкой по (61).

Результаты выбора цеховых трансформаторов Ликино – Дулёвского автобусного завода представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Выбор цеховых трансформаторов Ликино – Дулёвского автобусного завода

№ ТП	№ цеха	Наименование цеха	$F_{ц2}$, м ²	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$S_{см}$, кВ·А	$\sigma_{уд}$, кВА/м ²	N , шт.	$S_{ном.т}$, кВ·А
ТП-1	1	Литейный цех	5000	1324	905,2	1644	0,33	2	1600
	3	Цех покраски	5000	266,8	222,1	347,1	0,07		
ТП-2	5	Кузнечно – термический цех	5000	992,8	717,5	1224,9	0,25	2	1600
	11	Участок механосборочного производства	1200	170,4	171,0	241,4	0,11		
ТП-3	10	Цех кузовов	11250	489,4	399,8	631,9	0,06	2	1600
	8	Заводоуправление с техническими службами	4000	179,8	141,1	228,6	0,06		
	9	Цех шасси и амортизаторов	4500	275,3	305,5	411,2	0,09		
	7	Испытательная лаборатория	6000	239,7	147,3	281,3	0,05		
ТП-4	2	Штамповочный цех	5000	849,8	613,6	1048,2	0,21	2	1600
	4	Цех внешней и внутренней отделки	5000	252,8	207,9	327,3	0,07		
	6	Механический цех	5000	414,8	484,5	637,8	0,13		

2.12 Расчёт токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания проводится в нормальном режиме работы (с выключенным АВР).

Схема для расчета токов короткого замыкания приведена на рисунке 5.

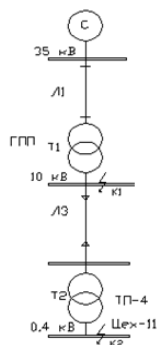


Рисунок 5 – Схема для расчета токов короткого замыкания

Схема замещения для расчётов токов короткого замыкания – на рисунке 6.

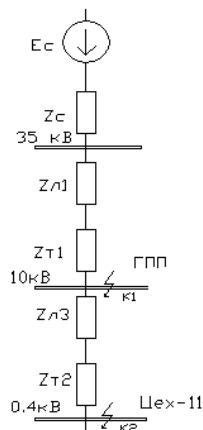


Рисунок 6 – Схема замещения для расчётов токов короткого замыкания

Данные для расчетов берутся из исходных данных и из [8] и приведены в таблицах 25 – 28.

Параметры системы приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Параметры системы

X^*c	S_c , МВА	U , кВ	X_c , Ом	Z_c , Ом	E_c , кВ, приведенное. к 10 кВ	$K_T = 11/35$, (привед. к 10 кВ)	$K_T = 0,4/10,5$, (привед. к 0,4 кВ)
0,3	100	35	0,35	0,35j	10,85	0,31	0,04

Параметры трансформатора ГПП марки ТМН – 4000/35 приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Параметры трансформатора ГПП марки ТМН – 4000/35

U_k ; %	$S_{ном}$; МВА	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	P_x , МВт	P_k , МВт	$X_{тр1}$, Ом (привед. к 10 кВ)	$R_{т1}$, Ом, (привед. к 10 кВ)	$Z_{тр1}$, Ом
7,5	4	35	11	0,00385	0,0335	2,21	0,25	0,25+2,21j

Параметры трансформатора марки ТМ-1600/10 приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Параметры трансформатора цеховых ТП марки ТМ-1600/10

Сном; МВА	U _{ВН} , кВ	U _{НН} , кВ	U _к ;%	I _{х.х} ;%	P _х ,МВт	P _к , МВт	X _{тр2} , Ом	R _{тр2} , Ом	Z _{тр2} , Ом
1,6	10,5	0,4	5,5	1,5	0,002	0,007 3	9,63	2,03	2,03+ 9,63j

Параметры линий приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Параметры линий

Z _{0Л1} , Ом/км	Z _{0Л2} , Ом/км	Z _{0Л3} , Ом/км	Z _{Л1} , Ом	Z _{Л2} , Ом	Z _{Л3} , Ом
0,625+0,4j	1,24+0,08j	1,94+0,08j	0,18+0,115j	0,045+ 0,0029j	0,648+ 0,0267j

Сопротивление системы, приведенное к 10 кВ, Ом:

$$X_c = X_{*c} \cdot \frac{U_c^2}{S_c} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2, \quad (64)$$

где $X_{*c} = 0,3$ – относительное сопротивление системы, приведенное к напряжению системы $U_c = 35$ кВ;

$S_c = 100$ МВА – полная мощность энергосистемы.

$$X_c = 0,3 \cdot \frac{35^2}{100} \cdot \left(\frac{11}{35} \right)^2 = 0,35 \text{ Ом.}$$

Сопротивление силовых трансформаторов, приведенное к 10 кВ, Ом:

$$X_m = \kappa^2 \cdot \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{НН}^2}{S_{н.тр}}, \quad (65)$$

$$R_m = \kappa^2 \cdot P_{\kappa} \cdot \frac{U_{ном}}{S_{н.тр}}. \quad (66)$$

где u_k – напряжение КЗ трансформатора, %.

Для трансформатора ГПП (ТМН – 4000/35):

$$X_{T1} = 0,31^2 \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{35^2}{4} = 2,21 \text{ Ом};$$

$$R_{T1} = 0,31^2 \cdot 0,0335 \cdot \frac{35}{4} = 0,25 \text{ Ом}.$$

Для цехового трансформатора ТП (ТМ-1600/10):

$$X_{T2} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{(10,5)^2}{1,6} = 3,79 \text{ Ом};$$

$$R_{T1} = 0,0073 \cdot \frac{10,5}{0,63} = 2,03 \text{ Ом}.$$

Сопротивление линий:

$$Z_{л} = (x + jr) \cdot L \quad (67)$$

где L – длина линии, км.

Сопротивление линии Л1, приведенное к 10 кВ:

$$Z_{л1} = (0,625 + j \cdot 0,4) \cdot 4 \cdot 0,31^2 = 0,24 + j \cdot 0,15 \text{ Ом}.$$

Сопротивление линии Л2:

$$Z_{л2} = (1,24 + j \cdot 0,08) \cdot 0,1 = 0,12 + j \cdot 0,008 \text{ Ом}.$$

Сопротивление линии ЛЗ:

$$Z_{ЛЗ} = (0,84 + j \cdot 0,095) \cdot 0,1 = 0,084 + j \cdot 0,0095 \text{ Ом.}$$

После определения параметров схемы замещения проводится расчёт токов короткого замыкания в сетях напряжением 10 кВ и 0,4 кВ.

Расчет токов КЗ в сети 10 кВ выполняется в именованных единицах, А:

$$I_k^{(3)} = \frac{E_C}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\Sigma}}, \quad (2.68)$$

где $Z_{k\Sigma}$ – суммарное сопротивление до точки КЗ, Ом;

E_C – напряжение системы, кВ.

Преобразование схемы замещения для расчёта тока короткого замыкания в расчётной точке К1:

$$Z_1 = Z_C + Z_{Л1} + Z_{Т1}, \quad (69)$$

$$Z_1 = 0,29 + j \cdot 2,35 \text{ Ом,}$$

$$E_C = Z_C + Z_{Л1} + Z_{Т1}, \quad (70)$$

$$E_C = 10,82 + j0,024 = 10,82 \text{ кВ.}$$

Ток короткого замыкания в расчётной точке К1 равен:

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{10,82}{\sqrt{3} \cdot |0,29 + j \cdot 2,35|} = 2,91 \text{ кА.}$$

Постоянная времени, с:

$$T_{A1} = \frac{x_{\sum R=0}}{\omega \cdot r_{\sum X=0}} = \frac{\left(\frac{1}{X_C + X_{Л1} + X_{Т1}} + \frac{2}{X_{СД} + X_{Л2}} \right)^{-1}}{\omega \cdot \left(\frac{1}{R_{Л1} + R_{Т1}} + \frac{2}{R_{Л2}} \right)^{-1}}; \quad (71)$$

$$T_{A1} = \frac{2,134}{314 \cdot 0,276} = 0,025 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{0,01/T_A}; \quad (72)$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{0,01/0,025} = 2,5.$$

Ударный ток короткого замыкания в расчётной точке К1, кА:

$$i_{y\partial 1} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{К1}; \quad (73)$$

$$i_{y\partial 1} = 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,91 = 10,29 \text{ кА.}$$

Расчет токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ производится в именованных единицах.

Результирующие активное и индуктивное сопротивления короткозамкнутой цепи до точки К2:

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left| (Z_1 + Z_{Т2} + Z_{Л3}) \cdot (K_T)^2 + R_{ооб} \right|, \quad (74)$$

где $R_{доб}$ – добавочное сопротивление контактов, $R_{доб} = 15$ мОм для РУ-0,4 кВ.

Согласно условия (74):

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = |(0,29 + j2,35 + 2,03 + j9,63 + 0,084 + j0,0095) \cdot 0,04^2 + 0,015| = 0,02 + j0,019 \text{ Ом.}$$

Согласно условия (2.68) значение тока КЗ в расчётной точке К2:

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (0,02 + j0,019)} = 11,56 - j12,17 = 16,79 \text{ кА.}$$

Постоянная времени в расчётной точке К2 согласно условию (71):

$$T_{A2} = \frac{0,19}{314 \cdot 0,02} = 0,03 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент в расчётной точке К2 согласно условию (72):

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{0,01/0,03} = 1,396 \approx 1,4.$$

Ударный ток КЗ в расчётной точке К2 согласно условию (73):

$$i_{y\partial 2} = 16,79 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,4 = 33,24 \text{ кА.}$$

3. Мероприятия по технике безопасности и охране труда

3.1. Мероприятия по охране труда и технике безопасности при выполнении работ

Согласно требованиям [19-20], перед началом работ в электроустановках необходимо провести организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

К организационным мероприятиям относятся [19-20]:

- выдача нарядов и распоряжений для проведения работ в электроустановках;
- назначение лиц, отвечающих за безопасное проведение работ (руководителя работ, допускающего, наблюдающего, членов бригады);
- непосредственное проведение инструктажей (вводного, на рабочем месте, плановых, внеплановых);
- допуск рабочей бригады к работе;
- надзор во время выполнения работ бригадой;
- оформление перерывов в работе;
- перевод на другое рабочее место (при необходимости);
- окончание работ в электроустановках.

К техническим мероприятиям относятся [19-20]:

- производство необходимых коммутационных переключений;
- принять меры, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных аппаратов путём применения их блокировок, а также расшивке цепи, отсоединения кабельных и воздушных вводов, снятием отдельных коммутационных аппаратов и (или) их приводов (ключей) и т.д.;
- вывесить запрещающие плакаты на приводах коммутационных аппаратов и ключах управления;
- убедиться в отсутствии напряжения на токоведущих частях путём использования технических средств (указателей напряжения и т.д.);

- наложить переносное заземление там, где это необходимо (на токоведущих частях электроустановок). В случае, если на электрооборудовании установлены заземляющие ножи, необходимо их включить. В этом случае переносное заземление разрешается не устанавливать;

- оградить рабочее место, а также токоведущие части, оставшиеся под напряжением;

- вывесить плакаты по технике безопасности (предписывающие и предупреждающие).

Необходимо помнить, что в электроустановках всех типов и классов напряжения должен быть обеспечен видимый разрыв. В электроустановках до 1 кВ его обеспечивают рубильники (при их отключении) и предохранители (при их снятии), а в сетях выше 1 кВ – разъединители (при их отключении) и предохранители (при их снятии).

Кроме всего прочего, при выполнении работ в электроустановках необходимо пользоваться специальными защитными средствами: спец. одеждой и обувью (выдаётся работодателем), спец. инструментами (обязательно должны быть поверены), спец. приспособлениями индивидуальной защиты (диэлектрические коврики, подставки, перчатки, каски и др.).

До выполнения работ в электроустановках допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста и прошедшие соответствующее обучение согласно требований [19-20].

При этом всем прошедшим обучение присваивается соответствующая группа допуска по электробезопасности.

Всего существует пять групп по электробезопасности. Каждая последующая группа включает в себя знание предыдущей, а также новые знания и навыки, присущие данной группе.

При назначении ответственных за безопасное проведение работ обязательно должна учитываться группа по электробезопасности (не ниже установленной).

Также при работе в электроустановках необходимыми являются навыки оказания первой медицинской помощи до приезда врача. Каждый член бригады должен владеть навыками выполнения искусственного дыхания, непрямого массажа сердца, освобождения пострадавшего от электрического напряжения и т.д. Все данные аспекты являются строго обязательными к выполнению при работе в электроустановках.

С точки зрения экологической безопасности, основными источниками, загрязняющими окружающую среду, являются силовые трансформаторы ГПП 35/10 кВ. При этом основным источником загрязнения является отработанное трансформаторное масло, которое должно утилизироваться в специальные ёмкости. Для данной цели на ГПП 35/10 кВ имеется маслоприёмник, представляющий собой герметичную бетонную площадку с углублениями. Маслоприёмник предохраняет почву от попадания в неё трансформаторного масла. Категорически запрещается выливать отработанное трансформаторное масло в грунт. Для этой цели используются специальные герметичные ёмкости.

Также опасность для окружающей среды представляет сорбент (силикагель), используемый в силовых трансформаторах в качестве осушителя. Он также должен быть утилизирован согласно установленных требований.

Особую опасность представляют электромагнитные поля, возникающие от линий высокого и сверхвысокого напряжения. На ГПП 35/10 кВ к таким относятся поля, возникающие на питающей воздушной линии 110 кВ. С целью недопущения негативного влияния электромагнитного поля указанной линии, необходимо соблюдать минимально допустимые расстояния от неё, использовать защитную одежду, а также технические средства (экраны), ограничивающие данное негативное влияние [19-20].

3.2. Расчёт контура заземления ТП участка механосборочного производства

Производится расчёт контура заземления ТП – 10/0,4 кВ, питающей участок механосборочного производства согласно методике [13].

Принимаются в качестве вертикальных заземлителей (электродов) стальные стержни диаметром 16 мм и длиной 2 м.

Верхние концы электродов погружаются на 0,5 м.

Расстояние между вертикальными электродами принимается 4 м.

Тип почвы в месте сооружения контура заземления – суглинок.

Удельные значения сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей [13]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (75)$$

$$\rho_{p.в} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.в}, \quad (76)$$

где $\rho_{y\delta}$ – справочное нормируемое значение удельного сопротивления грунта [13];

$K_{n.z}$ и $K_{n.в}$ – справочное нормируемое значение коэффициентов горизонтальных и вертикальных электродов [13].

По условиям (75) и (76)

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Значение сопротивления растеканию стержневого вертикального электрода [13]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \quad (77)$$

где l - длина электрода, м;

d - внешний диаметр электрода, м;

t - принимаемое расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 69,53 \text{ Ом.}$$

Число вертикальных заземлителей (электродов) по [14]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{ шт.}, \quad (78)$$

где $K_{u.e}$ - коэффициент использования вертикальных заземлителей (электродов) без учета влияния горизонтальных электродов при их размещении по контуру, [13].

$$N = \frac{69,53}{0,66 \cdot 4} = 26,34 \text{ шт.}$$

Принимается $N = 27$ шт.

Расчетное значение сопротивления растеканию горизонтальных электродов [13]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.z} \cdot 2\pi \cdot l_z} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t}, \text{ Ом.}, \quad (79)$$

где $K_{u.z.}$ – нормируемое значение коэффициента использования горизонтальных соединительных электродов в контуре из вертикальных электродов [13];

l – суммарная длина горизонтальных электродов, м;

t – расстояние до поверхности земли, м;

b – ширина полосы, м.

$$R_r = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{ Ом.}$$

Уточненное сопротивление вертикальных электродов с учётом величины нормируемого значения сопротивления [13]

$$R_{в.э.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом.} \quad (80)$$

$$R_{в.э.} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом.}$$

Уточненное количество вертикальных электродов с учётом коэффициента использования вертикальных электродов [13]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{ шт,} \quad (81)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 + 4,72} = 24,15 \text{ шт.}$$

Окончательно принимается в проектируемом контуре заземления ТП-10/0,4 кВ, питающей участок механосборочного производства, 25 шт.

вертикальных электродов, расположение – по периметру трансформаторной подстанции.

Рассчитывается сопротивление вертикальных заземлителей (электродов) проектируемого контура заземления:

$$R_{с.е} = \frac{R_B}{K_{у.е} \cdot N}, Ом. \quad (82)$$

$$R_{с.е} = \frac{69,53}{0,66 \cdot 25} = 4,56 Ом.$$

Общее сопротивление заземлителей (электродов) контура заземления определяется таким образом:

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, Ом. \quad (83)$$

$$R_{общ.} = \frac{4,56 \cdot 26,17}{4,56 + 26,17} = 3,88 Ом.$$

Полученное значение сопротивления проектируемого контура заземления меньше предельно допустимого нормируемого значения 4 Ом, значит, спроектированный контур заземления ТП-10/0,4 кВ, питающей участок механосборочного производства удовлетворяет необходимым требованиям и положениям [1]. Конструктивное выполнение спроектированного заземляющего контура ТП-6/0,4 кВ, питающей участок механосборочного производства приведена на рисунке 7.

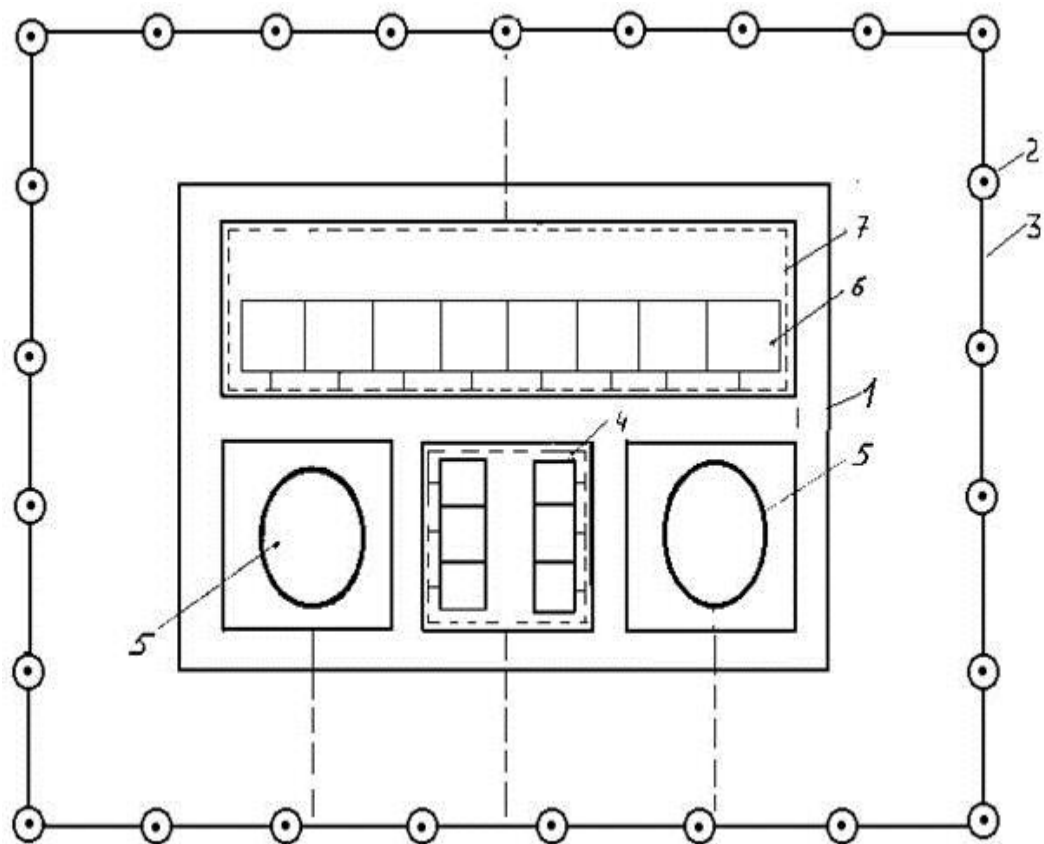


Рисунок 7 – Конструктивное выполнение спроектированного заземляющего контура ТП-10/0,4 кВ, питающей участок механосборочного производства: 1 – ТП-10/0,4 кВ, 2 - вертикальный электрод, 3 - горизонтальный электрод, 4 - камеры ВН, 5 – силовой трансформатор, 6 - шкафы 0,4 кВ, 7 – заземляющий проводник

Заключение

В результате выполнения работы осуществлена реконструкция системы электроснабжения механосборочного производства Ликино-Дулёвского автобусного завода.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие основные задачи:

- в первом разделе приведены краткая характеристика структуры и организации предприятия, описание системы электроснабжения предприятия, описание оборудования и системы электроснабжения участка механосборочного производства;

- во втором разделе работы проведена реконструкция схемы электрической сети участка механосборочного производства; выбор технологического оборудования, аппаратуры защиты и управления, сечений проводников и расчёт нагрузок питающей и распределительной сети механосборочного производства; выбор силовых трансформаторов ТП; реконструкция электрического освещения механосборочного производства; расчёт электрических нагрузок предприятия, выбор числа и мощности трансформаторов ГПП и цеховых ТП, расчёт токов короткого замыкания;

- в третьем разделе разработан комплекс мероприятий по технике безопасности и охране труда при выполнении работ, а также осуществлён расчёт контура заземления ТП механосборочного производства.

Реконструированная система электроснабжения механосборочного производства Ликино-Дулёвского автобусного завода отвечает требованию нормативных документов по качеству и надёжности электроснабжения потребителей, электробезопасности и экономичности.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 632 с.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // РД РАО «ЕЭС России». – М.: Министерство энергетики, 2013.
3. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
5. Ликино – Дулёвский автобусный завод. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ликинский_автобусный_завод. Дата обращения 30.01.2020 г.
6. Хорольский, В. Я. Надежность электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. 128 с.
7. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
8. Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2018. 352 с.
9. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
10. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС.,2018. 312 с.
11. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.

12. Фролов, Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.
13. Шеховцов, В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.
14. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777).
15. Баранов, Л.А. Светотехника и электротехнология / Л. А. Баранов, В. А. Захаров -М.: Колос, 2018. – 343с.
16. Газалов, В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. /В.С. Газалов. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. – 268 с.
17. Сибикин, Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. - 464 с.
18. Экономика энергетики - Рогалев Н.Д. - Учебное пособие. Режим доступа: <https://institutiones.com/download/books/1558-ekonomika-energetiki-rogalev.html>. Дата обращения 17.02.2020 г.
19. Курдюмов, В.И., Зотов, Б.И. Энергетика и экономика – / В. И. Курдюмов, Б. И. Зотов – М.: Колос, 2015. – 247 с.
20. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. - 174 с.: ил.