

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 деревообрабатывающего производства

Студент

Е.С. Мокроусов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.С. Романов

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Кириллова

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

Аннотация

Выпускная квалификационная работа написана на тему «Реконструкция системы электроснабжения деревообрабатывающего производства».

Актуальность темы связана с тем, что любая система электроснабжения со временем теряет свою надежность, новизну и попросту не может поддерживать новые мощности производств без необходимой модернизации и реконструкции. Целью работы является реконструкция и модернизация существующей системы электроснабжения деревообрабатывающего производства. Для достижения этой цели необходимо решить ряд задач:

- провести анализ оборудования и помещений;
- рассчитать всю нагрузку цеха, включая новое освещение, новое и старое оборудование, а также возможные дополнительные нагрузки;
- проанализировать существующие КТП и рассчитать собственную;
- определить наилучшую схему электроснабжения с учетом возможных изменений в плане расстановки оборудования;
- рассчитать и выбрать кабели и электрооборудование;
- рассчитать короткие замыкания и проверить электрооборудование;
- рассчитать молниезащиту и заземление цеха.

Содержит в себе полный расчет всего электроснабжения цеха в виде 58 страниц записки и 6 чертежей А1.

Abstract

The title of the graduation work is Reconstruction of the power supply system at woodworking production.

The graduation work consists of an explanatory note on 58 pages, introduction, including 2 figures, 15 tables, the list of 28 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the graduation work is the problem of losing reliability over time by any power supply system, and cannot provide new production capacity without the necessary modernization and reconstruction.

The aim of the work is the reconstruction and modernization of the existing power supply system for wood processing industries.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions.

We first analyze the equipment and premises. We then calculate the entire load of the workshop, including new lighting, new and old equipment, as well as possible additional loads. Next we analyze the existing complete transformer substations and calculate a new one. Next we determine the best power supply scheme, taking into account possible changes in the plan of equipment arrangement. We then calculate and select cables, electrical equipment, short circuits and check electrical equipment. Finally, we calculate the lightning protection and grounding of the workshop.

It can be concluded that proposed solutions may solve the problem of reconstruction and modernization of the existing power supply system for wood processing industries.

Содержание

Введение.....	5
1 Основная информация по производству.....	7
1.1 Информация по помещениям производства.....	7
1.2 Информация по оборудованию производства.....	9
2 Расчет общей нагрузки производства.....	11
2.1 Освещение производства.....	11
2.2 Рабочее оборудование.....	17
2.3 Сводная ведомость всей нагрузки цеха.....	18
3 Комплектная трансформаторная подстанция.....	23
3.1 Силовые трансформаторы.....	23
3.2 Оборудование для компенсации реактивной мощности и технико-экономический расчет.....	24
4 Внутренняя схема основного электроснабжения цеха.....	29
5 Расчет и выбор основного оборудования для электроснабжения.....	34
5.1 Щиты освещения. Кабели.....	34
5.2 Распределительный пункт. Кабели и ШРА.....	36
5.3 Автоматические выключатели для РП и ЩО.....	39
5.4 Высоковольтный выключатель.....	40
6 Расчет короткого замыкания.....	42
6.1 Расчет короткого замыкания на стороне 0,4 кВ	42
6.2 Расчет короткого замыкания на стороне 10 кВ.....	46
7 Проверка всех выключателей и кабельных линий цеха.....	49
7.1 Проверка выключателей и кабелей на стороне 0,4 кВ.....	49
7.2 Проверка высоковольтного выключателя на 10 кВ.....	50
8 Заземление цеха.....	54
Заключение.....	55
Список используемых источников.....	56
Приложение А Резюме помещений.....	59

Введение

Современный мир полностью построен на энергии. Любое предприятие, здание, учреждение и инфраструктура требует энергии.

Энергия может быть представлена в разном виде, будь это вода, тепло или газ, но самое требуемое - электроэнергия.

Всего за 2020 год в России потребили 1,05 трлн кВт·ч. Это на 2,3% ниже показателей 2019 года. Но не стоит принимать это, как тенденцию уменьшений потребления. Не нужно забывать, что на эти показатели влияют разные факторы. И одним из главных на сегодняшний день является пандемия. В любом случае потребление будет расти с небольшими падениями, которые можно считать чистой случайностью или погрешностью.

Это приводит к мысли, что любая система электроснабжения просто не способна вечно удовлетворять потребность объекта в электроэнергии.

При этом необходимо соблюдать следующие требования:

- надежность,
- безопасность,
- экологичность,
- возможность модернизации,
- экономичность,
- легкость эксплуатации,
- электромагнитная совместимость.

Первый фактор – это развитие производств, увеличения технологического процесса, что приводит к повышению потребления энергии.

Второй же фактор – это кабели и электрооборудование, которые со временем попросту теряют свои характеристики. Конечно же это общая проблема, которую можно отнести к любому объекту. Поэтому необходимо всмотреться в первый фактор, а именно в повышение потребление электроэнергии.

Увеличение производства происходит постоянно и повсеместно, все это

за счет установки нового оборудования как дополнение к старому, либо взамен. Именно этот фактор связан с производствами. А также с темой бакалаврской работы.

Объектом является деревообрабатывающее производство, которое намеревается обновить внутривозовскую систему электроснабжения. И конечно же это связано с увеличением производства. За 2020 год мебель подорожала на 11-55%. А за первый квартал 2021 года еще на 11% процентов. Кто-то скажет мало, а кто-то, наоборот, но нужно смотреть глубже. Мебель – это лишь конструкция. Она состоит из различных деталей. И в первую очередь – это дерево. В общем случае стоимость древесных изделий возросла на 40% за 2020 год и продолжает расти. Особенно это связано с экспортом, за границу поставлять выгодней. Поэтому большая часть материалов уходит туда, оставляя российский рынок полупустым с большим спросом и малым предложением, что приводит к повышению цен.

Именно поэтому данному деревообрабатывающему производству требуется увеличить выпуск продукции и заполнить часть рынка.

Это цель бакалаврской работы. А именно реконструировать и модернизировать существующую систему электроснабжения,

1 Основная информация по производству

Данный цех арендуется индивидуальным предпринимателем. Здесь находится производство, которое занимается обработкой дерева и последующей продажей готовых материалов мебельным производствам.

Располагается цех по адресу: Россия, Самарская область, г. Тольятти, Московский проспект 10б, строение 2.

Питается от наружной КТП с двумя силовыми трансформаторами типа ТМГ-160/10. Также установлено две компенсирующие установки общей мощностью 50 кВАр. Также имеется собственная КТП, которая была построена одновременно с цехом, но не используется.

Цех имеет вторую категорию надежности электроснабжения.

1.1 Информация по помещениям производства

Цех производства является двухэтажным и состоит из нескольких помещений. Помещения производственного цеха приведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Перечень помещений производственного цеха

Наименование	Этажи	Размеры ДхШхВ, м.
Основное помещение	1, 2	17,9 x 12,7 x 6,3
Покрасочная	1	6,1 x 6,1 x 3,1
Склад	1	5,1 x 3,8 x 3,1
Коридор №1	1	6,1 x 2,4 x 3,1
Лестница	1, 2	0,8 x 4 x 6,3
Коридор №2	2	6,1 x 1,7 x 3,1
Офис	2	6,1 x 4,4 x 3,1
Раздевалка	2	6,1 x 2,2 x 3,1 5,1 x 4 x 3,1

Генеральный план изображен на рисунках 1 и 2.

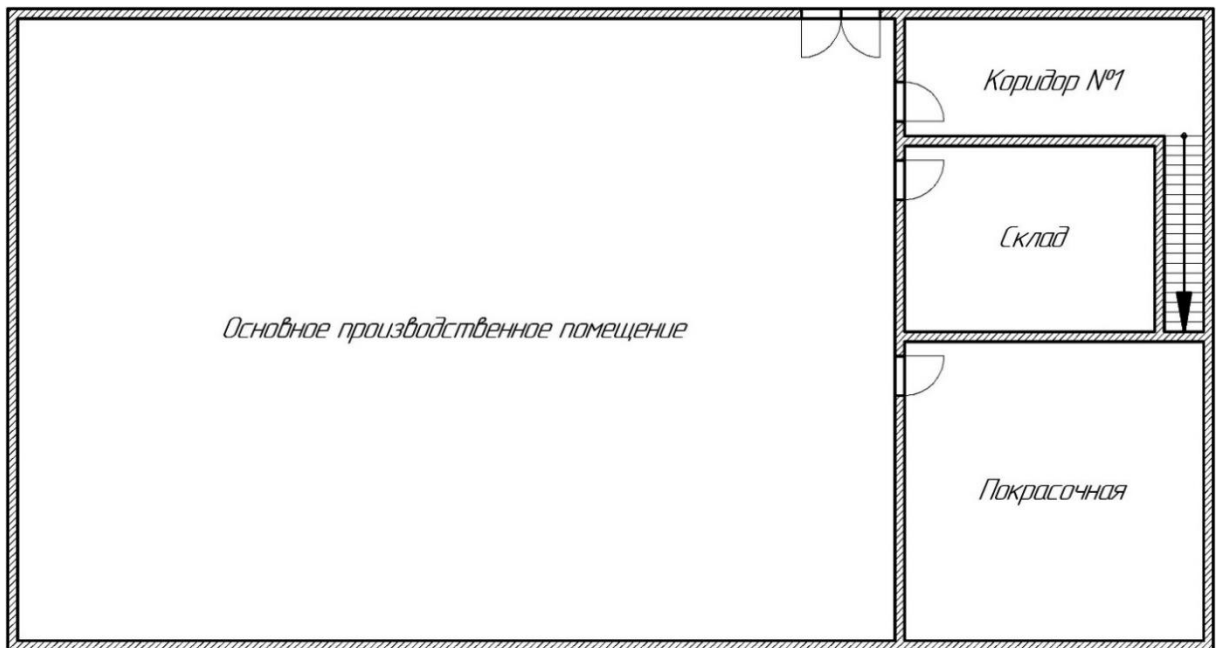


Рисунок 1 – Генеральный план первого этажа

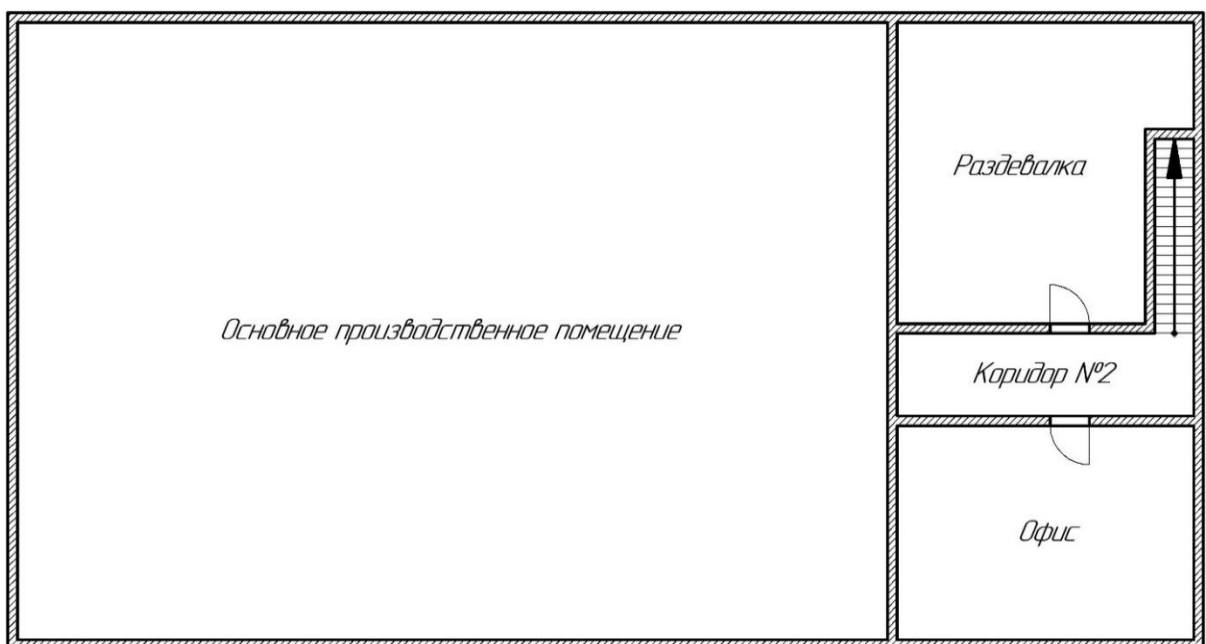


Рисунок 2 – Генеральный план второго этажа

Суммарно 7 помещений включая два коридора без лестницы.

При этом в основном помещении имеются металлоконструкции, которые располагаются на высоте 2,5 метров от потолка.

1.2 Информация по оборудованию производства

Так как имеется информация по используемому оборудованию, то необходимо руководствоваться имеющейся информацией и сайтами производителей, чтобы собрать необходимую информацию для дальнейших расчетов. Информацию необходимо брать со следующих сайтов [4-11, 14-15]. Перечислим данные по оборудованию в таблицу 2.

Таблица 2 – Перечень используемого оборудования производственного цеха

№	Наименование оборудования	P_H , кВт	n	cos φ	$K_{и}$	η
1	Пылесос Энкор Корвет 65	2,2	4	0,8	0,3	0,9
2	Пила ленточная Энкор Корвет 33	0,85	1	0,6	0,2	0,9
3	Станок шлифовальный Энкор Корвет 52	0,75	1	0,5	0,14	0,9
4	Компрессор REMEZA СБ 4/С-200 LB 40	3	1	0,8	0,7	0,9
5	Односторонний рейсмусовый станок Р6-8	8,6	1	0,55	0,45	0,9
6	Ленточная шлифовальная машина Makita 9920	1	1	0,6	0,45	0,9
7	Эксцентриковая шлиф. машина Makita BO6030	0,3	5	0,6	0,45	0,9
8	Циркулярная пила JET JTS-700L	5,8	2	0,6	0,2	0,9
9	Барабанный шлиф. станок JET 22-44 Plus	2,3	2	0,5	0,14	0,9
10	Заточный станок ЗЕ653	11	1	0,5	0,14	0,9
11	Торцовочная пила DeWALT DWS 780	1,7	2	0,5	0,14	0,9
12	Сверлильный станок Einhell BT-BD 701	0,63	1	0,5	0,14	0,9
13	Токарный станок 16Б20ТМ	16	1	0,5	0,14	0,9
14	Фрезерный станок 6Л83У	9	1	0,5	0,14	0,9

Также необходимо учесть дополнительную нагрузку в виде ручных инструментов и бытовых приборов различных производителей.

Ручные инструменты имеют мощность порядка 1 кВт: дрель Makita HP 2070 и шуруповерт Витязь ДЭ-990/2. Суммарное количество инструментов будет равна 12, поэтому суммарная мощность будет равна 12 кВт.

Бытовые приборы будут следующими:

- микроволновая печь мощностью до 1,5 кВт (Например: Samsung MS30T5018AP мощностью 1,5 кВт);

- чайник мощностью до 2,2 кВт (Например: Philips HD9342/01 мощностью 2,2 кВт);
- мини холодильник мощностью до 0,3 кВт (Например: Nordfrost CX 303 012 мощностью 0,3 кВт);
- кофемашина мощностью до 1,5 кВт (Например: Philips EP2030/10 Series 2200 LatteGo 1,5 кВт).

Суммарная максимальная мощность бытовых приборов равна 5,5 кВт.

Запишем все в таблицу 3.

Таблица 3 – Дополнительное оборудование

Наименование оборудования	P_H , кВт	n	$\cos \varphi$	$K_{И}$	η
Ручные инструменты	12	1	0,9	0,2	0,9
Бытовые приборы	5,5	1	0,95	0,2	0,9

Вывод: В результате составлены таблицы с необходимым и используемым оборудованием, их количеством и коэффициентами.

2 Расчет общей нагрузки производства

Расчет нагрузки светильников и оборудования будет проводиться по следующим документам [1-3, 16, 23].

Данный расчет необходимо провести для определения примерного потребления энергии данного производства за смену.

Расчет будет проведен в первую очередь по освещению каждого помещения, а уже после этого будет рассчитана и учтена нагрузка обычного рабочего оборудования.

2.1 Освещение производства

Расчет освещения необходимо начать с выбора светильников. К сожалению, информации по установленным светильникам нет, так как они старые и определить производителя с параметрами нет возможности.

В любом случае они морально устарели и должны быть заменены на новые со светодиодами, так как они имеют ряд серьезных достоинств, которые позволяют им лидировать среди конкурентов:

- достаточно долгий срок службы, который позволяет светодиодам работать достаточно долгое время с низким шансом выйти из строя;
- низкое энергопотребление, которое позволяет при более низком потреблении давать более яркий свет;
- малые потери, благодаря чему практически вся используемая энергия преобразуется в свет, а теплотери практически отсутствуют.

Для выбора светильников подойдет сайт, который специализируется на продаже светотехники [17].

Для деревообрабатывающего производства требуется защита IP60, так как в основном помещении очень пыльно, но при этом не требуется защиты от воды. Выберем светильники типа ARTIC S с прозрачным экраном и степенью защиты IP65. Необходимо будет выбрать несколько светильников данной

серии, так как применять одни и тот же светильник для больших и малых помещений не рационально по общим затратам.

Заполним таблицу 4 с данным по каждому светильнику данного типа.

На рисунке 3 изображена кривая сила света (КСС) данных светильников.

Таблица 4 – Данные светильников типа ARTIC S с прозрачным экраном

Наименование	Мощность, Вт	Световой поток, Лм	Светоотдача, Лм/Вт
ARG S1 108A	8	921	115
ARG S1 208A	16	1843	115
ARG S1 308A	25	2764	110
ARG S1 407A	28	3159	113
ARG S1 408A	33	3685	112
ARG S1 607A	42	4738	113
ARG S1 608A	49	5528	113

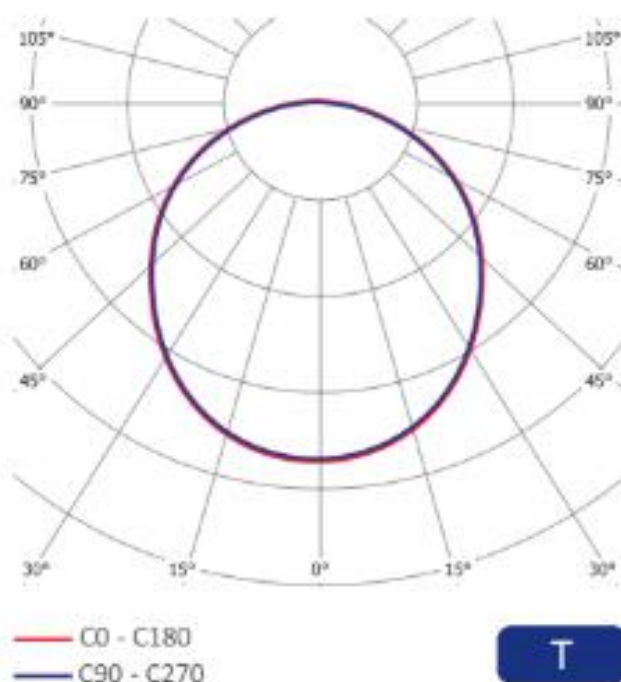


Рисунок 3 – Кривая сила света светильников типа ARTIC S с прозрачным экраном

Для начала проведем расчет в программе «DIALux 4.13 Light». Заполним таблицу 5 с параметрами помещений.

Таблица 5 – Данные помещений и требуемая освещённость

Наименование	Размеры А/В/Н, м	Коэф. отражения потолка, стен, пола	Требуемое E_n , лк
Основное помещение	17,9/12,7/6,3	70%, 50%, 20%	300
Коридор №1	6,1/2,4/3,1	70%, 50%, 20%	200
Коридор №2	6,1/1,7/3,1	70%, 50%, 20%	200
Склад	5,1/3,8/3,1	70%, 50%, 20%	100
Покрасочная	6,1/6,1/3,1	70%, 50%, 20%	200
Раздевалка	5,5/6,2/3,1	70%, 50%, 20%	200
Офис	6,1/4,4/3,1	70%, 50%, 20%	300
Лестница	4,0/0,8/3,1	70%, 50%, 20%	200

При этом будут использованы следующие параметры расчета:

- коэффициент уменьшения равен 0,67 для основного помещения, а для других помещений равен 0,8;
- высота рабочей поверхности 1 метр;
- длина подвеса всех помещений 0 метров, кроме основного помещения, так как светильники установлены на металлоконструкции и подвес будет равен 2,5 метрам.

При этом плотность нагрузки освещения должны быть не меньше 15 Вт/м². В результате расчетов получены резюме каждого помещения, где указывается количество светильников по длине и ширине, расстояние между рядами и между первым рядом от каждой стены.

Данные резюме изображены на рисунках А.1, А.2, А.3, А.4, А.5, А.6, А.7 и А.8. Плотность укажем после расчета освещения по формулам.

Теперь необходимо определить расчетный световой поток, чтобы понимать сколько точно светильников определённого типа необходимо для каждого помещения по формуле:

$$\Phi = \frac{E_{\text{мин}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{E_{\text{мин}} \cdot 1,1 \cdot F \cdot 1,1}{N \cdot \eta}. \quad (1)$$

Как видно из формулы, необходимо знать необходимую освещённость

помещения, площадь освещаемой поверхности, сколько светильников будет установлено и коэффициент использования светового потока.

Коэффициенты запаса и неравномерности освещения равны 1,1 для светодиодных светильников.

Поэтому запишем в таблицу 6 необходимые значения для каждого помещения, используя также таблицы 1 и 5, а затем определим необходимый световой поток.

Необходимо учитывать тот факт, что мы можем изменять количество светильников, чтобы получить необходимое значение для каждого. Поэтому мы проведем несколько расчетов с разным их количеством.

Таблица 6 – Площадь помещений

Помещение	$E_{ц}$, лк	$L, м / B, м / H, м / F, м^2$
Основное помещение	300	17,9 / 12,7 / 6,3 / 227,33
Коридор №1	200	6,1 / 2,4 / 3,1 / 14,64
Коридор №2	200	6,1 / 1,7 / 3,1 / 10,37
Склад	100	5,1 / 3,8 / 3,1 / 19,38
Покрасочная	200	6,1 / 6,1 / 3,1 / 37,21
Раздевалка	200	5,5 / 6,2 / 3,1 / 33,82
Офис	300	6,1 / 4,4 / 3,1 / 26,84
Лестница	200	4,0 / 0,8 / 3,1 / 3,2

Теперь найдем индекс помещений по формуле:

$$i = \frac{L_{ц} \cdot B_{ц}}{h \cdot (L_{ц} + B_{ц})} = \frac{F}{(H - h_{\text{подвес}} - h_{\text{раб.поверх.}}) \cdot (L_{ц} + B_{ц})}, \quad (2)$$

$$i(\text{Основное помещение}) = \frac{227,33}{(6,3 - 2,5 - 1,0) \cdot (17,9 + 12,7)} = 2,48,$$

$$i(\text{Коридор №1}) = \frac{14,64}{(3,1 - 0 - 1,0) \cdot (6,1 + 2,4)} = 0,82,$$

$$i(\text{Коридор №2}) = \frac{10,37}{(3,1 - 0 - 1,0) \cdot (6,1 + 1,7)} = 0,63,$$

$$i(\text{Склад}) = \frac{19,38}{(3,1 - 0 - 1,0) \cdot (5,1 + 3,8)} = 1,04,$$

$$i(\text{Покрасочная}) = \frac{37,21}{(3,1 - 0 - 1,0) \cdot (6,1 + 6,1)} = 1,45,$$

$$i(\text{Раздевалка}) = \frac{33,82}{(3,1 - 0 - 1,0) \cdot (5,5 + 6,2)} = 1,38,$$

$$i(\text{Офис}) = \frac{26,84}{(3,1 - 0 - 1,0) \cdot (6,1 + 4,4)} = 1,22,$$

$$i(\text{Лестница}) = \frac{3,2}{(3,1 - 0 - 1,0) \cdot (4,0 + 0,8)} = 0,32.$$

Запишем в таблицу 7 индекс помещений и коэффициент использования светового потока.

Таблица 7 – Полученные данные помещений

Помещение	i	η
Основное помещение	2,48	0,99
Коридор №1	0,82	0,48
Коридор №2	0,63	0,37
Склад	1,04	0,66
Покрасочная	1,45	0,71
Раздевалка	1,38	0,69
Офис	1,22	0,67
Лестница	0,32	0,23

Теперь определим количество светильников каждого типа для каждого помещения. Количество светильников будет выбрано по размеру помещения и количеству старой светотехники.

Проведем расчет по формуле 2:

$$\Phi(\text{Основное помещение}) = \frac{300 \cdot 1,1 \cdot 227,33 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,99} = 5557 \text{ лм},$$

$$\Phi(\text{Коридор №1}) = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 14,64 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,48} = 3690,5 \text{ лм},$$

$$\Phi(\text{Коридор №2}) = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 10,37 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,4} = 3136,9 \text{ лм},$$

$$\Phi(\text{Склад}) = \frac{100 \cdot 1,1 \cdot 19,38 \cdot 1,1}{1 \cdot 0,66} = 3553 \text{ лм,}$$

$$\Phi(\text{Покрасочная}) = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 37,21 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,71} = 3170,7 \text{ лм,}$$

$$\Phi(\text{Раздевалка}) = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 33,82 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,69} = 2965,4 \text{ лм,}$$

$$\Phi(\text{Офис}) = \frac{300 \cdot 1,1 \cdot 26,84 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,67} = 3635,4 \text{ лм,}$$

$$\Phi(\text{Лестница}) = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 3,2 \cdot 1,1}{1 \cdot 0,23} = 3367 \text{ лм.}$$

По полученным данным необходимо выбрать светильник для каждого помещения:

- Основное помещение: 20 х ARG S1 608A;
- Коридор №1: 2 х ARG S1 408A;
- Коридор №2: 2 х ARG S1 407A;
- Склад: 1 х ARG S1 408A;
- Покрасочная: 4 х ARG S1 408A;
- Раздевалка: 4 х ARG S1 408A;
- Офис: 4 х ARG S1 408A;
- Лестница: 1 х ARG S1 408A.

В общем получается так:

- P₁: ARG S1 407A х 2;
- P₂: ARG S1 408A х 16;
- P₃: ARG S1 608A х 20.

Также нельзя забывать, что необходимо распределить однофазные светильники по трём фазам, чтобы соблюсти некоторый баланс, что позволит в будущем выбрать хорошие кабели и наилучшую систему распределения внутри цеха.

Рассчитаем нагрузку на каждую фазу по формуле:

$$P_i = P_1 \cdot n_1 + P_2 \cdot n_2 + P_3 \cdot n_3, \quad (3)$$

$$P_A = 28 \cdot 0 + 33 \cdot 16 + 49 \cdot 0 = 0,528 \text{ кВт},$$

$$P_B = 28 \cdot 0 + 33 \cdot 0 + 49 \cdot 10 = 0,49 \text{ кВт},$$

$$P_C = 28 \cdot 2 + 33 \cdot 0 + 49 \cdot 10 = 0,546 \text{ кВт}.$$

Проверим нагрузку по равномерности по формуле:

$$H_i = \frac{P_{\text{ф.нб.}i} - P_{\text{ф.нм.}i}}{P_{\text{ф.нм.}i}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

$$H_i = \frac{0,546 - 0,49}{0,49} \cdot 100\% = 11,43 \text{ \%}.$$

Найдем трехфазную нагрузку светильников по формуле:

$$P_{\text{свет}} = P_A + P_B + P_C, \quad (5)$$

$$P_{\text{свет}} = 0,528 + 0,518 + 0,518 = 1,564 \approx 1,6 \text{ кВт}.$$

В результате рассчитана нагрузка светильников по всему цеху.

2.2 Рабочее оборудование

Среди всего оборудования также имеется однофазное, которое также желательно пересчитать в трехфазное. Но это бытовые приборы и различные ручные инструменты, которые сразу же были даны в виде общей трехфазной нагрузки в пункте 1.2.

Рассмотрим современные решения в обеспечении освещения и различные датчики:

- датчики движения,
- датчики освещения,
- датчик дыма,

– диммирование светильников.

Из данного перечня к установке имеет смысл только двух датчиков. Датчики движения, как правило, необходимо ставить снаружи цеха для наружных светильников. Но так как освещение происходит за счет уличного круглосуточного ночного освещения, то смысла в этих датчиках нет.

Диммирование светильников – это попросту регулировка света. Нет необходимости к установке, так как освещённость постоянно должна быть на возможный максимум.

Датчик освещенности также не нужен, имеет его ставить вместе с диммированием, чтобы точно регулировать освещение в необходимое время.

А вот датчики дыма необходимо установить. Датчик дыма необходим в каждом помещении. Составим таблицу 8 с количеством датчиков.

Таблица 8 – Количество датчиков дыма

Наименование	Датчик дыма, кол. штук.
Основное помещение	9
Коридор №1	2
Коридор №2	2
Склад	1
Покрасочная	4
Раздевалка	4
Офис	4
Лестница	1

Потребляемая мощность данных датчиков очень мала и питаются они от внутреннего аккумулятора, что позволяет установить их в любом месте без проведения проводов.

2.3 Сводная ведомость всей нагрузки цеха

Зная всю нагрузку, можно составить сводную ведомость, где будет указана вся нагрузка с необходимыми расчётами с учетом использования за смену.

Рассчитаем нагрузку одного из электроприемников, чтобы затем по этому примеру рассчитать остальные электроприемники.

Первым электроприемником будет пылесос «Энкор Корвет 65».

Для начала необходимо найти суммарную нагрузку по формуле:

$$\sum P_H = P_H \cdot n, \quad (6)$$
$$\sum P_H = 2,2 \cdot 4 = 8,8 \text{ кВт.}$$

Теперь необходимо найти среднесменную активную нагрузку данного ЭП с учетом справочных данных по формуле:

$$P_{\text{см}} = \sum P_H \cdot K_{\text{и}}, \quad (7)$$
$$P_{\text{см}} = 8,8 \cdot 0,3 = 2,64 \text{ кВт.}$$

И после этого уже находится среднесменная реактивная нагрузка по формуле:

$$Q_{\text{см}} = \sum P_H \cdot K_{\text{и}} \cdot \tan \varphi = P_{\text{см}} \cdot \tan \varphi, \quad (8)$$
$$Q_{\text{см}} = 2,64 \cdot 0,75 = 1,98 \text{ кВАр.}$$

Определим значение, которое определяется через количество ЭП данного типа умноженного на квадрат одного ЭП данного типа, по формуле:

$$n \cdot P_H^2 = n \cdot P_H^2, \quad (9)$$
$$n \cdot P_H^2 = 4 \cdot 2,2^2 = 8,8 \approx 9.$$

На этом расчеты по одному типу ЭП заканчиваются. Теперь необходимо рассчитать остальные ЭП по данному примеру.

После расчета всех ЭП необходимо рассчитать итог. Пример проведем по итогу без освещения.

Первым делом необходимо найти эффективное число электроприемников по формуле:

$$n_э = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum n P_H}, \quad (10)$$
$$n_э = \frac{109,73^2}{1240} = 9,71 \approx 9.$$

Определим расчетный коэффициент по формуле:

$$K_p = F(n_э; K_H), \quad (11)$$
$$K_p = F(9; 0,23) = 0,91.$$

Теперь можно определить активную расчетную нагрузку по формуле:

$$P_p = P_{см} \cdot K_p, \quad (12)$$
$$P_p = 23,52 \cdot 0,91 = 21,4 \text{ кВт.}$$

Чтобы определить реактивную нагрузку, надо среднесменную нагрузку умножить на 1,1, так как $n_э \leq 10$ по формуле:

$$Q_p = Q_{см} \cdot K'_p, \quad (13)$$
$$Q_p = 26,89 \cdot 1,1 = 29,58 \text{ кВАр.}$$

Теперь определим полную расчетную нагрузку по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (14)$$

$$S_p = \sqrt{21,4^2 + 29,58^2} = 36,51 \text{ кВА.}$$

И в конце надо найти расчетный ток по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (15)$$

$$I_p = \frac{36,51}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 52,7 \text{ А.}$$

Вывод: В результате проведен расчет освещения, датчиков и оборудования всего цеха, учитывая коэффициент использования оборудования.

Таблица 9 – Сводная ведомость нагрузки по всему цеху

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП n_{Σ}	Коэффициент расчетной нагрузки K_R	Расчетная мощность			Расчетный ток I_R, A		
Первоначальные данные				Справочные данные		$K_{и} \cdot \sum P_H$	$K_{и} \cdot \sum P_H \cdot \text{tg } \varphi$	$n \cdot P_H^2$			Активная мощность $P_R, \text{кВт}$	Реактивная мощность $Q_R, \text{кВАр}$	Полная мощность $S_R, \text{кВА}$			
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.	Установленная мощность		Коэффициент использования $K_{и}$	Коэффициенты мощности $\cos \varphi / \text{tg } \varphi$											
1	2	Одного ЭП $P_H, \text{кВт}$	Общая ЭП $\sum P_H, \text{кВт}$			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пылесос Энкор Корвет 65	4	2,2	8,8	0,3	0,8 / 0,75	2,64	1,98	9	-	-	-	-	-	-	-	-
Пила ленточная Энкор Корвет 33	1	0,85	0,85	0,2	0,6 / 1,33	0,17	0,23	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Станок шлифовальный Энкор Корвет 52	1	0,75	0,75	0,14	0,5 / 1,73	0,11	0,2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Компрессор REMEZA СБ 4/С-200 LB 40	1	3	3	0,7	0,8 / 0,75	2,1	1,58	9	-	-	-	-	-	-	-	-
Односторонний рейсмусовый станок СР6-8	1	8,6	8,6	0,45	0,55 / 1,52	3,87	5,88	74	-	-	-	-	-	-	-	-
Ленточная шлифовальная машина Makita 9920	1	1	1	0,14	0,6 / 1,33	0,14	0,2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Эксцентриковая шлиф. машина Makita BO6030	5	0,3	1,5	0,14	0,6 / 1,33	0,21	0,3	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Циркулярная пила JET JTS-700L	2	5,8	11,6	0,14	0,6 / 1,33	1,62	2,2	67	-	-	-	-	-	-	-	-
Барабанный шлиф. станок JET 22-44 Plus	2	2,3	4,6	0,14	0,5 / 1,73	0,64	1,11	11	-	-	-	-	-	-	-	-
Заточный станок 3E653	1	11	11	0,14	0,5 / 1,73	1,54	2,66	121	-	-	-	-	-	-	-	-
Торцовочная пила DeWALT DWS 780	2	1,7	3,4	0,14	0,5 / 1,73	0,48	0,83	6	-	-	-	-	-	-	-	-
Сверлильный станок Einhell BT-BD 701	1	0,63	0,63	0,14	0,5 / 1,73	0,9	1,56	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Токарный станок 16Б20ТМ	1	16	16	0,14	0,5 / 1,73	2,24	3,88	256	-	-	-	-	-	-	-	-
Фрезерный станок 6Л83У	1	9	9	0,14	0,5 / 1,73	1,26	2,18	81	-	-	-	-	-	-	-	-
Ручные инструменты	1	12	12	0,1	0,9 / 0,48	1,2	0,6	144	-	-	-	-	-	-	-	-
Бытовые приборы	1	5,5	5,5	0,8	0,95 / 0,33	4,4	1,5	30	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по цеху без освещения	26	24 / 0,3	98,23	0,24	- / 1,14	23,52	26,89	813	9	0,91	21,4	29,58	36,51	52,7		
ARG S1 407A	2	0,028	1,56	0,9	0,95 / 0,33	1,4	0,46	0	-	-	-	-	-	-	-	-
ARG S1 408A	16	0,033						0								
ARG S1 608A	20	0,049						0								
Итого по цеху с освещением	64	0,028 / 24	99,79	0,25	- / 1,1	24,92	27,35	813	10	0,91	22,7	30,1	37,7	57,3		

3 Комплектная трансформаторная подстанция

В данный момент цех питается от групповой КТП, к которой подключено еще 2 других цеха. Рассчитывать силовые трансформаторы и другое оборудование для данного КТП не имеет смысла, так как необходимо точно знать нагрузку остальных цехов, что невозможно, так как они принадлежат третьим лицам.

При этом данный цех способен питаться отдельно по своей КТП, для которой отведено специальное место недалеко от самого цеха. К сожалению, данная КТП давно не используется, хоть и является относительно новой.

Так что рассчитаем силовые трансформаторе и остальное оборудования для личной КТП.

Опирается необходимо на следующую документацию [2-3].

3.1 Силовые трансформаторы

В данной КТП должен будет стоять только один из трансформаторов, так как это позволит уменьшить затраты на второй, подключив шину низкого напряжения через переключатель к групповой КТП. В результате будет два источника при относительно небольших затратах. Так как трансформатор один, то коэффициент загрузки будет равен 0,9. Проведем простой расчет без учета компенсации реактивной мощности по формуле:

$$S_{\text{т}} = \frac{S_{\text{п}}}{K_3 \cdot n}, \quad (16)$$
$$S_{\text{т}} = \frac{37,7}{0,9 \cdot 1} = 42 \text{ кВА.}$$

На выбор 2 силовых трансформатора ТМГ-100/10 и ТМГ-63/10 с сайта производителя [20].

3.2 Оборудование для компенсации реактивной мощности и технико-экономический расчет

Проведем технико-экономическое сравнение силовых трансформаторов. Занесем данные в таблицу 10.

Таблица 10 – Данные трансформаторов ТМГ-100/10 и ТМГ-63/10

Тип	S_H , кВА	U_{BH} , кВ	U_{HH} , кВ	u_k , %	i_x , %	P_K , кВт	P_X , кВт
ТМГ-100/10	100	10	0,4	4,5	0,022	1,9	0,28
ТМГ-63/10	63	10	0,4	4,5	0,026	1,28	0,21

Определим активные потери силовых трансформаторов по формуле:

$$\Delta P_T = n \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}), \quad (17)$$

$$\Delta P_{T.100} = 1 \cdot (0,28 + 0,9^2 \cdot 1,9) = 1,82 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{T.63} = 1 \cdot (0,21 + 0,9^2 \cdot 1,28) = 1,25 \text{ кВт}.$$

Определим реактивные потери силовых трансформаторов по формуле:

$$\Delta Q_T = n \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_{HT}}{100}, \quad (18)$$

$$\Delta Q_{T.100} = 1 \cdot (0,022 + 0,9^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{100}{100} = 3,67 \text{ кВАр},$$

$$\Delta Q_{T.63} = 1 \cdot (0,026 + 0,9^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{63}{100} = 2,31 \text{ кВАр}.$$

Определим сумму активной нагрузки и потерь по формуле:

$$P_{P.i} = P_P + \Delta P_T, \quad (19)$$

$$P_{P.100} = 22,7 + 1,82 = 24,52 \text{ кВт},$$

$$P_{P.63} = 22,7 + 1,25 = 23,95 \text{ кВт}.$$

Определим сумму реактивной нагрузки и потерь по формуле:

$$Q_P = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (20)$$
$$Q_{P.100} = 30,1 + 3,67 = 33,77 \text{ кВАр},$$
$$Q_{P.63} = 30,1 + 2,31 = 32,41 \text{ кВАр}.$$

Определим реактивную мощность в часы минимума по формуле:

$$Q_{min} = \alpha_{Qmin} \cdot Q_P, \quad (21)$$
$$Q_{min.100} = 0,5 \cdot 33,77 = 16,89 \text{ кВАр},$$
$$Q_{min.63} = 0,5 \cdot 32,41 = 16,21 \text{ кВАр}.$$

Определим входные реактивные мощности по формулам:

$$Q'_{\text{Э1}} = Q_P - 0,7Q_{CD}, \quad (22)$$
$$Q'_{\text{Э1.100}} = 33,77 - 0,7 \cdot 0 = 33,77 \text{ кВАр},$$
$$Q'_{\text{Э1.63}} = 32,41 - 0,7 \cdot 0 = 32,41 \text{ кВАр},$$

$$Q''_{\text{Э1}} = \alpha \cdot P_P, \quad (23)$$
$$Q''_{\text{Э1.100}} = 0,23 \cdot 24,52 = 5,64 \text{ кВАр},$$
$$Q''_{\text{Э1.63}} = 0,23 \cdot 23,95 = 5,51 \text{ кВАр}.$$

Выбираем наименьшее значение $Q_{\text{Э1.100}} = 5,64 \text{ кВАр}$, $Q_{\text{Э1.63}} = 5,51 \text{ кВАр}$.

$$Q''_{\text{Э2}} = Q_{min} - (Q_P - Q_{\text{Э1}}), \quad (24)$$
$$Q''_{\text{Э2.100}} = 16,89 - (33,77 - 5,64) = -11,24 \text{ кВАр},$$
$$Q''_{\text{Э2.63}} = 16,21 - (32,41 - 5,51) = -10,69 \text{ кВАр},$$

$$Q'_{\text{Э2}} = Q_{min} + Q_K, \quad (25)$$
$$Q'_{\text{Э2.100}} = 16,89 + 0 = 16,89 \text{ кВАр},$$
$$Q'_{\text{Э2.63}} = 16,21 + 0 = 16,21 \text{ кВАр}.$$

Выбираем наибольшее значение $Q_{Э2.100} = 16,89$ кВАр, $Q_{Э2.63} = 16,21$ кВАр. Определим максимальную компенсацию по формуле:

$$Q_{КУ.МАХ} = 1.1 \cdot Q_P - Q_{Э1}, \quad (26)$$
$$Q_{КУ.МАХ.100} = 1.1 \cdot 33,77 - 5,64 = 31,51 \text{ кВАр},$$
$$Q_{КУ.МАХ.63} = 1.1 \cdot 32,41 - 5,51 = 30,14 \text{ кВАр}.$$

Определим минимальную компенсацию по формуле:

$$Q_{КУ.МІН} = Q_{min} - Q_{Э2}, \quad (27)$$
$$Q_{КУ.МІН.100} = 16,89 - 16,89 = 0 \text{ кВАр},$$
$$Q_{КУ.МІН.63} = 16,21 - 16,21 = 0 \text{ кВАр}.$$

Определим реактивную мощность, которую необходимо передать через трансформатор без компенсации по формуле:

$$Q_{ЭН} = Q_{Э1} - (Q_P - Q_{P\Sigma}), \quad (28)$$
$$Q_{ЭН.100} = 5,64 - (33,77 - 30,1) = 1,97 \text{ кВАр},$$
$$Q_{ЭН.63} = 5,51 - (32,41 - 30,1) = 3,19 \text{ кВАр}.$$

Определим реактивную мощность, которая может быть передана через трансформатор по формуле:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{HT})^2 - P_{P\Sigma}^2}, \quad (29)$$
$$Q_{T.100} = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 100)^2 - 22,7^2} = 87,1 \text{ кВАр},$$
$$Q_{T.63} = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 63)^2 - 22,7^2} = 51,96 \text{ кВАр}.$$

Определим мощность КУ на стороне 0,4 кВ по формуле:

$$Q_{\text{КУ.НН}} = Q_{\text{P}\Sigma} - Q_{\text{T}}, \quad (30)$$

$$Q_{\text{КУ.НН.100}} = 30,1 - 87,1 = -57 \rightarrow 0 \text{ кВАр},$$

$$Q_{\text{КУ.НН.63}} = 30,1 - 51,96 = -21,86 \rightarrow 0 \text{ кВАр}.$$

Определим мощность КУ на стороне 10 кВ по формуле:

$$Q_{\text{КУ.ВН}} = Q_{\text{КУ.МАХ}} - Q_{\text{КУ.НН}}, \quad (31)$$

$$Q_{\text{КУ.ВН.100}} = 31,51 - 0 = 31,51 \text{ кВАр},$$

$$Q_{\text{КУ.ВН.63}} = 30,14 - 0 = 30,14 \text{ кВАр}.$$

В случае необходимости компенсирующая установка будет выбираться с сайта производителя [12].

На высокой стороне КУ не ставится, так как мощность не превышает 800 кВАр. А на низкой стороне также не ставиться, так как мощность меньше 50 кВАр. Определим приведенные потери по формулам:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{M}}}{10000}\right)^2 \cdot T_{\text{P}}, \quad (32)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2886,21 \text{ ч}.$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_{\text{M}}} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau, \quad (33)$$

$$C = \left(\frac{18377}{4500} + 4,06 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 2886,21 = 11904 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_{\text{M}}} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_{\text{P}}, \quad (34)$$

$$C_0 = \left(\frac{18377}{4500} + 4,06 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 8760 = 36130 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

Определим годовые потери по формуле:

$$C \cdot \Delta P_T = n \cdot (C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}), \quad (35)$$

$$C \cdot \Delta P_T (100) = 1 \cdot (36130 \cdot 0,28 + 11904 \cdot 0,9^2 \cdot 1,9) = 28436,66 \frac{\text{руб}}{\text{год}},$$

$$C \cdot \Delta P_T (63) = 1 \cdot (36130 \cdot 0,21 + 11904 \cdot 0,9^2 \cdot 1,25) = 19640,1 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Определим затраты на покупку трансформаторов и КУ по формуле:

$$K_{\text{КТП}} = K_T \cdot n + K_{\text{КУ}} \cdot n, \quad (36)$$

$$K_{\text{КТП.100}} = 106900 \cdot 1 + 0 \cdot 0 = 106,9 \text{ тыс. руб.},$$

$$K_{\text{КТП.63}} = 86750 \cdot 1 + 0 \cdot 0 = 86,75 \text{ тыс. руб.}$$

Определим годовые затраты на КТП по формуле:

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot K_{\text{КТП}} + \frac{C \cdot \Delta P_T}{1000}, \quad (37)$$

$$Z_{\text{КТП.100}} = 0,223 \cdot 106,9 + \frac{28436,66}{1000} = 52,3 \text{ тыс. руб.},$$

$$Z_{\text{КТП.63}} = 0,223 \cdot 86,75 + \frac{19640,1}{1000} = 39 \text{ тыс. руб.}$$

Вывод: В результате получены затраты на каждую ТП.

Сравнивая два варианта, можно заметить существенную разницу в годовых затратах. Около 13 тысяч рублей в год.

Учитывая то, что имеется второй источник электроснабжения в виде общей КТП, то не имеет смысла переплачивать за трансформатор ТМГ-100/10.

Поэтому к установке необходим трансформатор ТМГ-63/10, так как он позволит обеспечивать электроэнергией обновленное производство без лишних затрат. А резервное питание от общей КТП даст большую надежность в электроснабжении.

4 Внутренняя схема основного электроснабжения цеха

Выбор схемы внутреннего электроснабжения очень важный этап в проектировании электроснабжения любого объекта.

В данном цехе все питание происходило за счет кабелей без использования каких-либо шинопроводов. Но это не удобно при расширении производства. Поэтому требуется их установка, так как возможно новое увеличение производства в будущем.

В первую очередь необходимо уделить внимание шинопроводам освещения. Это касается основного помещения, так как оно требует большого количества светильников и имеет большие размеры в высоту. Но так как имеются металлоконструкции, на которые крепились старые светильники, не имеет смысла устанавливать данные шинопроводы.

Рассмотрим распределительные и магистральные шинопроводы. В цехе имеется не мало электрооборудования, которое может перемещаться и которому требуется правильно выбрать расположение.

Также необходимо установить розетки, чтобы питать дополнительное оборудование.

Каждая розетка будет иметь отдельное электроснабжения для увеличения надежности. В основном помещении они будут со степенью защиты от IP44.

Для оборудования будет единый распределительный пункт, так как основная нагрузка только в главном помещении. В остальные помещения будут идти кабели с розетками, для которых устанавливать свой распределительный пункт не имеет смысла.

Но при этом будет два щита освещения, один на каждый этаж.

Схема электроснабжения изображена на чертежах.

Пересчитаем нагрузку освещения для каждого этажа, чтобы правильно понять потребление в каждой щитке освещения.

Для начала повторно пересчитаем по формуле 3 нагрузку освещения для

каждой фазы на каждом этаже:

$$P_A(\text{ЩО} - 1) = 28 \cdot 0 + 33 \cdot 8 + 49 \cdot 0 = 0,264 \text{ кВт},$$

$$P_B(\text{ЩО} - 1) = 28 \cdot 0 + 33 \cdot 0 + 49 \cdot 10 = 0,49 \text{ кВт},$$

$$P_C(\text{ЩО} - 1) = 28 \cdot 0 + 33 \cdot 0 + 49 \cdot 10 = 0,49 \text{ кВт},$$

$$P_A(\text{ЩО} - 2) = 28 \cdot 0 + 33 \cdot 8 + 49 \cdot 0 = 0,264 \text{ кВт},$$

$$P_B(\text{ЩО} - 2) = 28 \cdot 0 + 33 \cdot 0 + 49 \cdot 0 = 0 \text{ кВт},$$

$$P_C(\text{ЩО} - 2) = 28 \cdot 2 + 33 \cdot 0 + 49 \cdot 0 = 0,056 \text{ кВт}.$$

Проверим равномерность нагрузки по формуле 4:

$$H_i(\text{ЩО} - 1) = \frac{0,49 - 0,264}{0,264} \cdot 100\% = 85,61 \%,$$

$$H_i(\text{ЩО} - 2) = \frac{0,264 - 0,056}{0,056} \cdot 100\% = 371,43 \%.$$

В результате получилось более 15%, что означает, что необходимо найти трёхфазную нагрузку по формуле:

$$P_{\text{свет}} = 3 \cdot P_{\text{ф.нб}}, \quad (38)$$

$$P_{\text{свет}}(\text{ЩО} - 1) = 3 \cdot 0,49 = 1,47 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{свет}}(\text{ЩО} - 2) = 3 \cdot 0,264 = 0,792 \text{ кВт}.$$

Найдем расчетную мощность для каждого щита освещения.

Для начала определим среднесменную нагрузку по формулам 7 и 8:

$$P_{\text{см}}(\text{ЩО} - 1) = 1,47 \cdot 0,9 = 1,323 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}}(\text{ЩО} - 1) = 1,323 \cdot 0,33 = 0,44 \text{ кВАр},$$

$$P_{\text{см}}(\text{ЩО} - 2) = 0,792 \cdot 0,9 = 0,713 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}}(\text{ЩО} - 2) = 0,713 \cdot 0,33 = 0,24 \text{ кВАр}.$$

Найдем эффективное число электроприемников по упрощенной формуле:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н.макс}}}, \quad (39)$$
$$n_{\text{э}}(\text{ЩО} - 1) = \frac{2 \cdot 1,47}{0,049} = 60,$$
$$n_{\text{э}}(\text{ЩО} - 2) = \frac{2 \cdot 0,792}{0,033} = 48.$$

Определим расчетный коэффициент по формуле 11:

$$K_{\text{р}}(\text{ЩО} - 1) = F(60; 0,9) = 1,$$
$$K_{\text{р}}(\text{ЩО} - 2) = F(48; 0,9) = 1.$$

Теперь можно определить расчетную мощность и ток по формулам 12, 13, 14 и 15:

$$P_{\text{р}}(\text{ЩО} - 1) = 1,323 \cdot 1 = 1,323 \text{ кВт},$$
$$Q_{\text{р}}(\text{ЩО} - 1) = 0,44 \cdot 1 = 0,44 \text{ кВАр},$$
$$S_{\text{р}}(\text{ЩО} - 1) = \sqrt{1,323^2 + 0,44^2} = 1,4 \text{ кВА},$$
$$I_{\text{р}}(\text{ЩО} - 1) = \frac{1,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2,13 \text{ А},$$
$$P_{\text{р}}(\text{ЩО} - 2) = 0,713 \cdot 1 = 0,713 \text{ кВт},$$
$$Q_{\text{р}}(\text{ЩО} - 2) = 0,24 \cdot 1 = 0,24 \text{ кВАр},$$
$$S_{\text{р}}(\text{ЩО} - 2) = \sqrt{0,713^2 + 0,24^2} = 0,8 \text{ кВА},$$
$$I_{\text{р}}(\text{ЩО} - 2) = \frac{0,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1,22 \text{ А}.$$

По формулам 10-15 рассчитываются итоговые значения по ШРА:

$$n_{\text{э}} = \frac{74,38^2}{627} = 8,8 \approx 8,$$

$$K_p = F(8; 0,2) = 1,48,$$

$$P_p = 15,3 \cdot 1,48 = 22,6 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 22,48 \cdot 1,1 = 24,73 \text{ кВАр},$$

$$S_p = \sqrt{22,48^2 + 24,73^2} = 33,5 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{33,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 50,9 \text{ А}.$$

Все данные по ШРА записаны в таблицу 11.

Вывод: В результате составлена схема внутреннего электроснабжения цеха с распределением электроприемников.

Таблица 11 – Сводная нагрузки на ШРА

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП n_{Σ}	Коэффициент расчетной нагрузки K_P	Расчетная мощность			Расчетный ток I_P , А
Первоначальные данные				Справочные данные		$K_{и} \cdot \sum P_{н}$	$K_{и} \cdot \sum P_{н} \cdot \text{tg } \varphi$	$n \cdot P_{н}^2$			Активная мощность P_P , кВт	Реактивная мощность Q_P , кВАр	Полная мощность S_P , кВА	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.	Установленная мощность		Коэффициент использования $K_{и}$	Коэффициенты мощности $\cos \varphi / \text{tg } \varphi$									
		Одного ЭП $P_{н}$, кВт	Общая ЭП $\sum P_{н}$, кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Пылесос Энкор Корвет 65	4	2,2	8,8	0,3	0,8 / 0,75	2,64	1,98	9	-	-	-	-	-	-
Станок шлифовальный Энкор Корвет 52	1	0,75	0,75	0,14	0,5 / 1,73	0,11	0,2	1	-	-	-	-	-	-
Односторонний рейсмусовый станок CP6-8	1	8,6	8,6	0,45	0,55 / 1,52	3,87	5,88	74	-	-	-	-	-	-
Циркулярная пила JET JTS-700L	2	5,8	11,6	0,14	0,6 / 1,33	1,62	2,2	67	-	-	-	-	-	-
Барабанный шлиф. станок JET 22-44 Plus	2	2,3	4,6	0,14	0,5 / 1,73	0,64	1,11	11	-	-	-	-	-	-
Заточный станок 3E653	1	11	11	0,14	0,5 / 1,73	1,54	2,66	121	-	-	-	-	-	-
Торцовочная пила DeWALT DWS 780	2	1,7	3,4	0,14	0,5 / 1,73	0,48	0,83	6	-	-	-	-	-	-
Сверлильный станок Einhell BT-BD 701	1	0,63	0,63	0,14	0,5 / 1,73	0,9	1,56	1	-	-	-	-	-	-
Токарный станок 16B20TM	1	16	16	0,14	0,5 / 1,73	2,24	3,88	256	-	-	-	-	-	-
Фрезерный станок 6L83У	1	9	9	0,14	0,5 / 1,73	1,26	2,18	81	-	-	-	-	-	-
Итого по ШРА	16	16 / 0,63	74,38	0,2	- / 1,47	15,3	22,48	627	8	1,48	22,6	24,73	33,5	50,9
ЩО-1	28	0,049 / 0,033	1,47	0,9	0,95 / 0,33	1,323	0,44	-	60	1	1,323	0,44	1,4	2,13
ЩО-2	10	0,033 / 0,029	0,792	0,9	0,95 / 0,33	0,713	0,24	-	48	1	0,713	0,24	0,8	1,22

5 Расчет и выбор основного оборудования для электроснабжения

В данном пункте необходимо выбрать магистральный шинопровод, кабели и автоматические выключатели.

Для правильного расчета и выбора необходимо опираться на следующую литературу и источники [2-3, 18-19, 21, 24-28].

5.1 Щиты освещения. Кабели

Начать необходимо с освещения. Составим таблицу 12 по каждому помещению с нагрузкой светильников.

Таблица 12 – Нагрузка светильников каждого помещения

Помещение	Этаж	Фаза	Нагрузка (Количество·P _н)
Основное помещение	-	В	0,49 (10 · 0,049) кВт
		С	0,49 (10 · 0,049) кВт
Коридор №1	1	А	0,066 (2 · 0,033) кВт
Коридор №2	2	С	0,058 (2 · 0,029) кВт
Склад	1	А	0,033 (1 · 0,033) кВт
Покрасочная	1	А	0,132 (4 · 0,033) кВт
Раздевалка	2	А	0,132 (4 · 0,033) кВт
Офис	2	А	0,132 (4 · 0,033) кВт
Лестница	-	А	0,033 (1 · 0,033) кВт

Рассчитаем ток по формуле:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (40)$$

$$I_p \text{ (Осн. помещение, фаза В)} = \frac{0,49}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 2,5 \text{ А,}$$

$$I_p \text{ (Осн. помещение, фаза С)} = \frac{0,49}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 2,5 \text{ А,}$$

$$I_p \text{ (Коридор №1, фаза А)} = \frac{0,066}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 0,34 \text{ А,}$$

$$I_p (\text{Коридор №2, фаза C}) = \frac{0,058}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 0,3 \text{ A},$$

$$I_p (\text{Склад, фаза A}) = \frac{0,033}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 0,17 \text{ A},$$

$$I_p (\text{Покрасочная, фаза A}) = \frac{0,132}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 0,67 \text{ A},$$

$$I_p (\text{Раздевалка, фаза A}) = \frac{0,132}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 0,67 \text{ A},$$

$$I_p (\text{Офис, фаза A}) = \frac{0,132}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 0,67 \text{ A},$$

$$I_p (\text{Лестница, фаза A}) = \frac{0,033}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 0,17 \text{ A}.$$

Для питания светильников от щитов будут выбраны кабели ВВГнг-LS 3x1,5. Данный кабель имеет медную жилу и изоляцию с оболочкой из ПВХ пониженной пожароопасности. Допустимый ток при прокладке в воздухе равен 21 А, а на земле равен 27 А.

Теперь выберем кабель для питания щитов освещения от шины низкого напряжения трансформатора по формуле:

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_p}{K_{\text{п}}}, \quad (41)$$

$$I_{\text{доп}} (\text{ЩО} - 1) = \frac{2,13}{0,9} = 2,37,$$

$$I_{\text{доп}} (\text{ЩО} - 2) = \frac{1,22}{0,9} = 1,36.$$

Для питания щитов освещения необходим кабель ВВВнг-LS 5x1,5, который имеет ленточную броню. Допустимый ток при прокладке в воздухе равен 19 А, а на земле равен 25 А.

5.2 Распределительный пункт. Кабели и ШРА

Расчет кабелей будет проводиться по аналогии с освещением.

Для начала проведем расчет кабелей для розеток по формуле 40:

$$I_p \text{ (Однофазная розетка, оборудование)} = \frac{5}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 24,1 \text{ А,}$$

$$I_p \text{ (Однофазная розетка, бытовые приборы)} = \frac{2}{0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 10 \text{ А,}$$

$$I_p \text{ (Трёхфазная розетка, оборудование)} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 17,8 \text{ А.}$$

Нагрузка выбрана с небольшим запасом от средних значений возможной нагрузки. Для розеток выбраны кабели:

– кабель ВВГнг-LS 3х4: $I_{\text{воздух}} = 36 \text{ А}$, $I_{\text{земля}} = 47 \text{ А}$;

– кабель ВВГнг-LS 3х1,5: $I_{\text{воздух}} = 21 \text{ А}$, $I_{\text{земля}} = 27 \text{ А}$;

– кабель ВВГнг-LS 5х1,5: $I_{\text{воздух}} = 19 \text{ А}$, $I_{\text{земля}} = 25 \text{ А}$.

Кабель для трехфазной розетки выбран с нейтральным проводом, чтобы в случае необходимости можно было подключить через переходник однофазную нагрузку.

Теперь рассчитаем кабели для всего оборудования на тот случай, если будет необходимость изменить подключение какого-то оборудования, которое подключается к шинопроводу, по формуле 40:

$$I_p \text{ (№1)} = \frac{2,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 4,6 \text{ А,}$$

$$I_p \text{ (№2)} = \frac{0,85}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6 \cdot 0,9} = 1,6 \text{ А,}$$

$$I_p \text{ (№3)} = \frac{0,75}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 2,5 \text{ А,}$$

$$I_p (\text{№4}) = \frac{3}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 6,3 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№5}) = \frac{8,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,55 \cdot 0,9} = 26,4 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№6}) = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6 \cdot 0,9} = 2,8 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№7}) = \frac{0,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6 \cdot 0,9} = 0,8 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№8}) = \frac{5,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6 \cdot 0,9} = 16,3 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№9}) = \frac{2,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 7,8 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№10}) = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 37,14 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№11}) = \frac{1,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 5,74 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№12}) = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 2,2 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№13}) = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 54 \text{ A},$$

$$I_p (\text{№14}) = \frac{9}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 30,4 \text{ A}.$$

Для оборудования выбраны следующие кабели:

– кабель ВВГнг-LS 4х1,5: $I_{\text{воздух}} = 19 \text{ A}$, $I_{\text{земля}} = 25 \text{ A}$;

– кабель ВВГнг-LS 4х4: $I_{\text{воздух}} = 33 \text{ A}$, $I_{\text{земля}} = 43 \text{ A}$;

– кабель ВВГнг-LS 4х6: $I_{\text{воздух}} = 42 \text{ A}$, $I_{\text{земля}} = 54 \text{ A}$;

– кабель ВВГнг-LS 4х10: $I_{\text{воздух}} = 58 \text{ A}$, $I_{\text{земля}} = 73 \text{ A}$.

Закончим расчет выбором кабеля для питания распределительного пункта по формуле 41:

$$I_{\text{Доп}} (\text{РП} - 1) = \frac{52,7}{0,6} = 87,8.$$

Для распределительного пункта и ШРА будут выбраны кабели:

- кабель ВВГнг-LS 5х16: $I_{\text{воздух}} = 78 \text{ А}$, $I_{\text{земля}} = 94 \text{ А}$;
- кабель ВБВнг-LS 5х25: $I_{\text{воздух}} = 104 \text{ А}$, $I_{\text{земля}} = 123 \text{ А}$.

Составим сводную таблицу 13 с перечнем всех кабелей.

Таблица 13 – Результаты расчета токов и выбора кабелей

№ кабельной линии	S_p , кВА	$I_p / I_{\text{Доп.расч}}$, А	$I_{\text{Доп}}$, А	Кабель
Основное помещение, фаза В	0,49	2,5	21	ВВГнг-LS 3х1,5
Основное помещение, фаза С	0,49	2,5	21	ВВГнг-LS 3х1,5
Коридор №1, фаза А	0,066	0,34	21	ВВГнг-LS 3х1,5
Коридор №2, фаза С	0,058	0,3	21	ВВГнг-LS 3х1,5
Склад, фаза А	0,033	0,17	21	ВВГнг-LS 3х1,5
Покрасочная, фаза А	0,132	0,67	21	ВВГнг-LS 3х1,5
Раздевалка, фаза А	0,132	0,67	21	ВВГнг-LS 3х1,5
Офис, фаза А	0,132	0,67	21	ВВГнг-LS 3х1,5
Лестница, фаза А	0,033	0,17	21	ВВГнг-LS 3х1,5
ЩО-1	1,4	2,13 / 2,37	19	ВБВнг-LS 5х1,5
ЩО-2	0,8	1,22 / 1,36	19	ВБВнг-LS 5х1,5
Однофазная розетка (Обор.)	5	24,1	36	ВВГнг-LS 3х4
Однофазная розетка (Быт. приб.)	2	10,2	21	ВВГнг-LS 3х1,5
Трёхфазная розетка (Обор.)	10	17,8	19	ВВГнг-LS 5х1,5
Кабель оборудования №1	2,2	4,6	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №2	0,85	1,6	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №3	0,75	2,5	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №4	3	6,3	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №5	8,6	26,4	33	ВВГнг-LS 4х4
Кабель оборудования №6	1	2,8	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №7	0,3	0,8	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №8	5,8	16,3	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №9	2,3	7,8	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №10	11	37,14	42	ВВГнг-LS 4х6
Кабель оборудования №11	1,7	5,74	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №12	0,63	2,2	19	ВВГнг-LS 4х1,5
Кабель оборудования №13	16	54	58	ВВГнг-LS 4х10
Кабель оборудования №14	9	30,4	33	ВВГнг-LS 4х4
Кабель для ШРА	33,5	50,9	78	ВВГнг-LS 5х16
Кабель для РП-1	36,51	52,7 / 87,8	104	ВБВнг-LS 5х25

5.3 Автоматические выключатели для РП и ЩО

Для каждого помещения будут установлены свои выключатели. Для основного будут поставлены два, так как задействованы две фазы. Данные автоматы будут однополюсными. На входящий кабель от ШНН будет установлен вводный четырёхполюсный автомат.

Проведем расчет для определения номинального тока автоматических выключателей для кабелей с оборудованием, имеющем электродвигатель, по формуле:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_p, \quad (42)$$

$$I_{н.а}(\text{Трехфазная розетка}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 17,8 = 22,3 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№1}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 4,6 = 5,75 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№2}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 1,6 = 2 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№3}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 2,5 = 3,13 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№4}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 6,3 = 7,9 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№5}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 26,4 = 33 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№6}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 2,8 = 3,5 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№7}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 0,8 = 1 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№8}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 16,3 = 20,4 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№9}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 7,8 = 9,8 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№10}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 37,14 = 46,43 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№11}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 5,74 = 7,2 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№12}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 2,2 = 2,8 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№13}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 54 = 67,5 \text{ А},$$

$$I_{н.а}(\text{№14}) \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 30,4 = 38 \text{ А}.$$

Для групповой линии, как ШРА или линии от ШНН до РП, по формуле:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p, \quad (43)$$

$$I_{н.а} (\text{РП} - 1) \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot 94,3 = 103,73 \text{ А},$$

$$I_{н.а} (\text{ШРА}) \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot 65 = 71,5 \text{ А}.$$

Составим таблицу 14 с перечнем выключателей, опираясь на расчеты. Проверка выключателей проведена внутри таблицы 14, так как выключатели выбирались согласно расчетам и проверочный расчет был бы переписанной копией предыдущих расчетов.

Во-первых, рабочее напряжение. Рабочее напряжение равно 230 В для однофазного оборудования и 400 В для трёхфазного оборудования. Все выключатели выбирались по рабочему напряжению и это прописывается в 4 столбце таблицы 14.

Во-вторых, это проверка рабочего и номинального токов, а также тока расцепителя. Данные расчеты идут по формулам 42 и 43, и согласно им выбираются выключатели. Поэтому соответствие параметров прописывается в 5 столбце таблицы 14.

В-третьих, проверка по отключающей способности. Это будет проведено после расчета токов КЗ. В 7 столбце прописывает лишь параметр выключателя без сравнения с током КЗ.

5.4 Высоковольтный выключатель

Высоковольтный выключатель выбирается и проверяется, как правило, по рабочему напряжению и току, электродинамическому и термическому воздействию. Выберем с сайта производителя [13] достаточно распространённый выключатель ВВМ-СЭЩ-3-10-20/1000 У2.

Проверка будет проведена после расчета короткого замыкания на высокой стороне. Выключатель считается частью энергосистемы.

Вывод: В результате составлена таблица с полным перечнем автоматических выключателей и их проверкой. А также кабельные линии.

Таблица 14 – Перечень выключателей

Расположение, линия	Серия выключателя	Фаза;	$U_n \geq U_{\text{раб}}, \text{ В}$	$I_{н.а.} \geq I_{н.р.} \geq 1,1 \dots 1,25 \cdot I_p$	Тип расц.	Юткл
1	2	3	4	5	6	7
РП-1, Вводный	ВА 47-125	А, В, С	$400 \geq 400$	$125 \text{ А} \geq 100 \text{ А} \geq 103,73 \text{ А}$	С	15 кА
РП-1, Однофазная розетка обор.	ВА 47-63	А, В, С	$400 \geq 400$	$63 \text{ А} \geq 25 \text{ А} \geq 24,1 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Однофазная розетка быт.	ВА 47-29	А, В, С	$400 \geq 400$	$29 \text{ А} \geq 10 \text{ А} \geq 10 \text{ А}$	В	4,5 кА
РП-1, Трёхфазная розетка обор.	ВА 47-63	А, В, С	$400 \geq 400$	$63 \text{ А} \geq 25 \text{ А} \geq 22,3 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, ШРА	ВА 47-100	А, В, С	$400 \geq 400$	$100 \text{ А} \geq 80 \text{ А} \geq 71,5 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Оборудование №1	ВА 47-29	А, В, С	$400 \geq 400$	$29 \text{ А} \geq 6 \text{ А} \geq 5,75 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Оборудование №2; №7	ВА 47-29	А, В, С	$400 \geq 400$	$29 \text{ А} \geq 2,5 \text{ А} \geq 2 \text{ А}; 1 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Оборудование №3; №6; №12	ВА 47-29	А, В, С	$400 \geq 400$	$29 \text{ А} \geq 5 \text{ А} \geq 3,13 \text{ А}; 3,5 \text{ А}; 2,8 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Оборудование №4; №9; №11	ВА 47-29	А, В, С	$400 \geq 400$	$29 \text{ А} \geq 10 \text{ А} \geq 7,9 \text{ А}; 9,8 \text{ А}; 7,2 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Оборудование №5	ВА 47-100	А, В, С	$400 \geq 400$	$100 \text{ А} \geq 35 \text{ А} \geq 33 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Оборудование №8	ВА 47-63	А, В, С	$400 \geq 400$	$63 \text{ А} \geq 25 \text{ А} \geq 20,4 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Оборудование №10	ВА 47-100	А, В, С	$400 \geq 400$	$100 \text{ А} \geq 50 \text{ А} \geq 46,43 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Оборудование №13	ВА 47-100	А, В, С	$400 \geq 400$	$100 \text{ А} \geq 80 \text{ А} \geq 67,5 \text{ А}$	С	4,5 кА
РП-1, Оборудование №14	ВА 47-100	А, В, С	$400 \geq 400$	$100 \text{ А} \geq 40 \text{ А} \geq 38 \text{ А}$	С	4,5 кА
ЩО-1, Вводной	ВА 47-63	А, В, С	$400 \geq 400$	$63 \text{ А} \geq 5 \text{ А} \geq 2,37 \text{ А}$	С	4,5 кА
ЩО-1, Основное помещение	ВА47-29	В	$230 \geq 230$	$29 \text{ А} \geq 3 \text{ А} \geq 2,5 \text{ А}$	В	4,5 кА
ЩО-1, Основное помещение	ВА47-29	С	$230 \geq 230$	$29 \text{ А} \geq 3 \text{ А} \geq 2,5 \text{ А}$	В	4,5 кА
ЩО-1, Коридор №1	ВА47-29	А	$230 \geq 230$	$29 \text{ А} \geq 1 \text{ А} \geq 0,34 \text{ А}$	В	4,5 кА
ЩО-1, Склад	ВА47-29	А	$230 \geq 230$	$29 \text{ А} \geq 1 \text{ А} \geq 0,17 \text{ А}$	В	4,5 кА
ЩО-1, Покрасочная	ВА47-29	А	$230 \geq 230$	$29 \text{ А} \geq 1 \text{ А} \geq 0,67 \text{ А}$	В	4,5 кА
ЩО-1, Офис	ВА47-29	А	$230 \geq 230$	$29 \text{ А} \geq 1 \text{ А} \geq 0,67 \text{ А}$	В	4,5 кА
ЩО-2, Вводной	ВА 47-63	А, В, С	$400 \geq 400$	$63 \text{ А} \geq 2,5 \text{ А} \geq 1,36 \text{ А}$	С	4,5 кА
ЩО-2, Коридор №2	ВА47-29	С	$230 \geq 230$	$29 \text{ А} \geq 1 \text{ А} \geq 0,3 \text{ А}$	В	4,5 кА
ЩО-2, Раздевалка	ВА47-29	А	$230 \geq 230$	$29 \text{ А} \geq 1 \text{ А} \geq 0,67 \text{ А}$	В	4,5 кА
ЩО-2, Офис	ВА47-29	А	$230 \geq 230$	$29 \text{ А} \geq 1 \text{ А} \geq 0,17 \text{ А}$	В	4,5 кА

6 Расчет короткого замыкания

6.1 Расчет короткого замыкания на стороне 0,4 кВ

Расчет будет проведен для самого мощного и дальнего электроприемника на низкой стороне. Расчет короткого замыкания будет проведен, опираясь на следующую литературу и источники [2-3, 21-22, 29].

Самым мощным и дальним оборудованием является «Токарный станок 16Б20ТМ». Изобразим расчетную схему на рисунке 4 и схему замещения на рисунке 5. Составим таблицу 15 с параметрами всех элементов и таблицу 16 с базисными величинами.

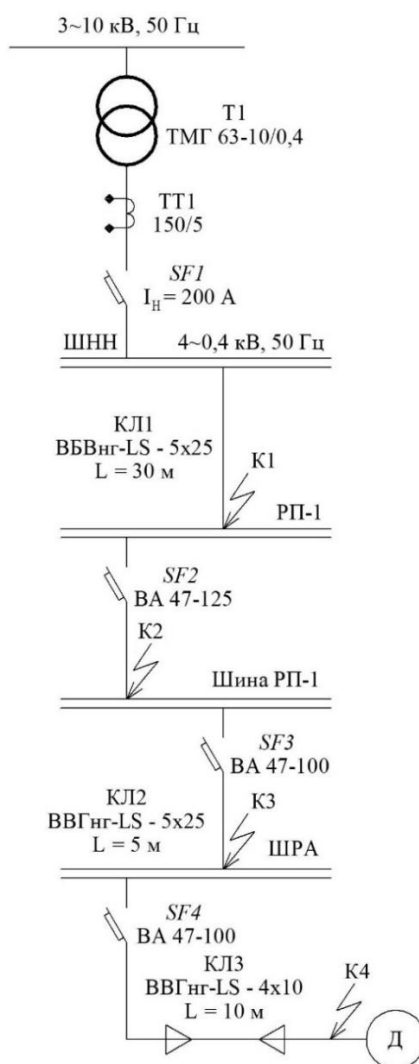


Рисунок 4 – Расчетная схема короткого замыкания на низкой стороне

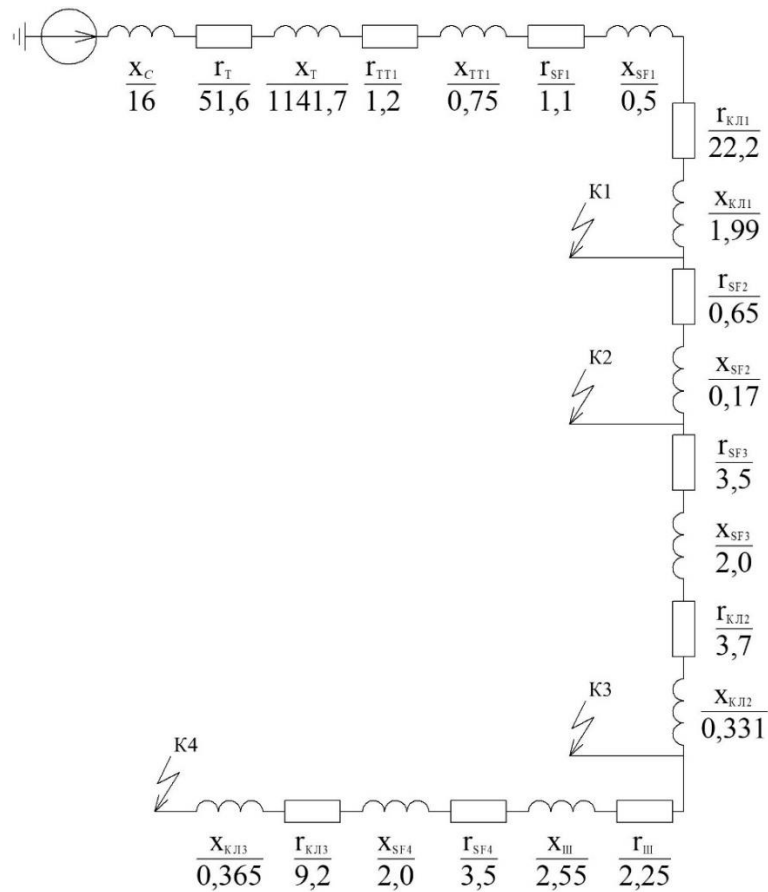


Рисунок 5 – Схема замещения расчетной схемы на низкой стороне

Таблица 15 - Параметры элементов

Элемент	Активное сопротивление, мОм/м	Реактивное сопротивление, мОм/м	Длина, м
Трансформатор тока	1,2	0,75	-
Выключатель SF1	1,1	0,5	-
Выключатель SF2	2,15	1,2	-
Выключатель SF3 и SF4	3,5	2	-
Кабельная линия №1	0,74	0,0662	30
Кабельная линия №2	0,74	0,0662	5
Кабельная линия №3	1,84	0,073	5
Шинопровод	0,15	0,17	15

Таблица 16 - Базисные величины и параметры для КЗ на низкой стороне

Базисное напряжение U_b , кВ	Мощность S_k , МВА	Мощность трансформатора S_T , МВА	Потери КЗ трансформатора P_k , кВт	Напряжение КЗ, U_k , %
0,4	10	0,063	1,28	4,5

Теперь необходимо найти сопротивление системы по формуле:

$$x_C = \frac{U_6^2}{S_K}, \quad (44)$$

$$x_C = \frac{0,4^2}{10} = 0,016 \text{ Ом} = 16 \text{ мОм}.$$

Определим сопротивление трансформатора по формулам:

$$z_T = \frac{U_{K3}}{100} \cdot \frac{U_6^2}{S_H}, \quad (45)$$

$$z_T = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{0,063} = 1,143 \text{ Ом} = 1143 \text{ мОм},$$

$$r_T = \Delta P_{K3} \cdot \frac{U_6^2}{S_H^2}, \quad (46)$$

$$r_T = 1,28 \cdot \frac{0,4^2}{0,063^2} = 0,0516 \text{ Ом} = 51,6 \text{ мОм},$$

$$x_T = \sqrt{z^2 - r^2}, \quad (47)$$

$$x_T = \sqrt{1143^2 - 51,6^2} = 1141,7 \text{ мОм}.$$

Определим сопротивление трёх кабельных линий по формулам:

$$r_K = r_0 \cdot l, \quad (48)$$

$$r_{K1} = 0,74 \cdot 30 = 22,2 \text{ мОм},$$

$$r_{K2} = 0,74 \cdot 5 = 3,7 \text{ мОм},$$

$$r_{K3} = 1,84 \cdot 5 = 9,2 \text{ мОм}.$$

$$x_K = x_0 \cdot l, \quad (49)$$

$$x_{K1} = 0,0662 \cdot 30 = 1,99 \text{ мОм},$$

$$x_{K2} = 0,0662 \cdot 5 = 0,331 \text{ мОм},$$

$$x_{K3} = 0,073 \cdot 5 = 0,365 \text{ мОм}.$$

Определим сопротивление ШРА по формулам:

$$r_{III} = r_0 \cdot l, \quad (50)$$

$$r_{III} = 0,15 \cdot 15 = 2,25 \text{ мОм},$$

$$x_{III} = x_0 \cdot l, \quad (51)$$

$$x_{III} = 0,17 \cdot 15 = 2,55 \text{ мОм}.$$

Определим суммарные сопротивления каждого короткого замыкания по формулам:

$$r_{K1} = r_T + r_{TT1} + r_{SF1} + r_{KЛ1}, \quad (52)$$

$$r_{K1} = 51,6 + 1,2 + 1,1 + 22,2 = 76,1 \text{ мОм},$$

$$x_{K1} = x_C + x_T + x_{TT1} + x_{SF1} + x_{KЛ1}, \quad (53)$$

$$x_{K1} = 16 + 1141,7 + 0,75 + 0,5 + 1,99 = 1160,94 \text{ мОм},$$

$$r_{K2} = r_{K1} + r_{SF2}, \quad (54)$$

$$r_{K2} = 76,1 + 0,65 = 76,75 \text{ мОм},$$

$$x_{K2} = x_{K1} + x_{SF2}, \quad (55)$$

$$x_{K2} = 1160,94 + 0,17 = 1161,11 \text{ мОм}.$$

$$r_{K3} = r_{K2} + r_{SF3} + r_{KЛ2}, \quad (56)$$

$$r_{K3} = 76,75 + 3,5 + 3,7 = 83,95 \text{ мОм}.$$

$$x_{K3} = x_{K2} + x_{SF3} + x_{KЛ2}, \quad (57)$$

$$x_{K3} = 1161,11 + 2,0 + 0,331 = 1163,441 \text{ мОм}.$$

$$r_{K4} = r_{K3} + r_{III} + r_{SF4} + x_{KЛ3}, \quad (58)$$

$$r_{K4} = 83,95 + 2,25 + 3,5 + 9,2 = 98,9 \text{ мОм}.$$

$$x_{K4} = x_{K3} + x_{III} + x_{SF4} + x_{KЛ3}, \quad (59)$$

$$x_{K4} = 1163,441 + 2,55 + 2,0 + 0,365 = 1168,356 \text{ мОм}.$$

Определим полное сопротивление по формуле:

$$z_i = \sqrt{r_i^2 + x_i^2}, \quad (60)$$

$$z_{K1} = \sqrt{76,1^2 + 1160,94^2} = 1163,43 \text{ мОм} = 1,163 \text{ Ом},$$

$$z_{K2} = \sqrt{76,75^2 + 1161,11^2} = 1163,64 \text{ мОм} = 1,164 \text{ Ом},$$

$$z_{K3} = \sqrt{83,95^2 + 1163,441^2} = 1166,47 \text{ мОм} = 1,166 \text{ Ом},$$

$$z_{K4} = \sqrt{98,9^2 + 1168,356^2} = 1172,53 \text{ мОм} = 1,173 \text{ Ом}.$$

Определим токи 3-фазного КЗ по формуле:

$$I_{Ki} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot z_i}, \quad (61)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 1,163} = 0,199 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 1,164} = 0,198 \text{ кА},$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 1,166} = 0,198 \text{ кА},$$

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 1,173} = 0,197 \text{ кА}.$$

6.2 Расчет короткого замыкания на стороне 10 кВ

Данный расчет необходим для проверки высоковольтного выключателя. Самая ближняя точка КЗ будет сразу после выключателя. Составим таблицу 17 с данными для расчетов.

Таблица 17 - Базисные величины и параметры для КЗ на высокой стороне

Базисное напряжение U_6 , кВ	Базисная мощность S_6 , МВА	Мощность короткого замыкания S_K , МВА	Ударный коэффициент $k_{уд}$	Средне удельное сопротивление высоковольтных линий, Ом/км	Длина линии 10 кВ, км
10,5	10	250	1,6	0,4	0,05

Изобразим расчетную схему на рисунке 6 и схему замещения на рисунке 7.

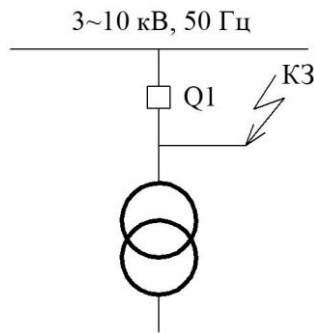


Рисунок 6 – Расчетная схема короткого замыкания на низкой стороне

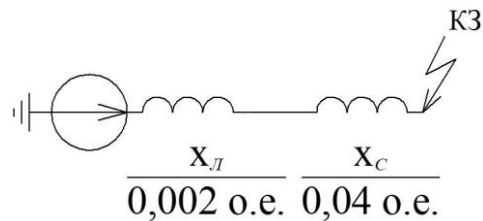


Рисунок 7 – Схема замещения расчетной схемы на низкой стороне

Для начала определим сопротивление системы по формуле:

$$x_{*C(6)} = \frac{S_6}{S_K}, \quad (62)$$

$$x_{*C(6)} = \frac{10}{250} = 0,04 \text{ о. е.}$$

Определим сопротивление существующей высоковольтной кабельной линии по формуле:

$$x_{*Л(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{6.B}^2}, \quad (63)$$

$$x_{*Л(6)} = 0,4 \cdot 0,05 \cdot \frac{10}{10,5^2} = 0,002 \text{ о. е.}$$

После этого найдем базисный ток по формуле:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (64)$$
$$I_6 = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,55 \text{ кА.}$$

Определим теперь периодическую составляющую тока КЗ по формуле:

$$I_{\Pi} = \frac{E''_{*C}}{x_{*C(6)} + x_{*L(6)}} \cdot I_6, \quad (65)$$
$$I_{\Pi} = \frac{1}{0,04 + 0,002} \cdot 0,55 = 13,1 \text{ кА.}$$

И в конце определим ударный ток КЗ по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi} \cdot k_{уд}, \quad (66)$$
$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 13,1 \cdot 1,6 = 29,6 \text{ кА.}$$

Вывод: В результате рассчитаны короткие замыкания на стороне 0,4 кВ в 4 точках. А также периодическую составляющую тока КЗ и ударный ток на стороне 10 кВ.

7 Проверка всех выключателей и кабельных линий цеха

7.1 Проверка выключателей и кабелей на стороне 0,4 кВ

Чтобы проверить кабели и выключатели достаточно сравнить их паспортные показатели с расчетными данными по коротким замыканиям.

В первую очередь начнем с выключателей. Их ток отключения равен 4,5 кА, кроме выключателя на НН стороне силового трансформатора, у которого значение равно 15 кА.

Так как максимальный ток короткого замыкания равен 0,2 кА, то выключатели без проблем смогут отключить питание, чтобы предотвратить повреждения кабелей и оборудования.

Осталось проверить кабельные линии. Так как токи коротких замыканий относительно малы и равны максимально возможно 0,2 кА, то проверить кабели можно по самому малому сечению. Это кабели сечением 1,5 мм. Их способность выдержать односекундный ток КЗ равен 0,17 кА. Это очень близко к расчетному значению тока КЗ. Но это значение необходимо пересчитать, так как выключение будет происходить за доли секунд. Проведем расчет по формуле, посчитав, что ток будет отключен за 0,04 секунды по формуле:

$$I_{\text{откл.кл}} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \geq I_{K1}, \quad (67)$$

$$I_{\text{откл.кл}} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,04}} = 0,9 \text{ кА} \geq I_{K1} = 0,2 \text{ кА}.$$

Это была проверка на электродинамическую стойкость. Проведем проверку на термическую стойкость.

Определим тепловой импульс КЗ по формуле:

$$B_K = I_{п,0}^2 \cdot (t + T_a), \quad (68)$$

$$B_K = 200^2 \cdot (0,04 + 0,02) = 2400 A^2 \cdot c = 2,4 \cdot 10^3 A^2 \cdot c.$$

Где T_a постоянная времени затухания, равная 0,02, для сети до 10 кВ.

Определим тепловой импульс, который способен выдержать кабель по формуле:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (69)$$

$$B_K = 2,4 \cdot 10^3 A^2 \cdot c \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = (900)^2 \cdot 0,04 = 32,4 \cdot 10^3 A^2 \cdot c.$$

7.2 Проверка высоковольтного выключателя на 10 кВ

Проведем полную проверку выключателя по различным параметрам.

Запишем данные выключателя в таблицу 18.

Таблица 18 – Паспортные данные выключателей ВВМ-СЭЦ-3-10-20/1000 У2

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ.	10
Номинальный ток $I_{ном}$, А.	1000
Номинальный ток отключения $I_{ном.откл}$, кА.	20
Ток электродинамической стойкости $i_{эл.ст}$, кА	51
Собственное время отключения $t_{с.в.}$, с.	0,03
Полное время отключения $t_{пв.откл}$, с.	0,05
Собственное время включения, с.	0,1

Проверим напряжение по формуле:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном}, \quad (70)$$

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{раб} = 10 \text{ кВ}.$$

Рассчитаем максимальный рабочий ток на высокой стороне силового

трансформатора по формуле:

$$I_{\text{макс.раб}} = \frac{K_{\text{пер}} \cdot S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} \leq I_{\text{НОМ}}, \quad (71)$$
$$I_{\text{макс.раб}} = \frac{1,4 \cdot 63}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,1 \text{ А} \leq I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}.$$

Проверим по максимальному току:

$$I_{\text{макс.раб}} \leq I_{\text{НОМ}}, \quad (72)$$
$$I_{\text{макс.раб}} = 5,1 \text{ А} \leq I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}.$$

Проверим по отключающей способности периодической составляющей, включающей способности и электродинамической стойкости по формулам:

$$I_{\text{П}} \leq I_{\text{НОМ.ОТКЛ}}, \quad (73)$$
$$I_{\text{П}} = 13,1 \text{ кА} \leq I_{\text{НОМ.ОТКЛ}} = 20 \text{ кА}.$$

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{ЭЛ.СТ}}, \quad (74)$$
$$i_{\text{уд}} = 29,6 \text{ кА} \leq i_{\text{ЭЛ.СТ}} = 51 \text{ кА}.$$

Теперь найдем полное время отключения для апериодической составляющей по формуле:

$$\tau = t_{\text{рз}} + t_{\text{с.в.}}, \quad (75)$$
$$\tau = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с}.$$

Где $t_{\text{рз}}$ время срабатывания релейной защиты на подстанции, как правило применяется значение в 0,01 секунду.

После этого можно определить апериодическую составляющую тока КЗ по формуле:

$$I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,\tau} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (76)$$

$$I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 13,1 \cdot e^{-\frac{0,04}{0,02}} = 2,51 \text{ кА.}$$

Здесь T_a постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока, которая равна 0,02, так как напряжение 10 кВ.

Найдем процент содержания аperiodической составляющей в токе, который способен отключить выключатель по формуле:

$$\beta_{\text{нор}} = f(\tau), \quad (77)$$

$$\beta_{\text{нор}} = f(0,04) \approx 40\%.$$

Определение идет согласно отношению на рисунке 8.

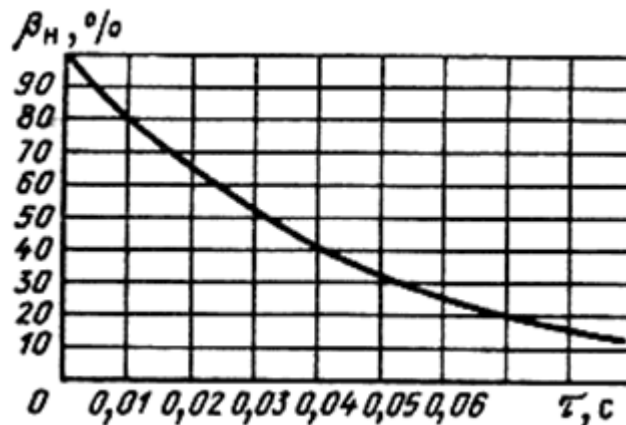


Рисунок 8 - Отношение процента аperiodической составляющей к ТАУ

Процент аperiodической составляющей $\beta_{\text{нор}}$ согласно отношению, равен 40%. Теперь можно определить ток аperiodической составляющей тока КЗ и проверить на отключающую способность по формуле:

$$I_{a,\tau} \leq I_{a,\text{ном}} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}}}{100} \right) \cdot I_{\text{откл.ном}}, \quad (78)$$

$$I_{a,\tau} = 2,51 \text{ кА} \leq I_{a,\text{ном}} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 40}{100} \right) \cdot 20 = 11,3 \text{ кА}.$$

Теперь найдём полное время отключения для термической стойкости по формуле:

$$t = t_{\text{рз}} + t_{\text{пв.откл}}, \quad (79)$$

$$t = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с}.$$

Определим тепловой импульс КЗ по формуле 67:

$$B_{\text{К}} = (13,1 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,06 + 0,02) = 13,73 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Определим тепловой импульс, который способен выдержать кабель по формуле 68:

$$B_{\text{К}} = 13,73 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = (51 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 156 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Вывод: Все кабели и выключатели прошли проверку. Кабели будут способны выдержать ток короткого замыкания пока срабатывает автоматика. А выключатели смогут отключить питание без повреждений собственной конструкции.

8 Заземление цеха

Здание цеха имеет общую систему заземления с цехами других компаний.

Главным заземлением является фундамент, глухозаземленная нейтраль трансформатора и металлические трубы. Также каждый кабель имеет отдельную жилу заземления «РЕ», которая соединяется с нейтральным проводом «N» в КТП.

Проведем расчет заземлителей металлической полосы 25x4 на глубине 4-6 метров. Определим сопротивление вертикального и горизонтального заземлителей по формулам:

$$R_{\text{верт}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{вз}}} \left(\ln \frac{2 \cdot L_{\text{вз}}}{d_{\text{вз}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{\text{вз}} + L_{\text{вз}}}{4 \cdot T_{\text{вз}} - L_{\text{вз}}} \right), \quad (80)$$

$$R_{\text{верт}} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,018} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 32,8 \text{ Ом.}$$

$$R_{\text{гориз}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{гз}}} \cdot \ln \frac{2L_{\text{гз}}^2}{b_{\text{гз}} \cdot h_{\text{гз}}}, \quad (81)$$

$$R_{\text{гориз}} = \frac{100}{2\pi \cdot 19,6} \cdot \ln \frac{2 \cdot 19,6^2}{0,05 \cdot 0,5} = 8,39 \text{ Ом.}$$

Определим полное сопротивление по формуле:

$$R_{\text{суммзу}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{K_{\text{испзи}} \cdot n_{\text{зи}}}{R_{\text{зи}}}}, \quad (82)$$

$$R_{\text{суммзу}} = \frac{1}{\frac{25 \cdot 0,69}{32,8} + \frac{1 \cdot 0,69}{8,39}} = 1,64 \text{ Ом.}$$

Вывод: в результате расчетов нашли необходимое сопротивление заземлителей для контура заземления.

Заключение

Результатом выпускной квалификационной работы стал полный расчет электроснабжения цеха деревообработки.

Первым делом была расписана информация по цеху. Его размеры, помещения и оборудование. Согласно перечню оборудования, были проведены сайты производителей и продавцов, чтобы получить точную информацию.

Затем была рассчитана полная сводная ведомость нагрузки. Для ее составления проведен расчет нового освещения всех помещений, опираясь на размеры, НТД по освещению и отражающая способность стен, потолка и пола. Для освещения выбраны следующие светильники ARG S1 407A, ARG S1 408A и ARG S1 608A.

После этого был проведен расчет КТП. Так как в данный момент цех питается от общей КТП, которая также питает другие цеха, было необходимо просчитать мощность трансформатора и КУ собственной КТП. Трансформатором стал ТМГ-63/10, а КУ устанавливать не выгодно.

После этого была составлена схема электроснабжения цеха. Питание от ШНН будет приходить на РП-1, ЩО-1 и ЩО-2. Если щиты освещения будут ответственны за светильники, то РП-1 будет ответственен за розетки и ШРА.

Согласно схемы проведен расчет кабелей, а затем в свою очередь проведен расчет автоматических выключателей. Основными кабелями стали кабели марки ВВГнг-LS и ВБВнг-LS.

По выключателям была выбрана лишь серия с характеристиками, так как производителей много и стоимость также может различаться в 2 раза. Поэтому выбор производителя ложиться на владельца цеха исходя из финансов.

Параллельно работе сделаны 6 чертежей А1.

Список используемых источников

1. Вахнина В.В., Горячева В.Л., Степкина Ю.В. Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. – Тольятти: ТГУ, 2004. - 92 с.
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976> (дата обращения: 20.01.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943> (дата обращения: 20.01.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебно – методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования – Тольятти: ТГУ, 2007. - 54 с.
5. Киреева Э.А., Шерстнев С.Н., под общим ред. Шерстнева С.Н. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов). - Москва, 2013. - 864с.
6. Ковалев И.Н. Электроэнергетические системы и сети : учебник. М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. 363 с.
7. Крючков И.П. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Учебное пособие. - Москва, МЭИ, 2009. - 414 с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. - 382 с.
9. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций: учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. - 92 с.
10. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и

- городов учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М.: Форум; ИНФРА-М, 2018. – 416 с.
11. Правила устройства электроустановок в вопросах и ответах. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. [Электронный ресурс] URL: <http://etp-perm.ru/el/pue> (дата обращения: 1.02.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
12. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: под ред. Б.Н. Неклепаева. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2015. 152 с
13. Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 с.
14. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Введ. 2017-05-08. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.
15. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Вологда : "Инфра-Инженерия", 2016. 928 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/95768>, (дата обращения: 07.03.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
16. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения Методическое пособие для курсового проектирования // Электронное учебное пособие. Москва: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2005. URL: <https://cloud.mail.ru/stock/dgAkQmzwN5HVgtLiYS5Qz459> (дата обращения: 20.04.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
17. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: ГОСТ 16357-83 Межгосударственный стандарт. Разрядники вентильные переменного тока на номинальные напряжения от 3,8 до 600 кВ [электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-16357-83> (дата обращения 06.05.2021).

18. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: ГОСТ Р 52725-2007 Национальный стандарт Российской Федерации. Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ [электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200051508> (дата обращения 07.05.2021).

19. Chapter IV - System Planning, Design, Construction, and Protection, 2008. 739 p. (20)

20. Front Matter. Electrical Systems and Equipment. Incorporating Modern Power System Practice, 3rd edition. 1992. – 1018 с.

21. Gazi University Journal of Science, 2016. 276 p.

22. Ismail Kasikci. Short Circuits in Power Systems: A Practical Guide to IEC 60909, Second edition. 2017. – 298 с.

23. Kiameh Philip. Power Plant Electrical Equipment and Systems Handbook. Second edition. 2013. – 583 с.

24. Laughton M., Warne D.. Electrical Engineer's Reference Book. Sixteenth edition. 2003. – 396 с.

25. Myatt LJ. Symmetrical Components. Elsevier Ltd, 1968. – 184 с.

26. Protection of Electricity Distribution Networks; The 3rd Edition. The Institution of Engineering and Technology Juan M. Gers & Edward J. Holmes, 2011. 529p.

27. San Diego gas & electric company east county substation project avian protection plan, 2013. 483p.

28. Substations Fire Protection and Detection Standard, 2010. 328p.

Приложение А

Резюме помещений

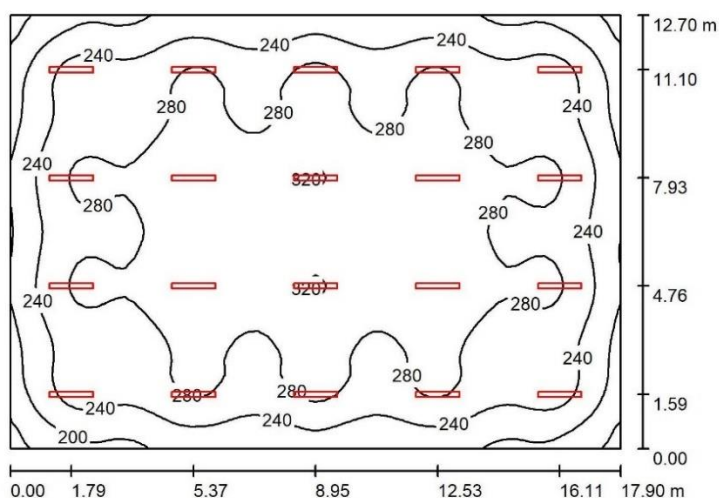
Деревообрабатывающее производство



DIALux
06.06.2021

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Основное помещение / Резюме



Высота помещения: 6.300 m, Монтажная высота: 3.800 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:164

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	263	149	323	0.566
Полы	20	240	137	288	0.569
Потолок	70	64	44	73	0.687
Стенки (4)	50	133	49	256	/

Рабочая плоскость:

Высота: 1.000 m
Растр: 64 x 64 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	20	ARCTIC S1 608A	5528	5528	49.0
			Всего: 110560	Всего: 110560	980.0

Удельная подсоединенная мощность: 4.31 W/m² = 1.64 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 227.33 м²)

Рисунок А.1 – Резюме основного помещения

Продолжение Приложения А

Деревообрабатывающее производство

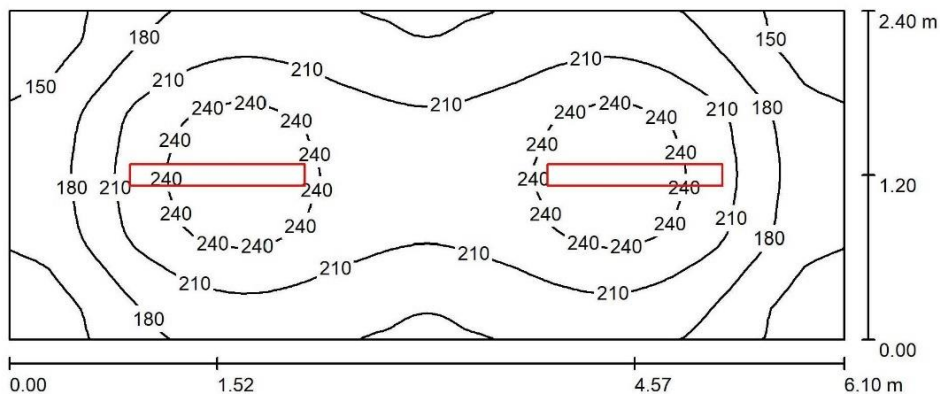


DIALux

06.06.2021

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Коридор №1 / Резюме



Высота помещения: 3.100 m, Монтажная высота: 3.100 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Лух, Масштаб 1:44

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	201	126	258	0.627
Полы	20	143	99	166	0.690
Потолок	70	61	46	86	0.757
Стенки (4)	50	129	61	255	/

Рабочая плоскость:

Высота: 1.000 m
Растр: 64 x 32 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	2	ARCTIC S 408A	3685	3685	33.0
			Всего: 7370	Всего: 7370	66.0

Удельная подсоединенная мощность: $4.51 \text{ W/m}^2 = 2.24 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 14.64 m^2)

Рисунок А.2 – Резюме первого коридора

Продолжение Приложения А

Деревообрабатывающее производство

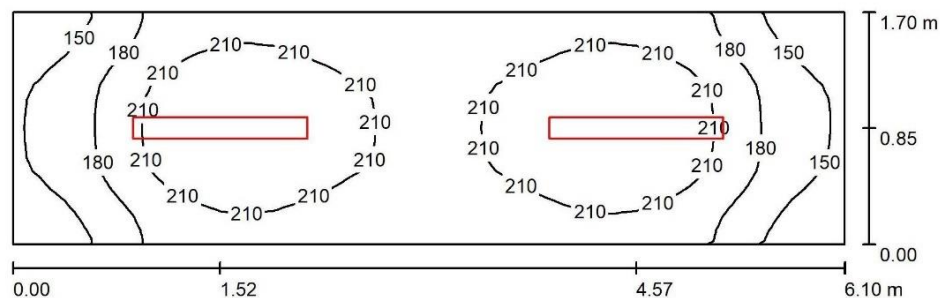


DIALux

06.06.2021

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Коридор №2 / Резюме



Высота помещения: 3.100 m, Монтажная высота: 3.100 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Лкx, Масштаб 1:44

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	195	127	240	0.648
Полы	20	132	97	150	0.733
Потолок	70	73	49	116	0.666
Стенки (4)	50	136	52	368	/

Рабочая плоскость:

Высота: 1.000 m
Растр: 32 x 16 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	2	ARCTIC S 407A	3159	3159	28.0
			Всего: 6318	Всего: 6318	56.0

Удельная подсоединенная мощность: 5.40 W/m² = 2.76 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 10.37 м²)

Рисунок А.3 – Резюме второго коридора

Продолжение Приложения А

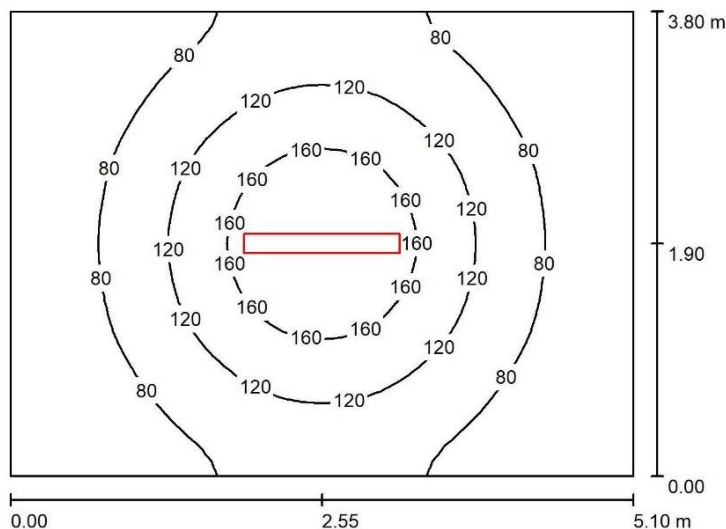
Деревообрабатывающее производство



DIALux
06.06.2021

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Склад / Резюме



Высота помещения: 3.100 m, Монтажная высота: 3.100 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:49

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	97	42	197	0.437
Полы	20	73	43	107	0.595
Потолок	70	23	16	32	0.691
Стенки (4)	50	52	24	105	/

Рабочая плоскость:

Высота: 1.000 m
Растр: 32 x 32 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	1	ARCTIC S 408A	3685	3685	33.0
Всего:			3685	3685	33.0

Удельная подсоединенная мощность: $1.70 \text{ W/m}^2 = 1.75 \text{ W/m}^2 / 100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 19.38 m^2)

Рисунок А.4 – Резюме склада

Продолжение Приложения А

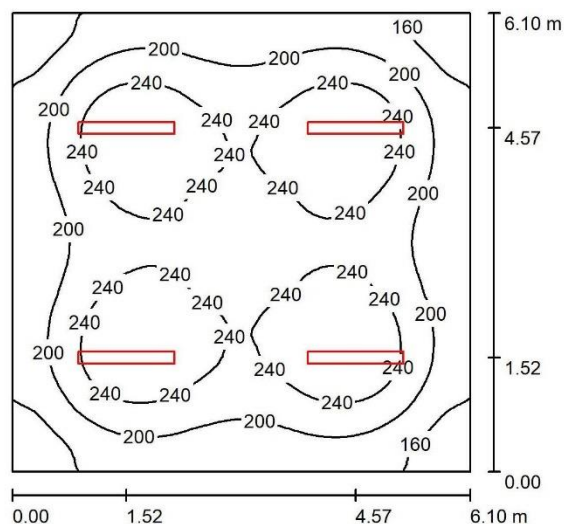
Деревообрабатывающее производство

DIALux

06.06.2021

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Покрасочная / Резюме



Высота помещения: 3.100 m, Монтажная высота: 3.100 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:79

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	216	126	277	0.584
Полы	20	174	114	205	0.658
Потолок	70	54	49	72	0.909
Стенки (4)	50	131	71	200	/

Рабочая плоскость:

Высота: 1.000 m
Растр: 64 x 64 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	ARCTIC S 408A	3685	3685	33.0
			Всего: 14740	Всего: 14740	132.0

Удельная подсоединенная мощность: $3.55 \text{ W/m}^2 = 1.65 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 37.21 m^2)

Рисунок А.5 – Резюме покрасочной

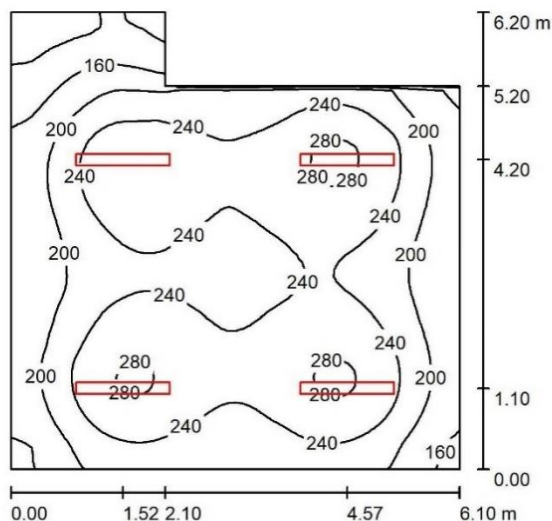
Продолжение Приложения А

Деревообрабатывающее производство

DIALux
06.06.2021

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Раздевалка / Резюме



Высота помещения: 3.100 m, Монтажная высота: 3.100 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:80

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	224	98	288	0.438
Полы	20	179	97	211	0.541
Потолок	70	59	41	102	0.706
Стенки (6)	50	138	51	338	/

Рабочая плоскость:

Высота: 1.000 m
Растр: 64 x 64 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	ARCTIC S 408A	3685	3685	33.0
			Всего: 14740	Всего: 14740	132.0

Удельная подсоединенная мощность: $3.90 \text{ W/m}^2 = 1.74 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 33.82 m^2)

Рисунок А.6 – Резюме раздевалки

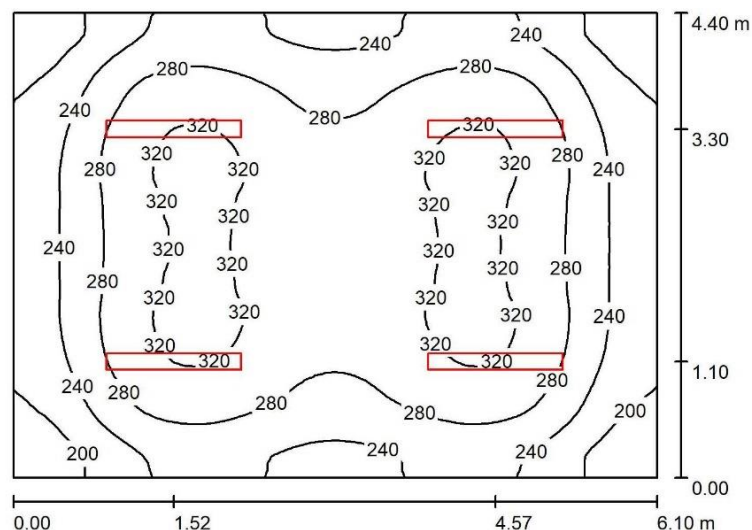
Продолжение Приложения А

Деревообрабатывающее производство

DIALux
06.06.2021

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Офис / Резюме



Высота помещения: 3.100 m, Монтажная высота: 3.100 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:57

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	272	165	333	0.609
Полы	20	212	145	252	0.681
Потолок	70	73	58	115	0.796
Стенки (4)	50	171	95	321	/

Рабочая плоскость:

Высота: 1.000 m
Растр: 64 x 64 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	ARCTIC S 408A	3685	3685	33.0
			Всего: 14740	Всего: 14740	132.0

Удельная подсоединенная мощность: $4.92 \text{ W/m}^2 = 1.81 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 26.84 m^2)

Рисунок А.7 – Резюме офиса

Продолжение Приложения А

Деревообрабатывающее производство

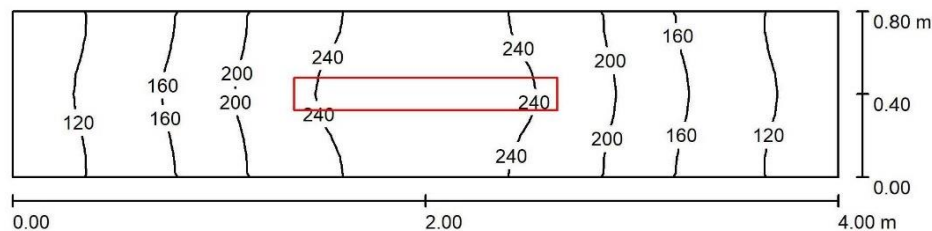


DIALux

06.06.2021

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Лестница / Резюме



Высота помещения: 3.100 m, Монтажная высота: 3.100 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Лкx, Масштаб 1:29

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	186	106	266	0.570
Полы	20	106	78	130	0.735
Потолок	70	133	44	290	0.333
Стенки (4)	50	153	31	1198	/

Рабочая плоскость:

Высота: 1.000 m
Растр: 32 x 8 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	1	ARCTIC S 408A	3685	3685	33.0
			Всего: 3685	Всего: 3685	33.0

Удельная подсоединенная мощность: $10.31 \text{ W/m}^2 = 5.56 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 3.20 m^2)

Рисунок А.8 – Резюме лестницы