

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение автотранспортного предприятия»

Студент

А.В. Тушканов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Терентьев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

О.А. Парфенова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

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

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

В изложенной ниже выпускной квалификационной работе изложен процесс формирования проекта реконструкции системы электроснабжения автомобильного предприятия.

Рассматривается разработка разделов, затрагивающих реконструкцию внешних питающих сетей, собственной трансформаторной подстанции предприятия, а также структуры и оборудования внутренних питающих цепей.

Подробно рассмотрена проблема освещения объекта, осуществлено технико-экономическое сравнение различных вариантов осветительного оборудования.

Выполнен расчет токов короткого замыкания и произведена проверка оборудования на стойкость к протеканию сверхтоков, возникающих в аварийных ситуациях.

Кроме того, рассчитано заземление объекта, призванное оградить обслуживающий персонал от поражения электрическим током в случае замыкания находящихся под напряжением проводников на металлические корпуса или иные токопроводящие элементы оборудования и строительных конструкций.

Выпускная квалификационная работа выполнена в объеме 55 страниц, содержит 7 таблиц, 10 рисунков, список использованных источников из 20 наименований, графическую часть на 6 листах формата А1.

ABSTRACT

The title of the diploma paper is: «Electricity supply of a motor transport enterprise». This graduation work is about the process of forming a trolleybus depot reconstruction project.

The subject of the graduation work is the trolleybus depot, placed in western part of central district of Togliatti and, in particular, its electrical part. The key issue of the graduation work is the carrying out a reconstruction procedures for renovation of the electrical part of trolleybus depot, with is necessary for rise of safety and efficiency of power equipment. We touch upon the problem of rusty, outdated power transformer and ineffective system of relay protection and a number of other types of structures, which should conform to the existing norms and regulations. We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions.

We study the role of system of lighting current in the functioning of the building as a single unified electrotechnical complex and analyze the technical condition of it. We also examine how voltage level affect to work conditions of power transformers and circuit-breakers and develop solutions to improve it.

In conclusion we'd like to stress that taking into consideration the fact that the motor transport enterprise has not undergone major repairs since the construction, the graduation project will allow us to fully prepare for the upcoming reconstruction. The technique applied has confirmed that the state of the electrical part of the substation does not comply with the existing norms and rules and needs reconstruction.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Характеристика депо и требования к электроснабжению	7
2	Изучения структуры распределительной сети электроснабжения	10
3	Расчёт силовых нагрузок	12
4	Расчёт токов короткого замыкания	17
5	Выбор оборудования силовой распределительной сети	21
5.1	Выбор числа и мощности силовых трансформаторов	23
5.2	Выбор оборудования 10 кВ	26
5.3	Выбор питающего кабеля	27
5.4	Выбор оборудования защиты и проводников на низкой стороне	28
5.5	Распределительное устройство на низкой стороне	31
5.6	Выбор шкафов центрального распределительного пункта и распределительных шкафов	33
5.7	Компенсация реактивной мощности	34
6	Светотехнический расчет	35
7	Расчет заземления	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		53
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ		Ошибка! Закладка не определена.

ВВЕДЕНИЕ

Жизнь нынешних городов невозможна без четко организованных пассажирских перевозок. Задача городского пассажирского транспорта заключается в обеспечении занятости населения, ежедневных деловых и культурных поездок. Удовлетворение потребностей городского движения населения должно быть организовано качественно, удобно и безопасно.

Организация транспортных услуг в городах будет усложняться по мере увеличения населенности городских районов, поскольку масштабы и количество поездок увеличились. Промышленное развитие, увеличение числа культурных и иных институтов, социальная трансформация и материальное благополучие обуславливают увеличение количества пассажирских транспортных средств и личного транспорта населения.

В качестве одного из перспективных видов городского пассажирского транспорта широко развит троллейбус, сочетающий множество положительных характеристик трамвая и автобуса. Используя обычную дорожную сеть, троллейбус не требует значительных эксплуатационных расходов. Однако он имеет низкую пропускную способность, что приводит к более высоким эксплуатационным расходам, чем у трамвая, значительно меньшей маневренности, медленной скорости движения, чем у автобуса и требует контактной сети и тяговой подстанции.

Понятие «городской электрический транспорт» (ГЭТ) как единое название для трамваев и троллейбусов появилось в результате специфики транспортной истории. По мере увеличения требований к окружающей среде рост стоимости моторного топлива увеличивает роль сложной системы (с использованием дизель-генераторов), аккумуляторов для зарядки при остановке, систему на суперконденсаторах и, как результат, изменяет классическую шину для троллейбуса.

Электрическая тяга обеспечивает следующие важные преимущества по сравнению с дизельной:

- Отсутствие выхлопа в зоне посадки.
- Максимальная тяга двигателя на любой скорости;
- Рост надежности автомобиля.
- Отсутствие холостых оборотов двигателей.
- Низкие эксплуатационные расходы.
- Сокращение использования индивидуального транспорта и очистка дорог.

Сегодня приоритеты смещаются в сторону организации небольших предприятий, находящихся в частных руках, которые занимаются обработкой продукции лишь на определенном этапе. Данные организации имеют цеха с относительно небольшой установленной мощностью оборудования, однако их достаточно много.

Возникает проблема высокой разветвленности сетей электроснабжения и повышаются требования к их надежности и энергоэффективности.

В связи с этим необходимо полностью или частично реконструировать электрические сети. Это связано с тем, что с момента строительства ремонтировались только отдельные системы, что в будущем может повлечь неисправность всей схемы в целом.

1 Характеристика депо и требования к электроснабжению

Объект проектирования представляет структурную группу железобетонных конструкций, производственный склад, бытовые и административные здания, располагающиеся на территории депо:

- Ремонтный цех
- Корпус административного управления.
- Подземная автостоянка (бомбоубежище).
- Склад масел.
- Крытая стоянка спецавтомашин.
- КПП (контрольно-пропускной пункт).

Ремонтный цех оборудован металлорежущими станками, электропривод является основным потребителем электроэнергии. Также присутствует сварочный модуль. Станковые комплексы предназначены для обработки заготовок из пластмассы, металла и дерева с помощью режущего инструмента.

Предусмотрены специальные механизмы подъема в цехе, а передача нагрузки и вспомогательные работы выполняются с помощью крановой балки, погрузчика, электрической тележки.

Имеется система искусственной вентиляции.

Естественный свет поступает из окон в дневное время, а искусственное освещение используется вечером и ночью.

Поскольку контактная сеть троллейбуса находится на расстоянии 5 м от пола, вероятность случайного поражения электрическим током крайне мала. Запыленность помещений также незначительная, за исключением мастерской по ремонту автомобиля, которая, впрочем, представляет собой комнату с нормальной влажностью и температурой. В пылеулавливающей установке нет пожарной или взрывоопасной атмосферы.

При возможности случайного контакта с токонесущим компонентом, в котором присутствует напряжение, выполняется заземление данного компонента.

В соответствии с [1]: «Изменения характеристик напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети, относящихся к частоте, значениям, форме напряжения и симметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения, подразделяют на две категории - продолжительные изменения характеристик напряжения и случайные события.

Продолжительные изменения характеристик напряжения электропитания представляют собой длительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и обусловлены в основном изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок.

Случайные события представляют собой внезапные и значительные изменения формы напряжения, приводящие к отклонению его параметров от номинальных. Данные изменения напряжения, как правило, вызываются непредсказуемыми событиями (например, повреждениями оборудования пользователя электрической сети) или внешними воздействиями (например, погодными условиями или действиями стороны, не являющейся пользователем электрической сети)»

Ответственность за надлежащее качество поставляемой электроэнергии несет ее поставщик, тогда как потребитель обязуется соблюдать определенные [1], [2] и условиями подключения требования, дабы некорректной работой своих электроустановок не вносить нарушений в функционирование энергосистемы.

Для качественного и бесперебойного электроснабжения цеховых потребителей необходима надежная координация всех элементов энергосистемы, а также разработка системы управления ее эксплуатацией и контролем, профилактическое обслуживание, подходящее для анализа состояния и ремонта требуется с организованной периодичностью. Как сказано в [2], существует три класса надежности потребителей:

«Электроприемники первой категории - электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни лю-

дей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Электроприемники второй категории - электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники третьей категории - все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.»

На основании данной классификации считается возможным отнести объект ВКР ко второй категории надежности электроснабжения. Это подразумевает наличие возможности подключения резерва питания силами оперативного персонала. Питание объекта обеспечивается двумя трансформаторами.

2 Изучения структуры распределительной сети электроснабжения

Проводящие сети необходимы для доставки электрической энергии к электроустановкам потребителей. Они подключаются посредством устройств защиты и распределения. Электрическая сеть промышленного предприятия подразделяется на внутреннюю и внешнюю. В современных промышленных комплексах питание цеховой нагрузки реализуется за счет интегрированного в конструкцию комплектной трансформаторной подстанции модуля трансформации (масляного, но чаще сухого), поэтому разветвлённость внешних сетей с напряжением до 1 кВ сильно ограничена. Выбор напряжения сети зависит от мощности, потребляемой электрическим приёмником, расстояния от источника питания и напряжения источника питания.

В нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, где имеется много мощных электродвигателей (более 200 кВт), необходимо использовать напряжение 660 В.

Напряжение 380/220В является базовым для электрооборудования до 1000 В. Оно используется для питания электрических и осветительных электрических приемников от трансформаторов. Изоляция оборудования промышленных компаний производится с расчетом на максимальное напряжение 1000 В.

Схема организации электросетевого хозяйства определяет технический процесс производства, категорию надежности источника питания, взаимное расположение цеховой подстанции и электрического приемника, его единичную мощность и местоположение в пределах здания.

Конфигурация электрической сети может быть выполнена с магистральной или радиальными линиями.

Радиальный контур характеризуется тем, что, например, из распределительного щита подстанции, от источника питания отделяется линия, питающая большой электрический приемник или групповую точку распределения, и отдельная линия, питающая небольшой электрический приемник. Распределение

энергии в таких сетях осуществляется радиальными линиями от точек распределения, представленных групповыми щитками или иными комплексами оборудования. Радиальный контур обеспечивает высокую надежность электроснабжения. Однако радиальная схема требует больших материальных вложений по причине сравнительно высокого расхода оборудования и проводников

Фактически, мастерская по ремонту троллейбусов относится к транспортной отрасли, следовательно, определяется как вторая категория потребителей.

Поскольку электрическая нагрузка распределена в пределах здания неравномерно, принято решение установить подстанцию спереди здания на некотором удалении от центра электрической нагрузки. Несмотря на то, что это увеличивает длину, стоимость и потери напряжения в электросети, такое расположение ТП не мешает техническому процессу и отвечает требованиям пожарной и электрической безопасности.

Условно устройства электротехнической мастерской разделены на две части, оснащенные различными распределительными ШР и ЦРП. Это позволяет отдельно отключать левое и правое крыло мастерской в случае возникновения необходимости.

Чтобы подключить распределительный шинопровод к радиальному кабелю, используется вводная коробка, установленная в разъем распределительной шины и подключенную к секции ветвления распределительного шинопровода.

Осветительная нагрузка цеха поставляется другой сетью, состоящей из кабелей 380/220 В.

Центральные точки распределения представляют собой металлические шкафы, прикрепленные к стенам. Толщина металла 3 мм. Они заблокированы замками для предотвращения случайного поражения электрическим током и хищения электрооборудования лицами без определенного места жительства, рабочими. Такая прокладка обеспечивает адекватную защиту от механических повреждений, важных для электрической сети цехов промышленной компании.

Высоковольтные распределительные устройства и распределительные устройства низкого напряжения находятся рядом с трансформатором.

3 Расчёт силовых нагрузок

Электрическая нагрузка промышленных предприятий определяет выбор параметров всех элементов энергосистемы, таких, как мощность трансформаторной подстанции, расчетные токи сети и распределительных шин, высоковольтных кабелей, оборудования защиты и управления.

При расчете электрической нагрузки важно правильно определить электрическую нагрузку на все элементы силовой сети. Если нагрузка чрезмерна, существует вероятность того, что материал проводника будет подвергнут перерасходу, а стоимость строительства возрастет. Необходимо удерживать нагрузку в рамках достаточности, чтобы оптимизировать мощность электрической сети и убедиться, что нормальная работа электроприбора может быть гарантирована.

Для определения электрической нагрузки в цехе формируется таблица установленной и рассчитанной суммарной мощности. Энергетическая нагрузка этого проекта рассчитывается с использованием метода расчетного коэффициента. Пример расчета представлен для ЦРП-1.

Расчет начинается с определения номинальной мощности каждого электрического приемника независимо от особенностей его технического процесса, средней мощности, потребляемой в течение наиболее загруженной смены, и максимальной проектной мощности участка, площадки или объекта в целом. Номинальная мощность указана в паспортных данных электрического приемника.

– Установленная мощность электроприемников по ЦРП-1

$$P_{\text{уст}} = nP_{\text{н}} \quad (3.1)$$

Произведём расчет:

$$P_{уст} = 1 \cdot 113,7 + 1 \cdot 37,2 + 1 \cdot 22,24 + 1 \cdot 96,5 + 1 \cdot 44,14 + 1 \cdot 59,78$$

$$P_{уст} = 373,56$$

– Показатель степени сборки для электроприемников по ЦРП-1

$$m = \frac{P_{н.мах}}{P_{н.мин}} = \frac{89}{16,5} = 5,39 \quad (3.2)$$

Сменная мощность определяет количество потребляемой энергии в ходе самого загруженного периода работы (смены). Согласно текущему графику работы промышленной компании, первая смена считается самой загруженной.

– Активная средняя мощность за самую загруженную смену по ЦРП-1:

$$P_{см} = P_{уст} \cdot k_p, \quad (3.3)$$

где k_p – расчетный коэффициент, который для каждого электроприемника определяется индивидуально (в соответствии с информацией, представленной в [3])

$$P_{см} = 113,7 \cdot 0,55 + 37,2 \cdot 0,65 + 22,24 \cdot 0,14 + 96,5 \cdot 0,15 + 44,14 \cdot 0,14 + \\ + 59,78 \cdot 0,65 = 156,23 \text{ кВт}$$

Реактивная мощность средняя за смену для ЦРП-1:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi \quad (3.4)$$

где $tg\varphi$ - значение тангенса угла φ , соответствующее средневзвешенному значению $\cos \varphi$ для электроприёмника данного режима работы.

$$Q_{см} = 62,54 \cdot 1,39 + 24,18 \cdot 1,02 + 10,01 \cdot 0,84 + 14,48 \cdot 1,02 + 6,18 \cdot 1,05 + \\ + 38,86 \cdot 1,02 = 180,88 \text{ кВар}$$

Расчетный коэффициент электроприёмников определяет степень использования активной мощности данным оборудованием в технологическом процессе.

– Расчетные коэффициенты по ЦРП-1:

$$k_p = \frac{P_{см}}{P_{уст}} = \frac{156,23}{373,56} = 0,42 \quad (3.5)$$

– $\operatorname{tg} \varphi$ по ЦРП-1 и соответствующий ему коэффициент мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{см}}{P_{см}} = \frac{180,88}{156,23} = 1,16 \quad (3.6)$$

Данному $\operatorname{tg} \varphi$ соответствует $\cos \varphi = 0,95$.

– Эффективно используемое число приемников по ЦРП-1::

$$n_{\text{э}} = \frac{2P_{уст}}{P_{н.мах}} = \frac{2 \cdot 373,56}{89} = 8,39 \quad (3.7)$$

Примем эффективное количество электрических приемников равным количеству установленных приборов: $n_{\text{э}} = 6$.

По [4] определяем расчетный коэффициент:

$$K_p = 1,99$$

– Расчетная активная мощность по ЦРП-1:

$$P_{мах} = P_{см} \cdot K_p = 156,23 \cdot 1,99 = 310,91 \text{ кВт} \quad (3.8)$$

– Расчетная реактивная мощность по ЦРП-1:

$$Q_p = Q_{см} \cdot K_p = 180,88 \cdot 1,99 = 359,95 \text{ кВАр} \quad (3.9)$$

Таблица 3.1 – Итоги расчета по ЦРП.

№ п/п	ЭП	Кол- во	P _н , кВт	P _{уст} , кВт	m	K _и	cos φ	tg φ	P _{см} , кВт	Q _{см} , кВАр	n _э	K _м	P _{max}	Q _{max}	S _{max}	I _{max}
1	ШР-1	1	89	113,7		0,55	0,95	1,39	62,54	86,92						
2	ШР-2	1	22,5	37,2		0,65	0,80	1,02	24,18	24,66						
3	ШР-3	1	16,5	22,24		0,45	0,70	0,84	10,01	8,41						
4	ШР-4	1	51	96,5		0,15	0,80	1,02	14,48	14,76						
5	ШР-5	1	43	44,14		0,14	0,81	1,05	6,18	6,49						
6	ШР-6	1	37,4	59,78		0,65	0,80	1,02	38,86	39,63						
7	ЦРП-1	6	52,8	373,56	5,39	0,42	0,85	1,16	156,23	180,88	6	1,99	310,91	359,95	475,64	722,65
8	ШР-8	1	26,8	38,91		0,11	0,71	0,85	4,28	3,64						
9	ШР-9	1	19,7	33,5		0,24	0,80	1,02	8,04	8,20						
10	ШР-10	1	15	23,7		0,38	0,62	0,71	9,01	6,39						
11	ШР-12	1	66,3	84,41		0,15	0,88	1,20	12,66	15,19						
12	ШР-14	1	16,6	54,1		0,14	0,70	0,84	7,57	6,36						
13	ЦРП-2	5	40,7	234,62	4,42	0,84	0,95	1,12	197,80	220,67	5	1,59	23,55	19,79	30,76	46,74
14	ШР-7	1	14,5	32,94		0,45	0,60	0,84	14,82	12,45						
15	ШР-11	1	4,5	21,78		0,17	0,71	0,85	3,70	3,15						
16	ШР-13	1	16,6	26,16		0,43	0,65	0,14	11,25	1,57						
17	ШР-15	1	40,5	54,6		0,13	0,92	1,31	7,10	9,30						
18	ШР-16	1	8,8	27,79		0,55	0,48	0,52	15,28	7,95						
19	ЦРП-3	5	22,5	163,27	9	1,53	0,95	1,02	249,95	255,09	5	2,20	33,63	17,49	37,90	57,58
20	ШР-17	1	38,4	50,4		0,12	0,75	0,93	6,05	5,62						
21	ШР-18	1	27,5	37		0,44	0,90	1,26+	16,28	20,51						
22	ШР-19	1	34,3	62,1		0,18	0,86	1,16	11,18	12,97						

Продолжение таблицы 3.1

23	ШР-20	1	17,1	24		0,15	0,80	1,02	3,60	3,67						
24	ШР-21	1	11,7	18,8		0,90	0,80	1,02	16,92	17,26						
25	ШР-22	1	23	39,1		0,70	0,90	1,26	27,37	34,49						
26	ШУК	1	80	80		0,90	0,95	0,91	72,00	65,52	1	1,18	85,18	77,51	115,16	174,97
27	ЦРП-4	7	25,1	231,4	3,28	0,35	0,95	1,16	81,40	94,52	7	2,31	63,22	79,66	101,70	154,52
	ИТОГО	23	47,7	1082,85	6,4	0,35	0,71	1,16	757,38	816,68	1	1,18	895,98	966,13	1317,65	2002,0
	Комп-я			373,56						-400,0						
	С комп-ей	23	47,7	1456,41	6,4	0,52	0,93	0,55	757,38	416,68	1	1,18	895,98	492,93	1022,63	1553,7

– Расчетная полная мощность по ЦРП-1:

$$S_{max} = \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2} = \sqrt{310,91^2 + 359,95^2} = 475,64 \text{ кВА}$$

– Максимальный расчётный ток по ЦРП-1:

$$I_p = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} U_n} = \frac{475,64}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 722,65 \text{ А}$$

Итоги расчета по прочим ЦРП сведены в таблицу

По остальным ЦРП расчёт аналогичен, результаты расчёта сведены в таблицу 3.1.

4 Расчёт токов короткого замыкания

В соответствии с [5]: «Устойчивое развитие промышленности и сельского хозяйства страны в значительной степени зависит от надежности работы энергосистем.» В свою очередь, нормальная работа энергосистемы предполагает учет при ее проектировании токов, протекающих в цепях электроснабжения в аварийных режимах – при коротких замыканиях.

Для расчёта токов короткого замыкания в данной ВКР применен метод относительных единиц. Он подразумевает приведение расчетных данных к базисной ступени напряжения, а также базисной мощности. В качестве базисного напряжения выступают значения 115, 10,5, 0,4 кВ. Базисная мощность – число, удобное для расчетов, кратное 100.

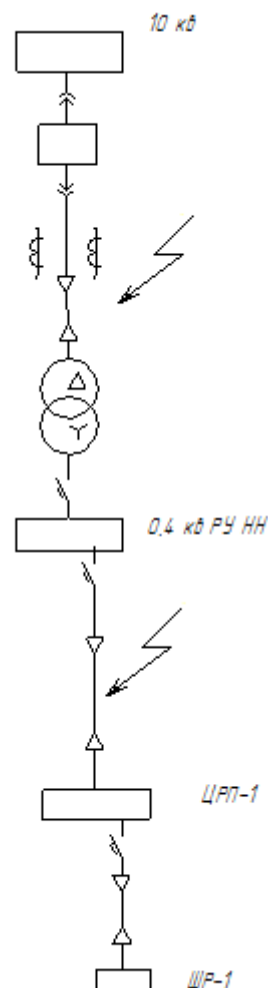


Рисунок 4.1 – Схема для расчета токов КЗ

Сформируем схему замещения, присваивая элементам данной схемы буквенные обозначения (рисунок 4.1). Определим значения сопротивлений элементов схемы в относительных единицах.

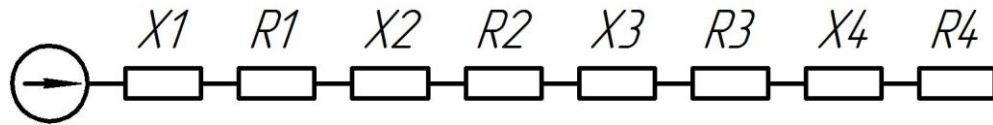


Рисунок 4.2 – Схема замещения для расчета токов КЗ

– Сопротивление системы:

$$x_1 = x_c = 0,5 \quad (4.1)$$

– Сопротивление ВЛ 110 кВ:

$$x_2 = x_0 l_1 \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2} \quad (4.2)$$

где:

l_1 - длина линии, км;

$S_6 = 100$ – базисная мощность системы, МВА;

U_{61} - базисное напряжение линии, кВ.

$$x_{\text{ВЛ}} = 0,4 \cdot 30 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,09$$

Поскольку к ТП подходят две линии, сопротивление нужно уменьшить в два раза:

$$x_2 = \frac{x_{\text{ВЛ}}}{2} = \frac{0,09}{2} = 0,045 \quad (4.3)$$

– Определим сопротивление трансформаторов:

$$x_{\text{ТР}} = \frac{U_{K1} \cdot S_6}{100 \cdot S_{\text{н.м1}}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 10} = 1,05 \quad (4.4)$$

где:

$U_{н1}$ - напряжение КЗ трансформатора, %;

$S_{н.м1}$ - номинальная мощность трансформатора, МВА.

Так как трансформатора два, данное сопротивление также делим на два.

$$x_3 = \frac{x_{тр}}{2} = \frac{1,05}{2} = 0,525 \quad (4.5)$$

– Определим реактивное сопротивление кабельной линии 10 кВ:

$$x_4 = x_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 0,08 \cdot 0,6 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,044 \quad (4.6)$$

– Сопротивление кабельной линии 10 кВ активное:

$$r_4 = r_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 0,2 \cdot 0,6 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,109 \quad (4.7)$$

– Реактивное сопротивление трансформаторной подстанции:

$$x_5 = \frac{U_{к2} \cdot S_6}{100 \cdot S_{н.т2}} = \frac{4,5 \cdot 100}{100 \cdot 0,4} = 11,25 \quad (4.8)$$

где $U_{к2}$ - напряжение КЗ трансформатора, %;

$S_{н.м2}$ - номинальная мощность трансформатора, МВА.

Токи КЗ рассчитаем для двух точек – на сторонах 10 и 0,4 кВ.

– Ток базисный I_6 , кА:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} \quad (4.9)$$

$$I_{6.К1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_{6.К2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,34 \text{ кА}$$

– Суммарное реактивное сопротивление элементов:

$$x_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.10)$$

$$x_{\Sigma K1} = 0,5 + 0,045 + 0,525 + 0,044 = 1,114; \quad x_{\Sigma K2} = 1,114 + 11,25 = 12,364$$

Определим токи коротких замыканий:

$$I_K = \frac{I_6}{x_K} \quad (4.11)$$

$$I_{K1} = \frac{5,498}{1,114} = 4,935 \text{ кА}$$

$$I_{K2} = \frac{144,34}{12,364} = 11,674 \text{ кА}$$

– Определяем ударный ток:

$$i_y = \sqrt{2} k_y \cdot I_K \quad (4.12)$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,138 = 13,079 \text{ кА}$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 11,674 = 18,16 \text{ кА}$$

– Мощность короткого замыкания:

$$S_{K3} = \frac{S_6}{x_K} \quad (4.13)$$

$$S_{K31} = \frac{100}{1,117} = 89,525 \text{ МВА}; \quad S_{K32} = \frac{100}{12,364} = 8,088 \text{ МВА}$$

Таблица 4.1 – Расчётные значения токов КЗ

Ток КЗ в точке К1	Ток КЗ в точке К2
89,525	8,088

Произведем выбор оборудования силовой распределительной сети:

5 Выбор оборудования силовой распределительной сети

Питание для цеха подается от трансформаторной подстанции. По причине высокой выходной мощности трансформатора и необходимости обеспечения высокой надежности источника питания, в качестве системы электропитания используется радиальная двухступенчатая система.

Напряжение сети составляет 10 кВ. Кабель 10 кВ был уложен в канаву, идущую от ТП и закопан.

Для обеспечения надежности и непрерывности работы в системе электропитания предполагается следующее.

На ТП установлены два трансформатора.

- Если цепь КЛ-110 кВ, одного трансформатора ТП, отключена, оставшаяся цепь подает питание на нагрузку II категории.

- Кабели, которые питают различные части РП, укладываются на разные полки и разделяются огнеупорными перегородками.

- Питание высоковольтных двигателей или аналогичных устройств из разных секций РП;

- Питание отдельных участков РП от различных трансформаторов ТП;

- Питание каждого трансформатора 2-х трансформаторных подстанций берется из разных секций РП.

- Силовые трансформаторы ТП 10/0,4 кВ выбраны со схемой соединения обмоток треугольник/звезда (11) для увеличения однофазного тока КЗ в сети 0,4 кВ и уменьшения времени отключения защитой поврежденного участка сети;

- Все электрооборудование распределительного устройства имеет выкатные тележки

- Высоковольтное оборудование унифицировано.

В здании РУ 10 кВ имеется также панель релейной защиты и автоматизации, предназначенная для управления системами трех трансформаторов.

В соответствии с [619], помимо привычных устройств релейной защиты, либо же вместо них целесообразно устанавливать на подстанцию устройства, принцип действия которых основан на применении микропроцессорных технологий. Такие приборы, оснащенные блоками долгосрочной памяти позволяют накапливать и анализировать данные о качестве электроснабжения объекта для дальнейшего улучшения функционирования системы в целом.

Кроме того, на основании [7] можно заключить, что в странах европейского блока на протяжении последних лет имеется тенденция к отслеживанию потоков мощности в транзитных и распределительных сетях, что позволяет рационально подходить к проектированию объектов электроэнергетической инфраструктуры. Под рациональностью здесь понимается отсутствие излишней энергооснащенности, а как следствие, экономия материала, перерасход которого был столь характерен для электротехнической промышленности СССР.

5.1 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов

В соответствии с [8]: «Цеховые трансформаторы имеют следующие номинальные мощности: 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 кВА.»

По мере увеличения мощности трансформатора, ток короткого замыкания увеличивается. Таким образом, единичная мощность трансформатора, который поставляет электрооборудование до 1000 В, ограничена током короткого замыкания. Нецелесообразно использовать трансформатор с вторичным напряжением 0,4 кВ и мощностью более 2500 кВА. Поэтому, максимальная мощность трансформатора на заводе-изготовителе для напряжения (0,4-0,66) кВ составляет 2500 кВА.

Количество трансформаторов должно быть сведено к минимуму. Для энергоемких отраслей с большой важностью бесперебойного электроснабжения ТП рекомендуется унифицировать, индивидуальные мощности трансформаторов снижать.

При этом необходимо учитывать протекание в магнитопроводе трансформатора вихревых токов, которые подробно описаны в [9]. Чем мощнее трансформатор и чем ниже коэффициент его загрузки, тем менее целесообразно его использование.

Подстанции на рабочем месте могут быть оборудованы одиночными трансформаторами и двойными трансформаторами.

Выбор количества трансформаторов в трансформаторной подстанции зависит от требуемой надежности источника питания.

Рекомендуется использовать широкий спектр применений одотрансформаторных подстанций для электроснабжения электрических приемников III и II категорий.

Подстанции из двух трансформаторов используются в снабжении электрических приемников в I и II категориях и в энергоемких мастерских с удельной мощностью нагрузки свыше 0,5-0,7 кВА / м. В следующих случаях двух-

трансформаторные подстанции используются для питания любой категории электрооборудования для обеспечения надежности источника питания.

- Дневная или годовая диаграмма загрузки цеха очень неоднородна (например, если выгодно удалить трансформатор без нагрузки, одна операция переключения на рабочем месте).

- Возможно дальнейшее быстрое увеличение нагрузки.

- Удельная мощность нагрузки 0,4 кВА / м или более.

Электропитание электрических приемников категории I должно поставляться от 2 трансформаторов и 3 трансформаторных подстанций. 3-х Трансформаторные подстанции рекомендуется использовать, когда нагрузка может равномерно распределяться по распределительному устройству до 1 кВ подстанции. Кроме того, если для цеха требуются отдельные мощности и осветительные нагрузки, мы поставим подстанцию с более чем двумя трансформаторами. Если есть сильный ЭП, требующий мощности блока или если заводская нагрузка превышает возможности 2-х трансформаторных подстанций, оснащенных трансформатором около 3500 кВА. ТП цеха с более чем двумя трансформаторами используется только в том случае, если вы надлежащим образом обосновали потребность ее применения.

Так, например, на основании [10] нужно отметить, что держать под напряжением ненагруженные трансформаторы невыгодно, в связи с наличием у данных электрических машин потерь холостого хода, возникающих вне зависимости от приложенной нагрузки.

При выборе количества и мощности трансформаторов рекомендуется следующее:

Если возможно, используйте трансформатор с мощностью свыше 1000 кВ в присутствии группы высокомошных ЭП (таких как электрическая печь) или большого количества однофазных ЭП. ЕР имеет частую пиковую нагрузку (например, электрическую сварочную машину) и в мастерских с высокой нагрузкой,

Стремиться к единообразию оборудования

Выбирая две трансформаторные подстанции и один трансформатор с базовой схемой питания для каждого трансформатора, когда один трансформатор покидает работу, остальные трансформаторы классифицируются по I и II категориям. Потребители потребительской категории III временно подвергаются принудительному отключению и идут зажигать свечи. В этом случае, если трансформатор заряжен номинальной мощностью 0,7, когда один из трансформаторов, отключен, остальные трансформаторы должны работать с нагрузкой, не превышающей 1,4

– Полная мощность цеха за наиболее загруженную смену:

$$S_{\text{см}} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2} = \sqrt{757,38^2 + 816,68^2} = 1113,82 \text{ кВА} \quad (5.1)$$

Вид трансформатора, который установлен на подстанции, выбираем в соответствии со строительными требованиями, условиями окружающей среды, условиями охлаждения, требованиями пожарной и электрической безопасности, а также рекомендациями, изложенными в [11].

К установке решено принять два силовых масляных трансформатора ТМГ-800/10/0,4 У1. Определим коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_{\text{см}}}{S_{\text{н.тр.}}} = \frac{1113,82}{2 \cdot 800} = 0,69 \quad (5.2)$$

Таким образом, выбранная номинальная мощность трансформатора является оптимальной.

5.2 Выбор оборудования 10 кВ

Выбираемый силовой выключатель предназначен для переключения электрических цепей в нормальном и не совсем режимах в трехфазной сети синусоидального тока частотой 50 Гц, с классом напряжением от 6 до 10 кВ.

Конструктивные особенности выключателя:

- Универсальность, то есть возможность устанавливать электромагнитные или пружинные двигатели.
- Можно вручную зарядить пружину, чтобы включить выключатель нагрузки, когда нет рабочего тока (только для переключателя с пружинным приводом).
- Нечувствительность к перенапряжению при выключении линии, закороченной выключателем.
- Простота монтажа
- Высокая надежность.
- Большое число циклов включения-выключения.
- Наличие счетчика для числа рабочих циклов выключателя.
- Если есть, то индикация включения / выключения, привод пружины готов к работе или не совсем.
- Возможно наличие встроенных в выключатель расцепителей
- Унифицированная конструкция всех типов выключателей - выключатели с электромагнитным и пружинным двигателями имеют одинаковые конструкции точек присоединения.
- Ребра жесткости прикреплены к внутренней стенке камеры переключателя. Это улучшит диэлектрические свойства автоматического выключателя и уменьшает возможность пробоя внутренней поверхности полюса выключателя.
- Блок управления имеет нагревательный элемент, который необходим для того, чтобы исключить замораживание полюсов в холодное время года и осечки при срабатывании.

Примем к установке вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-10

5.3 Выбор питающего кабеля

Транзит энергии от производителя к потребителю связана с потерей электроэнергии в передающей линии, которая увеличивается с ростом сопротивления линии и зависит от поперечного сечения кабеля. Чем больше поперечное сечение кабеля, тем меньше потери. Однако, в то же время, стоимость строительства линии увеличивается при росте поперечного сечения. Для электрических установок с напряжением до 1000 В принимаются поперечные сечения линейных кабелей, что снижает капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Расчёт производится в два этапа:

Определим сечение кабеля предварительно по экономической плотности тока в линии. В соответствии с [12] экономическая плотность тока для кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена составляет 2,5 А/мм².

$$I_p = \frac{S_H}{3U_H} = \frac{800}{3 \cdot 10} = 46,24 \text{ А} \quad (5.3)$$

Определим сечение кабеля по плотности тока экономической:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{46,24}{2,5} = 18,50 \text{ мм}^2 \quad (5.4)$$

Предварительно выберем кабель АПвБШв-10-3х35.

Проверим кабель на устойчивость к протекающим токам короткого замыкания:

$$S_{\text{мин}} = \frac{I_K \cdot \overline{t_{\text{пр}}}}{c} = \frac{4935 \cdot \overline{0,5}}{141} = 24,79 \text{ мм}^2 \quad (5.5)$$

Следовательно, выбранный кабель стоек к токам протекающим в линии при коротком замыкании.

Окончательно к установке принят кабель АПвБШв-10-3х35.

5.4 Выбор оборудования защиты и проводников на низкой стороне

При работе с электрической сетью долгосрочная перегрузка и короткое замыкание провода и кабеля повышают температуру проводящего проводника выше значения, устанавливаемого в [2]. Поэтому электрический приемник и части сети должны быть защищены специальным оборудованием (предохранитель, либо автоматический выключатель). Выбор аппаратов защиты рассмотрен на примере ШР-1:

Номинальный ток станка, подключенного к ШР-1:

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{н}}} \quad (5.6)$$

Для сушильной камеры:

$$I_{\text{н1}} = \frac{31,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,80} = 69,71 \text{ A}$$

Для краскотерки:

$$I_{\text{н2}} = \frac{2,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,80 \cdot 0,69} = 10,48 \text{ A}$$

Для транспортировщика кузовов:

$$I_{\text{н3}} = \frac{1,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,78 \cdot 0,55} = 6,02 \text{ A}$$

Кратность пускового тока в соответствии с рекомендациями, приведенными в [13] принята равной 5.

$$I_{\text{п}} = 5 \cdot I_{\text{н}} \quad (5.7)$$

Тогда:

Для краскотерки:

$$I_{\text{п2}} = 5 \cdot 10,48 = 52,40 \text{ A}$$

Для транспортировщика кузовов:

$$I_{пз} = 5 \cdot 6,02 = 30,10 \text{ А}$$

Сушильная камера двигателем не оборудована, посему расчету пускового тока не подвергается.

В [14] рекомендуется устанавливать предохранители для защиты машин с номинальным током 14 А или менее. Поэтому для защиты рассчитанных выше цепей применим автоматический выключатель типа АЗ710Б. Автоматические выключатели являются альтернативой рубильникам и предохранителям. В зависимости от характера изменения режима работы сетевого элемента в нормальном режиме запускается тепловой или электромагнитный расцепитель. Тепловой расцепитель защищает от перегрузки, а электромагнитный – от КЗ.

– Как рекомендовано в [15], примем номинальный ток выключателя на основании условия:

$$I_{н.ов.} \geq I_{н.ЭП} \quad (5.8)$$

Принимаем выключатель с номинальным током 100 А в целях защиты электросушилки, ибо номинальный ток данного агрегата – 69,71 А.

Принимаем выключатель с номинальным током 100 А в целях защиты краскотерки, ибо номинальный ток данного агрегата – 52,4 А.

Принимаем выключатель с номинальным током 40 А в целях защиты транспортировщика кузовов, ибо номинальный ток данного агрегата – 30,1 А.

– Номинальный ток для тепловой защиты от перегрузки в составе автоматического выключателя выбирается по расчетному току линии на основе условия:

$$I_{тр} \geq 1,15 \cdot I_{дл.р.} \quad (5.9)$$

1,15 – коэффициент отстройки защиты от токов кратковременных перегрузок

Примем следующие токи тепловых расцепителей:

- 100 А ($100 > 1,15 \cdot 69,71$) – для электросушилки
- 100 А ($100 > 1,15 \cdot 52,4$) – для краскотерки
- 40 А ($40 > 1,15 \cdot 30,1$) – для транспортировщика кузовов

Ток активации электромагнитного расцепителя рассчитывают по максимальному мгновенному току из условия:

$$I_{\text{эмп}} \geq k \cdot I_{\text{кр}} \quad (5.10)$$

Где $k = 1,25$ – это коэффициент, который учитывает возможность ложного срабатывания расцепителя из-за неточности изготовления электромагнитного расцепителя на заводе.

Для коммутатора с номинальным током 160 А ток срабатывания ЭМР - 100 А ($100 > 1,25 \cdot 52,4$).

Для коммутатора с номинальным током 40 А ток срабатывания ЭМР - 40 А ($40 > 1,25 \cdot 30,1$).

В результате расчетов установленный автоматический выключатель полностью отвечает требованиям защиты электрического приемника.

Распределительный шинопровод запитан от распределительного шинопровода ШР-1 проводом марки ПВ (медные жилы, ПВХ изоляция). Для защиты от удара лопатой или иным инструментом провод прокладывается в трубе.

Сечения проводов приняты на основании данных [3], исходя из условия:

$$I_{\text{дл.пр.}} > I_{\text{дл.р.}} \quad (5.11)$$

Для электронной сушилки выбран провод ПВ1·25 ($75 > 69,71$).

Для краскостерки выбран провод ПВ1·25 ($65 > 52,4$).

Для транспортировщика кузовов выбран провод ПВ1·4 ($31 > 30,1$).

Каждому кабелю полагается своя ответвительная коробка. Расчет по прочему оборудованию произведем аналогично.

5.5 Распределительное устройство на низкой стороне

К установке на ТП примем ячейки ГРЩ- АМ-2 ТМ2905К. Камеры ГРЩ укомплектованы так:

- Выключатель
- Разъединитель
- Трансформатор тока

Произведем выбор выключателя на стороне НН:

Такой выключатель выбирается в соответствии с номинальным напряжением и током, местом проектирования и установки, током и мощностью, которую необходимо отключать. Состояние стойкости к току короткого замыкания определяется путем сравнения величины тока, отключаемому автоматическим выключателем при заданном напряжении с допустимым током короткого замыкания в течение времени, равного сумме времени срабатывания реле и собственного времени срабатывания выключателя. Отключающая способность выключателя определяется из условия:

$$I_{\text{откл}} > I_K \quad (5.12)$$

Проверка низковольтных аппаратов на термическую стойкость проводится на основании условия:

$$I_t^2 t \geq I_\infty^2 \cdot t_{\text{пр}} \quad (5.13)$$

Здесь I_t – ток термической стойкости, который регламентирован заводом изготовителем.

Следующая формула используется для проверке аппарата на термическую стойкость:

$$I_t \geq I_\infty \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{пр}}}{t}} \quad (5.14)$$

Динамическую стойкость проверяют путем сравнения показателей, установленных производителем с расчетным ударным током.

К установке принято: выключатель типа OT1000E03C. $U_{\text{ном}} = 0,4$ кВ; $I_{\text{ном}} = 12$ кА; $i_{\text{max}} = 51$ кА; Климатическое исполнение - УХЛ1;

– Выбор разъединителя.

Разъединители не предназначены для блокировки токов короткого замыкания, поэтому отключающая способность разъединения не проверяются. Выбор выполняется по длительному току линии и напряжению (номинальному).

К применению принят разъединитель типа TmaxT6. $U_n = 0,4$ кВ; $I_n = 400$ А. Разъединитель рассчитан на внутреннее размещение в камерах КРУ и КСО.

– Выбор токовых трансформаторов

Как сказано в [16], трансформатор тока выбирается по конструкции, номинальному напряжению и току, первичной и вторичной катушечной нагрузке, классу точности и допускам. Кроме того, измерительный трансформатор проверяют на тепловую и динамическую стойкость к току короткого замыкания.

Условие соблюдения электродинамической стойкости:

$$k_{\text{дин}} \geq \frac{i_y}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}}} \quad (5.15)$$

Кратность термической стойкости трансформатора рассчитывается исходя из длительности КЗ в 1 (одну) секунду. Она приводится в паспортных данных трансформатора. Устройство термически стойко, если:

$$k_t \geq \frac{I_{\infty} \cdot \overline{t_{\text{пр}}}}{I_{\text{н1}}} \quad (5.16)$$

Номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора должна быть равна или больше суммы мощностей, потребляемой устройствами, к ней подключенными, и мощности, теряемой в проводке и переходных контактах. Сопротивление всех переходных контактов условно составит 0,1 Ом.

Примем к установке трансформатор тока АВВСТ 4/400.

5.6 Выбор шкафов центрального распределительного пункта и распределительных шкафов

Так как все шкафы ЦРП и ШР сильно изношены и неоднократно выработали ресурс работы, установленный производителем, решено их заменить.

В частности, решено демонтировать и утилизировать, а затем заменить следующие устройства:

- ЦРП-1
- ЦРП-2
- ЦРП-3
- ЦРП-4
- ШР1 – ШР21

К установке приняты шкафы ШРС. Они рассчитаны на номинальные токи до 400 А. Номинальное напряжение составляет 380 В.

Для защиты отходящих линий используются предохранители:

- НПН2-60 (до 63А)
- ПН-2-100 (до 100А)
- ПН2-250 (до 250 А)
- ПН2-400 (до 400А)

Ввод и вывод кабелей предусмотрен снизу, либо сверху шкафа.

Примем:

- Для ЦРП шкафы ШРС-24УЗ
- Для ШР – шкаф ШР-73504-22УЗ

5.7 Компенсация реактивной мощности

Экономически очень важно компенсировать реактивную мощность или увеличить коэффициент мощности промышленных предприятий, повысить эффективность системы электроснабжения и улучшить общее качество электроэнергии, поставляемой потребителям. Увеличивая коэффициент мощности в 0,01 раза по всей стране, можно будет ежегодно поставлять дополнительно 500 миллионов кВт·ч электроэнергии.

Повышение коэффициента мощности в промышленности, как правило достигается путем применения установок продольной, либо, поперченной компенсации реактивной мощности, собранных в составе комплектных компенсирующих, либо фильтрокомпенсирующих устройств.

– Определим мощность компенсирующей установки:

$$Q_{\text{КУ}} = P_{\text{см}} \cdot \alpha \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (5.17)$$
$$Q_{\text{КУ}} = 757,38 \cdot 0,9 \cdot 1,16 - 0,55 = 415,8$$

К установке примем конденсаторную батарею типа КРМ-0,4-400-2,5-6-3-УХЛ4. Мощность ее составляет 400 кВАр. Степень минимального регулирования 2,5 кВАр, число ступеней 6.

– Определим результирующую мощность на шинах ТП после компенсации:

$$Q_{\text{см2}} = Q_{\text{см1}} - Q_{\text{КУ}} = 816,68 - 400 = 416,68 \text{ кВАр} \quad (5.18)$$

– тангенс φ после компенсации:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q_{\text{см2}}}{P_{\text{см}}} = \frac{416,68}{757,38} = 0,55 \quad (5.19)$$

– Коэффициент мощности после компенсации

$$\cos \varphi = \cos \operatorname{atan} \varphi = 0,88 \quad (5.20)$$

6 Светотехнический расчет

Важную роль в сохранении электрической энергии, играет рациональное использование системы освещения, разработанной с использованием современных технологий. На настоящий момент на предприятии имеет место нерациональное использование электроэнергии, связанное с использованием системы освещения в дневное время. Это неправильно.

Чтобы снизить плату за электроэнергию, необходимо более разумно использовать освещение промышленных, бытовых и административных помещений, точно рассчитав освещение объекта с помощью программы «DIALux» и выбрав современный энергосберегающий источник света.

К использованию современного программного обеспечения призывает нас автор [17], указывая программу DIALux, как одну из наиболее перспективных и широко используемых при расчете освещения производственных площадей.

После оценки освещения и энергопотребления системы освещения компании становится очевидной возможность модернизации системы освещения, а потребление энергии может быть уменьшено на 40%.

Для рациональной замены светильников произведен технико-экономический расчет различных их типов.

– Светодиодные светильники



Рисунок 6.1– LED Оптолюкс-Скай-200MP

Внешний вид светильника представлен на рисунке 6.1. Технические характеристики светильника приведены в таблице 6.1. LED – (от англ. «Light emission diode») - светоизлучающий диод.

Таблица 6.1 – Технические хар-ки LED светильника

Мощность, W	214
Напряжение питания, V	100-240
Номинальная светоотдача, Лм	21300
Средненоминальное время горения лампы, ч	50000
Класс защиты по IP	IP 65

Плюсы применения LED светильников:

- Снижение потребления энергии в два раза по сравнению с аналогичными газоразрядными лампами
- Малая масса упрощает установку светильников.
- Различные типы диаграмм направленности.
- При внедрении осветительного оборудования на стадии строительства стоимость расходов на электричество снижается.
- Длительный срок службы сокращает эксплуатационные расходы.

Недостатки:

Дороговизна;

- Неприятный спектр излучения.
- Для стабильной и долговечной работы этих ламп необходимо использовать очень дорогостоящую систему электропитания и охлаждения.

Рыночная стоимость одной светодиодной осветительной установки составляет 28 730 р. руб.

В соответствии с [18], на настоящий момент светодиодные светильники являются наиболее экономичными по причине их долговечности и высокой светоотдачи, однако, несмотря на это, считается необходимым произвести объ-

ективное сравнение различных типов осветительных приборов для оценки общей совокупности показателей целесообразности их применения.

– Дуговые натриевые лампы

Наиболее эффективной газоразрядной лампой высокого давления является дуговая натриевая лампа - ДНАТ.

Внешний вид светильника представлен на рисунке 6.2. Технические характеристики светильника приведены в таблице 6.2.



Рисунок 6.2 -ДНАТ

Таблица 6.2 - Технические характеристики ДНАТ-400

Мощность, W	400
Напряжение питания, V	220
Номинальная светоотдача, Лм	47500
Средненоминальное время горения лампы, ч	15000

Не уступая по эксплуатационному сроку лампам ДРЛ, эти лампы в два раза превосходят их по излучаемому световому потоку при той же мощности. Цветовая температура излучения составляет около 2100 К. Хотя общий индекс цветопередачи низкий, спектр для человека вполне удовлетворительный.

Плюсы:

- Низкая стоимость самой лампы;
- Высокая светоотдача.

- Время службы 15000-18000 часов.

Недостатки:

- Ужасная цветопередача (коэффициент не выше 20-30%)
- Невысокая цветовая температура - 2000 К;
- Большой пусковой ток (требуется большое поперечное сечение питающего кабеля).
- Выход в режим работы через 15-20 минут после запуска.
- Зависимость от окружающей температуры среды
- Зависимость от уровня напряжения в сети
- Большой нагрев корпуса ДНАТ (максимум 100 °С).
- Очень высокий коэффициент пульсации (мерцание).

Рыночная стоимость одной лампы ДНАТ 560-1750 руб.

- Люминесцентные светильники с лампами типа ЛСПО

Люминесцентные светильники подвесного типа предназначены для освещения общественных зданий, детских садов, медицинских учреждений, образовательных учреждений и т. д. Эти люминесцентные светильники идеально подходят для освещения рабочих мест на промышленных производствах.



Рисунок 6.3 – Светильник ЛСПО энергосберегающий

Внешний вид светильника представлен на рисунке 6.3. Технические характеристики светильника приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Технические характеристики светильника ЛСПО

Мощность лампы, Вт	116
Напряжение, В	220
Световой поток лампы, лм	10400
Средняя продолжительность горения лампы, ч	90000

Положительные аспекты:

- Двойной эффект энергосбережения (экономия энергии до 30% с помощью коэффициента мощности) и зеркального отражателя, а также с помощью электронного балласта;

- Зеркальный отражатель позволяет направлять 80% светового потока на освещаемую зону.

- Быстрая окупаемость - от 8 месяцев до 1,5 года.

- Автоматическая функция отключения неисправной лампы.

- Соответствие стандартам совместимости электромагнитной.

Недостатки:

- Если напряжение питания падает ниже 10% от номинального значения, лампа не загорается.

- Поскольку лампа содержит вещества, вредные для здоровья, необходимо тщательно утилизировать старые лампы.

Рыночная стоимость одного светильника ЛСПО 2x58 2800 р. руб.

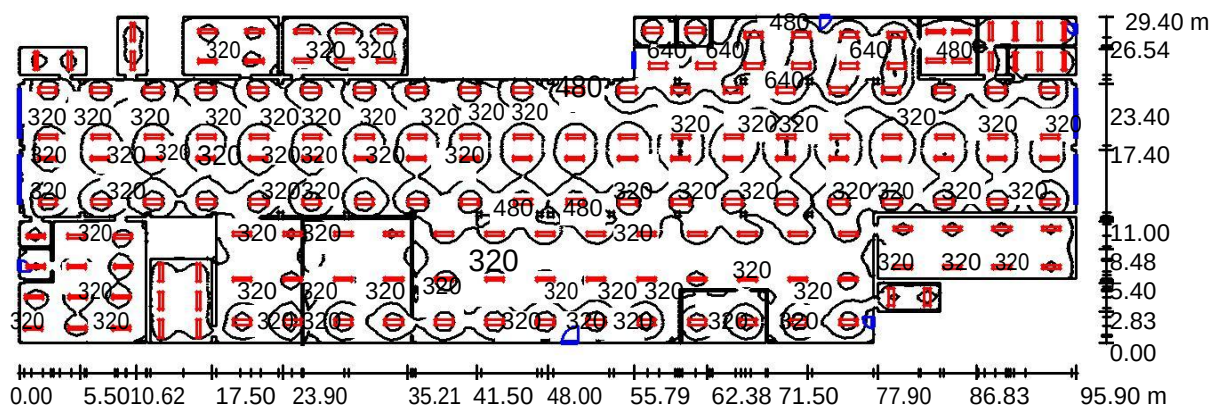
Осветительное оборудование анализировалось на основе имеющихся данных. Основываясь на анализе различных видов осветительного оборудования, люминесцентная лампа показывает самый высокий эффект энергосбережения, относительно низкую стоимость и хорошую ремонтпригодность, что в соответствии с [19] является основными критериями выбора системы освещения.

Расчет освещенности выполняется с помощью программы DiaLUX, а результаты расчета показаны ниже.

Проект 1 / Ведомость светильников

101 шт.	ВСС ЛСПО-01-2х58 № изделия: Световой поток от светильников: 10400 lm Мощностьсветильников: 108.0 W Классификациясветильниковпо CIE: 100 CIE Flux Code: 38 70 91 100 92 Комплектация: 2 x T8 (Поправочный коэффициент 1.000).	Изображение Светильников дается в Фирменном каталоге.
3 шт.	ТГУ ЛДП 01-2х36-001 № изделия: Световой поток от светильников: 5700 lm Мощностьсветильников: 72.0 W Классификациясветильниковпо CIE: 100 CIE Flux Code: 38 70 91 100 92 Комплектация: 2 x Поопределению пользователя (Поправочныйкоэффициент 1.000).	Изображение Светильников дается в Фирменном каталоге.
129 шт.	ТГУ ЛСПО 02-1х58-001 № изделия: Световой поток от светильников: 5200 lm Мощностьсветильников: 55.0 W Классификациясветильниковпо CIE: 100 CIE Flux Code: 43 76 96 100 86 Комплектация: 1 x T26 (Поправочный коэффициент 1.000).	Изображение Светильников дается в Фирменном каталоге.

Помещение 1 / Резюме



Высота помещения: 2.900 m, Монтажная высота: 2.900 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.81

Значения в Lux, Масштаб 1:687

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E / E	
					min	cp
Рабочая плоскость	/	347	46	840	0.132	
Полы	20	323	79	660	0.245	
Потолок	70	68	22	229	0.329	
Стенки (233)	50	211	36	1748	/	

Рабочая плоскость:

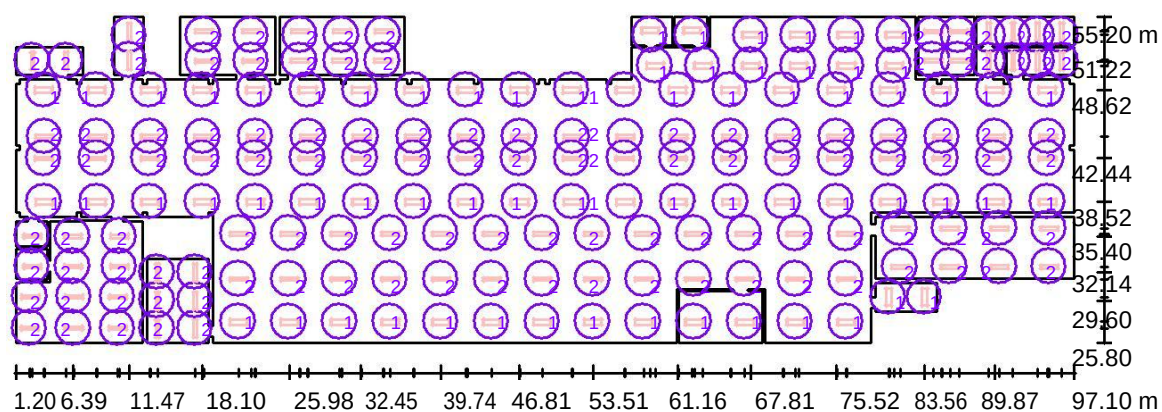
Высота: 0.850 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт. Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ [lm]	P [W]
1	67 ВСС ЛСПО-01-2x58 (1.000)	10400	108.0
2	118 ТГУ ЛСПО 02-1x58-001 (1.000)	5200	55.0
Всего:		1310400	13726.0

Удельная подсоединенная мощность: $5.52 \text{ W/m}^2 = 1.59 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 2487.01 m^2)

Помещение 1 / Светильники(план расположения)

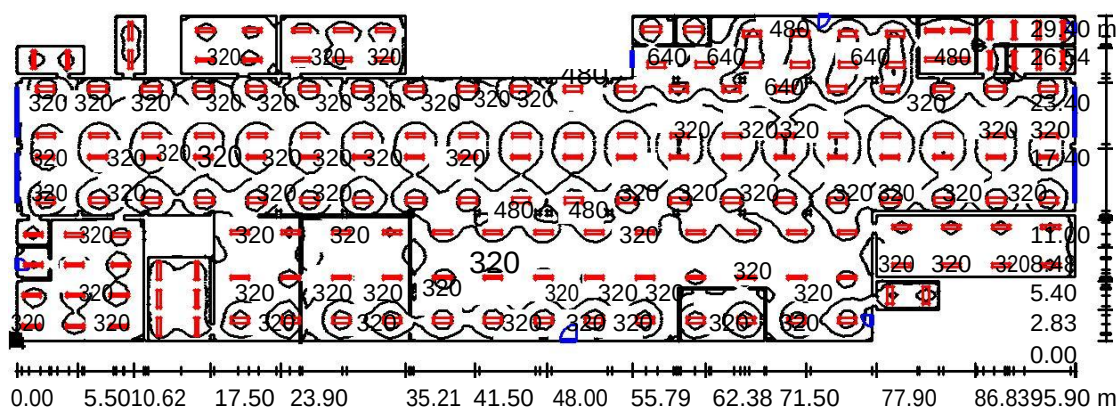


Масштаб 1 : 686

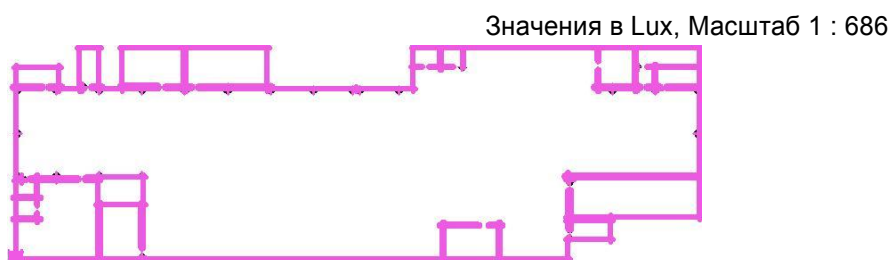
Ведомость светильников

№	Шт. Обозначение
1	67 ВСС ЛСПО-01-2х58
2	118 ТГУ ЛСПО 02-1х58-001

Помещение 1 / Рабочая плоскость / Изолинии(E)



Расположение поверхности в помещении:
Выделенная точка:
(1.197 m, 25.797 m, 0.850 m)



Растр: 128 x 128 Точки

E_{cp} [lx]
347

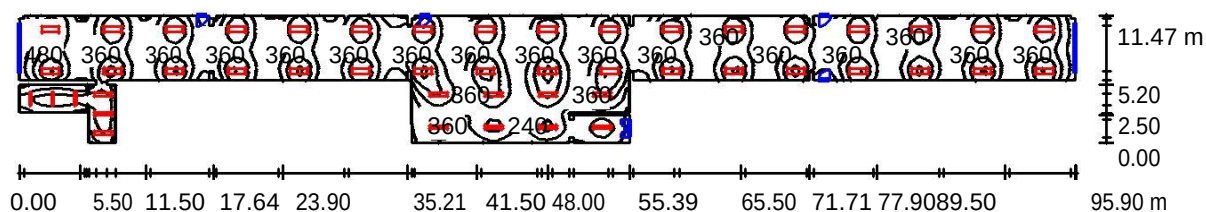
E_{min} [lx]
46

E_{max} [lx]
840

E / E
min cp
0.132

E / E
min max
0.055

Помещение 2 / Резюме



Высота помещения: 2.800 m, Монтажная высота: 2.800 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:686

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E / E	
					min	cp
Рабочая плоскость	/	377	78	674	0.207	
Полы	20	339	95	499	0.281	
Потолок	70	82	36	220	0.447	
Стенки (126)	50	247	35	1339	/	

Рабочая плоскость:

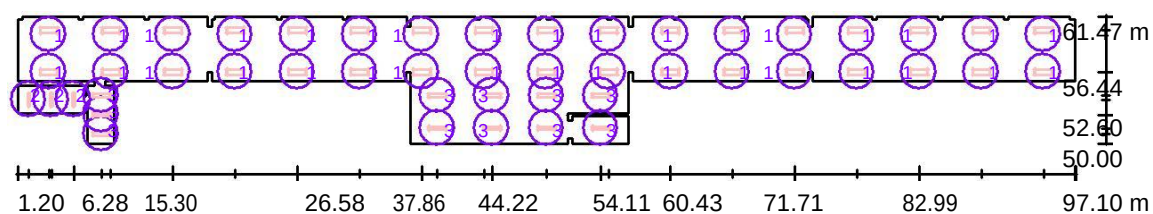
Высота: 0.850 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ [lm]	P [W]
1	34	ВСС ЛСПО-01-2x58 (1.000)	10400	108.0
2	3	ТГУ ЛДП 01-2x36-001 (1.000)	5700	72.0
3	11	ТГУ ЛСПО 02-1x58-001 (1.000)	5200	55.0
Всего:			427900	4493.0

Удельная подсоединенная мощность: $6.45 \text{ W/m}^2 = 1.71 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 696.30 m^2)

Помещение 2 / Светильники(план расположения)

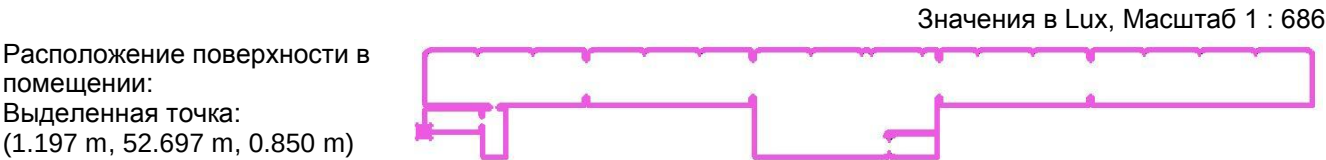
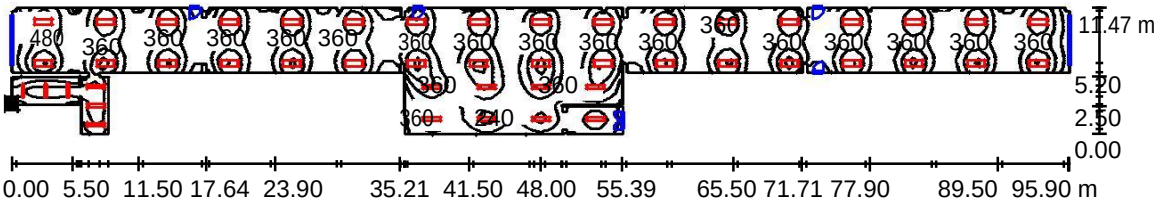


Масштаб 1 : 686

Ведомость светильников

№	Шт. Обозначение
1	34 ВСС ЛСПО-01-2х58
2	3 ТГУ ЛДП 01-2х36-001
3	11 ТГУ ЛСПО 02-1х58-001

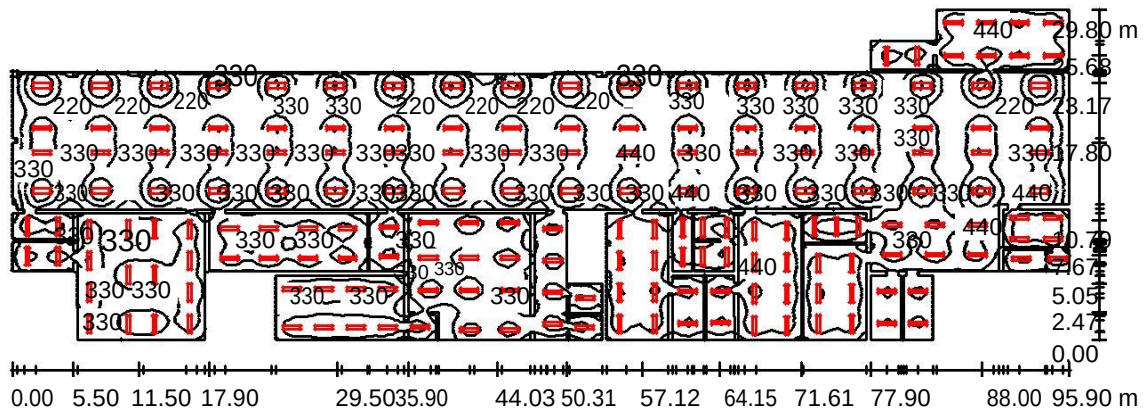
Помещение 2 / Рабочая плоскость / Изолинии(E)



Растр: 128 x 128 Точки

E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E / E		E / E	
			min	cp	min	max
377	78	674	0.207		0.116	

Помещение 1 / Резюме



Высота помещения: 2.800 m, Монтажная высота: 2.800 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:686

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E / E_{cp}	
					min	cp
Рабочая плоскость	/	332	81	616	0.244	
Полы	20	302	122	440	0.405	
Потолок	70	64	23	223	0.365	
Стенки (284)	50	196	38	1869	/	

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краяевая зона: 0.000 m

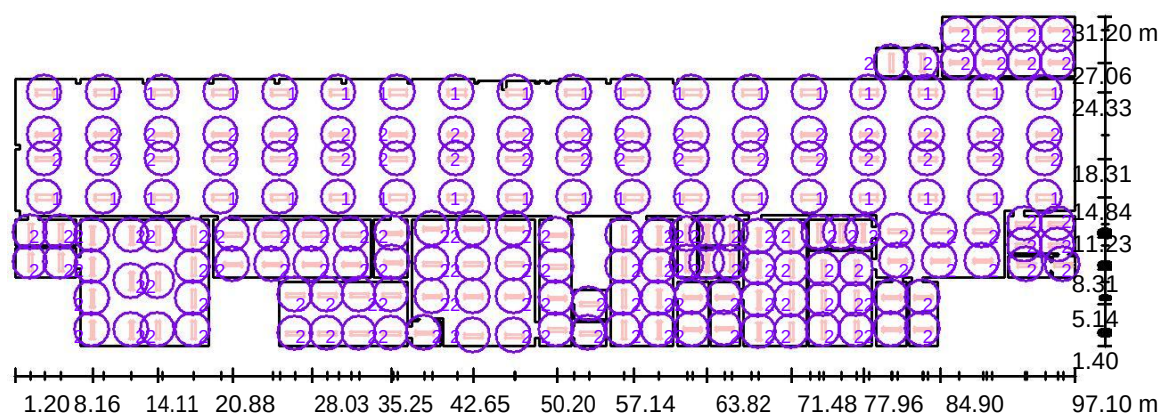
Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ [lm]	P [W]
1	36	ВСС ЛСПО-01-2x58 (1.000)	10400	108.0
2	151	ТГУ ЛСПО 02-1x58-001 (1.000)	5200	55.0

Всего: 1159600 12193.0

Удельная подсоединенная мощность: $5.69 \text{ W/m}^2 = 1.71 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 2142.86 m^2)

Помещение 1 / Светильники(план расположения)

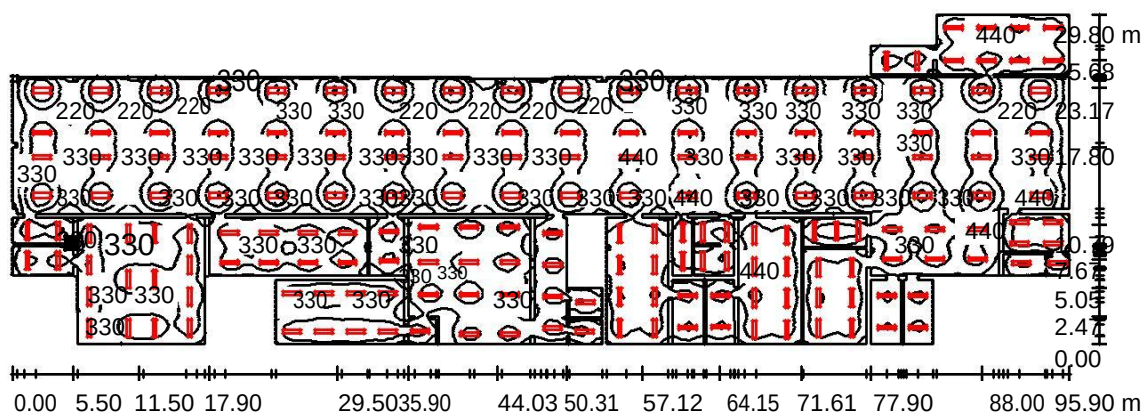


Масштаб 1 : 686

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение
1	36	ВСС ЛСПО-01-2х58
2	151	ТГУ ЛСПО 02-1х58-001

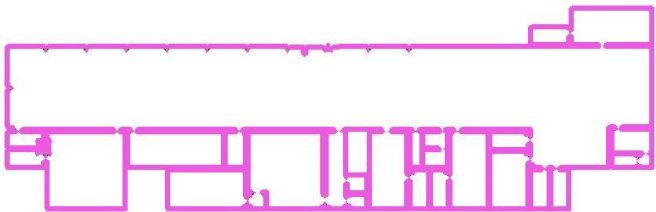
Помещение 1 / Рабочая плоскость / Изолинии(E)



Значения в Lux, Масштаб 1 : 686

Расположение поверхно-
сти в помещении:

Выделенная точка:
(6.697 m, 10.460 m, 0.850 m)



Растр: 128 x 128 Точки

E_{cp} [lx]
332

E_{min} [lx]
81

E_{max} [lx]
616

E / E
min cp
0.244

E / E
min max
0.131

7 Расчет заземления

Под заземлением любой части электрической установки понимается намеренное электрическое соединение с заземляющим устройством, состоящим из заземляющих проводников.

В соответствии с [20], устройства заземления служат не только для обеспечения безопасности личного состава при соприкосновении с элементами конструкций, оказавшимися под напряжением, но и позволяют в некоторых случаях снизить последствия грозовых перенапряжений, а также частично поглотить энергию атмосферного разряда.

Оборудование заземления разделено на естественное и искусственное. Водопроводные трубы и другие металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов, содержащих легкогорючие или взрывающиеся газы и жидкости), железные конструкции зданий, соединенных с землей, свинцовые обертки кабелей, используются в качестве естественного заземления. В качестве искусственного заземляющего проводника используется стальная труба, имеющая толщину стенки от 2,5 до 3,5 мм или более, круглую сталь диаметром 6 мм или более или металлическую пластину.

– Вычисляемое значение удельной сопротивляемости грунта

$$\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{изм}} \psi = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (7.1)$$

где $\rho_{\text{изм}}$ – замеренное сопротивление грунта.

$\Psi = 1,5$ сезонный коэффициент для нашей местности

– Ток однофазного КЗ на землю в сети 10 кВ

$$I_3 = \frac{U(35 \cdot l_{\text{каб}} + l_{\text{в}})}{350} = \frac{10(35 \cdot 0,6)}{350} = 0,6 \text{ А} \quad (7.2)$$

– Рассчитаем сопротивление заземляющего устройства для сетей 10 кВ и 0,4 кВ:

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3} = \frac{125}{0,6} = 208,3 \text{ Ом} \quad (7.3)$$

Сопротивление заземляющего устройства для сетей 0,4 кВ не должно превышать 4 Ом. Посему, выберем сопротивление 4 Ом в качестве предельного сопротивления всего контура, как наименьшее.

Рациональный выбор заземляющих проводников снижает затраты на металл и рабочую силу, необходимые для монтажа заземлителя, так что круглые стержни диаметром 14 мм и длиной 5 м принимаются в качестве заземляющих проводников. Стержни расположены в линии на расстоянии 6 м между ними.

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя:

$$R_{\text{о.пр.}} = (0,366 \cdot \frac{\rho}{l}) \lg(\frac{4l}{d}) \quad (7.4)$$

Для пруткового электрода:

$$R_{\text{о.пр.}} = 0,00227 \cdot \rho_{\text{расч}} = 0,00227 \cdot 0,9 \cdot 10^4 = 20,43 \text{ Ом} \quad (7.5)$$

– Число вертикальных стержневых заземлителей:

$$n = \frac{R_{\text{о.пр.}}}{\eta \cdot R_3} = \frac{20,43}{0,8 \cdot 0,4} = 6,38 \quad (7.6)$$

где $\eta = 0,8$ – степень взаимного экранирования электродов, которая зависит от длины пруткового заземлителя и их концентрации в пределах определенной площади.

Примем к установке 7 заземлителей.

При подключении заземляющего контура нужно забивать заземляющий проводник и в яму глубиной 0,5 м, выкопанную для его прокладки. Штанга зарывается в землю с помощью специального устройства (электрифицированная ручная вилка), а верхний конец выступает на 200 мм от земли. Соединение между электродами производится с помощью стальной полосы 40 мм. Полоска соединяется с электродами сваркой с обеих сторон.

Сеть межсетевого заземления построена с контурами стальных полос 40х4 мм, расположенных вдоль периферии здания. Шина заземления укладывается на стену на высоте 0,4 м от пола и доступна для осмотра. Торцы шины закреплены дюбелем, а расстояние между затяжками - 1,5 м. Качество крепления контролируется на глаз, и механически, путем удара молотком весом 1 кг (не очень сильно, иначе отвалится). Топор вместо молотка не использовать.

Способ подключения заземляющего проводника к отдельным типам электромеханических устройств выбирается в зависимости от основания, на котором он установлен, и конструкции заземляющего контакта. Единое заземление двух или более электрических устройств не допускается. Качество поверхности каждой машины контролируется мегомметром.

Все проводники искусственного заземления окрашены в черный цвет.

Регулярно контролируется состояние заземляющего устройства. По крайней мере каждые десять лет проводится выборочная проверка заземляющего оборудования и его элементов, размещенных на земле, и измеряется сопротивление заземляющего оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы произведена разработка проекта реконструкции системы электроснабжения хозяйства автотранспортного предприятия.

Произведен расчет нагрузок цеха по ремонту подвижного состава. Мощность потребителя с учетом произведенной компенсации реактивной мощности составила 1022,23 кВА.

Выбраны число и тип трансформаторов, питающих цеховое электрооборудование. К установке в цехе принято два трансформатора ТМГ-630/10/0,4 кВ.

Компенсировать влияние реактивной нагрузки на коэффициент мощности решено с помощью компенсирующего конденсаторного блока, устанавливаемого на низкой стороне напряжения трансформаторной подстанции мощностью 400 кВАр. Основываясь на результатах расчета токов короткого замыкания выбрано оборудование, необходимое для нормального функционирования системы электроснабжения производственного цеха. Выполнен расчет контура заземления.

Система электроснабжения, спроектированная в ходе выполнения ВКР отвечает современным требованиям норм и правил эксплуатации электроустановок, установленных в [2], безопасна, эффективна и надежна в эксплуатации и монтаже.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2008. 20 с.
- 2 ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок М.: Стандартинформ, 2001. 330 с.
- 3 Электротехнический справочник. Практическое применение современных технологий / под ред. С.Л. Корякина-Черняка. СПб. : Наука и Техника, 2014. 592 с.
- 4 Шеховцев В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2016. 136 с.
- 5 Короткие замыкания и выбор электрооборудования : учебное пособие для вузов / И.П. Крючков [и др.]. М. : Издательский дом МЭИ, 2012. 568 с.
- 6 Upadhyaya S.A., Mohanty S.V. Fast Methods for Power Quality Analysis // International Journal of Emerging Electric Power Systems, Walter de Gruyter GmbH. 2017 Vol. 18, № 5.
- 7 Hermina N.P., Golovanov N.K., Luminita E.L. Propagation of disturbances as voltage fluctuations in transmission networks. // International Journal of Emerging Electric Power Systems, Walter de Gruyter GmbH. 2016 Vol. 16, №4.
- 8 Сумарокова Л.П. Основы расчета систем внутризаводского электроснабжения : учеб. пособие. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 119 с.
- 9 Bhargava S. C. Finite Element Analyses of Eddy Current Effects in Turbo-generators : tutorial. Boca Raton : CRC Press, 2017. 635 p.
- 10 Kalluri D. K. Principles of Electromagnetic Waves and Materials, Second Edition. Boca Raton : CRC Press, 2016. 275 p.
- 11 Cassedy E. S., Peter Z. G. Introduction to Energy : tutorial. Cambridge : Cambridge University Press, 2017. 440 p.

12 Косоухов Ф. Д. Энергосбережение в низковольтных электрических сетях при несимметричной нагрузке : учеб. пособие. М. : Лань, 2016. 561 с.

13 Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2018. 396 с.

14 Васильева Т.Н. Надежность электрооборудования и систем электроснабжения : учеб. пособие. М. : Горячая линия-Телеком, 2015. 152 с.

15 Шевченко Н.Ю. Электроснабжение : учеб. пособие по выполнению курсовой работы. Волгоград : ИУНЛ ВолГТУ, 2015. 92 с.

16 Хромоин П. К. Электротехнические измерения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. 288 с.

17 Митрофанов С.В. Моделирование в электроэнергетике : учебное пособие : учеб. пособие. Оренбург : ОГУ, 2015. 143 с.

18 Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения: учебник : учеб. пособие. М. : Форум, 2017. 450 с.

19 Любимова Н. Г. Экономика и управление в энергетике. Учебник для магистров : учеб. пособие. М. : Юрайт, 2017. 420 с.

20 Титков В.В. Перенапряжения и молниезащита : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2016. 224 с.