

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 «Проектирование системы освещения сварочного производства ав-
томобильного завода»

Студент

А.А. Капитонов

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Руководитель

В.В. Ермаков

(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

Выпускная квалификационная работа на тему: «Проектирование системы освещения сварочного производства автомобильного завода» затрагивает тематику эффективности освещения в автомобильной промышленности. Рассмотрена проблематика существующей системы освещения в частности на сварочном производстве как одном из самых быстроразвивающихся в технологическом плане и требующего качественно другого уровня освещения и актуальность повышения её эффективности.

Целью данной работы является повышение энергоэффективности системы освещения сварочного производства и снижения её энергопотребления. Для достижения этой цели были поставлены и решены задачи по анализу ныне существующей системы производственного освещения, разработки новой энергоэффективной системы освещения и её расчёта.

Работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная поделена на 3 главы. В первой главе рассматриваются особенности, типы и виды нынешней системы промышленного освещения и проведён анализ текущего состояния освещения. Во второй главе разрабатывается новая система освещения с перспективным источником света – светодиодом. В третьей главе производится расчёт новой системы освещения, и подводятся промежуточные выводы о проделанной работе. Объём пояснительной записки 48 страниц.

Графическая часть состоит из 6 листов формата А1, на которых показаны системы промышленного освещения и принципиальные схемы питающей сети.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА	7
1.1 Общие сведения об освещении в производстве	7
1.1.1 Естественное освещение	7
1.1.2 Искусственное освещение	8
1.1.3 Совмещённое освещение	9
1.2 Анализ систем освещения производственных помещений автомобильного завода	10
1.2.1 Анализ системы естественного освещения в производстве автомобильного завода	10
1.2.2 Анализ системы общего освещения в производстве автомобильного завода	11
1.2.3 Анализ системы местного освещения в производстве	13
1.2.4 Анализ аварийного освещения в производстве	15
1.3 Выводы	16
2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА	17
2.1 Разработка систем освещения сварочного производства	18
2.1.1 Ознакомление с планом рассматриваемого помещения	18
2.1.2 Определение качественных характеристик освещения для помещения	19
2.1.3 Выбор видов и системы освещения	21
2.1.4 Выбор расположения и типа светильников	23
2.1.5 Выбор схемы питания и групповых щитов осветительной сети	29
2.1.6 Выбор марки кабелей и способа их прокладки	31
2.1.7 Выбор системы заземления	31
2.1.8 Общие вопросы монтажа, проектирования	32
2.2 Выводы	33

3 РАСЧЁТ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОД-	
СТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА	34
3.1 Расчёт общего рабочего освещения	34
3.2 Расчёт местного рабочего освещения	40
3.3 Расчёт аварийного освещения	43
3.3.1 Расчёт эвакуационного освещения	43
3.3.2 Расчёт освещения безопасности и антипанического освещения	43
3.4 Выводы	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	46

ВВЕДЕНИЕ

Тема выпускной квалификационной работы: «Проектирование системы освещения сварочного производства автомобильного завода».

В условиях бурного развития автомобильной промышленности в России во второй половине 20-го и начале 21-го веков и как следствие резкого возрастания потребления электроэнергии на производстве, а также повышения цен на неё, вопросы экономии эффективности энергоресурсов стали особенно актуальными.

Как и все отрасли промышленности, автомобилестроение не обошёл стороной технический прогресс. Усовершенствуются технологии производства, повсеместно внедряется автоматизация технологических процессов, активно вводится робототехника. Одним из передовых производств автомобильных предприятий по внедрению новых технологий является сварочное производство.

Сварочное производство на автомобильном предприятии становится всё более автоматизированным, высокоточным, требующим максимальной концентрации и трудоёмким процессом. Автоматизация и роботизация сварочного производства призвана повысить качество и скорость производства автомобильной продукции. Для обеспечения улучшения этих показателей необходимо наличие высококачественного освещения.

Освещение является одной из основных статей расхода электрической энергии на автомобильных предприятиях. Расход электроэнергии на освещение непрерывно увеличивается и составляет в автомобилестроении в среднем 5 – 15 % от их общего потребления. Расходы на освещение на автомобильных предприятиях со временем увеличиваются в связи с ежегодным повышением количества производимой автомобильной продукции за счёт увеличения производственных мощностей и по сути непрерывного цикла рабочего процесса, а также с особенностями климата и коротким световым днём в осенне-зимний период.

На производствах автомобильных заводов до сих пор освещение реализовано с использованием ныне морально устаревших осветительных установок, имеющие два основных недостатка – большое энергопотребление при небольшом коэффициенте полезного действия. Это заставляет искать оптимальную замену, оптимизировать издержки производства посредством «переворужения» освещения. Улучшение освещённости производственных помещений помогают решить несколько задач:

- повышения производительности и качества труда;
- снижение брака и травматизма на производстве;
- снижение зрительной утомляемости и повышение работоспособности.

Качественное освещение в сегодняшних условиях - это намного более широкое понятие, чем просто экономия электроэнергии. Оно существенно улучшает условия труда, что напрямую связано как с увеличением производительности и эффективности производства в целом, так и со снижением возможных рисков и повышением безопасности рабочего пространства.

Целью дипломного проекта является повышение эффективности системы освещения сварочного производства и снижение энергопотребления ею. Для достижения поставленной цели в дипломном проекте будут решены следующие задачи:

- 1) анализ системы освещения производства автомобильного завода;
- 2) разработка системы освещения сварочного производства автомобильного завода;
- 3) расчёт системы освещения сварочного производства автомобильного завода.

1 АНАЛИЗ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА

1.1 Общие сведения об освещении в производстве

В производственных помещениях используют три вида освещения:

- естественное освещение;
- искусственное освещение;
- совмещённое освещение.

Рассмотрим подробно каждый из них.

1.1.1 Естественное освещение

Естественное освещение – это освещение помещений прямым или отражённым светом неба и светом солнца, проникающим через световые проёмы зданий: окна стен, проёмы перекрытий, крыши (световые фонари). В производственных помещениях используется в виде *бокового*, *верхнего* и *комбинированного* освещения.

Боковое освещение – освещение, которое осуществляется через световые проёмы здания – окна стен. Различают одностороннее и двухстороннее боковое освещение.

Верхнее освещение – освещение, которое осуществляется через световые проёмы перекрытий, крыши – световые фонари.

Комбинированное освещение – освещение, которое осуществляется путём сочетания бокового и верхнего освещения: окна стен и световые фонари.

Естественное освещение меняется в зависимости от времени года, времени суток, состояния погоды, поэтому для оценки естественного освещения в помещениях принята относительная величина – *коэффициент естественной освещённости*, сокращённо КЕО, обозначается буквой [e], который не зависит от времени года, суток и погоды. КЕО – это процентное отношение какой-либо точки в помещении к точке на горизонтальной плоскости вне помещения в тот же момент времени.

Качество естественного освещения также зависит от условий эксплуатации, таких как уровень загрязнённости стёкол световых проёмов, их целостность, характер застекления. Естественное освещение самое полезное и менее утомляющее для глаз человека при активной деятельности.

1.1.2 Искусственное освещение

Искусственное освещение – это освещение помещений источниками искусственного света – лампами, такими как лампы накаливания, люминесцентные лампы и т.д. В производственных помещениях используется в виде *рабочего, аварийного, охранного и дежурного* освещения. В то же время искусственное освещение в производственных помещениях подразделяется на систему *общего, местного и комбинированного* освещения.

Основным качественным параметром искусственного освещения является *освещённость*, обозначается буквой [Е], измеряется в *люксах*, сокращённо [лк]. Под освещённостью понимают отношение *светового потока* (количества световой энергии в единицу времени, обозначается буквой [Ф], измеряется в *люменах*, сокращённо [лм]) на участке поверхности к его площади.

Рабочее освещение – освещение, которое предназначено для обеспечения нормального функционирования производственного процесса в производстве, проезда транспорта и безопасного передвижения людей.

Аварийное освещение – освещение, которое предназначено для эвакуации людей из производственных помещений при отключении рабочего освещения и системы электроснабжения, если существует угроза безопасности людей. Оно подразделяется на *освещение безопасности* и *эвакуационное*.

Охранное и дежурное освещение – освещение, которое предназначено для освещения охраны территории и производства в нерабочее время.

Система общего освещения – освещение всего пространства в помещении. Бывает *равномерным* – для освещения любого места в помещении, *локализованным* – для освещения непосредственно площади с производственным оборудованием.

Система местного освещения – освещение только рабочих мест.

Система комбинированного освещения – освещение, сочетающее в себе общее и местное освещение. Используется в производственных помещениях, где проводятся работы высокой точности и нужна хорошая освещённость производственного пространства.

1.1.3 Совмещённое освещение

Совмещённое освещение – это освещение помещений искусственными источниками света при недостаточном освещении естественными источниками света.

Согласно СП 52.13330.206, п.п.6.1 совмещённое освещение помещений «следует предусматривать:

а) для производственных помещений, в которых выполняются зрительные работы разрядов I-III;

б) для производственных и других помещений в случаях, когда по условиям технологии, организации производства или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормируемое значение КЕО (многоэтажные здания большой ширины, одноэтажные многопролетные здания с пролетами большой ширины и т.п.), а также в случаях, когда технико-экономическая целесообразность совмещенного освещения по сравнению с естественным подтверждена соответствующими расчетами;

в) в соответствии с нормативными документами по проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденными в установленном порядке.» [5, с.25].

На производствах автомобильного завода располагается большое количество различного оборудования. Стационарные сварочные аппараты, роботизированные агрегаты с автоматизированной системой управления, различные станки, рабочие столы для калибровки изделий и слесарных работ требуют высокого уровня освещённости. Рассмотрим систему освещения производственных помещений автомобильного завода.

1.2 Анализ систем освещения производственных помещений автомобильного завода

1.2.1 Анализ системы естественного освещения в производстве автомобильного завода

На автомобильных заводах производства в основном располагаются в производственных корпусах на производственных площадях прямоугольной формы. Они разделяются между собой дорогами, пролётами для прохода людей и проезда транспорта. Производственные площади представляют собой пространство, визуально делящееся на прямоугольные «куски» строительными колоннами. Расстояние между этими колоннами 12 и 24 метра. Высота этих колонн 7 метров. На верхушке этих колонн смонтированы металлоконструкции – фермы – каркас, так называемый «скелет» крыши. Само перекрытие имеет как треугольную, так и квадратную форму и высотой обычно составляет 3 метра.

В этом 3-х метровом промежутке под самым перекрытием расположены с обеих сторон корпуса оконные проёмы всю длину помещения и высотой 2 метра. Через них на производственную площадку попадает дневной и солнечный свет в соответствии с рисунком 1.1. Учитывая эти факторы можно сделать вывод, что применена система бокового двухстороннего естественного освещения.

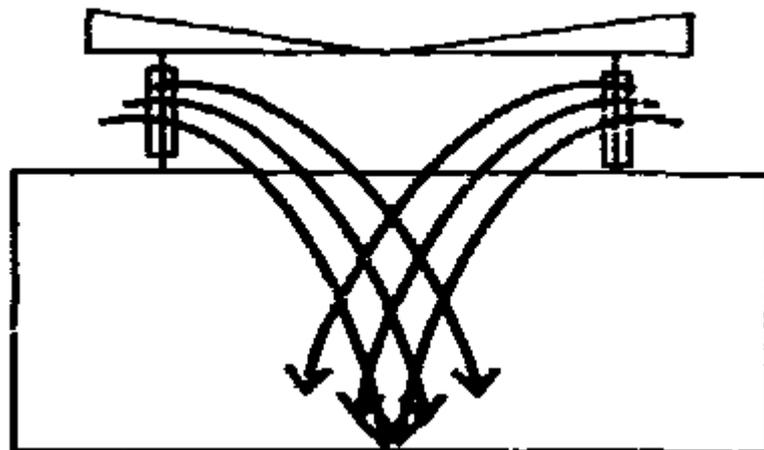


Рисунок 1.1 – Попадание естественного света через оконные проёмы

Стрелочками на рисунке показано направление света через окна на поверхность помещения. Благодаря довольно большой ширине помещения свет

падает равномерно по поверхности, а благодаря тому, что пол покрыт специальной серой «глянцевой» краской свет хорошо отражается по площади. Однако, из-за плотной технологической обустроенности производства с наличием передвижных конвейерных механизмов дневной свет достаточен лишь для передвижения людей и проезда техники в светлое время суток. Поэтому при проектировании системы освещения сварочного производства показатели естественного освещения учитываться не будут.

1.2.2 Анализ системы общего освещения в производстве автомобильного завода

Общее освещение на производственной площади распределено по пролётам, дорогам и непосредственно рабочей зоне. По пролётам светильники расположены равномерно, а в рабочей зоне в зависимости от расположения оборудования и рабочих мест. По пролётам и рабочей зоне освещение расположено равномерно.

Металлоконструкции, установленные между строительными колоннами представляют собой скреплённые друг с другом болтами, в некоторых местах сваренные друг другом двутавровые профили в соответствии с рисунком 1.2, на котором показан такой профиль.

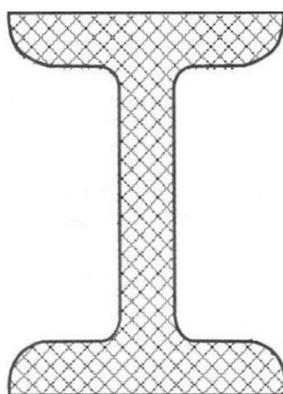


Рисунок 1.2 – Вид двутаврового профиля в разрезе

На этих профилях смонтированы, лестничные и перфорированные лотки, коробка для прокладки питающих кабелей светильников и выключателей. Монтаж лотков был произведён болтами и гайками с шайбами-гроверами на определённом расстоянии на П-образный профиль, который в свою очередь был

прикреплён прижимами посредством притягивания двумя болтами и гайками с шайбами-гроверами к нижнему или верхнему тавру профиля в соответствии с рисунком 1.3.

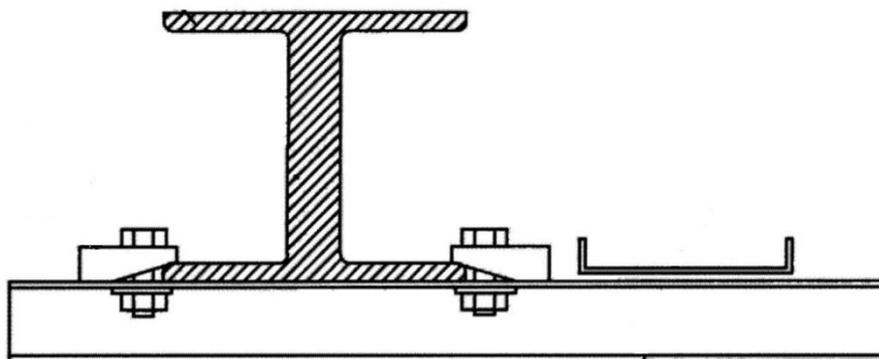


Рисунок 1.3 – Смонтированный лоток на П-образном профиле на двутавровом профиле (вид спереди)

В общем освещении производственной площадки использованы светильники с лампами типа ДРЛ (ртутные лампы высокого давления) в соответствии с рисунком 1.4. Выбор пал именно на них, так как лампы ДРЛ используются для наружного освещения и освещения больших производственных помещений.



Рисунок 1.4 – Лампа типа ДРЛ

Из достоинств ламп ДРЛ стоит выделить высокую световую отдачу, возможность работы при минусовой температуре и довольно длительный срок службы – до 20000 часов.

Из недостатков необходимо выделить восприимчивость к колебаниям напряжения в сети, долгий процесс разгорания (5-7 минут) и некоторые сложности в обслуживании ввиду того, что для загорания ламп ДРЛ необходим пускорегулирующий аппарат (ПРА) может потребовать ремонта или даже замены.

Светильники с лампами ДРЛ довольно компактны по размеру и несложны в монтаже. В производственных помещениях они смонтированы в корпусе в виде чашечки с металлической петлёй для подвешивания или в производственных помещениях посредством прикрепления к металлоконструкции, собранной из двух П-образных профилей и приваренных к поперечной балке, перфорированной металлической полосой или шпилькой с профилем. Внутри корпуса компактно размещены ПРА и патрон для лампы в соответствии с рисунком 1.5.



Рисунок 1.5 – Светильник «чашечка» с лампой ДРЛ

1.2.3 Анализ системы местного освещения в производстве

Местное освещение на производственной площади распределено по рабочим местам – рабочим столам, оборудованию. Местное освещение на рабочих постах исполнено локализованно.

Местное освещение требует большей яркости, чем общее освещение, поэтому светильники для освещения рабочих мест смонтированы на более низкой высоте – 2,5 – 3 метра. Для местного освещения использованы светильники с люминесцентными лампами (ЛЛ) в соответствии с рисунком 1.6, которые по сути на данный момент можно смело назвать «энергосберегающими».



Рисунок 1.6 – Люминесцентная лампа

Из достоинств люминесцентных ламп стоит выделить очень высокую световую отдачу, излучаемый свет близок к дневному, что уменьшает утомляемость глаз и довольно длительный срок службы – до 20000 часов.

Из недостатков необходимо выделить невозможность работы при минусовой температуре, сложности в обслуживании, так как для работы дополнительно необходимы конденсаторы и стартеры, которые могут потребовать замены и большое количество внутри лампы ядовитых веществ, в частности, ртути.

Светильники с люминесцентными лампами не громоздкие и просты в подключении и монтаже. В рабочей зоне использованы светильники с металлическим корпусом на две лампы. Светильники подвешены над рабочими местами перфорированной полосой, кабель доведён до светильников в жёсткой гофрированной трубе. Опуски для кабелей на выключатели произведены в металлических трубах, которая наряду с выключателями прикреплены к металлическим стойкам, сверху трубы прикреплены металлоконструкциям, в соответствии с рисунком 1.2.

Боковое железное обрамление светильника служит для направления светового потока на поверхность под светильником. Блок питания, клеммы, стартеры и конденсаторы спрятаны внутрь корпуса и закрыты надёжной металлической крышкой в соответствии с рисунком 1.7.



Рисунок 1.7 – Светильник на две люминесцентные лампы

1.2.4 Анализ аварийного освещения в производстве

Аварийное освещение производственной площади представлено светильниками освещения безопасности и эвакуационными знаками безопасности.

Для освещения безопасности использованы лампы накаливания в соответствии с рисунком 1.8.



Рисунок 1.8 – Лампа накаливания

Из достоинств ламп накаливания стоит отметить пожалуй лишь маленькую стоимость.

Из недостатков: слабая светопередача, большое энергопотребление, маленький срок службы – до 1000 часов.

Светильники безопасности смонтированы на колоннах вдоль дорог на высоте 5 метров. На колоннах прикреплены конструкции из двух шпилек и двух S-образных профилей. На них висят светильники, прикрепленные к конструкциям перфорированной полосой. Светильник имеет форму жёлудя, железное основание, где расположены контакты патрона и крепежи-защёлки для защитного стекла, на железном основании имеется железная петля для подвеса в соответствии с рисунком 1.9.



Рисунок 1.9 – Светильник безопасности

Эвакуационные знаки безопасности на производственной площадке смонтированы на колоннах на таких же конструкциях, что и светильники безопасности, но на высоте видимости глаз – 2 метров. Знаки безопасности оснащены люминесцентными лампами и зарядным аккумулятором, который при полном заряде при отключении напряжения обеспечит освещение указателей на 10 минут. Эвакуационные знаки смонтированы таким образом, чтобы стрелка на них указывала направление к выходу – вправо или влево в соответствии с рисунком 1.10.



Рисунок 1.10 – Эвакуационные знаки безопасности

1.3 Выводы

Проанализирована система освещения производства. В освещении производственных помещений используются ныне устаревшие и неэффективные источники света, такие как лампы накаливания. Помимо них используются люминесцентные дуговые разрядные лампы, а они в разной степени содержат ртуть, что несёт опасность для здоровья и жизни людей, ведь пары ртути ядовиты. Таким образом, используемые в освещении производства источники света не только неэффективны, но и опасны.

В октябре 2013 года 128 странами была подписана Минаматская конвенция о ртути, которая предусматривает ограничение и запрет некоторой ртуть-содержащей продукции, в том числе ламп для охраны здоровья людей на производстве и в быту, а также защиты окружающей среды с 2020 года. Российская Федерация также подписала данную конвенцию и из этого следует, что постепенно при проектировании и эксплуатации освещения на производствах придётся отказаться от данных источников света в пользу более экологических и экономных.

2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА

Оптимизация расходов на электроэнергию и повышение энергоэффективности, производимых осветительными установками (ОУ) в производственных зданиях можно добиться путём оптимального выбора системы освещения и типов источника света (ИС). Анализ систем освещения производства автомобильного завода и факт подписания Россией Минаматской конвенции о ртути привели к выводу, что на данный момент наиболее предпочтительными, эффективными и являющимися при этом приоритетно развивающимися ИС для производственного освещения являются светодиоды (LED).

Достоинства данного ИС впечатляют: высокая надёжность, высокая устойчивость к внешним воздействиям, очень высокий КПД (коэффициент полезного действия) - до 100%, малые габариты, высокая светоотдача при низкой мощности, долгий срок службы (до 100000 часов) и экологическая безопасность. Один светодиод, как например, показан на рисунке 2.1, имея максимальную мощность 5 Вт, даёт светоотдачу более 30 лм/Вт может служить 50000 часов!



Рисунок 2.1 – Светодиод

Из недостатков пожалуй стоит отметить лишь их высокую стоимость, но эффективность светодиодов позволяет окупить расходы за 2 – 3 года!

Наглядное превосходство светодиодов над другими источниками света, такими как лампы накаливания, ртутная лампа, люминесцентная лампа, показано в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Сравнение светоотдачи и срока службы различных источников света

Источник света	Светоотдача, лм/Вт	Срок службы, часы
Лампа накаливания (ЛЛ)	8-18	1000
Ртутная лампа высокого давления (ДРЛ)	45-55	12000 – 20000
Компактная люминесцентная лампа (КЛЛ)	60-70	10000 - 20000
Светодиод (LED)	45-110	50000 - 100000

Как видно из таблицы, светодиоды служат в разы дольше, и максимальная светоотдача намного выше, и определённо, светодиод – наиболее эффективный источник света.

2.1 Разработка систем освещения сварочного производства

Проектирование системы освещения включает в себя разработку большого количества вопросов.

Разработка включает в себя:

- 1.1 ознакомление с планом рассматриваемого помещения;
- 1.2 определение качественных характеристик освещения для помещения;
- 1.3 выбор видов и системы освещения;
- 1.4 выбор расположения и типа светильников;
- 1.5 выбор схемы питания и групповых щитов осветительной сети;
- 1.6 выбор марки кабелей и способа их прокладки;
- 1.7 выбор системы заземления;
- 1.8 общие вопросы монтажа, проектирования.

После рассмотрения данных вопросов на основании результатов будет произведён расчёт системы освещения.

2.1.1 Ознакомление с планом рассматриваемого помещения

Производственная площадка сварочного производства по заданию имеет длину 24 метра, ширину 24 метра и высоту 10 метров. Высота рассчитываемой

производственной площадки 10 метров, но монтаж светильников будем рассчитывать на высоте монтажа металлических соединительных балок и ферм, она составляет 7 метров. В данном случае уровень соединительных металлоконструкций и есть перекрытие для освещения производства, так как выше них пространство для монтажа других коммуникаций, таких как вентиляционные воздуховоды, водопроводные трубы для промышленных нужд и прочее. План сверху выглядит как квадрат с 6 колоннами в соответствии с рисунком 2.2. Границы площадки обозначены колоннами, которые обозначены чёрным цветом в соответствии расстояние между колоннами соответственно 12 и 24 метра. Также предусмотрен проезд шириной 4 метра.

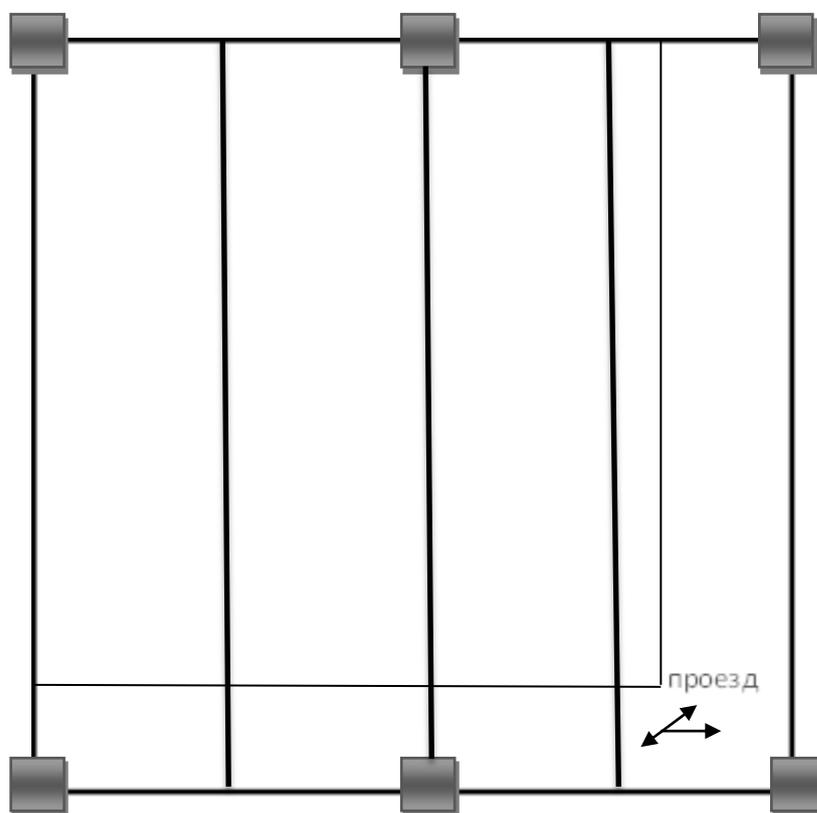


Рисунок 2.2 – План производственной площадки сварочного производства (вид сверху)

2.1.2 Определение качественных характеристик освещения для помещения

Характеристиками освещения производственных помещений являются характеристика и разряд зрительной работы, нормированная освещённость,

уровень цветопередачи, показатель дискомфорта, коэффициент пульсации. Все эти характеристики необходимо учитывать при выборе светильников, так как они влияют на комфорт и улучшение зрительного восприятия на рабочем месте, степень утомляемости глаз при освещении, а значит и уровень производительности труда.

Эти характеристики регламентируются отраслевыми, в частности СП 52.13330.2016 [5] и ГОСТом 55710 – 2013 [1] и зависят от вида производства и размера объектов, например деталей, швов и сочетанием объектов и фона на производстве. На сварочном производстве автомобильного завода размеры сварочных соединений и швов находятся в диапазоне от 0,5 до 5 миллиметров. Теперь учитывая размерный диапазон производственных операций и маленькое сочетание объектов на тёмном фоне, определим по таблицам 2.2 и 2.3 вышеперечисленные качественные характеристики.

Таблица 2.2 – Значение нормируемых показателей искусственного освещения производственных помещений в определённом выбранном диапазоне размеров объектов производства

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд и подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном (М - малый, С - средний, Б - большой)	Характеристика фона (Т – тёмный, С – средний, Св - светлый)	Освещённость при комбинированном освещении, лк	Освещение при общем освещении, лк
Средней точности	От 0,5 до 1	4а	М	Т	750	300
		4б	С	Т	500	200
Малой точности	От 1 до 5	5а	М	Т	300	200
		5б	М	С		

Таблица 2.3 – Нормы освещения рабочих мест в производствах металлообработки

Условные обозначения: $E_{\text{экс}}$ – норма освещённости, U_o – равномерность освещённости в зоне зрительной работы, $K_{\text{п}}$ – коэффициент пульсации освещённости, UGR – общий показатель дискомфорта и R_a – общий индекс цветопередачи.

Наименование помещения, зрительной работы и вида деятельности	$E_{\text{экс}}$, лк	U_o , не менее	UGR , не более	R_a , не менее	$K_{\text{п}}$, %, не более
Открытаяковка (штамповка)	200	0,60	25	80	20
Штамповка с понижением температуры	300				
Сварка	300				
Работы грубой и средней точности: размер объекта различения 0,1 мм	300		22		
Очень точные работы: размер объекта различения <0,1 мм	500	0,70	19		10
Контроль	750				
Металло- и трубопрокатные цеха, холодная формовка	300	0,60	25		20
Механическая обработка листов толщиной более 5 мм	200				-
Ручная обработка листов толщиной менее 5 мм	300		22		15
Инструментальные работы на оборудовании для резки	750	0,70	19		10

По таблице 2.2 освещённость при комбинированном освещении при малом контрасте объекта с тёмным фоном в диапазоне объектов различения от 0,5 до 5 мм, получаем освещённость 750 и 300 лк. Берём усреднённое из этих двух значение – 500 лк. По таблице 2.3 освещённость рабочего сварочного места составляет 300 лк.

2.1.3 Выбор видов и системы освещения

В производственных помещениях использование лишь общего освещения запрещено, поэтому в разработку берём систему комбинированного освещения. Освещённость рабочих мест и комбинированного освещения нам известно, поэтому в расчёте общего рабочего освещения учитываем освещённость 200лк.

Для светильников промышленных помещений предъявляются определённые требования. Важнейшими из них являются и светораспределение и КПД. Светораспределение светильников определяется как распределение светового потока светильника по поверхности. Разделяется на классы и характеризуется КСС (кривой силы света). В таблице 2.4 показаны классы светораспределения светильников, а в таблице 2.5 типы КСС светильников.

Таблица 2.4 – Классы светораспределения светильников

Наименование класса светильника	Маркировка класса светильника	Количество светового потока, направляемое в пространство под светильником, %
Прямого света	П	≥ 80
Преимущественно прямого света	Н	60 - 80
Рассеянного света	Р	40 - 60
Преимущественно отражённого света	В	20 - 40
Отражённого света	О	≤ 20

Таблица 2.5 – Типы КСС светильников

Наименование типа КСС в пространстве под светильником	Маркировка типа КСС	Зона направления максимальной силы света, град.
Концентрированная	К	0 – 15
Глубокая	Г	180 – 150
Косинусная	Д	180 – 145
Полуширокая	Л	145 – 125
Широкая	Ш	125 – 95
Равномерная	М	180 – 90
Синусная	С	110 – 90

Для промышленных помещений с высокими потолками и освещением горизонтальной плоскости выгодно использовать светильники с КСС типа Г и Д и класса П по светораспределению.

Промышленные светильники помимо этого должны отвечать требованиям по пыле- и влагозащищённости (степень защиты IP), качество цветопередачи, степень защиты от поражения электрическим током, прочность материала, пульсации светового потока и взрывозащите.

Пыле- и влагозащищённость (степень защиты IP) обозначается двумя цифрами, первая – защита светильника от пыли и твёрдых тел (от 2 до 6); вторая – защита светильника от попадания в него влаги (от 0 до 8). Рекомендуемая степень защиты IP для промышленных помещений производств, подобных сварочному производству: 51-55.

Качество цветопередачи показывает насколько естественный цвет объекта различим для человека при освещении данным светильником. Зависит от цветовой температуры, измеряемой в *кельвинах*, сокращённо [К] и измеряется в диапазоне значений от 0 до 100. Для промышленных помещений рекомендуемая цветовая температура в районе 4000 – 5000 К, что соответствует дневному освещению.

Защиты от поражения электрическим током характеризуется степенью изоляции всех токоведущих частей и заземления. Подразделяется на четыре класса – 0, 1, 2, 3. Рекомендуемый класс защиты для светильников проектируемого освещения – 1.

Среда рассматриваемого производства не подразумевает использование и образование взрывоопасных и горючих смесей, отсюда среда невзрывоопасная и непожароопасная. Класс взрывозащиты 1.

2.1.4 Выбор расположения и типа светильников

Расположение светильников общего освещения в соответствии с рисунком 2.2 будет осуществлено на соединяющих металлических балках равномерным способом (на рисунке они обозначены пятью поперечными чёрными линиями). В целях повышения энергоэффективности система общего освещения по пролётам дорог будет снабжена датчиками движения, чтобы при отсутствии передвигающегося транспорта или людей, светильники не освещали пустое пространство.

Датчики движения предназначены для автоматического включения и выключения нагрузки светильников в определённом регулируемом интервале времени в зависимости от присутствия движущихся объектов в зоне обнаружения датчика и уровня освещенности.

При выборе места установки датчика необходимо учитывать следующие факторы:

- наибольшую чувствительность датчик имеет, когда движущийся объект перемещается перпендикулярно лучам зоны обнаружения;
- если объект приближается по оси фронтального обнаружения, то его обнаружение произойдет несколько позже.

При выборе места установки следует исключить из зоны обнаружения датчика объекты, приводящие к его ошибочным срабатываниям. Для этого необходимо не устанавливать датчик рядом с зонами температурного возмущения (кондиционер, центральное отопление) и вентиляторов.

Датчики движения довольно просты в монтаже, имеют довольно большую для производственных помещений зону обнаружения движущихся объектов (до 30 метров), имеют «подвижную голову», благодаря чему можно менять зону обнаружения. Схема подключения датчиков тоже весьма проста в соответствии с рисунком 2.3.

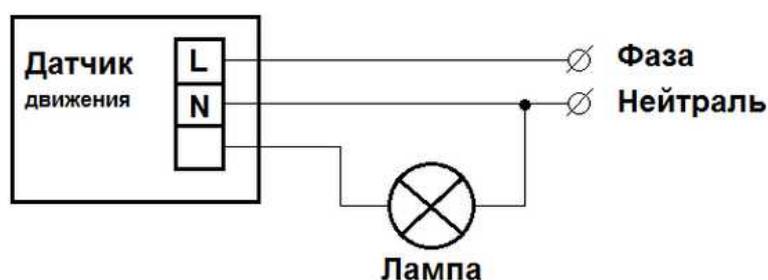


Рисунок 2.3 – Схема подключения датчика движения для освещения

Расположение светильников местного освещения в соответствии с рисунком 2.4 будет расположено над расположением рабочих мест в количестве 9 штук. Они будут расположены на одинаковом расстоянии друга от друга – 6 метров. Такое расстояние взято для возможности свободного прохода и проезда между рабочими местами с передвижными механизмами (например, рохля) и

расположения вспомогательных столов и ящиков. Как и общее освещение местное будет «иметь вид» по расположению рабочих мест.

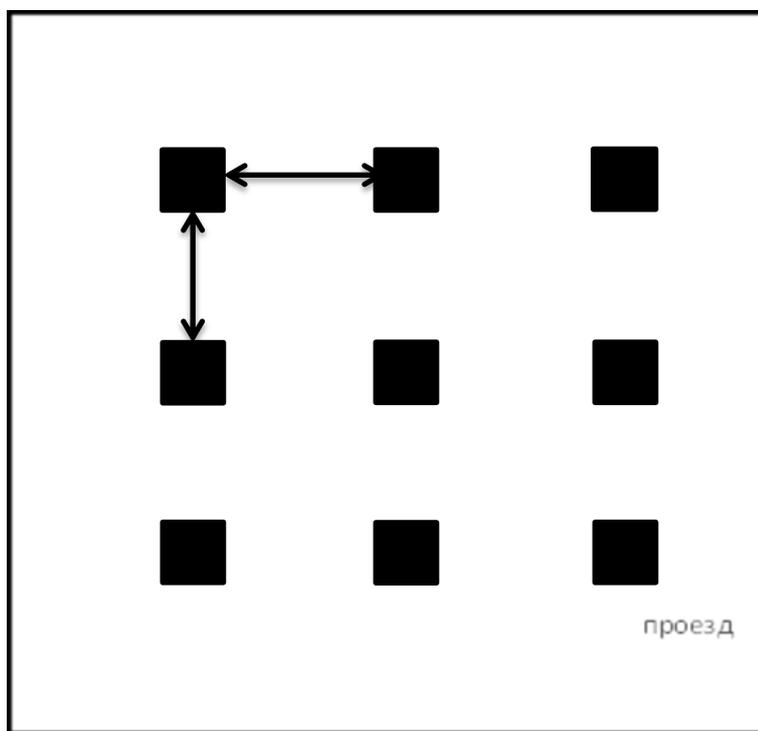


Рисунок 2.4 – Расположение светильников местного освещения (вид сверху)

Высота подвеса светильников местного освещения установлена 3 метра. Каждый рабочий пост будет оснащён выключателем на металлической стойке, установленном на уровне 1,5 метра от чистого пола.

Прерывание технологического процесса сварочного производства при отключении рабочего освещения и питания в целом не повлечёт за собой никаких опасных для жизни и здоровья последствий, поэтому в разработке аварийного освещения будут задействованы светильники для освещения путей эвакуации в виде эвакуационных указателей и светильниками безопасности совместно с антипаническим освещением для безопасного прохода к ним.

Аварийные светильники выбраны постоянного действия с небольшим энергопотреблением, во время которого будет постоянно поддерживаться заряд аккумулятора, который обеспечит освещение при выключении рабочего освещения или всего питания. Система аварийного освещения выбрана такой из-за

потенциально небольшого количества людей, находящихся одновременно на площадке и она относительно проста по сравнению например с системой аварийного освещения с отдельным независимым источником питания преобразователем, отдельным генератором и так далее. Такие системы используются в тех местах, где требования к аварийному освещению гораздо жёстче. К таким местам можно отнести большие производственные помещения с большим количеством одновременно находящихся в помещении людей, пожаро- и взрывоопасные производства большой площади, где необходимо и резервное освещение. В нашем случае таких жёстких требований нет.

По нормам ГОСТ Р 55842 – 2013 (ИСО 30061: 2007) [2] антипаническое освещение и освещение безопасности по освещённости должны обеспечивать не менее 0,5 лк в пространстве высотой 2 метра перед человек, а эвакуационные знаки в зоне своей освещаемости должны обеспечивать не менее 1 лк.

Для общего, местного и аварийного освещения учитывая все вышеуказанные нормы, требования и выводы выбраны светодиодные светильники. В процессе разработки и выбора светильников для системы освещения сварочного производства в связи наиболее богатым выбором и понятной информацией по продукту были выбраны каталог промышленных светодиодных светильников компании «LEDEL» [19], каталог аварийных светильников на сайте компании «IEK» [23] и каталог датчиков движения компании «IEK» [21]. Выбор данных фирм субъективен и светотехническая продукция с сохранением параметров в дальнейшем может быть заменена на аналоги других фирм при реализации проекта освещения.

По каталогу компании «LEDEL» [19] для общего и местного освещения выбраны светодиодные светильники типа L – industry Turbine в соответствии с рисунком 2.5 со световым потоком в 6300 лм для общего (модификация L – industry 60 Turbine) и 12600 лм для местного освещения (модификация L – industry 120 Turbine). Для общего освещения светильник 0,524 метра в длину, для местного освещения 1,024 метра.

КСС светильника косинусная (Д), хороший уровень цветопередачи 72 при диапазоне цветовой температуры 4000 – 5000 К.

Цельный прочный алюминиевый корпус с прозрачным матовым стеклом из ударопрочного поликарбоната при практически максимальном значении степени защиты IP, высоких показателях эффективности со светодиодами нового поколения типа Osram делает эти светильники действительно достойной и подходящей продукцией для освещения промышленных предприятий, а наличие крюков на корпусе ещё и делает их простыми в монтаже и эксплуатации.



Рисунок 2.5 – Светодиодный светильник L – industry Turbine

По каталогу компании «IEK» [23] для системы аварийного освещения безопасности и антипанического освещения выбраны аварийные светодиодные светильники типа ДПА 5040 IEK – высококачественные аварийные светодиодные светильники постоянного действия в соответствии с рисунком 2.6. Световой поток 150 лм. Эти светильники могут работать в аварийном режиме до 3 часов от аккумулятора, имеют функцию самотестирования, высокую степень защиты IP и изготовлены из негорючего пластика, что в сумме делает их современными и отвечающими высоким стандартам аварийного освещения сегодняшнего времени.



Рисунок 2.6 – Аварийный светильник ДПА 5040 IEK

В качестве эвакуационных знаков в каталоге аварийных светильников на сайте компании «ЛЕК» [23] выбраны аварийные светодиодные светильники типа ССА 1004 – высококачественные аварийные светодиодные светильники постоянного действия в соответствии с рисунком 2.7. Световой поток 40 лм. Эти светильники могут работать в аварийном режиме до 1,5 часов от аккумулятора, корпус изготовлен из алюминиевого сплава, в конструкции имеет петли что простого подвесного монтажа, что в сумме делает их современными и отвечающими высоким стандартам аварийного освещения производственных помещений на сегодняшний день.



Рисунок 2.7 – Аварийный светильник ССА 1004

По каталогу датчиков движения компании «ЛЕК» [21] выбраны датчики движения типа ДД – 018В – в соответствии с рисунком 2.8 угловой датчик движения с углом обзора 270 градусов, зоной обнаружения 12 метров, учитывая размеры производственной площадки сварочного производства 12 на 12 метров позволяет для повышения энергоэффективности общего освещения над проездом обойтись установкой 2 датчиков – один на средней колонне со стороны нижнего проезда, второй на верхней правой колонне на высоте 2 метров.



Рисунок 2.8 – Датчик движения ДД – 018В

2.1.5 Выбор схемы питания и групповых щитов осветительной сети

«Сети освещения разделяются на питающие и групповые линии. К питающей сети относятся линии от трансформаторных подстанций или других точек питания до групповых щитков, а к групповой сети – линии от групповых щитков до СП.

В начале каждой питающей сети устанавливаются аппараты защиты и отключения; в начале групповой линии обязателен аппарат защиты, а отключающий аппарат может не устанавливаться при наличии аппаратов по длине линии или когда управление освещением осуществляется аппаратами, установленными в линиях питающей сети.

Выбор схемы питания проводится с учётом всех условий электроснабжения объекта, для которого проектируется ОУ. На большинстве промышленных предприятий и практически во всех общественных и жилых зданиях питание внутреннего и наружного освещения осуществляется от трансформаторов, общих для силовых и осветительных электроприёмников, со вторичным напряжением 380/220 В при глухом заземлении нейтрали. Самостоятельные осветительные трансформаторы применяются иногда для наружного освещения в больших городах и на некоторых промышленных предприятиях.» [9, с.236-237].

Судя по выше написанному, можно сказать, что питание внутреннего освещения большинства помещений идёт от смежных трансформаторов, питающих в том числе различное оборудование. Также можно сделать вывод, что при проектировании промышленного освещения особое внимание уделяется защите от перегрузок и замыканий для предотвращения возникновения опасных ситуаций для людей.

В последнее время в промышленном производстве широкое распространение получили распределительные шинопроводы (ШРС), которые служат «розеткой» для электроприёмников. Они постепенно приходят на смену кабельным трассам, которые напрямую питают электроприёмники от подстанций. В условиях промышленного производства с большим количеством операций, необходимостью из-за этого питать большое количество оборудования шинопроводы

выглядят намного более выигрышно и в плане компактности и в плане затрат. Шинопроводы можно увеличивать в длину, даже с поворотом вверх, вниз или сторону, ведь они состоят из ячеек. Это очень удобно и отвечает технологическим требованиям времени, которое быстро меняется в сторону появления новых технических новинок в производственном процессе, роботизации и автоматизации производства.

Шинопроводы используют только для внутреннего электроснабжения электроприёмников, в том числе ОУ. И производственные мощности автомобильных заводов не исключение. В них также используются ШРС в том числе для питания освещения, а сами они запитываются лишь одним питающим кабелем с подстанции или даже с более мощного шинопровода, образуя тем самым своего рода групповую линию, например, сечением 70 или 95 мм в зависимости от номинального тока шинопровода. На автозаводах такая система очень активно развивается, ведь она отлично подходит для технологически «забитых» производственных площадей таких и подобных предприятий.

Сварочное производство подпадает под 2 категорию электрических нагрузок, для которой есть требование разделения питания рабочего и аварийного освещения на независимые друг от друга источники питания. В нашем случае проектируется небольшая по численности производственная площадка на 9 рабочих мест, где из аварийного будет только по сути эвакуационное освещение. В связи с этим при проектировании системы освещения воспользуемся возможностью рассчитать питание нагрузок 3 категории, для которой допустимо питание от одного источника. В нашем случае это будет распределительный шинопровод с номинальным током 250 А (шины сделаны из алюминия) на расстоянии 24 метра от производственной площадки сварочного производства.

Система осветительной сети будет однофазная, питание от шинопровода разделим равномерно по трем фазам. Каждая группа освещения будет иметь свой автоматический выключатель.

На промышленных предприятиях при выборе групповых щитов необходимо руководствоваться условиями и средой помещения. Щиты должны монтироваться в удобном и доступном месте со свободным проходом к ним. Для рабочего и аварийного освещения используем учитывая непожароопасную среду и класс В-1 по взрывозащите щиты типа ЩО. Маркировка щита рабочего освещения будет ЩО – 1, а аварийного – ЩАО – 1.

2.1.6 Выбор марки кабелей и способа их прокладки

При выборе марки кабеля и способа прокладки стоит учитывать такие факторы как класс помещения по взрывозащите, производственная сфера и сопутствующие условия производства. На автомобильных заводах в производственных помещениях часто используются различные передвижные и поднимающие механизмы, подъёмная техника. В производствах сложная технологическая обустроенность, зачастую различные механизмы находятся вблизи друг от друга. В связи с этим электрокоммуникации должны быть защищены от возможных воздействий соприкосновений с различными механизмами и техникой, поэтому кабеля прокладывают по верхам конструкций производственных помещений, в а случаях где это невозможно (опуски к щитам, выключателям или низкая высота монтажа) кабеля прокладывают в металлических и ПВХ-трубах, латке с крышкой, коробе с крышкой.

Вследствие того, что площадка имеет класс В-1 по взрывозащите, в помещении из-за часто проезжающей техники бывают незначительные вибрации, местами прокладка кабеля проходит открытым способом следует использовать кабеля с медными жилами. Схема сети освещения однофазная → кабель используется трёхжильный.

2.1.7 Выбор системы заземления

Заземление бывает двух видов: защитное заземление и зануление. Защитное заземление - специальное присоединение электроприёмников с устройством заземления. Целью этой меры является ограничение человека от опасного воздействия при контакте с токопроводящих частями электроприёмника. Зануление - подсоединение элементов оборудования с заземлённой

нейтралью с нулевым проводом. Зануление способствует отключению электроприёмников при возникновении неисправностей в его работе. Защитное заземление включает в свою конструкцию сам заземлитель, а также проводники. В свою очередь заземлители могут быть естественными и искусственными. К первым относят металлические элементы в конструкции зданий, объектов, которые имеют соединение с землёй.

Искусственными являются сочетание металлических труб, штырей, уголков, ввинченных в землю и соединённые между собой полосой или проволокой. В качестве заземляющих проводников выступают шины из стали или меди, создающие соединение оборудования и заземлителя. Крепёж шин производится болтами или сварочным методом.

Рассмотрим 2 самых старых вида заземления: TN – С и TN – С – S.

Заземление TN – С применяется для трехфазных четырёхпроводных и двухпроводных сетей с одной фазой. Система заземления сетей осуществляется на давних сооружениях, отличается своей простотой и недорогим исполнением. Безопасность такой системы не высока.

Заземление TN – С - S используют для реконструкции системы TN-С на старых зданиях. Благодаря этому в старых зданиях возможна установка компьютерного оборудования и телекоммуникаций. В системе TN – С – S нулевые и защитные проводники используются только на части общей системы, чаще всего на вводном приборе. Применение такой системы очень важно для переоборудования большого сектора устаревших сетей объектов и зданий.

На производственной площадке система заземления TN – С –S.

2.1.8 Общие вопросы монтажа, проектирования.

Светильники и датчики движения как и групповые щиты и кабельные дороки в виде лотков, труб и коробов будут крепиться с помощью конструкций из профилей и шпилек. Высота монтажа щитов – 1,8 метра, выключателей – 1,5 метра. Метраж кабеля и количество распределительных коробок будут высчитаны в программе «КОМПАС» при разработке графических листов. Состав ме-

таллоконструкций и разрез способа монтажа будут отражены в примечаниях листов графической части.

2.2 Выводы

На сегодняшний день светодиодные светильники самыми перспективными и активно развивающимися световыми приборами. Они заметно превосходят практически по всем показателям своих предшественников, более энергоэффективны и экологически безопасны. Для производственного освещения такое освещение подходит идеально.

Разработка освещения довольно-таки трудоёмкий процесс, требующий больших затрат времени и мозговой активности. Разработка системы освещения обязывает обрабатывать большое количество справочной документации и литературы, что с течением времени перестаёт быть обязательным в связи с бурным развитием информационных технологий и создания программ, для проектирования и расчёта освещения.

3. РАСЧЁТ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА

3.1 Расчёт общего рабочего освещения

Расчёт общего рабочего освещения производственной площадки сварочного производства будем производить методом коэффициента использования светового потока. По этому методу определяется световой поток источника света, по нему выбирается тип светильника выбранной серии из каталога. Световой поток выбранного светильника может отличаться от расчётного на +20% и -10%.

Сначала рассчитаем высоту подвеса светильников и необходимое количество светильников в помещении. Высоты рассчитываем в *метрах*, обозначается буквой *м*. Высота подвеса светильника рассчитывается по формуле:

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (3.1)$$

где H_p – высота подвеса светильника, м;

H – высота помещения, м;

h_c – расстояние светильника от перекрытия – свес – принимается в значениях от 0, м;

h_p - высота рабочей поверхности над полом, м.

Высота рассчитываемой производственной площадки 10 метров, но монтаж светильников будем рассчитывать на высоте монтажа металлических соединительных балок и ферм, она составляет 7 метров. Значение свеса возьмём 0, так как в данном случае уровень соединительных металлоконструкций и есть перекрытие для освещения производства, так как выше них пространство для монтажа других коммуникаций, таких как вентиляционные воздуховоды, водопроводные трубы для промышленных нужд и прочее. Высота рабочей поверхности стандартная – 0,8 метра.

Рассчитаем высоту подвеса светильников:

$$H_p = 7 - 0 - 0,8 = 6,2 \text{ м.}$$

Светильники будут монтироваться на высоте 6,2 метра.

Далее определим количество рядов светильников и количество светильников в ряду. По конструктивным условиям производственной площадки у нас 5 соединительных металлических балок, расстояние между ними 6 метров. Монтаж светильников общего рабочего освещения будет производиться на них. Исходя из этого определяем, что у нас будет 5 рядов светильников, расстояние между рядами по длине помещения 6 метров. Расположение светильников будет прямоугольным и равномерным. В связи с тем, что у стен отсутствуют рабочие места, то расстояние крайних светильников от стен (обозначается буквой l) по рекомендациям составит результат отношения $L \setminus 3$, в котором L – расстояние между рядами светильников. Получаем $6 \setminus 3 = 2$. Расстояние крайних светильников от стен 2 метра.

Теперь рассчитаем световой поток ряда светильников. Световой поток ряда светильников определяется по формуле:

$$\Phi = (E_n * S * K_z * z) / (N * \eta), \quad (3.2)$$

где Φ – световой поток ряда светильников, лм;

E_n – нормированная освещённость, лк;

S – площадь помещения, м²;

K_z – коэффициент запаса;

z – коэффициент неравномерности освещения;

N – количество рядов светильников, шт;

η – коэффициент использования светового потока.

Сначала рассчитаем площадь помещения по формуле:

$$S = A * B, \quad (3.3)$$

где A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м.

Длина и ширина производственной площадки по заданию составляют 24 метра. Рассчитываем площадь:

$$S = 24 * 24 = 576 \text{ м}^2.$$

Коэффициент запаса выявляется по справочным таблицам, зависит от степени запылённости и задымлённости в помещении и различается в зависимости от степени запылённости помещения загрязнения воздуха отходными воздушными продуктами производства и типа светильников. Для светодиодных светильников впоследствии многолетних испытаний выявлено, что потери освещённости в процессе эксплуатации отсутствуют, а загрязнение светоотражающей поверхности и защитного стекла относительно невелико и зависит от уровня загрязнённости производства. Для светодиодных светильников коэффициент запаса в пределах 1 – 1,15 в зависимости от помещения. По таблице 3.1 определим коэффициент запаса для сварочного производства.

Таблица 3.1 – Коэффициенты запаса для разных видов ИС и помещений в зависимости от степени запылённости и задымлённости

Тип помещений	Степень запылённости и задымлённости, мг/м ³	Коэффициент запаса, K _з		
		Лампы накаливания	Газоразрядные лампы	Светодиоды
Цементные заводы, литейные цеха и т.п.	Запылённость > 5	1,7	2	1,1 – 1,15
Кузнечные, сварочные цеха и т.п.	Дым, копоть, 1-5	1,5	1,8	1,1
Инструментальные, сборочные цеха, цеха химических заводов, гальванические цеха	Значительная концентрация паров, кислот и щелочей, < 1	1,3	1,5 – 1,8	1 – 1,1

Жилые, административные и офисные и т.п. помещения	Запыленность сильно < 1, отсутствие паров кислот и щелочей	1,5	1,4	1
--	--	-----	-----	---

Коэффициент запаса для сварочного производства – 1,1.

Коэффициент неравномерности освещения зависит от типа светильников и затемняющих помех для освещения поверхности, принимается в пределах 1 – 1,2. Для светодиодных светильников обычно принимается в значении 1. В большей степени зависит от отношения расстояния между светильниками (рядами светильников) к высоте подвеса светильника. В нашем случае это отношение 6 / 6,2 и равно приблизительно 0,97. Округляем это значение до 1.

Количество рядов светильников 5.

Коэффициент использования светового потока выявляется по справочным таблицам и зависит от индекса помещения и коэффициентов отражения потолка, стен и пола.

Индекс помещения выявляется по формуле:

$$i = (A * B) / (H_p * (A + B)), \quad (3.4)$$

где i – индекс помещения;

A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м;

H_p – высота подвеса светильника, м.

Длина и ширина 24 метра, высота свеса светильника 6,2 метра. Рассчитываем индекс помещения:

$$i = (24 * 24) / (6,2 * (24 + 24)) = 576 / 297,6 \approx 1,9.$$

Теперь по таблице в соответствии с рисунком 3.1 определим коэффициенты отражения пола, стен и потолка (обозначается буквой ρ с индексом «п» - пол, «с» - стены, «пот» - потолок).

Таблица коэффициентов отражения

Плоскость из материалов с высокой отражаемостью	0,8
Плоскость с белой поверхностью	0,7
Плоскость со светлой поверхностью	0,5
Плоскость с серой поверхностью	0,3
Плоскость с темной поверхностью	0,1

Рисунок 3.1 – Таблица коэффициентов отражения

$$\rho_{\text{п}} = 0,1; \rho_{\text{с}} = 0,1; \rho_{\text{пот}} = 0,3.$$

Рассчитав индекс помещения и определив коэффициенты отражения пола, стен и потолка в соответствии с рисунком 3.2 определим коэффициент использования светового потока.

Типовая кривая	Равномерная								Косинусная Д								Глубокая Г																																					
	70				50				30				70				50				30				0				50				30				10				0													
	50	30	10	0	50	30	10	0	50	30	10	0	50	30	10	0	50	30	10	0	50	30	10	0	50	30	10	0	50	30	10	0	50	30	10	0																		
$\rho_{\text{п}}$, %																																																						
$\rho_{\text{с}}$, %																																																						
$\rho_{\text{пот}}$, %																																																						
i	Коэффициент использования, %																																																					
0,5	28	28	21	21	25	19	15	13	36	35	30	30	34	28	25	22	58	57	55	53	57	57	53	57	53	49	47	28	28	21	21	25	19	15	13	36	35	30	30	34	28	25	22	58	57	55	53	57	57	53	57	53	49	47
0,6	35	34	27	26	31	24	18	17	43	42	35	34	40	33	28	27	68	65	62	60	64	64	60	64	60	57	56	35	34	27	26	31	24	18	17	43	42	35	34	40	33	28	27	68	65	62	60	64	64	60	64	60	57	56
0,7	44	39	32	31	39	31	25	24	48	47	41	38	45	38	33	31	74	69	68	64	69	68	64	69	64	61	60	44	39	32	31	39	31	25	24	48	47	41	38	45	38	33	31	74	69	68	64	69	68	64	69	64	61	60
0,8	49	46	38	36	43	36	29	28	54	51	45	43	49	43	37	36	78	73	72	69	72	69	69	72	69	66	64	49	46	38	36	43	36	29	28	54	51	45	43	49	43	37	36	78	73	72	69	72	69	69	72	69	66	64
0,9	51	48	40	39	46	39	31	30	57	55	48	46	52	46	41	39	81	76	75	72	75	72	72	75	72	70	67	51	48	40	39	46	39	31	30	57	55	48	46	52	46	41	39	81	76	75	72	75	72	72	75	72	70	67
1,0	54	50	43	41	48	41	34	32	60	57	52	50	55	49	45	42	84	78	78	75	77	74	75	77	74	72	70	54	50	43	41	48	41	34	32	60	57	52	50	55	49	45	42	84	78	78	75	77	74	75	77	74	72	70
1,1	56	52	46	43	50	43	35	33	64	60	55	52	58	51	47	44	87	81	80	77	79	76	74	76	74	72	56	52	46	43	50	43	35	33	64	60	55	52	58	51	47	44	87	81	80	77	79	76	74	76	74	72		
1,25	59	55	49	46	53	45	38	35	69	63	60	56	61	55	50	48	90	83	84	79	82	79	76	75	75	59	55	49	46	53	45	38	35	69	63	60	56	61	55	50	48	90	83	84	79	82	79	76	75	75				
1,5	64	59	53	50	56	49	42	39	75	69	67	62	67	61	55	53	94	86	88	83	85	82	79	78	64	59	53	50	56	49	42	39	75	69	67	62	67	61	55	53	94	86	88	83	85	82	79	78						
1,75	68	62	57	53	60	53	45	42	79	72	71	66	70	65	60	57	97	88	92	85	86	85	82	80	68	62	57	53	60	53	45	42	79	72	71	66	70	65	60	57	97	88	92	85	86	85	82	80						
2,0	73	65	61	56	63	56	48	45	83	75	75	69	73	68	64	61	99	90	95	88	88	87	84	82	73	65	61	56	63	56	48	45	83	75	75	69	73	68	64	61	99	90	95	88	88	87	84	82						
2,25	76	68	65	60	66	59	51	48	86	77	79	73	76	71	66	64	101	92	97	90	90	88	85	83	76	68	65	60	66	59	51	48	86	77	79	73	76	71	66	64	101	92	97	90	90	88	85	83						
2,5	79	70	68	63	68	61	54	51	89	80	82	75	78	73	69	66	103	93	99	91	91	89	87	85	79	70	68	63	68	61	54	51	89	80	82	75	78	73	69	66	103	93	99	91	91	89	87	85						
3,0	83	75	73	67	72	65	58	55	93	83	86	79	81	77	73	71	105	94	102	92	93	91	89	86	83	75	73	67	72	65	58	55	93	83	86	79	81	77	73	71	105	94	102	92	93	91	89	86						
3,5	87	78	77	70	75	68	61	59	96	86	90	82	83	80	76	73	107	95	104	94	94	93	90	88	87	78	77	70	75	68	61	59	96	86	90	82	83	80	76	73	107	95	104	94	94	93	90	88						
4,0	91	80	81	73	78	72	65	62	99	88	93	84	85	83	79	76	109	96	105	94	94	94	91	89	91	80	81	73	78	72	65	62	99	88	93	84	85	83	79	76	109	96	105	94	94	94	91	89						
5,0	95	83	86	77	80	75	69	65	105	90	98	88	88	85	81	79	111	97	108	96	96	95	92	90	95	83	86	77	80	75	69	65	105	90	98	88	88	85	81	79	111	97	108	96	96	95	92	90						

Рисунок 3.2 – Значения коэффициента использования светового потока в зависимости от индекса помещения и КСС светильника

КСС выбранного светильника косинусная, отсюда находим значение КИСП – 0,64.

Теперь когда все необходимые данные есть, рассчитаем световой поток ряда светильников:

$$\Phi = (200 * 576 * 1,1 * 1) / (6 * 0,64) = 126720 / 3,84 = 33000 \text{ лм.}$$

Световой поток выбранного светильника 6300 лм. Рассчитаем количество светильников в ряду по формуле:

$$n = \Phi / \Phi_c \quad (3.5)$$

где n – количество светильников в ряду, шт;

Φ – световой поток ряда светильников, лм;

Φ_c – световой поток светильника, лм.

Рассчитываем количество светильников в ряду:

$$n = 33000 / 6300 = 5, 2381 \approx 5 \text{ шт.}$$

Затем рассчитаем расстояние между светильниками в ряду по ширине по формуле:

$$L_B = (B - 2 * l - N_B * l_c) / N_B, \quad (3.6)$$

где L_B – расстояние между светильниками в ряду по ширине, м;

B – ширина помещения, м;

l – расстояние крайних светильников от стен, м;

N_B – количество светильников в ряду по ширине, шт;

l_c – ширина выбранного из каталога светильника, м.

Ширина выбранного из каталога светильника составляет 0,524 метра.

Остальные данные известны. Рассчитываем:

$L_B = (24 - 2 * 2 - 5 * 0,524) / 5 = 17,38 / 5 = 3, 476$ м. Округляем до целого и получаем 3,5 метра.

Теперь для сравнения определяем фактическую освещённость ряда светильников по формуле:

$$E_\phi = E_n * \Phi_\phi / \Phi, \quad (3.7)$$

где E_ϕ – фактическая освещённость ряда светильников, лк;

E_n – нормированная освещённость, лк;

Φ_ϕ – фактическое значение светового потока ряда светильников, лм;

Φ – расчётное значение светового потока, лм.

Определим фактическое значение светового потока по формуле:

$$\Phi_{\phi} = \Phi_c * n = 6300 * 5 = 31500 \text{ лм.}$$

Вычисляем фактическую освещённость ряда светильников:

$$E_{\phi} = 200 * 31500 / 33000 \approx 191 \text{ лк.}$$

Фактическая освещённость 191 лк меньше нормированной освещённости 200 лк, поэтому определяем отклонение фактической от нормированной освещённости по формуле:

$$\Delta E = ((E_{\phi} - E_n) / E_n) * 100\%, \quad (3.8)$$

где ΔE – отклонение фактической от нормированной освещённости, %.

Производим расчёт:

$$\Delta E = ((191 - 200) / 200) * 100 = - 4,5\%.$$

Фактическая освещённость меньше нормированной на 4,5%, что соответствует требованиям СП 52.13330.2016, следовательно, выбранный светильник подходит для общего рабочего освещения производственной площадки.

3.2 Расчёт местного рабочего освещения

Расчёт местного рабочего освещения производственной площадки сварочного производства будем производить точечным методом. По этому методу определяется освещённость любой точки рабочей поверхности.

Сначала на плане помещения с рабочими местами и известным расположением светильников намечаем точку, в которой ожидается наименьшая освещённость в соответствии с рисунком 3.3. Рабочие места расположено равномерно на одинаковом расстоянии друг от друга – 6 метров. Точка взята в середине квадрата, значит расстояние до четырёх ближайших светильников до точки и двух дальних одинаковое. Намеченная точка образует с точками ближних и дальних светильников прямоугольные треугольники с двумя известными сторонами (катетами). У ближних это 3 и 3 метра, у дальних 3 и 9 метров.

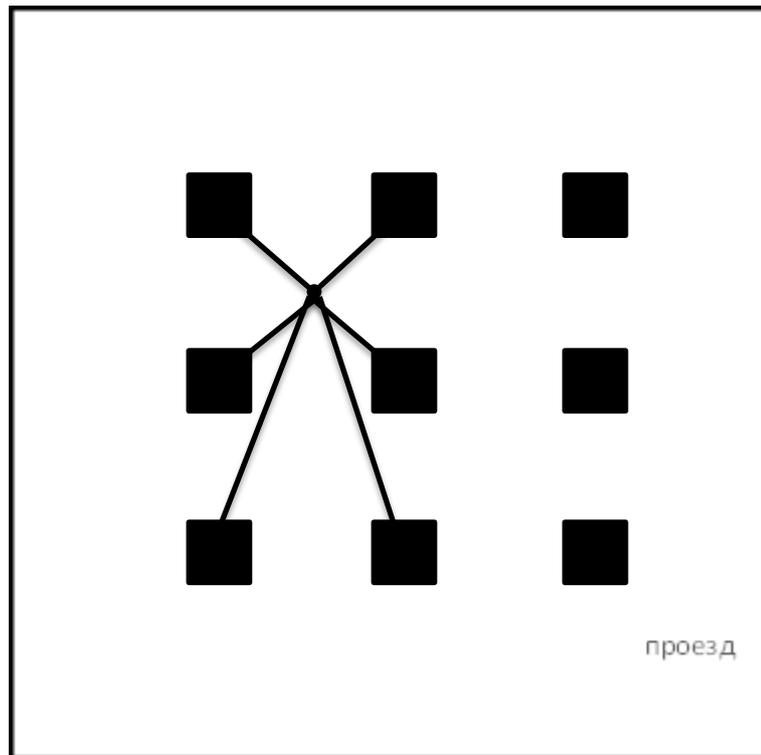


Рисунок 3.3 – План производственного помещения с расположением светильников.

Вычислим гипотенузу этих треугольников (расстояние намеченной точки до светильников) по формуле:

$$c^2 = a^2 + b^2, \quad (3.9)$$

где c – гипотенуза, м;

a и b – катеты, м.

Вычислим гипотенузу треугольника с ближним светильником:

$$c^2 = 3^2 + 3^2 = 18 \rightarrow c = \sqrt{18} \approx 4,2 \text{ м.}$$

Теперь вычислим гипотенузу треугольника с дальним светильником:

$$c^2 = 3^2 + 9^2 = 90 \rightarrow c = \sqrt{90} \approx 9,5 \text{ м.}$$

Теперь по графику пространственных изолукс условной горизонтальной освещённости с силой света светильника по всем направлениям 100 кд, в соответствии с рисунком 3.4 находим условные освещённости светильников, где d – расстояние от намеченной точки до светильников, H_p – высота подвеса светильников. В нашем случае она 3 метра.

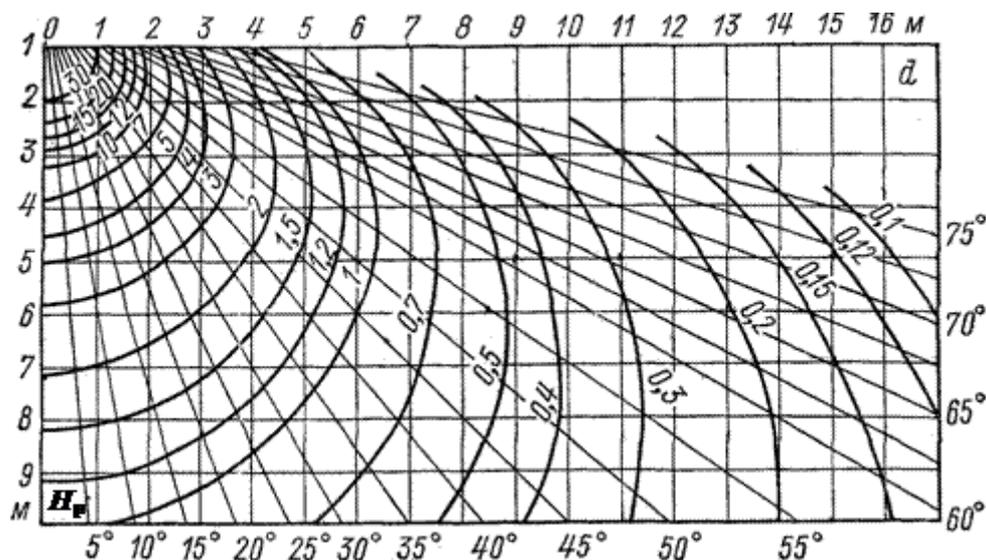


Рисунок 3.4 – График пространственных изолук условной горизонтальной освещённости с силой света светильника по всем направлениям 100 кд

По нему находим условные освещённости 6 шести светильников: 2; 2; 2; 2; 0,4; 0,4. Общая условная освещённость 8,8 лк. По диаграмме светового распределения выбранного светильника сила света по направлению освещения около 250 кд, что в 2,5 раза больше силы света в графике, поэтому условную освещённость 6 светильников умножим на 2,5 и получим условную освещённость 22 лк.

Теперь вычислим световой поток светильника по формуле:

$$\Phi = (1000 * E_n * K_z) / (\mu * \sum e), \quad (3.2)$$

где – Φ – световой потока светильника, лм;

E_n – нормированная освещённость, лк;

K_z – коэффициент запаса, примем в значении 1,1;

μ - коэффициент освещённость от удалённых источников света, принимается в значении 1,1 – 1,2, примем в значении 1,1;

$\sum e$ – суммарная условная освещённость, лк.

Рассчитываем:

$$\Phi = (1000 * 300 * 1,1) / (1,1 * 22) = 330000 / 24,2 \approx 13636 \text{ лм.}$$

У выбранного светильника подходит модификация с $\Phi = 12600$ лм.

По формуле (3.7) рассчитаем фактическую освещённость:

$$E_{\phi} = (300 * 12600) / 13636 \approx 277 \text{ лк.}$$

Фактическая освещённость 277 лк меньше нормированной освещённости 300 лк, поэтому определяем отклонение фактической от нормированной освещённости по формуле (3.8):

$$\Delta E = ((277 - 300) / 300) * 100 \approx -7,7\%.$$

Фактическая освещённость меньше нормированной на 7,7% что соответствует требованиям СП 52.13330.2016, следовательно, выбранный светильник подходит для местного рабочего освещения производственной площадки.

3.3 Расчёт аварийного освещения

3.3.1 Расчёт эвакуационного освещения.

Эвакуационное освещение будет реализовано аварийными светильниками с указанием направления движения для эвакуации в количестве 3 штук. Они будут смонтированы на трёх колоннах производственной площадки со стороны проезда на расстоянии 12 метров друг от друга на конструкциях из двух шпилек и двух S – образных профилей. Высоту монтажа светильника определяем 2,5 метра.

Рассчитаем фактическую освещённость этих светильников для проверки соответствия нормам по формуле:

$$E_{\phi} = \Phi_{oc} / S_{пэ}, \quad (3.11)$$

где E_{ϕ} – фактическая освещённость, лк;

Φ_{oc} – общий световой поток светильников, лм;

$S_{пэ}$ – площадь пути эвакуации, м².

$$\Phi_{oc} = 3 * 40 = 120 \text{ лм.}$$

$$S_{пэ} = 24 * 4 = 96 \text{ м}^2.$$

Теперь вычислим фактическую освещённость:

$$E_{\phi} = 120 / 96 = 1,25 \text{ лк. Уровень освещённости соответствует нормам.}$$

3.3.2 Расчёт освещения безопасности и антипанического освещения.

Расчёт освещения безопасности и антипанического освещения объединён в один расчёт и будет произведён как и расчёт общего рабочего освещения ме-

тодом использования светового потока. Монтаж светильников будет произведён на всех 6 колоннах производственной площадки на высоте 5 метров, только в отличие от эвакуационных знаков к колоннам они будут монтироваться не параллельно, а перпендикулярно на конструкции из двух шпилек и одного S – образного и одного П – образного профиля, причём второй по длине будет больше на величину длины светильника – 465 мм. Светильники будут «смотреть» вниз.

Для того чтобы рассчитать световой поток светильников, есть все данные кроме коэффициента использования светового потока, а он изменился в отличие от расчёта общего рабочего освещения, потому что изменился индекс помещения, так как высота подвеса/монтажа светильника другая. Рассчитаем индекс помещения по формуле (3.4):

$$i = (24 * 24) / (5 * (24 + 24)) = 576 / 240 = 2,4.$$

Теперь по таблице на рисунке 3.2 определим коэффициент использования светового потока: 0,66.

Рассчитываем световой поток светильников:

$$\Phi = (0,5 * 576 * 1,1 * 1) / (6 * 0,66) = 316,8 / 3,96 = 80 \text{ лм.}$$

Рассчитаем фактическую освещённость этих светильников для проверки соответствия нормам по формуле (3.11), только здесь берём общую площадь.

$$\Phi_{\text{ос}} = 6 * 80 = 480 \text{ лм.}$$

$$E_{\text{ф}} = 480 / 576 \approx 0,83 \text{ лк.}$$
 Уровень освещённости соответствует нормам.

3.4 Выводы

Расчёт системы освещения инженерным методом требует большого количества справочной информации, нормативной литературы, использования большого количества формул и арифметических действий. В результате расчёта удалось удостовериться, что выбранные светильники для общего, местного и аварийного освещения выбраны корректно и обеспечивают необходимый уровень освещённости в производственном помещении. Расчётную мощность и токовые нагрузки, а также сечения проводников будут рассчитаны в программе «КОМПАС» при разработке графических листов и будут в них отражены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате решения задач по повышению эффективности системы освещения сварочного производства автомобильного завода удалось выявить явные недостатки ныне используемых в промышленности источников света. Вместе с тем при анализе и проектировании освещения стали очевидны качества и достоинства современных светодиодных светильников. Такие качества как экологическая безопасность, высокий уровень КПД и конечно совокупность высокой световой отдачи при низкой мощности с очень долгим сроком службы позволили их внедрением разработать систему освещения на производстве, которая позволит уменьшить расходы на потребление электроэнергии, повысить качество работы людей, ведь при таком освещении человек намного лучше видит и намного меньше устаёт, а кроме этого повысит безопасность и сохранит здоровье людей. В итоге, можно с уверенностью утверждать, что светодиоды – будущее промышленного освещения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 55710 – 2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений», Национальный стандарт РФ: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии РФ. – М: ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 18с.
2. ГОСТ Р 55842 – 2013 (ИСО 30061: 2007) «Освещение аварийное. Классификация и нормы», Национальный стандарт РФ: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М: ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 7с.
3. ГОСТ Р 56228 – 2014 «Освещение искусственное. Термины и определения», Национальный стандарт РФ: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии РФ. – М: ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 15с.
4. ГОСТ Р 54350 – 2015 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний», Национальный стандарт РФ: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии РФ. – Москва: ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 45с.
5. Свод правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05- 95*. – М: НИИСФ РААСН и ООО «ЦЕРЕРА-ЭКСПЕРТ» , 2017. – 136с.
6. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Издание 7, Министерство энергетики РФ. – Москва, 2017. – 513с.
7. Бугров В.Е. Оптоэлектроника светодиодов. Учебное пособие. / В.Е. Бугров, В.А. Виноградова. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 174с.
8. Варфоломеев Л.П. Элементарная светотехника. / Л.П. Варфоломеев. – М: ООО «Световые Технологии», 2013. – 286с.
9. Гвоздев С.М. Энергоэффективное электрическое освещение. Учебное пособие. / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, В.Д. Поляков, Т.К. Романова, И.П. Шестопалова, А.С. Шевченко, В.А. Хухтикова; под ред. Л.П. Варфоломеева. – М: Издательский дом МЭИ, 2013. – 288с.

10. Гоман В.В. Проектирование и расчёт систем искусственного освещения. Учебное пособие. / В.В. Гоман, Ф.Е. Тарасов. – Екб: УрФУ, 2013. – 76с .
11. Карманова Т.Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения. / Учебное пособие. / Т.Е. Карманова. – Архангельск: САФУ имени М.В. Ломоносова, 2015. – 120 с.
12. Климова Г.Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях. Учебное пособие. / Г.Н. Климова. – 2-е издание. – Томск: ТПУ, 2014. – 180с.
13. Charles Alexander. Fundamentals of Electric Circuits. / Charles Alexander, Matthew Sadiku. – 6th Edition - New York, N.Y.: McGraw-Hill Education, 2017. – 992 p.
14. Charles Platt. Encyclopedia of Electronic Components Volume 2: LEDs, LCDs, Audio, Thyristors, Digital Logic, and Amplification. / Charles Platt, Fredrik Jansson. - First Edition – San Francisco, CA: Maker Media, 2015. – 320 p.
15. Charles Platt. Encyclopedia of Electronic Components Volume 3: Sensors for Location, Presence, Proximity, Orientation, Oscillation, Force, Load, Human Input, Liquid ... Light, Heat, Sound, and Electricity. / Charles Platt, Fredrik Jansson. - First Edition – San Francisco, CA: Maker Media, 2016. – 316 p.
16. Md. Ruhul Amin. Electrical Power System Analysis. / Md. Ruhul Amin, Rajib Baran Roy. - Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 136 p.
17. Stan Gibilisco. Beginner's Guide to Reading Schematics. / Stan Gibilisco. – Third Edition - New York, N.Y.: McGraw - Hill Education, 2014. – 192 p.
18. Teshome Goa Tella. An Optimal Power Loss Reduction by Using Shunt Capacitor / Teshome Goa Tella. - Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 148 p.
19. Большой технический каталог продукции компании «LEDEL» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yadi.sk/i/PFqWCaxIsuVhs>. – (Дата обращения – 5.04.2018).
20. Вахнина В.В. Проектирование осветительных установок. Электронное учебное пособие./ В.В. Вахнина, А.Н. Черненко, О.В. Самолина, Т.А. Ры-

балко, [электронный ресурс] – Тольятти: ТГУ, 2015. – 80с. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/3383>. – (Дата обращения: 5.04.2018).

21. Каталог датчиков движения компании «IEK» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://anverchi.ru/uploads/katalog/iek/12.pdf>. – (Дата обращения: 7.04.2018).

22. Минаматская конвенция о ртути [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/Minamata_convention_Russian.pdf. – (Дата обращения: 7.04.2018).

23. Сайт компании «IEK» [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iek.ru/products/catalog/svetotekhnika/avariynoe_osveshchenie/. – (Дата обращения: 15.04.2018).