МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Методические указания по выполнению курсового проекта
для студентов специальностей
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»,
7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Витебск
2023

УДК 621.32

Составитель:
А. М. Гусаров

Одобрено кафедрой теплоэнергетики УО «ВГТУ»,
протокол № 3 от 11.10.2023.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 2 от 27.10.2023.

Электрическое освещение : методические указания по выполнению курсового проекта / сост. : А. М. Гусаров. – Витебск : УО «ВГТУ», 2023. – 71 с.

Методические указания являются руководством по выполнению курсового проекта по учебной дисциплине «Электрическое освещение», приводятся содержание расчетно-пояснительной записки, перечень графического материала. Представлены материалы, поясняющие выполнение разделов светотехнической и электрической части курсового проекта, список рекомендуемой литературы, приведены примеры по всем этапам проектирования. Методические указания предназначены для студентов специальностей 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций», 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Издание в электронном виде расположено в репозитории библиотеки УО «ВГТУ».

УДК 621.32

© УО «ВГТУ», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ 5
СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА 6
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА 7
1 ВЫБОР СИСТЕМЫ И ВИДА ОСВЕЩЕНИЯ 7
2 ВЫБОР НОРМИРУЕМОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАПАСА 9
3 ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЦЕХА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ 10
4 ВЫБОР ТИПА СВЕТИЛЬНИКОВ, ВЫСОТЫ ИХ ПОДВЕСА И РАЗМЕЩЕНИЯ 13
5 СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЦЕХА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ 22
6 ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ СВЕТА, ТИПА СВЕТИЛЬНИКОВ И ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ, СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭВАКУАЦИОННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЦЕХА 32
7 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПИТАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ 37
8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЩИТКОВ ОСВЕЩЕНИЯ И ТРАССЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 41
9 ВЫБОР ТИПА ЩИТКОВ ОСВЕЩЕНИЯ, МАРКИ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ И СПОСОБОВ ИХ ПРОКЛАДКИ 45
10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ЦЕХА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ 48
11 ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ И РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 51
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ 67
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПИТАНИЯ 68

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Электрическое освещение» является формирование у студентов знаний о конструктивных элементах осветительных установок, о методиках светотехнического и электрического расчетов при проектировании осветительных установок промышленных предприятий.

Целью выполнения курсового проекта по дисциплине «Электрическое освещение» является решение основных задач разработки проекта технической системы, формирующей такую световую среду, которая бы обеспечивала светотехническую эффективность освещения с учетом требований физиологии зрения, гигиены труда, техники безопасности при минимальных расходах электроэнергии и затратах материальных и трудовых ресурсов на приобретение, монтаж и эксплуатацию осветительных установок (ОУ).

Эти цели достижимы путем выполнения многовариантных расчетов освещения и выбора наиболее экономичного с учетом требований действующих нормативных материалов на проектирование, монтаж и эксплуатацию ОУ.

Работу рекомендуется выполнять последовательно, по мере изучения основных разделов курса. Исходные данные к расчету и номер варианта студенту выдает преподаватель.

Курсовой проект по дисциплине «Электрическое освещение» состоит из пояснительной записки, выполненной на листах формата А4 и графической части, оформленной в виде чертежа формата А1.

Проект предусматривает выполнение светотехнической и электрической частей проекта общего рабочего равномерного и аварийного (эвакуационного) освещения конкретного цеха.

В данных методических указаниях приведены материалы по проектированию светотехнической и электрической частям электрического освещения. Даются светотехнические методы расчета освещения: метод коэффициента использования светового потока, метод расчета освещенности по удельной мощности, точечный метод. Описан расчет электрической осветительной сети: выбор сечений проводов и кабелей и расчет защиты сети, приведены нормативно-справочные материалы в достаточном объеме для проектирования ОУ.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Титульный лист, оглавление и список использованной литературы выполняются в соответствии с Положением о порядке организации курсового проектирования и защиты курсовых проектов (курсовых работ) (утверждено приказом № 317 от 30.08.2018). Задание включает в себя типовой бланк с основной исходной информацией.

Объем пояснительной записки 15…20 страниц формата А4, набранного с помощью персонального компьютера. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 14. Поля обычные.

Первым листом пояснительной записки является титульный лист (страница не нумеруется). Вторым листом является задание на курсовой проект (страница тоже не нумеруется). Следующим листом записки является «ОГЛАВЛЕНИЕ». Лист нумеруется, начиная с цифры 3. Далее располагают «ВВЕДЕНИЕ». После введения располагают: разделы и подразделы, заключение, список используемой литературы и при необходимости приложения. Нумерация страниц расчетно-пояснительной записки должна быть сквозной.

Изложение материала записки должно идти от первого лица множественного числа (предлагаем, вычисляем, принимаем, выбираем и т. д.), а также в форме следующих обращений – приведены, указаны, даются, сведены (например, в таблицу).

Текст пояснительной записки разделяют на разделы и подразделы. Разделы текста начинаются с абзаца и должны иметь порядковые номера в пределах всей записки, обозначенные арабскими цифрами.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, отделенных точкой. В конце номера подраздела точка не проставляется, например:

1 Выбор источников света для основного помещения цеха

……

1.1 Выбор ламп для вспомогательных помещений

……

После наименования раздела или подраздела точка не ставится.

При оформлении расчетов необходимо вынести формулы из текстового материала в отдельные строки. В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Иллюстрации могут быть расположены как по тексту пояснительной записки, так и в конце его. Выполнять нумерацию иллюстраций необходимо в пределах раздела. Номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой.

Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей. Таблицы, за исключением приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела, тогда номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенный точкой.

Графическая часть проекта иллюстрирует результаты работы и выполняется на листе формата А1. Чертеж должен иметь основную надпись, расположенную в правом угловом штампе формата.

Формы, размеры и содержание основных надписей определены ГОСТ 2.104-68. Наименование изделия записывают в именительном падеже, в единственном числе, помещая на первое место имя существительное.

Графическая часть проекта должна быть оформлена в соответствии с требованиями стандарта ЕСКД, ГОСТ 21.608-84 «Внутреннее электрическое освещение» и другими нормативными документами.

СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

ВВЕДЕНИЕ

1. Выбор системы и вида освещения

2. Выбор нормируемой освещенности помещений и коэффициента запаса

3. Выбор источников света для системы общего равномерного освещения цеха и вспомогательных помещений

4. Выбор типа светильников, высоты их подвеса и размещения

5. Светотехнический расчет системы общего равномерного освещения цеха и вспомогательных помещений

6. Выбор источников света, типа светильников и их размещения, светотехнический расчет эвакуационного освещения цеха

7. Разработка схемы питания осветительной установки

8. Определение мест расположения щитков освещения и трассы электрической сети

9. Выбор типа щитков освещения, марки проводов и кабелей и способов их прокладки

10. Определение расчетной осветительной нагрузки цеха и вспомогательных помещений

11. Выбор сечения проводов и кабелей и расчет защиты осветительной сети

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Графическая часть проекта выполняется на листе формата А1 и включает в себя: план цеха и вспомогательных помещений с расположением светильников и осветительной сети (в масштабе 1:10), расчетная схема электрической осветительной сети рабочего освещения.

На плане помещений проставляется уровень нормируемой освещенности для каждого помещения, количество и тип светильников, количество и мощность ламп в светильнике, высота подвеса светильников над полом.

Для каждого помещения указываются данные сети освещения: маркировка линии, марка и сечение провода (кабеля), количество проводов на каждом участке сети.

При выполнении графического материала важным и обязательным является правильность изображения условных обозначений элементов осветительных установок, электрических сетей, планов объектов и их составляющих частей, а также правильность оформления соответствующих надписей.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Во введении необходимо указать роль и значение электрического освещения в производственной деятельности человека, привести краткую характеристику и перспективы развития осветительных установок. Должны быть указаны цель выполнения курсового проекта и задачи для его достижения. Объем раздела «Введение» не должен превышать 2 страницы.

1 ВЫБОР СИСТЕМЫ И ВИДА ОСВЕЩЕНИЯ

Системы освещения. По способам размещения светильников в помещениях различают системы общего, местного и комбинированного освещения.

Система общего освещения предназначена для освещения всего помещения и рабочих поверхностей. Общее освещение может быть равномерным и локализованным.

Светильники общего освещения располагают в верхней зоне помещения и крепят их на строительных основаниях здания непосредственно к потолку, на фермах, на стенах, колоннах или на технологическом производственном оборудовании, на тросах и т. д.

Местное освещение предусматривается на отдельных рабочих местах (станках, верстаках, столах, разметочных плитах и т. д.) и выполняется светильниками, установленными непосредственно у рабочих мест.

Устройство в помещениях только местного освещения нормами запрещено.

Местное и общее освещения, применяемые совместно, образуют систему комбинированного освещения. Применяется она в помещениях с точными зрительными работами, требующими высокой освещенности.

Выбор той или иной системы освещения определяется в основном размещением оборудования и соответственно расположением рабочих мест, технологией выполняемых работ, экономическими соображениями.

Виды освещения. Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Аварийное освещение может быть освещением безопасности и эвакуационным.

Рабочим называется освещение, которое обеспечивает нормируемые осветительные условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Рабочее освещение выполняется для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Освещением безопасности называется освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Такой вид освещения предусматривается в случаях, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать: взрыв, пожар, отравление людей; длительное нарушение технологического процесса; нарушение работы ответственных объектов, таких как электрические станции, узлы радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, в которых недопустимо прекращение работ и т. п.

Эвакуационным называется освещение для эвакуации людей из помещений при аварийном отключении нормального освещения. Эвакуационное освещение предусматривается в помещениях или в местах производства работ вне зданий в основном в следующих случаях: в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующих более 50 человек; по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 человек; в помещениях общественных зданий, административных и бытовых зданий промышленных предприятий, если в помещениях могут одновременно находиться более 100 человек; в производственных помещениях без естественного света и др.

Охранное освещение, при отсутствии специальных технических средств охраны, должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время.

Дежурным освещением называется освещение в нерабочее время.

Пример. В исходных данных к курсовому проекту не приведена информация о наличии (необходимости) местного освещения в тех или иных помещениях. Поэтому выбор системы освещения производим самостоятельно, руководствуясь инженерной интуицией. Выбираем систему общего освещения. Светильники одного типа и мощности устанавливаются равномерно по всему помещению и на одинаковой высоте.

Для заготовительного цеха и его вспомогательных помещений обязательно выполняется рабочее освещение. В случае погасания, по каким либо причинам рабочего освещения, предусматривается аварийное освещение для заготовительного цеха, а именно – эвакуационное, необходимое для создания условий безопасного выхода людей.

Результаты выбора системы и видов освещения для заготовительного цеха и его вспомогательных помещений представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Системы и виды освещения отдельных помещений

Помещение	Система искусственного освещения	Виды освещения
1. Заготовительный цех	Общее равномерное освещение	Рабочее + аварийное (эвакуационное) освещения
2. Сварочное отделение	Общее равномерное освещение	Рабочее освещение
3. Заточное отделение	Общее равномерное освещение	Рабочее освещение
4. Комната мастеров	Общее равномерное освещение	Рабочее освещение
5. КТП	Общее равномерное освещение	Рабочее освещение

2 ВЫБОР НОРМИРУЕМОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАПАСА

Выбор нормируемой освещенности рабочих мест является одним из важнейших этапов проектирования осветительных установок. При завышенных значениях освещенности возрастают приведенные затраты на осветительную установку, увеличивается расход электроэнергии на освещение. Заниженное освещение может являться причиной утомляемости и появления брака в работе, снижения производительности труда. Поэтому правильное определение нормируемой освещенности в значительной степени обуславливает эффективность осветительной установки.

Основным нормативным документом для выбора норм освещенности является СН 2.04.03-2020 Естественное и искусственное освещение [1].

Нормированные значения освещенности должны быть обеспечены в течение всего времени эксплуатации осветительной установки. Однако в связи с тем, что период эксплуатации имеет место постоянное уменьшение освещенности, начальная освещенность должна быть принята больше нормированной на коэффициент запаса $K_з$.

Выбор нормируемой освещенности помещений (E_{min}) выполнить по [1, прил. Б, В], [2, табл. П.1.1, П.1.2] в зависимости от назначения помещений и выполняемой работы, также по тем же источникам необходимо определить плоскость, на которой нормируется освещенность, и ее высоту от пола. Значения коэффициента запаса ($K_з$) принять по [1, табл. А.3], [2, табл. 2.1]. Выбранные значения сводим в таблицу.

Пример. Выбор нормируемой освещенности выполняемой работы, рабочих мест является одним из важнейших этапов проектирования осветительных установок. Правильное определение нормируемой освещенности в значительной степени обуславливает эффективность осветительной установки.

Нормированные значения освещенности должны быть обеспечены в течение всего времени эксплуатации осветительной установки. Однако в связи с тем, что в период эксплуатации имеет место постоянное уменьшение освещенности, начальная освещенность должна быть принята больше нормированной на коэффициент запаса $K_з$.

Согласно [1] для каждого помещения выбираем нормируемые значения освещённости и коэффициента запаса, значения сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Выбор минимальных уровней освещённости помещений и коэффициентов запаса

Наименование помещения	Плоскость, на которой нормируется освещенность	E_{min}, лк	Основание	$K_з$	Основание
1. Цех производства фанеры	Г-0,8	200	[1], табл. Б.1, п.39	1,6	[1], табл. А.3, п.1б
2. КТП	В-1,5	75	[1], табл. Б.1, п.12	1,6	[1], табл. А.3, п.3а
3. Кабинет технолога	Г-0,8	300	[1], табл. В.1, п.1	1,4	[1], табл. А.3, п.3б
4. Склад продукции	Г-0,0	75	[1], табл. Б.1, п.3	1,4	[1], табл. А.3, п.3б
5. Санузел	Г-0,0	75	[1], табл. В.1, п.148	1,4	[1], табл. А.3, п.3б

3 ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЦЕХА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Классификация основных источников света представлена на рисунке 3.1.

Выбор того или иного источника света (ИС) из существующего многообразия их определяется требованиями к освещению (цветность излучения, показатель блескости, пульсации светового потока и др.) и выполняется на основании сопоставления достоинств и недостатков существующих ИС.

В соответствии с [1] для общего искусственного освещения помещений производственных и складских зданий следует использовать светодиодные или разрядные источники света, учитывая наибольшую световую отдачу и срок службы. Для местного освещения, кроме светодиодных и разрядных источников

света, следует использовать лампы накаливания, в том числе галогенные. Применение ксеноновых ламп внутри помещений не допускается.

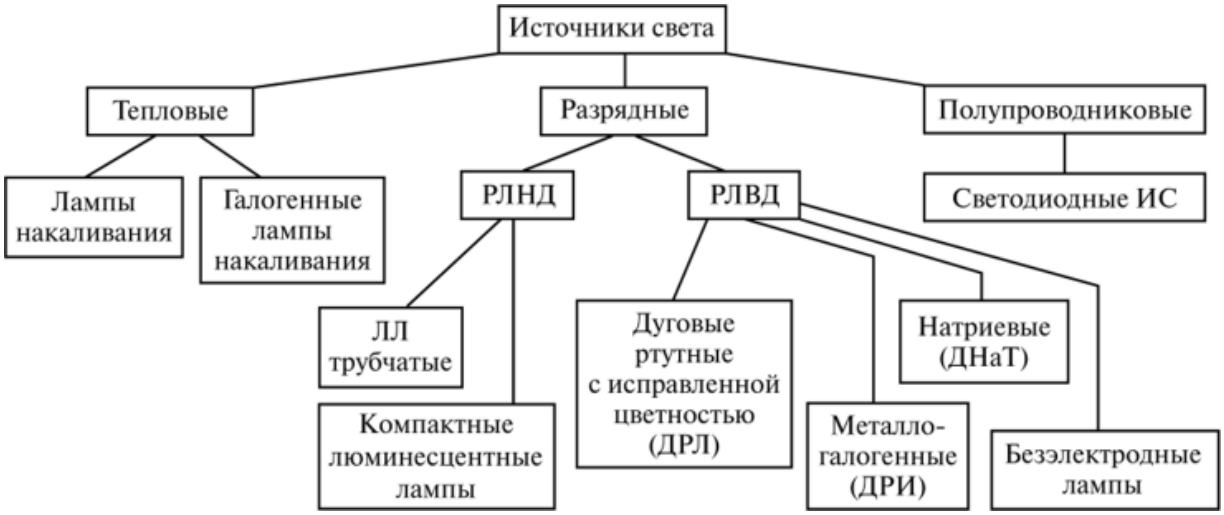


Рисунок 3.1 – Источники света

Лампы накаливания (ЛН) ввиду их низкой световой отдачи можно использовать в следующих случаях:

а) в помещениях с нормируемой освещенностью 50 лк и ниже, т. е. когда с помощью газоразрядных источников света невозможно обеспечить зрительный комфорт;

б) в помещениях с тяжелыми условиями среды и взрывоопасных, при отсутствии необходимых светильников с газоразрядными лампами;

в) для аварийного и *эвакуационного освещения*, когда рабочее освещение выполнено разрядными лампами высокого давления.

Технические параметры основных типов ЛН общего назначения приведены в [3, табл. 5.1], ГЛН различного назначения – в [3, табл. 5.2].

Люминесцентные лампы низкого давления рекомендуется применять в помещениях:

а) где работа связана с большим и длительным напряжением зрения;

б) где требуется распознавание цветовых оттенков;

в) без естественного света.

При отсутствии ограничений к цветопередаче следует применять люминесцентные лампы типа ЛБ, имеющие наибольшую световую отдачу и наименьшую пульсацию светового потока. При повышенном требовании к цветопередаче используют лампы ЛД и ЛДЦ. В жарких помещениях применяют амальгамные люминесцентные лампы типа ЛБА. Люминесцентные лампы по цветопередаче можно расположить в следующей очередности от лучших к худшим: ЛЕ, ЛДЦ, ЛД, ЛХБ, ЛБ.

При выборе газоразрядных ламп низкого давления необходимо учитывать, что при температуре окружающей среды +5 °С и ниже или относительной

влажности более 80 % зажигание ламп не гарантируется. Технические данные ЛЛ общего назначения приведены в [3, табл. 5.3–5.5].

Разрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) применяются в высоких производственных помещениях ($H \geq 6$ м). Причем при отсутствии требований к цветопередаче можно применять лампы ДРЛ, при наличии требований к цветопередаче – ДРИ. По применению натриевых ламп (ДНаТ) на настоящее время нет еще достаточных данных о влиянии монохроматического желтого излучения этих ламп на зрительную работоспособность и физическое состояние людей. Поэтому пока эти лампы рекомендуется применять в запыленных цехах, в помещениях с интенсивным парообразованием, где выполняются работы малой и очень малой точности.

Технические данные ртутных ламп общего назначения типа ДРЛ приведены в [3, табл. 5.6, 5.7], ламп типа ДРИ общего назначения – в [3, табл. 5.8], ксеноновых трубчатых ламп типа ДКсТ – в [3, табл. 5.9], ламп ДНаТ – в [3, табл. 5.10].

Определив требования к освещению помещений, зная высоту их, а также достоинства и недостатки существующих ИС, для каждого помещения выбрать необходимый источник света. В табличной форме привести следующую информацию: наименование помещения, тип выбранного ИС и достаточно полное обоснование выбора его.

Пример. Произведём выбор источников света для системы общего равномерного освещения помещений цеха. Результаты выбора ИС помещаем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты выбора источников света

Наименование помещения	Высота помещения, H, м	Нормируемая освещенность, E_{min}, лк	ИС	Обоснование выбора ИС
1. Заготовительный цех	9	150	ДРЛ	Высокое производственное помещение (Н≥6м), отсутствуют требования к цветопередаче
2. Сварочное отделение	5	200	ЛБ	Высота помещения меньше 6 метров, отсутствуют требования к цветопередаче
3. Заточное отделение	5	300	ЛБ	То же, что для п.2
4. Комната мастеров	3	300	ЛХБ	Высота помещения меньше 6 метров, требуется распознавание цветовых объектов
5. КТП	5	75	ЛБ	То же, что для п.2

4 ВЫБОР ТИПА СВЕТИЛЬНИКОВ, ВЫСОТЫ ИХ ПОДВЕСА И РАЗМЕЩЕНИЯ

Структура обозначения и маркировка светильников следующая:

1, 2, 3, 4, 5 – 6 × 7 – 8, 9, 10 – 11, 12

1 – Тип источника света (одна буква на первом месте в шифре): Н – лампа накаливания; И – галогенные; Л – люминесцентные лампы; Р – ДРЛ; Г – металлогалогенные; Ж – натриевые; Ф – флуоресцентные; Б – бактерицидные; К – ксеноновые; Д – светодиодные.

2 – Основной способ установки светильника: С – подвесные; П – потолочные; Б – настенные; Н – настольные; Т – напольные; В – встраиваемые; К – консольные; Р – ручные.

3 – Основное назначение светильника: П – для промышленных предприятий; Р – для рудников и шахт; О – для общественных зданий; Б – для жилых (бытовых) помещений; У – для наружного освещения; Т – для телевизионных студий.

4, 5 – Номер серии, к которой принадлежит светильник (две цифры).

6 × 7 – Количество ламп в светильнике × мощность ламп, Вт.

8, 9, 10 – Номер модификации светильника (трехзначное число).

11 – Обозначение климатического исполнения (ХЛ – холодный климат, У – умеренный климат, УХЛ – умеренный, холодный климата, Т – тропический).

12 – Категории размещения (1 – для установки на открытом воздухе; 2 – для установки в помещениях, где колебание температуры и влажности воздуха не существенно отличается от колебаний на открытом воздухе; 3 – для установки в закрытых помещениях с естественной вентиляцией, где колебания температуры и влажности воздуха, а также воздействия песка и пыли значительно меньше, чем на открытом воздухе).

Примеры обозначений светильников:

НСП05×500-016-У3 – светильник с лампой накаливания мощностью 500 Вт, общего назначения, подвесной для промышленных предприятий, серии 05, модификации 016, климатическое исполнение У, категория размещения 3;

ЛСО02-2×40-005-У3 – светильник с двумя люминесцентными лампами мощностью по 40 Вт, подвесной, для общественных зданий, серии 02, модификации 005, климатическое исполнение У, категория размещения 3;

РКУ08×400-014-ХЛ1 – светильник с ртутной лампой типа ДРЛ мощностью 400 Вт, консольный, уличный, серии 08, модификации 014, климатическое исполнение ХЛ (холодный климат), категория размещения 1.

4.1 Выбор типа светильников

Основными факторами, определяющими выбор светильников, являются:

а) условия окружающей среды (наличие пыли, влаги, химической

агрессивности, пожароопасной и взрывоопасной зон);

б) строительная характеристика помещения (размеры помещения, в том числе его высота, наличие ферм, технических мостиков, размеры строительного модуля, отражающие свойство стен, потолка, пола и рабочей поверхности);

в) требования к качеству освещения.

Выбор конкретного типа светильника осуществляется по конструктивному исполнению, светораспределению и ограничению слепящего действия, экономическим соображениям.

Конструктивное исполнение светильника в значительной степени определяется уровнем защиты его от воздействия окружающей среды.

От конструктивного исполнения светильников зависит их надежность и долговечность в данных условиях среды помещения, безопасность в отношении пожара, взрыва и поражения электрическим током, а также удобство обслуживания.

Степень защиты оболочек светильников должна быть не ниже *IP*20 для внутреннего и *IP*53 – для наружного освещения.

В особо сырых помещениях и наружных установках следует применять светильники со степенью защиты, как правило, не ниже *IP*53, а в помещениях с химически активной средой – не ниже *IP*54.

Для пыльных помещений степень защиты световых приборов (СП) должна выбираться в зависимости от количества и характера пыли. Предпочтительным является применение СП со степенью защиты *IP*6X или *IP*5X. В случае необходимости упрощения обслуживания осветительных установок допускается применение светильников со степенью защиты 6’X и 5’X, а при непроводящей ток пыли – *IP*2X (в виде исключения).

В пожароопасных зонах классов П-I и П-II светильники, как правило, должны иметь степень защиты не ниже *IP*5X (5’X – с люминесцентными лампами), класса П-IIа – не ниже *IP*2X. Во взрывоопасных зонах следует применять СП взрывозащищенного исполнения. В зонах классов В-Iб и В-IIа допускается установка светильников со степенью защиты не ниже *IP*5X.

В жарких помещениях – не ниже *IP*20, причем в светильниках с люминесцентными лампами рекомендуется применение амальгамных ламп.

Минимально допустимую степень защиты светильников для освещения помещений с разными условиями среды следует принимать в соответствии с [2, табл. 5.3].

Правильный выбор светильника по светораспределению обуславливает экономичное использование светового потока источника света, приводит к снижению установленной мощности осветительной установки. При равных условиях предпочтительнее выбирать светильники с более высоким КПД, несмотря на их более высокую стоимость. Эти дополнительные затраты окупаются за счет экономии электроэнергии.

Классификация светильников по светораспределению и по типу кривой силы света (КСС) представлены в [2, табл. 5.1, 5.2].

Светильники с косинусной (Д) КСС дают равномерное освещение поверхности и являются самыми распространенными светильниками для общего освещения любых объектов.

Светильники с глубокой (Г) и концентрированной (К) КСС дают направленный свет с ярким, но меньшим световым пятном и применяются для подсветки особых областей, где необходимо достичь высокой освещенности (например – небольшой участок ОТК, расположенный непосредственно в цехе). Так же эти светильники применяются, когда высота их установки превышает 8 метров. До 15 метров высоты рекомендуем применять светильники с глубокой КСС (Г), выше 15 метров – с концентрированной КСС (К).

Для административных, общественных и жилых помещений, особенно когда предъявляются требования к качеству освещения, принимают светильники рассеянного, преимущественно отраженного или отраженного светораспределения с типовыми кривыми света М, Л или Ш.

Если сопоставить при прочих равных условиях значения коэффициентов использования светового потока для различных светильников одного класса светораспределения, например, прямого света класса П, то светильники с типовыми кривыми силы света по мере убывания коэффициента использования светового потока располагаются следующим образом : К–Г–Д–Л–М–Ш–С.

Учет при выборе светильников слепящего их действия осуществляется по показателю ослепленности, который нормируется и сравнивается с фактическим показателем ослепленности. На практике при проектировании осветительных установок в связи с трудностью расчета этого показателя эта характеристика учитывается косвенно минимально допустимой высотой подвеса светильников.

Выбор светильников по критерию экономичности выполняется по минимуму приведенных затрат. Однако, учитывая, что основной составляющей годовых эксплуатационных расходов являются затраты на электроэнергию, можно с некоторым приближением оценивать экономичность светильника по критерию энергетической экономичности ($Э_э$). Под энергетической экономичностью понимается отношение нормируемой (минимальной) освещенности (E_{min}) к удельной мощности $P_{уд}$:

$$Э_э = \frac{E_{min}}{P_{уд}},$$

где $P_{уд}$ – удельная мощность, равная отношению установленной мощности ламп к площади освещаемого помещения.

При малой высоте (до 6 м) добиться качественных показателей, таких как минимальная неравномерность освещения, допустимая пульсация и ослепленность, возможно только с помощью большого числа светильников с относительно малой единичной мощностью источника света (ЛН и ЛЛ).

В высоких помещениях экономически выгодней применять мощные источники света (ДРЛ, ДРИ) и малое число светильников, каждый из которых

должен иметь оптимальное светораспределение для конкретного варианта.

Рекомендации по выбору светильников для освещения [2, п. 5.2]:

– низких вспомогательных помещений, как правило, применяют светильники НПП03, НПП05, РПП01, ГПП01, ЖПП01;

– в производственных помещениях с нормальными условиями окружающей среды – НСП17, ЛВП05, ЛВП06, ЛСП02, ЛСП13 (с КСС типа Л для помещений высотой до 4,5 м, с КСС типа Г – высотой до 12 м), РСП05, РСП08, РСП13, РСП21;

– в производственных помещениях с повышенным содержанием пыли и повышенной относительной влажностью – НСП02 и НСП03;

– в пыльных и влажных производственных помещениях – НСП11, ЛСП22, РСП12, РСП14, ГСП15;

– в производственных помещениях с не токопроводящей и негорючей пылью при запыленности до 10 мг/м^3 – НСП21 и НСП22;

– в производственных помещениях с тяжелыми условиями окружающей среды – НСП17, ЛСП18, РСП21.

Выбор конкретного типа светильника осуществляется в зависимости от характеристики помещения, выбранного ИС, способа крепления светильника по [2, табл. П. 1.1, П. 1.2], с учетом рекомендаций по КСС, указанных выше, и технических данных светильников [2, табл. 5.4–5.8]. В табличной форме привести следующую информацию: наименование помещения, высота помещения, тип и степень защиты светильников, тип кривой силы света.

Пример. По [2, табл. П. 1.1] производим выбор типа светильников общего освещения для помещений цеха с учётом имеющейся информации.

В основном помещении для общего освещения устанавливаем светильники типа РСП13 (светильники с ртутной лампой типа ДРЛ, подвесные для промышленных предприятий) с КСС типа Г (высота помещения более 8, но менее 15 метров), степень защиты согласно [2, табл. 5.6] – 5’4.

Во вспомогательных помещениях (сварочное, заточное отделения) устанавливаем светильники типа ЛСП18 (светильники с люминесцентными лампами, подвесные для промышленных предприятий) с КСС типа Д (высота помещения менее 8 метров), степень защиты согласно [2, табл. 5.5] – 5’4.

В комнате мастеров устанавливаем светильники типа ЛВП05 (светильники с люминесцентными лампами, встраиваемые, для промышленных предприятий), т. к. это не производственное помещение, высотой H = 3 м и в нём возможно применение подвесного потолка. Тип КСС – Д (высота помещения менее 8 метров), степень защиты согласно [2, табл. 5.5] – *IP*20.

В КТП устанавливаем светильники типа ЛБО12 (светильники с люминесцентными лампами, настенные), из-за особенностей помещения – в КТП имеется трансформатор и другое электрооборудование значительной высоты (до потолка), которое представляет непосредственную опасность для жизни обслуживающего персонала. Тип КСС – Д (высота помещения менее 8 метров), степень защиты согласно [2, табл. 5.5] – *IP*20.

Результаты выбора типа светильников помещаем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Выбор типа светильников для рабочего и эвакуационного освещения

Наименование помещения	Высота помещения, H, м	Светильники		
		Тип	Степень защиты	КСС
1. Заготовительный цех	9	РСП13	5’4	Г
2. Сварочное отделение	5	ЛСП18	5’4	Д
3. Заточное отделение	5	ЛСП18	5’4	Д
4. Комната мастеров	3	ЛВП05	*IP*20	Д
5. КТП	5	ЛБО12	*IP*20	Д

4.2 Высота подвеса светильников

Высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью ($H_Р$) – расчетная высота подвеса светильников в значительной степени определяет характеристику и технико-экономические показатели проектируемой осветительной установки.

Минимальная высота подвеса светильников ограничена условием ослепляющего их действия. Максимальная высота ограничена размерами помещения и условиями обслуживания светильников.

В общем случае расчетную высоту подвеса (установки) светильников (рис. 4.1 *а*) определяем по выражению

$$H_{\text{р}} = H - h_{\text{с}} - h_{\text{р}},$$

где H – высота помещения, м; $h_{\text{с}}$ – высота свеса светильника (расстояние от их светового центра до перекрытия или точки подвеса), м; $h_{\text{р}}$ – высота расчетной (на которой нормируется освещение) поверхности над полом, м.

Высота свеса светильника $h_{\text{с}}$ принимается в диапазоне 0–1,5 м в зависимости от способа установки светильника. Высота расчетной поверхности над полом ($h_{\text{р}}$) определена в пункте 2 (табл. 2.1, столбец – Плоскость, на которой нормируется освещенность).

По результатам расчета в табличной форме привести следующую информацию: наименование помещения, высота помещения, тип светильника, высота свеса светильника, высота расчетной поверхности над полом.

Пример. Произведём выбор высоты подвеса светильников для помещений цеха с учётом выбранного типа светильников. Исходные данные представлены в таблице 4.1.

Заготовительный цех: высота помещения – 9 м, высота рабочей поверхности над полом – 0,8 м, для подвесных светильников РСП13 высоту свеса принимаем – 1 м. Определяем расчётную высоту подвеса светильников:

$$H_{\text{р}} = H - h_{\text{с}} - h_{\text{р}} = 9 - 1{,}0 - 0{,}8 = 7{,}2 \text{ м}.$$

Выбор высоты свеса светильников для остальных помещений цеха производится аналогично, результаты приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчёт высоты подвеса светильников

Наименование помещения	Тип светильника	H, м	h_c, м	$h_р$, м	$H_р$, м
1. Заготовительный цех	РСП13	9	1,0	0,8	7,2
2.Сварочное отделение	ЛСП18	5	0,5	0,0	4,5
3. Заточное отделение	ЛСП18	5	0,5	0,8	3,7
4. Комната мастеров	ЛВП05	3	0,0	0,8	2,2
5. КТП	ЛБО12	5	0,5	1,5	3,0

4.3 Схемы размещения светильников

При общем равномерном освещении, а по возможности также и при локализованном освещении светильники рекомендуется располагать по вершинам квадратных, прямоугольных (с отношением большей стороны прямоугольника к меньшей не более 1,5) или ромбических (с острым углом при вершине ромба близким к 60°) полей (рис. 4.1 *б*, *в*).

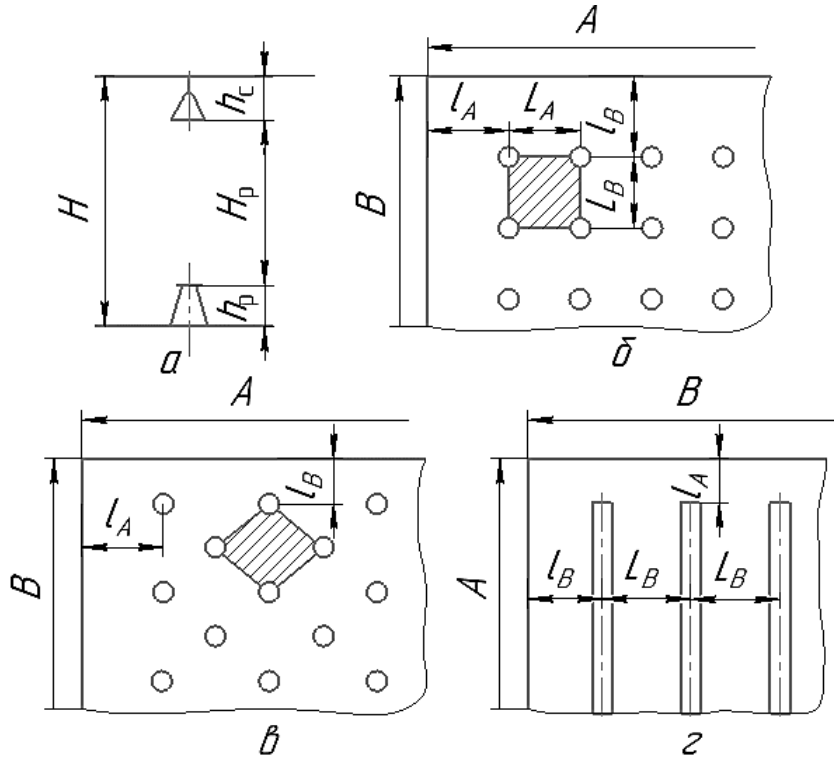


Рисунок 4.1 – Варианты размещения светильников: *а* – в разрезе; *б*, *в*, *г* – в плане помещения: *б* – по углам прямоугольников; *в* – по вершинам ромба; *г* – в линию (для светильников с люминесцентными лампами)

Распределение освещенности по освещаемой поверхности определяется типом кривой силы света и отношением расстояния между соседними светильниками или рядами к высоте их установки над рабочей поверхностью ($L/H_{\text{р}}$). Для каждой КСС существует наивыгоднейшее значение $L/H_{\text{р}}$, обеспечивающее наибольшую равномерность распределения освещенности и максимальную энергетическую эффективность [2, табл. 6.1].

Определив $H_{\text{р}}$ и задавшись значением $L/H_{\text{р}}$ вычисляем расстояние L:

$$L = \left(\frac{L}{H_{\text{р}}} \right) H_{\text{р}},$$

где L – расстояние между соседними светильниками в ряду или рядами светильников, м.

Число рядов светильников определяем по выражению

$$R = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L} + 1,$$

где B – ширина помещения, м; l_B – расстояние от рядов светильников до стены, м (принимается $(0{,}3 \div 0{,}5) \cdot L$ в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест).

Число светильников в одном ряду определяем по формуле

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l_A}{L} + 1,$$

где A – длина помещения, м; l_A – расстояние от крайних светильников до стены, м (принимается $(0{,}3 \div 0{,}5) \cdot L$ в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест).

Полученные результаты округляются до ближайшего целого числа, после чего пересчитываем реальные расстояния:

– между рядами светильников (рис. 4.1 *б*, *в*)

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l_B}{R - 1};$$

– между центрами светильников в ряду (рис. 4.1 *б*, *в*)

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l_A}{N_R - 1}.$$

Для прямоугольных помещений проверяем условие:

$$1 \le L_A / L_B \le 1{,}5.$$

Если $L_A / L_B < 1$, то необходимо уменьшить число светильников в ряду на один или увеличить число рядов на один. Если $L_A / L_B > 1{,}5$, то необходимо увеличить число светильников в ряду на один или уменьшить число рядов на один.

Общее число светильников определяем по формуле

$$N = R \cdot N_R .$$

Светильники с люминесцентными лампами рекомендуется преимущественно размещать рядами, параллельными стенам с окнами. Они могут располагаться вплотную друг к другу либо с разрывами (не более 0,5 $H_р$).

Следует отметить, что при проектировании осветительных установок со светильниками с *люминесцентными лампами* первоначально намечают только число рядов светильников R, а число светильников в ряду N_R и в помещении N определяют после светотехнического расчета.

После выполненных расчётов окончательное уточнение расположения светильников производиться на вычерченном в масштабе плане помещения.

В расчетно-пояснительной записке по данному подразделу привести расчеты по всем помещениям цеха и в табличной форме указать следующую информацию: наименование помещения, его размеры, тип светильника и степень его защиты, кривая силы света светильника, высота подвеса светильника.

Пример. Исходные данные:

Наименование помещения	Размеры помещения, $A \times B \times H$, м	Высота подвеса, $H_р$, м	Тип светильника		
			Тип	Степень защиты	КСС
1. Механический цех	24×15×8,4	6,5	РСП18	*IP*20	Г-1
2. Материальная кладовая	6×6×4,2	3,1	ЛСП18	*IP*5'4	Д-2

В *механическом цехе* светильники размещаем равномерно по углам прямоугольника.

С учетом типа КСС по [2, табл. 6.1] принимаем $L/H_р$ = 0,9. Тогда расстояние между соседними светильниками или рядами светильников

$$L = \left(\frac{L}{H_р} \right) H_р = 0{,}9 \cdot 6{,}5 = 5{,}85 \approx 6 \text{ м},$$

а расстояния от крайних светильников и рядов до стен

$$l_{A,B} = (0{,}3 \div 0{,}5) \cdot L = (0{,}3 \div 0{,}5) \cdot 6 = (1{,}8 \div 3) \text{ м}.$$

Учитывая строительные размеры помещения, принимаем действительные расстояния от стены до ближайшего ряда светильников l_B и от стены до ближайшего светильника в ряду l_A равные:

$$l_A = l_B = 3\,\text{м}.$$

Число рядов светильников определяем по формуле

$$R = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L} + 1 = \frac{15 - 2 \cdot 3}{6} + 1 = 2{,}5 \approx 3\,\text{ряда}.$$

Найдем число светильников в одном ряду:

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l_A}{L} + 1 = \frac{24 - 2 \cdot 3}{6} + 1 = 4\,\text{светильника}.$$

Уточняем реальные расстояния между рядами L_B и между светильниками в ряду L_A по формулам:

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l_B}{R - 1} = \frac{15 - 2 \cdot 3}{3 - 1} = 4{,}5\text{м};$$

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l_A}{N_R - 1} = \frac{24 - 2 \cdot 3}{4 - 1} = 6\,\text{м}.$$

Проверяем выполнение соотношения $1 \le L_A / L_B \le 1{,}5$:

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{6}{4{,}5} = 1{,}33,$$

что находится в допустимых пределах.

Таким образом, освещение механического цеха выполняется тремя рядами светильников. В каждом из рядов устанавливается по четыре светильника, кроме ряда линии С2 (рис. 4.2), в котором исключается один светильник, расположенный над помещением кладовой.

В *материальной кладовой* светильники размещаем рядами с разрывами.

С учетом типа КСС по [2, табл. 6.1] принимаем $L/H_\text{р}$ = 1,4. Тогда расстояние между соседними светильниками или рядами светильников

$$L = \left(\frac{L}{H_\text{р}} \right) H_\text{р} = 1{,}4 \cdot 3{,}1 = 4{,}34 \approx 4\,\text{м},$$

а расстояние от рядов до стен

$$l_B = (0{,}3 \div 0{,}5) \cdot L = (0{,}3 \div 0{,}5) \cdot 4 = (1{,}2 \div 2{,}0)\,\text{м}.$$

Учитывая строительные размеры помещения, принимаем $l_B = 1{,}5\,\text{м}$.

Число рядов светильников определяем по формуле

$$R = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L} + 1 = \frac{6 - 2 \cdot 1{,}5}{4} + 1 = 1{,}75 \approx 2\,\text{ряда}.$$

Уточняем реальное расстояние между рядами L_B:

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l_B}{R - 1} = \frac{6 - 2 \cdot 1{,}5}{2 - 1} = 3\text{м}.$$

Количество светильников в ряду N_R и в помещении N, а также расстояния между светильниками L_A и расстояние от стены до ближайшего светильника в ряду l_A определяем после результатов светотехнического расчета.

Полученные результаты сводим в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Параметры размещения светильников

Наименование помещения	$L/H_р$, м	L_A, м	L_B, м	l_A, м	l_B, м	R	N_R	N
1. Механосборочный цех	0,9	6	4,5	3	3	3	4	12-1
2. Материальная кладовая	1,4	*)	3	*)	1,5	2	*)	*)

*) Определим по результатам светотехнических расчетов.

5 СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЦЕХА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Светотехнические расчеты позволяют выполнить следующее:

а) определить количество и единичную мощность источников света осветительной установки, обеспечивающей требуемую освещенность в помещении (на рабочей поверхности);

б) для существующей (спроектированной) осветительной установки рассчитать освещенность в любой точке поверхности освещаемого помещения. Для этих целей применяются два метода расчета электрического освещения: метод коэффициента использования светового потока и точечный метод.

Метод коэффициента использования светового потока применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей, в основном для расчета светового потока источника (источников) света. Этот метод предназначен для расчета общего равномерного освещения при отсутствии крупных затеняющих предметов.

Упрощенной формой метода коэффициента использования светового потока является *метод удельной мощности*. Применяется этот метод для ориентировочных расчетов общего равномерного освещения. Максимальная погрешность расчета по методу удельной мощности составляет ±20 %.

Точечный метод расчета освещения позволяет определить освещенность в любой точке поверхности освещаемого помещения при любом равномерном или неравномерном размещении светильников. Применяется при расчете общего равномерного освещения (при наличии существенных затенений), местного, общего локализованного, аварийного, а также освещения наклонных поверхностей.

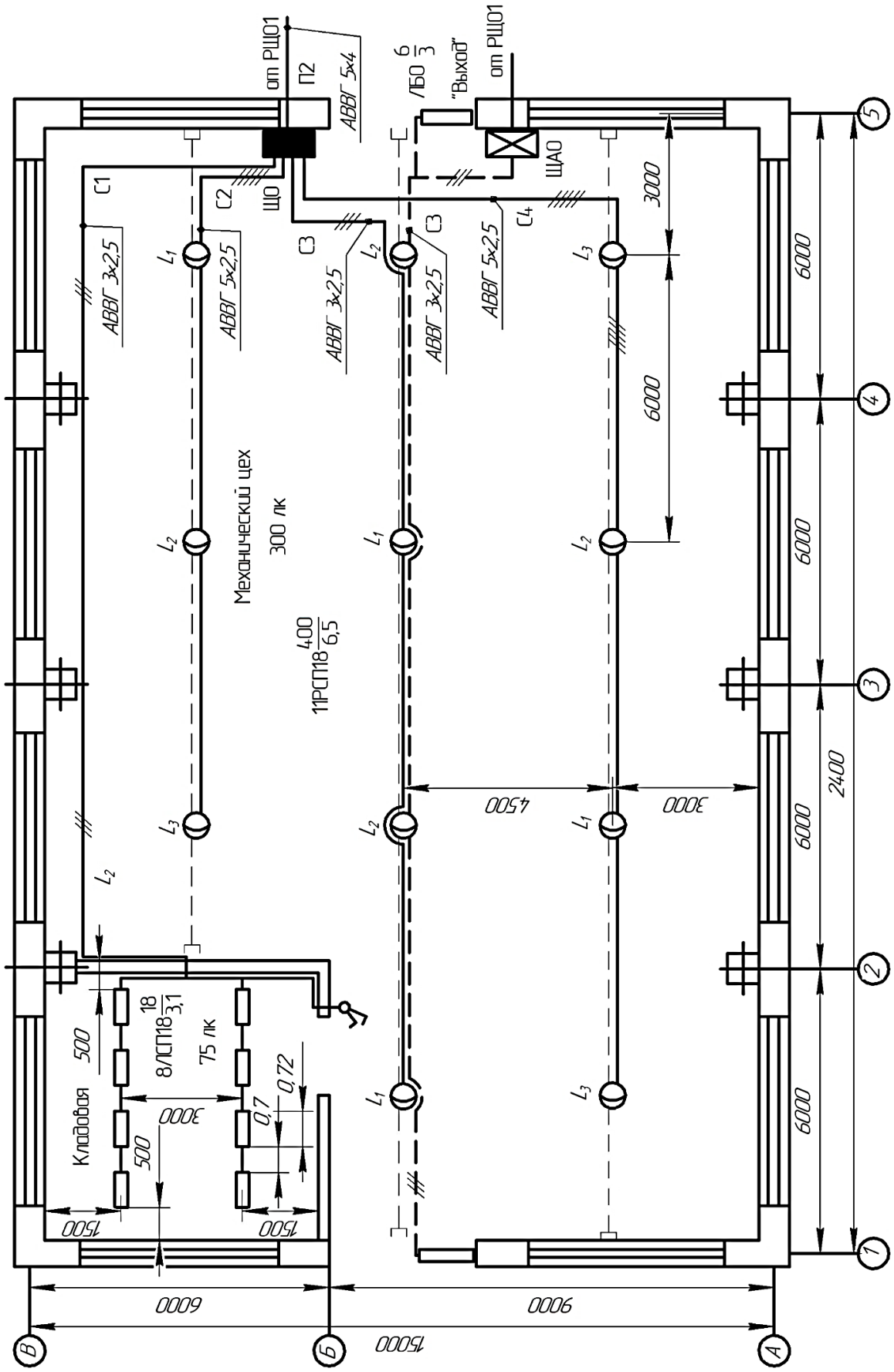


Рисунок 4.2 – План цеха с размещением светотехнического оборудования

При расчете *по методу коэффициента использования светового потока* световой поток ламп, необходимый для создания нормируемой минимальной освещенности, определяем по формуле

$$\Phi_{\text{лр}} = \frac{E_{\min} \cdot K_{\text{з}} \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta_{\text{ОУ}}}\ , \qquad (5.1)$$

где $E_{\min}$ – минимальная (нормируемая) освещенность, лк (определена в пункте 2); $K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса (определен в пункте 2); F – освещаемая площадь, м^2; z – отношение средней освещенности к минимальной; N – общее число светильников в помещении, шт.; $\eta_{\text{ОУ}}$ – коэффициент использования светового потока осветительной установки, о. е.

Коэффициент z характеризует неравномерность освещенности, для ламп накаливания и газоразрядных ламп типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и т. п. z = 1,15; для люминесцентных ламп z = 1,1.

Под коэффициентом использования светового потока $\eta_{\text{ОУ}}$ понимают отношение светового потока, падающего на расчетную поверхность к световому потоку источника света. Его значение принимаем по [2, табл. 6.2] *методом линейной интерполяции* в зависимости от коэффициентов отражения поверхностей помещения: потолка – $\rho_{\text{п}}$, стен – $\rho_{\text{с}}$ [2, табл. 6.3], расчетной поверхности – $\rho_{\text{р}}$ (обычно принимается 0,1), КСС конкретных типов светильников и от индекса помещения

$$i_{\text{п}} = \frac{A \cdot B}{H_{\text{р}} \cdot (A + B)}.$$

По найденному значению $\Phi_{\text{лр}}$ из [3, табл. 5.1–5.10] с учетом данных из [2, табл. 5.4–5.8, столбец – Тип лампы] выбираем лампу ближайшей стандартной мощности, значение светового потока которой отличается от $\Phi_{\text{лр}}$ не более чем на -10...+ 20 %.

При расчете *люминесцентного освещения* первоначально намечается число рядов R, которое подставляется в формулу (5.1) вместо N. Тогда под $\Phi_{\text{лр}}$ следует подразумевать световой поток ламп одного ряда $\Phi_{R\text{р}}$:

$$\Phi_{R\text{р}} = \frac{E_{\min} \cdot K_{\text{з}} \cdot F \cdot z}{R \cdot \eta_{\text{ОУ}}}\ .$$

С учетом данных из [2, табл. 5.5, столбец – Тип лампы] выбираем по [3, табл. 5.3–5.5] тип лампы, номинальное значение светового потока $\Phi_{\text{л}}$, а также количество ламп в светильнике $n_{\text{св}}$.

Далее определяем количество светильников в одном ряду:

$$N_R = \frac{\Phi_{R\text{р}}}{n_{\text{св}} \cdot \Phi_{\text{л}}}\ ,$$

где $n_{\text{св}}$ – число ламп в одном светильнике; $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одной

лампы, лм.

Полученный результат округляем до ближайшего целого числа, после чего определяем расчетное значение светового потока одной лампы светильника:

$$\Phi_{\text{лр}} = \frac{\Phi_{R\text{р}}}{n_{\text{св}} \cdot N_R} .$$

Отличие расчетного значения светового потока лампы от фактического не более чем на -10...+20 %.

Определяем габаритные размеры светильников по [2, табл. 5.5] и сопоставляем суммарную длину ряда светильников с длиной помещения. При этом возможны следующие случаи:

а) суммарная длина светильников превышает длину помещения – необходимо или применить более мощные лампы, или увеличить число рядов, или компоновать ряды из сдвоенных, строенных и т. д. светильников;

б) суммарная длина светильников равна длине помещения – задача решается путем устройства непрерывного ряда светильников;

в) суммарная длина светильников меньше длины помещения – принимается ряд с равномерными разрывами между светильниками.

Для случая в) определяем расстояние между соседними светильниками в ряду по формуле

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l_A - N_R \cdot l_{\text{с}}}{N_R - 1},$$

где $l_{\text{с}}$ – длина одного светильника, м.

Значение L_A не должно превышать $0{,}5H_{\text{р}}$.

Метод расчета освещенности по удельной мощности является одним из упрощенных вариантов расчета освещенности с применением коэффициента использования.

Принимаем в соответствии с заданными значениями $H_{\text{р}}$, F и типом КСС по [2, табл. 6.4–6.11] значение удельной мощности общего равномерного освещения светильников $p_{\text{уд.т}}$, которое затем корректируем для приведения в соответствие всех параметров осветительной установки паспортным данным таблиц.

Значение удельной мощности в каждом конкретном случае находим пропорциональным пересчетом по формуле

$$p_{\text{уд}} = \frac{p_{\text{уд.т}} \cdot K_{\text{з}} \cdot E_{\min}}{K_{\text{з.т}} \cdot \eta \cdot 100},$$

где $p_{\text{уд.т}}$ – табличное значение удельной мощности освещения, Вт/м^2; $K_{\text{з}}$ и $K_{\text{з.т}}$ – фактический и табличный коэффициенты запаса; $E_{\min}$ – величина нормированной освещенности, лк; η – КПД выбранного светильника в относительных единицах (η = 0,5–0,8).

При использовании данных из [2, табл. 6.4–6.11] следует учитывать следующие особенности:

– если значения коэффициентов отражения поверхностей помещения отличаются от принятых в таблице (помещения более темные или более светлые), допускается соответственно увеличить или уменьшить удельную мощность на 10 %;

– значения удельной мощности для ламп накаливания указаны для напряжения 230 В;

– при использовании для освещения помещения энергоэкономичных люминесцентных ламп мощностью 36 Вт допускается определять удельную мощность по таблице для стандартных люминесцентных ламп мощностью 40 Вт.

По [3, табл. 5.1–5.10] с учетом данных из [2, табл. 5.4–5.8, столбец – Тип лампы] выбираем тип лампы, ее мощность, а также количество ламп в светильнике $n_{св}$.

Далее определяем количество светильников по формуле

$$N = \frac{p_{уд} \cdot F}{n_{св} \cdot P_{л}}.$$

Полученный результат округляем до ближайшего целого числа с учетом кратности количеству рядов R, после чего определяем расчетное значение требуемой мощности одной лампы:

$$P_{лр} = \frac{p_{уд} \cdot F}{N \cdot n_{св}},$$

Отличие расчетного значения мощности лампы от фактического не более чем на -10...+20 %.

Определяем число светильников в ряду N_R по формуле

$$N_R = \frac{N}{R}.$$

Определяем габаритные размеры светильников с люминесцентными лампами по [2, табл. 5.5] и сопоставляем суммарную длину ряда светильников с длиной помещения. При этом возможны следующие случаи:

а) суммарная длина светильников превышает длину помещения – необходимо или применить более мощные лампы, или увеличить число рядов, или компоновать ряды из сдвоенных, строенных и т. д. светильников;

б) суммарная длина светильников равна длине помещения – задача решается путем устройства непрерывного ряда светильников;

в) суммарная длина светильников меньше длины помещения – принимается ряд с равномерными разрывами между светильниками.

Для случая в) определяем расстояние между соседними светильниками в ряду по формуле

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l_A - N_R \cdot l_c}{N_R - 1},$$

где l_c – длина одного светильника, м.

Значение L_A не должно превышать 0,5 H_p.

Метод светотехнического расчёта освещения выбираем по нормируемой освещенности помещения: при $E_{min} > 100$ лк – метод коэффициента использования светового потока; при $E_{min} \leq 100$ лк – метод расчета освещенности по удельной мощности.

В расчетно-пояснительной записке привести светотехнический расчет системы общего равномерного освещения цеха по всем помещениям цеха и в табличной форме указать:

– при расчете по методу коэффициента использования следующую информацию: наименование помещения, тип КСС, размеры помещения, расчётная высота подвеса светильников, индекс помещения, коэффициенты отражения поверхностей помещения, коэффициент использования светового потока, нормированная освещённость помещения, коэффициент запаса, коэффициент неравномерности освещенности, количество светильников в помещении, количество рядов светильников в помещении, световой поток лампы (ламп одного ряда), необходимый для создания нормируемой освещенности, световой поток выбранных ИС, отклонение расчетного значения светового потока лампы от фактического, тип светильника, тип ИС, количество источников света в светильнике. Для светильников с люминесцентными лампами в таблице указать: количество светильников в ряду, длину одного светильника, расстояние от стены до ближайшего светильника в ряду, расстояние между соседними светильниками в ряду;

– при расчете освещенности методом удельной мощности в табличной форме указать следующую информацию: наименование помещения, тип КСС, размеры помещения, расчётная высота подвеса светильников, наименование помещения, тип светильника, количество светильников, КПД светильника, коэффициенты отражения поверхностей помещения, нормируемая освещенность, коэффициент запаса, табличное и установленное значения удельной мощности светильников, тип светильника, тип ИС, количество источников света в светильнике, расчетное значение требуемой мощности одной лампы, мощность выбранных источников света, отклонение расчетного значения мощности лампы от фактического, количество рядов светильников в помещении, количество светильников в помещении, количество светильников в ряду, длину одного светильника, расстояние от стены до ближайшего светильника в ряду, расстояние между соседними светильниками в ряду.

Пример. Исходные данные:

Наименование помещения	$A \times B$, м	$H_р$, м	E_{min}, лк	$K_з$	Тип светильника		R	N_R	N
					Тип	КСС			
1. Механический цех	24×15	6,5	300	1,4	РСП18	Г-1	3	4	12
2. Материальная кладовая	6×6	3,1	75	1,4	ЛСП18	Д-2	2	–	–

Выбираем следующие методы светотехнического расчёта освещения: для помещения на плане № 1 – метод коэффициентов использования светового потока; для помещения на плане № 2 – метод коэффициентов использования светового потока и метод удельной мощности.

Светотехнический расчет механического цеха

Рассчитаем индекс помещения по формуле

$$i_п = \frac{A \cdot B}{H_р \cdot (A + B)} = \frac{24 \cdot 15}{6{,}5 \cdot (24 + 15)} = 1{,}42 .$$

По [2, табл. 6.3] выбираем коэффициенты отражения поверхностей помещения: $\rho_п$ = 50 %, $\rho_с$ = 30 % и $\rho_р$ = 10 %.

По [2, табл. 6.2, *в*] для кривой силы света Г-1 и коэффициентам отражения поверхностей помещения $\rho_п$ = 50 %, $\rho_с$ = 30 %, $\rho_р$ = 10 % определяем коэффициенты использования светового потока: для $i_п$ = 1,25, $\eta_{ОУ}$ = 0,64, а для $i_п$ = 2, $\eta_{ОУ}$ = 0,76. Интерполируя эти данные, получаем значение коэффициента использования для $i_п$ = 1,42:

$$\eta_{ОУ} = 0{,}64 + \frac{(1{,}42 - 1{,}25)}{(2 - 1{,}25)}(0{,}76 - 0{,}64) \approx 0{,}67 .$$

Вычисляем значение освещаемой площади:

$$F = A \cdot B = 15 \cdot 24 = 360 \text{ м}^2 .$$

Приняв коэффициент неравномерности освещенности z = 1,15, определяем расчетное значение светового потока:

$$\Phi_{лр} = \frac{E_{min} \cdot K_з \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta_{ОУ}} = \frac{300 \cdot 1{,}4 \cdot 360 \cdot 1{,}15}{12 \cdot 0{,}67} = 21626{,}9 \text{ лм} .$$

По величине $\Phi_{лр}$ с учетом данных из [2, табл. 5.6, столбец – Тип лампы] по [3, табл. 5.6] принимаем для освещения цеха светильники типа РСП18-400-002 с лампами типа ДРЛ400(10)-4 мощностью 400 Вт со световым потоком $\Phi_л$ = 24000 лм, значение которого отличается от $\Phi_{лр}$ на величину

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_л - \Phi_{лр}}{\Phi_{лр}} \cdot 100 = \frac{24000 - 21626{,}9}{21626{,}9} \cdot 100 = +10{,}97\ \%,$$

что находится в допустимых пределах.

Светотехнический расчет материальной кладовой методом коэффициента

Определяем индекс помещения:

$$i_{\text{п}} = \frac{A \cdot B}{H_{\text{р}} \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 6}{3{,}1 \cdot (6 + 6)} = 0{,}97 .$$

По [2, табл. 6.3] выбираем коэффициенты отражения поверхностей помещения: $\rho_{\text{п}} = 50$ %, $\rho_{\text{с}} = 30$ % и $\rho_{\text{р}} = 10$ %.

По [2, табл. 6.2, *б*] для кривой силы света Д-2 и коэффициентам отражения поверхностей помещения $\rho_{\text{п}} = 70$ %, $\rho_{\text{с}} = 30$ %, $\rho_{\text{р}} = 10$ % определяем коэффициенты использования светового потока: для $i_{\text{п}} = 0{,}8$, $\eta_{\text{ОУ}} = 0{,}43$, а для $i_{\text{п}} = 1{,}25$, $\eta_{\text{ОУ}} = 0{,}56$. Интерполируя эти данные, получаем значение коэффициента использования для $i_{\text{п}} = 0{,}97$:

$$\eta_{\text{ОУ}} = 0{,}43 + \frac{(0{,}97 - 0{,}8)}{(1{,}25 - 0{,}8)}(0{,}56 - 0{,}43) \approx 0{,}48 .$$

Вычисляем значение освещаемой площади:

$$F = A \cdot B = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2 .$$

Приняв коэффициент неравномерности освещенности z = 1,1, определяем расчетное значение светового потока ламп одного ряда:

$$\Phi_{R\text{р}} = \frac{E_{\min} \cdot K_{\text{з}} \cdot F \cdot z}{R \cdot \eta_{\text{ОУ}}} = \frac{75 \cdot 1{,}4 \cdot 36 \cdot 1{,}1}{2 \cdot 0{,}48} = 4331{,}25 \text{ лм} .$$

По [3, табл. 5.4] с учетом данных из [2, табл. 5.5, столбец – Тип лампы] принимаем для освещения кладовой одноламповые светильники типа ЛСП18-18 с лампами типа ЛБ18-1 мощностью 18 Вт со световым потоком $\Phi_{\text{л}} = 1250$ лм, $n_{\text{св}} = 1$.

Находим количество светильников в ряду по формуле

$$N_R = \frac{\Phi_{R\text{р}}}{n_{\text{св}} \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{4331{,}25}{1 \cdot 1250} = 3{,}47 \approx 4 \text{ светильника.}$$

Принимаем для освещения материальной кладовой восемь светильников, расположенных в два ряда (рис. 4.2).

Расчетное значение светового потока одной лампы светильника

$$\Phi_{\text{лр}} = \frac{\Phi_{R\text{р}}}{n_{\text{св}} \cdot N_R} = \frac{4331{,}25}{1 \cdot 4} = 1082{,}8 \text{ лм} .$$

Отличие расчетного значения светового потока лампы от фактического

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{л}} - \Phi_{\text{лр}}}{\Phi_{\text{лр}}} \cdot 100 = \frac{1250 - 1082{,}8}{1082{,}8} \cdot 100 = +15{,}4 \text{ %},$$

что находится в допустимых пределах.

По [2, табл. 5.5] определяем длину светильника ЛСП18-18 $l_с$ = 720 мм, расстояние от торцов крайних светильников до стен принимаем l_A = 0,5 м. Тогда расстояние между светильниками в ряду

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l_A - N_R \cdot l_с}{N_R - 1} = \frac{6 - 2 \cdot 0{,}5 - 4 \cdot 0{,}72}{4 - 1} = 0{,}7 \text{ м}.$$

Расстояние между соседними светильниками не превышает 0,5 $H_р$ (0,7 м < 1,55 м).

Полученные результаты сводим в таблицу 5.1.

Светотехнический расчет материальной кладовой методом удельной мощности

Вычисляем значение освещаемой площади:

$$F = A \cdot B = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2.$$

Для светильника типа ЛСП18 по [2, табл. 5.5] находим КПД: η = 0,7. При $H_р$ = 3,1 м, F = 36 м^2 и КСС типа Д-2 по [2, табл. 6.8] определяем табличное значение удельной мощности общего равномерного освещения светильников $p_{уд.т}$ = 3,7 Вт/м^2. Но так как в таблице это значение соответствует E = 100 лк, $K_з$ = 1,5 и КПД = 100 %, пропорциональным пересчетом определяем значение удельной мощности для данных условий:

$$p_{уд} = \frac{p_{уд.т} \cdot K_з \cdot E_{min}}{K_{з.т} \cdot \eta \cdot 100} = \frac{3{,}7 \cdot 1{,}4 \cdot 75}{1{,}5 \cdot 0{,}7 \cdot 100} = 3{,}7 \text{ Вт/м}^2.$$

По [3, табл. 5.4] с учетом данных из [2, табл. 5.5, столбец – Тип лампы] принимаем для освещения кладовой одноламповые светильники типа ЛСП18-18 с лампами типа ЛБ18-1 мощностью 18 Вт, $n_{св}$ = 1.

Таблица 5.1 – Результаты светотехнического расчёта цеха по методу коэффициентов использования светового потока

Наименование помещения		Механический цех	Материальная кладовая
1		2	3
Тип КСС		Г-1	Д-2
Длина помещения A, м		24	6
Ширина помещения B, м		15	6
Расчётная высота подвеса светильников $H_р$, м		6,5	3,1
Индекс помещения $i_п$		1,42	0,97
Коэффициенты отражения поверхностей помещения	$ρ_п$, %	50	70
	$ρ_с$, %	30	30
	$ρ_р$, %	10	10
Коэффициент использования светового потока $η_{ОУ}$, о. е.		0,67	0,48

Окончание таблицы 5.1

1	2	3
Нормированная минимальная освещённость E_{min}, лк	300	75
Коэффициент запаса $K_з$	1,4	1,4
Коэффициент неравномерности освещенности z	1,15	1,1
Количество светильников в помещении N, шт	12	–
Количество рядов светильников в помещении R, шт	3	2
Световой поток ламп одного ряда, необходимый для создания нормируемой освещенности $Ф_{Rр}$, лм	–	4331,25
Световой поток лампы, необходимый для создания нормируемой освещенности $Ф_{лр}$, лм	21626,9	1082,9
Световой поток выбранных источников света $Ф_л$, лм	24000	1250
Отклонение расчетного значения светового потока лампы от фактического ΔФ, %	+10,97	+15,4
Тип светильника	РСП18-400-002	ЛСП18-18
Тип источника света	ДРЛ400(10)-4	ЛБ18-1
Количество источников света в светильнике $n_{св}$, шт	1	1
Размещение светильников (с ЛЛ)		
Количество светильников в ряду N_R, шт		4
Длина одного светильника $l_с$, м		0,72
Расстояние от стены до ближайшего светильника в ряду l_A, м		0,5
Расстояние между соседними светильниками в ряду L_A, м		0,7

Определяем количество светильников по формуле

$$N = \frac{p_{уд} \cdot F}{n_{св} \cdot P_л} = \frac{3{,}7 \cdot 36}{1 \cdot 18} = 7{,}4 .$$

Так как R = 2, то принимаем N = 8. Определяем расчетное значение требуемой мощности одной лампы:

$$P_{лр} = \frac{p_{уд} \cdot F}{N \cdot n_{св}} = \frac{3{,}7 \cdot 36}{8 \cdot 1} = 16{,}65 \text{ Вт} .$$

Отличие расчетного значения мощности лампы от фактического

$$\Delta P = \frac{P_л - P_{лр}}{P_{лр}} \cdot 100 = \frac{18 - 16{,}65}{16{,}65} \cdot 100 = +8{,}1\,\%$$

Определяем число светильников в ряду N_R по формуле

$$N_R = \frac{N}{R} = \frac{8}{2} = 4 \text{ светильника.}$$

По [2, табл. 5.5] определяем длину светильника ЛСП18-18 $l_с$ = 720 мм, расстояние от торцов крайних светильников до стен принимаем l_A = 0,5 м. Тогда расстояние между светильниками в ряду

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l_A - N_R \cdot l_c}{N_R - 1} = \frac{6 - 2 \cdot 0{,}5 - 4 \cdot 0{,}72}{4 - 1} \approx 0{,}7 \text{ м}.$$

Расстояние между соседними светильниками не превышает 0,5 $H_р$ (0,7 м < 1,55 м).

Полученные результаты сводим в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты светотехнического расчёта цеха по методу удельной мощности

Наименование помещения		Материальная кладовая
Тип КСС		Д-2
Длина помещения A, м		6
Ширина помещения B, м		6
Расчётная высота подвеса светильников $H_р$, м		3,1
КПД светильника, %		70
Коэффициенты отражения поверхностей помещения	$\rho_п$, %	70
	$\rho_с$, %	30
	$\rho_р$, %	10
Нормированная минимальная освещённость E_{min}, лк		75
Коэффициент запаса $K_з$		1,4
Табличное значение удельной мощности светильников $p_{уд.т}$, Вт/м^2		3,7
Установленное значение удельной мощности светильников $p_{уд}$, Вт/м^2		3,7
Тип светильника		ЛСП18-18
Тип источника света		ЛБ18-1
Количество источников света в светильнике $n_{св}$, шт		1
Расчетное значение требуемой мощности одной лампы $P_{лр}$, Вт		16,65
Мощность выбранных источников света $P_л$, Вт		18
Отклонение расчетного значения мощности лампы от фактического ΔP, %		+8,1
Количество рядов светильников в помещении R, шт		2
Количество светильников в помещении N, шт		8
Количество светильников в ряду N_R, шт		4
Длина одного светильника $l_с$, м		0,72
Расстояние от стены до ближайшего светильника в ряду l_A, м		0,5
Расстояние между соседними светильниками в ряду L_A, м		0,7

6 ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ СВЕТА, ТИПА СВЕТИЛЬНИКОВ И ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ, СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭВАКУАЦИОННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЦЕХА

Аварийное освещение обеспечивает требуемую освещенность при внезапном отключении рабочего освещения. Данный вид освещения разделяется на освещение безопасности и эвакуационное. В большинстве случаев в помещениях устраивается какой-либо один вид аварийного освещения.

Для аварийного освещения либо устанавливаются дополнительные светильники, либо используется часть светильников рабочего освещения, которые питаются от другого источника или при исчезновении напряжения переключаются на резервный источник.

При выполнении эвакуационного освещения обычно ограничиваются установкой светильников только по линии основных проходов.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) в помещениях 0,5 лк, на открытых территориях – 0,2 лк.

Для аварийного освещения можно применять:

1) лампы накаливания;

2) люминесцентные лампы – в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 5 °С при условии, что во всех режимах напряжение, подводимое к лампам, имеет величину не ниже 90 % номинального;

3) разрядные лампы высокого давления при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем (после кратковременного отключения питающего напряжения), так и в холодном состоянии.

В большинстве случаев если рабочее освещение выполнено *разрядными лампами высокого давления* (ДРЛ, ДРН, ДНаТ и др.), то в качестве источников света эвакуационного освещения используются *лампы накаливания*, если рабочее освещение выполнено *люминесцентными лампами*, то и эвакуационное освещение выполняется *люминесцентными лампами*.

Световые приборы эвакуационного освещения допускается предусматривать горящими, включаемыми одновременно со световыми приборами рабочего освещения, а также не горящими, автоматически включаемыми при прекращении питания рабочего освещения. Если для аварийного освещения используются светильники с газоразрядными лампами, то их, как правило, выделяют из состава светильников рабочего освещения, подключая к независимому источнику питания.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность в проходах, проездах, а также выходах и выездах из помещений.

Для эвакуационного освещения определить тип источника света и соответствующий ему тип светильника, произвольно разместить их на плане помещения (в проходах, у выходов) и точечным методом выполнить светотехнический расчет.

При расчетах, проводимых точечным методом, светильник представляется точечным, т. е. его размеры считаются малыми по сравнению с расстоянием до освещаемой им точки пространства (его размеры не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки).

Расчетная точка освещается практически всеми светильниками, находящимися в помещении, однако учитывают обычно только действие ближайших световых приборов.

В качестве контрольных выбираются точки с наименьшей освещенностью, но не следует их принимать у стен или в углах помещения.

При расположении светильников рядами контрольная точка выбирается между рядами на расстоянии от торцевой стены, примерно равном расчетной высоте.

Расчет освещенности на горизонтальной плоскости осуществляем в следующем порядке:

а) определяем тангенс угла падения светового луча в расчетную точку

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{d}{H_{\text{р}}},$$

где d – расстояние от расчетной точки до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярную и проходящую через расчетную точку, м;

б) по найденному значению tg α определяем угол α;

в) по КСС принятого светильника с условной лампой со световым потоком 1000 лм для найденного угла α определяем силу света по [2, табл. 6.12] путем линейной интерполяции и рассчитываем значение освещенности, создаваемой этим светильником:

$$E_{(1000)} = \frac{I_{\alpha(1000)} \cdot \cos^3 \alpha}{H_{\text{р}}^2};$$

г) по [3, табл. 5.1–5.5] с учетом данных из [2, табл. 5.4–5.8, столбец – Тип лампы] выбираем тип лампы, ее мощность и световой поток. Максимальная мощность для источников света аварийного освещения: ЛН – до 200 Вт; ЛЛ – до 80 Вт;

д) определяем искомую освещенность от светильника со световым потоком $\Phi_{\text{л}}$:

$$E = \frac{E_{(1000)} \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \mu}{K_{\text{з}} \cdot 1000},$$

где $K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса (определен в пункте 2); μ – коэффициент дополнительной освещенности, учитывающий освещенность, создаваемую от неучтенных светильников, стен и потолка (принимается равным 1,1–1,2).

В случае, когда расчетная точка освещается несколькими источниками света, необходимо рассчитать освещенности от каждого источника, а искомая освещенность определяется как их сумма:

$$\sum_{i=1}^{n} E = E_1 + E_2 + \ldots + E_n;$$

е) оценить освещенность с точки зрения обеспечения ею необходимой нормы эвакуационного освещения. В этом случае необходимо опасаться выбора источника света завышенной мощности.

Если для аварийного освещения не устанавливаем дополнительные светильники, а используем часть светильников рабочего освещения, то по уже известной мощности источника света (из пункта 5) рассчитываем фактическую освещенность в характерных точках, выбранных предварительно на плане

помещения. И далее оцениваем освещенность с точки зрения обеспечения ею необходимой нормы эвакуационного освещения.

В расчетно-пояснительной записке необходимо привести в масштабе фрагмент плана основного помещения цеха с расположением светильников эвакуационного освещения и указать на нем характерные точки (не менее 2).

По данному пункту пояснительной записки привести следующую информацию: контрольные точки, расстояние *d*, тангенс угла падения светового луча в расчетную точку, освещенность в контрольных точках от светильника с условной лампой в 1000 лм, искомую освещенность, тип источника света, тип светильника.

Пример. Исходные данные:

Наименование помещения	$K_з$	$H_р$, м	$h_р$, м	Тип светильника		
				Тип	Степень защиты	КСС
Сборочный цех	1,4	6,5	0,8	РСП18	*IP*20	Г-1

Установка эвакуационного освещения обязательна в основном помещении цеха. Располагаем его рядом с рабочим освещением, крепим аналогично. Также эвакуационное освещение предусматриваем при выходе, над дверным проёмом цеха. Так как рабочее освещение выполнено светильниками с газоразрядными лампами, то в качестве ИС эвакуационного освещения используем светильники с лампами накаливания.

Выбираем светильник типа НСП03 (светильники с лампой накаливания, подвесные для промышленных предприятий) с КСС типа М, степень защиты согласно [2, табл. 5.4] – *IP*54. Над выходом из цеха устанавливаем световой указатель «Выход», в качестве которого принимаем светильник НБП01-60-002 с лампой накаливания Б215-225-60. Все указанные светильники питаются от щитка аварийного освещения.

Для расчета эвакуационного освещения воспользуемся точечным методом расчёта освещенности.

На плане помещения с известным расположением светильников (рис. 6.1) намечаем контрольные точки 1 и 2, в которых ожидается наименьшая освещенность. В соответствии с нормативными требованиями аварийное эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность на полу основных проходов не менее 0,5 лк. Для того чтобы проверить, выполняется ли это требование при принятом расположении светильников эвакуационного освещения, рассчитаем освещенность, создаваемую ими в контрольных точках.

Определим освещенность, создаваемую в контрольной точке 1 ближайшими светильниками аварийного освещения. Для аварийного освещения расчетная высота определяется расстоянием от светильника до пола, т. е. $H_р + h_р$.

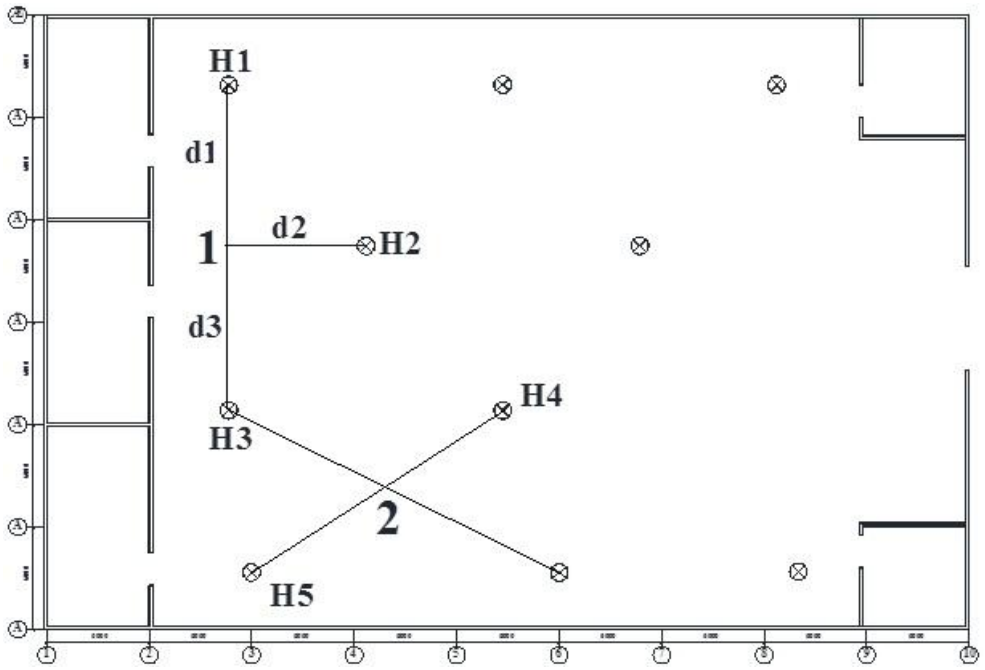


Рисунок 6.1 – Эвакуационное освещение сборочного цеха

По плану находим $d_1 = d_3 = 10$ м, $d_2 = 8{,}3$ м.

Определяем тангенс угла падения светового луча в расчетную точку от светильников Н1 и Н3:

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{d_1}{H_\text{р} + h_\text{р}} = \frac{10}{6{,}5 + 0{,}8} = 1{,}37 \;\Rightarrow\; \alpha_1 = \alpha_3 = 53{,}9°.$$

Определяем тангенс угла падения светового луча в расчетную точку от светильника Н2:

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{d_2}{H_\text{р} + h_\text{р}} = \frac{8{,}3}{6{,}5 + 0{,}8} = 1{,}14 \;\Rightarrow\; \alpha_2 = 48{,}7°.$$

Для КСС типа М светильника с условной лампой со световым потоком 1000 лм определяем силу света по [2, табл. 6.12], получаем для $\alpha_1 = \alpha_3 = 53{,}9°$ и $\alpha_2 = 48{,}7°$ – $I_{\alpha(1000)} = 159{,}2$ кд.

Определяем освещенность $E_{(1000)}$ в точке 1:

– от светильника Н1 (или Н3) с условной лампой в 1000 лм

$$E_{(1000)} = \frac{I_{\alpha(1000)} \cdot \cos^3\alpha}{\left(H_\text{р} + h_\text{р}\right)^2} = \frac{159{,}2 \cdot \cos^3 53{,}9°}{7{,}3^2} = 0{,}61 \text{ лк};$$

– от светильника Н2 с условной лампой в 1000 лм

$$E_{(1000)} = \frac{I_{\alpha(1000)} \cdot \cos^3\alpha}{\left(H_\text{р} + h_\text{р}\right)^2} = \frac{159{,}2 \cdot \cos^3 48{,}7°}{7{,}3^2} = 0{,}86 \text{ лк}.$$

Аналогично рассчитывается освещенность в точке 2 от светильников Н3, Н4, Н5, Н6 (в расчетно-пояснительной записке расчет показать).

Пусть наихудшей по освещенности оказывается точка 1, для которой суммарная освещенность $\sum E_{1000}$ = 0,61 + 0,86 + 0,61 = 2,08 лк.

По [3, табл. 5.1] с учетом данных из [2, табл. 5.4] принимаем для эвакуационного освещения светильники типа НСП03-60-01 с лампами типа Б215-225-60 мощностью 60 Вт со световым потоком $\Phi_л$ = 730 лм.

Определяем искомую освещенность в контрольной точке 1, принимая коэффициент μ = 1,1:

$$\sum_{i=1}^{3} E = \frac{\sum_{i=1}^{3} E_{1000} \cdot \Phi_л \cdot \mu}{K_з \cdot 1000} = \frac{(0{,}61 + 0{,}86 + 0{,}61) \cdot 730 \cdot 1{,}1}{1{,}4 \cdot 1000} = 1{,}19 \text{ лк}.$$

Так как 1,19 > 0,5 лк, то можно сделать вывод о том, что контрольная точка освещается в достаточной мере.

Полученные результаты сводим в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты расчета освещенности

Контрольная точка	№ СП	*d*, м	α, град	Освещенность E_{1000} в контрольных точках, лк		Искомая освещенность $\sum E$, лк	Тип светильника	Тип источника света
				от одного светильника	$\sum E_{1000}$			
1	Н1	10,0	53,9	0,61	2,08	1,19	НСП03-60-01-	Б215-225-60
	Н2	8,3	48,7	0,86				
	Н3	10,0	53,9	0,61				
2	Н3	*)	*)	*)	*)	–		
	Н4	*)	*)	*)				
	Н5	*)	*)	*)				
	Н6	*)	*)	*)				

*) Заполняем по ходу расчетов.

7 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПИТАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для обеспечения электроэнергией осветительных приборов необходимы электрические сети, которые условно делятся на питающие, распределительные и групповые. К питающей сети относятся линии, проложенные от шин напряжением до 1 кВ распределительных устройств (РУ) трансформаторных подстанций (ТП) до вводно-распределительных устройств (ВРУ), вводных устройств (ВУ) или главных распределительных щитов (ГРЩ), к распределительной – от ВРУ, ВУ или ГРЩ до групповых щитков, а к групповой – линии от групповых щитков до светильников или розеток.

Рабочее освещение питается, как правило, самостоятельными линиями от шин РУ до 1 кВ ТП или от головных участков магистральных шинопроводов (рис. 7.1). Питающая осветительная сеть в большинстве случаев выполняется двухступенчатой (рис. 7.2). К первой ступени относятся линии, связывающие ТП с промежуточными распределительными щитками освещения (РЩО), а ко второй – линии от РЩО до групповых щитков. Иногда РЩО называются также магистральными щитками. В небольших цехах РЩО могут не устанавливаться, а питающая одноступенчатая сеть присоединяется непосредственно к групповым щиткам (рис. 7.3) [2, п. 7.5].

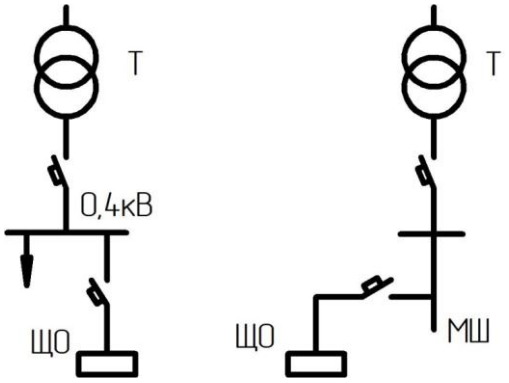


Рисунок 7.1 – Схемы присоединения осветительных установок:
а – к шинам РУ ТП; *б* – к магистральному шинопроводу;
ЩО – щиток рабочего освещения; МШ – магистральный шинопровод

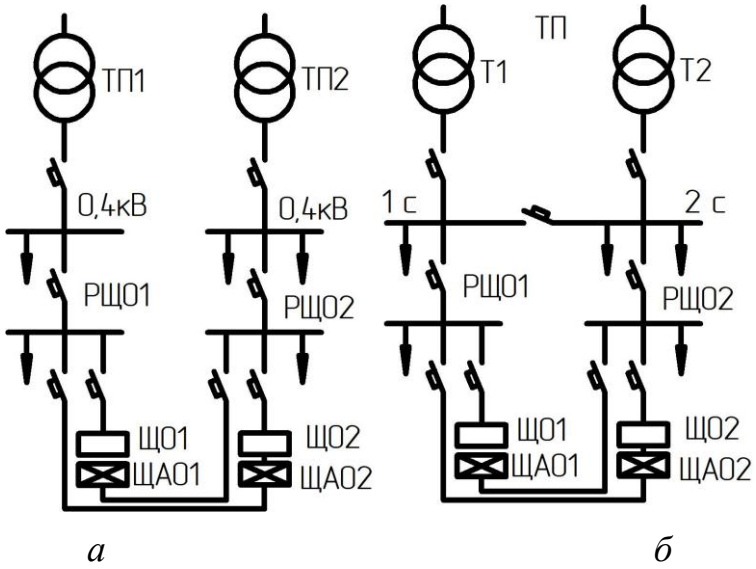


Рисунок 7.2 – Двухступенчатые схемы питания рабочего и аварийного освещения: *а* – от двух однотрансформаторных подстанций;
б – от одной двухтрансформаторной подстанции;
ЩО и ЩАО – групповые щитки рабочего и аварийного освещения

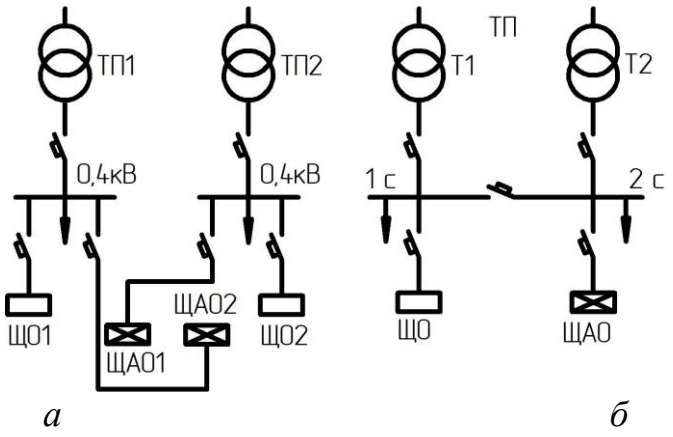


Рисунок 7.3 – Одноступенчатые схемы питания рабочего и аварийного освещения: *а* – от двух однотрансформаторных подстанций; *б* – от одной двухтрансформаторной подстанции

Светильники и световые указатели эвакуационного освещения в производственных зданиях с естественным освещением, в общественных и жилых зданиях должны быть присоединены к сети, не связанной с сетью рабочего освещения, начиная от щита подстанций (распределительного пункта освещения) или, при наличии только одного ввода, начиная от вводного распределительного устройства.

Питающие сети для осветительной установки и силового электрооборудования рекомендуется выполнять раздельными линиями. В начале каждой питающей линии устанавливаются аппараты защиты и отключения. В начале групповой линии обязательно устанавливается аппарат защиты, а отключающий аппарат может не устанавливаться при наличии таких аппаратов по длине линии.

При питании внутреннего освещения от КТП нецелесообразно использовать мощные линейные автоматические выключатели для защиты линий питающей сети, так как их номинальные данные могут быть значительно выше мощности линий. Поэтому вблизи КТП устанавливаются магистральные щитки с автоматическими выключателями, от которых питаются групповые щитки.

Некоторые типовые схемы питания осветительных установок производственных зданий приведены в ПРИЛОЖЕНИИ А.

В данной курсовом проекте в зависимости от варианта задания источником питания (ИП) осветительной установки может быть трансформаторная подстанция (ТП 10/0,4-0,23), если в исходных данных имеется помещение КТП или вводно-распределительное устройство (ВРУ), если на плане цеха – помещение электрощитовой.

К ИП присоединяются групповые щитки освещения по радиальной, магистральной схеме или же через магистральный щиток освещения. В основном помещении цеха должен быть предусмотрен щиток эвакуационного освещения.

При разработке схемы питания ОУ необходимо учесть, что электрическая сеть в соответствии с нормативно-правовой документации [4] должна быть

выполнена по системе заземления типа TN-S или TN-C-S.

По данному пункту пояснительной записки привести описание и обоснование предлагаемой схемы питания осветительной установки.

Пример. Исходные данные: план сборочного цеха (рис. 6.1).

Питание осветительных установок осуществляем от двухтрансформаторной подстанции ТП 10/0,4-0,23, расположенной в самом проектируемом цехе (помещение № 3 КТП).

В соответствии с нормативно-правовой документацией для вновь строящихся и реконструируемых предприятий применяем систему заземления электрической сети TN-S (пятипроводная: три фазы, рабочий нулевой, защитный нулевой, проводники для питания ЩО и светильников основного помещения и трехпроводная: одна фаза, рабочий и защитный нулевой для питания светильников вспомогательных помещений и аварийного освещения).

Намечаем два групповых щитка ЩО1 и ЩО2 по разные стороны цеха, т. к. вспомогательные помещения в цеху находятся в разных сторонах цеха. Питание групповых щитков (ЩО1 и ЩО2) рабочего освещения осуществляется от РУ-0,4 кВ КТП через магистральный щиток, т. к. количество линейных автоматов в панели РУ-0,4 кВ КТП ограничено. От КТП до МЩО осветительная сеть будет питаться по магистральной линии, а от МЩО к ЩО1 и ЩО2 – по радиальной. Радиальная схема выбрана для увеличения надежности осветительной сети, т. к. при коротком замыкании отключается групповая сеть одного щитка.

Питание щитков аварийного освещения должно иметь самостоятельное от независимого источника, т. к. в данном проекте в качестве источников питания указана двухтрансформаторная КТП, то питания щитка ЩО1а осуществляем от второго трансформатора питающей КТП.

Питание групповых щитков (ЩО1 и ЩО2) рабочего освещения осуществляется через магистральный щиток (МЩО), непосредственно от КТП через трансформатор Т1. Питание щитков аварийного освещения (ЩО1а) осуществляем отдельно от питания рабочего освещения, непосредственно от КТП через трансформатор Т2. Схема питания электрического освещения цеха представлена на рисунке 7.4.

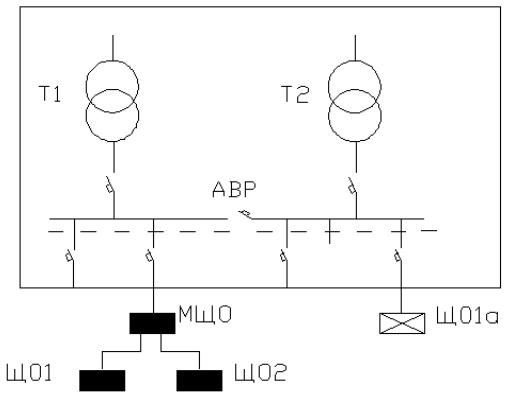


Рисунок 7.4 – Схема питания электрического освещения цеха от двухтрансформаторной подстанции

8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЩИТКОВ ОСВЕЩЕНИЯ И ТРАССЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Осветительные щитки предназначены для приема и распределения электроэнергии в осветительных установках. С помощью электрических аппаратов, установленных в щитках, осуществляется управление освещением, а также защита отходящих линий от сверхтоков. В осветительных установках применяются распределительные (магистральные) и групповые щитки.

Распределительные щитки являются промежуточными звеньями в осветительной сети. К ним присоединяются линии, питающие групповые щитки. Использование таких щитков в производственных зданиях позволяет уменьшить суммарную длину осветительной сети и дает возможность более рационально использовать автоматические выключатели с большими номинальными токами, которые устанавливаются в распределительном устройстве напряжением до 1 кВ трансформаторной подстанции.

Групповой щиток представляет собой электрическое распределительное устройство с аппаратами защиты и управления (или только защиты) для линий групповой осветительной сети. Групповые щитки служат для подключения линий, питающих непосредственно световые приборы и розетки.

Щитки освещения должны располагаться:

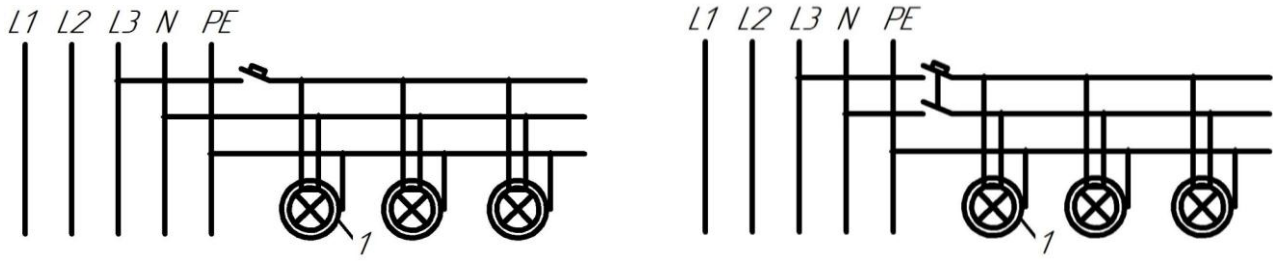
а) по возможности ближе к центру питаемых ими нагрузок (это уменьшает протяженность групповой сети, а, следовательно, и расход проводникового материала);

б) таким образом, чтобы обеспечивалось удобство управления освещением (у входов; в проходах и т. п.);

в) чтобы в осветительной сети отсутствовали или имели место минимальные обратные потоки электроэнергии, вызывающие дополнительные потери мощности и энергии, потери напряжения.

Места расположения щитков освещения должны определяться одновременно с разработкой схемы питания осветительной установки, что в совокупности в свою очередь определяет трассу электрической сети.

Групповые сети обычно выполняются в виде магистральных одно-, двух- и трехфазных линий. На рисунках 8.1–8.3 приведены схемы групповых линий освещения в трехфазных электроустановках с глухозаземленной нейтралью при подключении световых приборов на фазное напряжение.



а *б*

Рисунок 8.1 – Схемы однофазных групповых линий при трехфазной системе с нулевыми проводниками: *а* – с однополюсным автоматическим выключателем; *б* – с двухполюсным автоматическим выключателем, применяемая во взрывоопасных зонах класса В-I; *L*1, *L*2, *L*3 – фазные проводники; *N* – нулевой рабочий проводник; *PE* – нулевой защитный проводник; 1 – корпус светильника

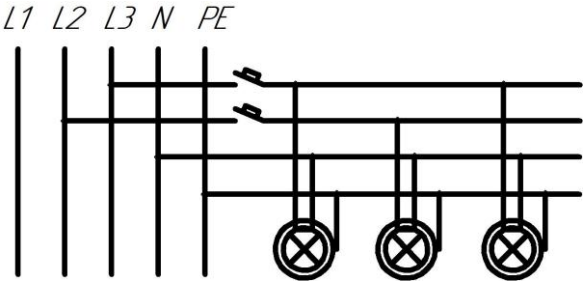
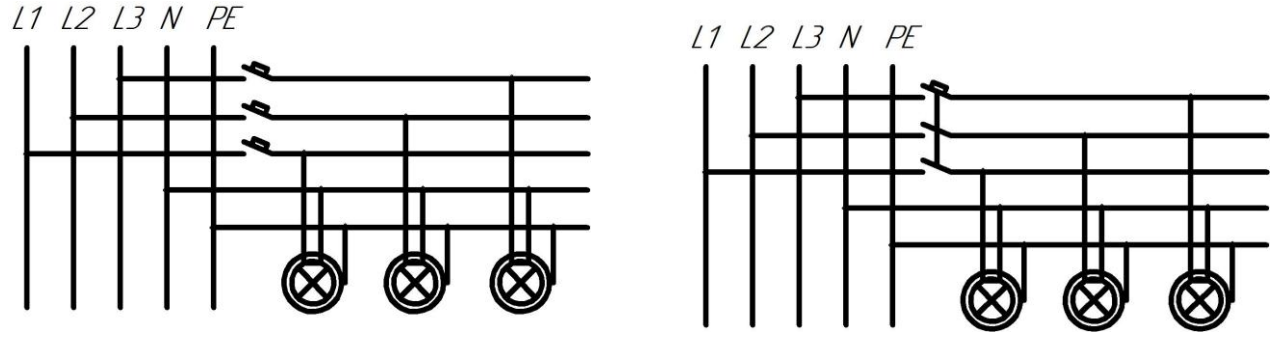


Рисунок 8.2 – Схема двухфазной групповой линии при трехфазной системе с нулевыми проводниками



а *б*

Рисунок 8.3 – Схема трехфазных групповых линий с нулевыми проводниками: *а* – с применением однополюсных автоматических выключателей; *б* – с применением трехполюсных автоматических выключателей

Каждая линия должна иметь по всей длине *одинаковое число проводников одного и того же сечения*. Расстояния между точками присоединения светильников к групповой линии должны быть одинаковыми в пределах

проектируемого производственного помещения, что необходимо для создания равномерной освещенности по площади цеха. Основанием для применения трехфазных групп является большая допустимая нагрузка и длина линий по сравнению с однофазными, существенное сокращение суммарной длины проводов и кабелей, а также уменьшение расхода цветного металла при сооружении осветительной сети. Трехфазные линии обязательны, когда для снижения пульсаций светового потока и проявлений стробоскопического эффекта требуется применять чередование фаз при подключении светильников с газоразрядными лампами.

Возможны три варианта распределения ламп между фазами *L*1, *L*2, *L*3 в трехфазной группе, показанные на рисунке 8.4.

Наиболее часто на практике применяется распределение светильников по фазам, показанное на линии С2. Такое распределение обеспечивает в максимальной степени снижение пульсаций и относительно равномерную освещенность помещения при отключении одной или двух фаз линии.

При подключении светильников к групповой линии следует обеспечивать по возможности равномерную загрузку фаз.

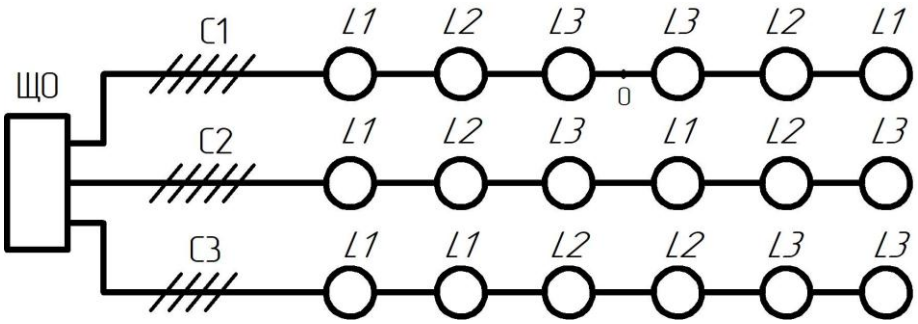


Рисунок 8.4 – Распределение ламп между фазами: ЩО – щиток осветительный; С1–С3 – групповые линии

При компоновке сети можно пользоваться следующими рекомендациями. Однофазные групповые линии целесообразно применять в помещениях, имеющих небольшую площадь, а также в средних и крупных по площади помещениях, освещаемых не часто установленными светильниками с люминесцентными лампами и лампами накаливания небольшой мощности. Трехфазные групповые линии рационально применять в больших помещениях, освещаемых мощными светильниками с лампами накаливания, газоразрядными лампами высокого давления, а также люминесцентными светильниками, размещенными непрерывными рядами. Двухфазные линии на практике применяются довольно редко.

Каждая групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, газоразрядных ламп типов ДРЛ, ДРИ или ДНаТ.

Трасса электрической сети должна проходить таким образом, чтобы она охватывала значительное число щитков освещения, и при этом обеспечивался бы минимум обратных потоков электроэнергии.

Необходимо указать места расположения щитков освещения и обосновать выбор этих мест и трассы электрической сети.

Пример. Исходные данные: план цеха (рис. 6.1), схема питания электрического освещения цеха от двухтрансформаторной подстанции (рис. 7.4).

Щиток ЩО1 располагаем на стене справа от центрального входа. От щитка ЩО1 будет питаться полностью рабочее освещение основного помещения сборочного цеха по четырем 3-фазным линиям, выполненным пятижильными кабелями. В каждой линии будет находиться по 4–5 светильников РСП18-400-002, с лампами ДРЛ400(10)-4 мощностью 400 Вт. Также от ЩО1 запитаны светильники помещения гардероба (№ 4) и склада продукции (№ 5) по двум 1-фазным линиям, выполненным трехжильными кабелями.

Щиток ЩО2 располагаем на стене помещения кабинета технолога (№ 3) для уменьшения протяженности электрической сети и рядом с помещениями, в которых расположены светильники, подключенные к ЩО2. От ЩО2 питаются три 1-фазных линии (трехжильный кабель): светильники помещений КТП, кабинета технолога (№ 3), санузла (№ 6).

Магистральный щиток МЩО будет располагаться на правой стене цеха, рядом с помещением КТП.

Щиток аварийного освещения ЩО1а питаем по отдельной линии от КТП. Эвакуационное освещение будем питать по пяти 1-фазным линиям. Четыре линии питают четыре ряда светильников НСП21-60-005 с лампами типа Б215-225-60 мощностью 60 Вт аварийного освещения. Пятая линия питает указательные светильники аварийного выхода НБП01-60-002.

Трасса электрической сети будет проходить по стене цеха в четырех направлениях: первая – от КТП к щитку МЩО; вторая – от щитка МЩО к щитку ЩО1; третья – от щитка МЩО к щитку ЩО2; четвертая – от КТП к щитку ЩО1а.

Схема расположения щитков освещения и трассы электрической сети цеха представлена на рисунке 8.5.

Места установки щитков выбраны для удобства обслуживания, а также для уменьшения длины групповых линий и потерь напряжения в осветительных сетях.

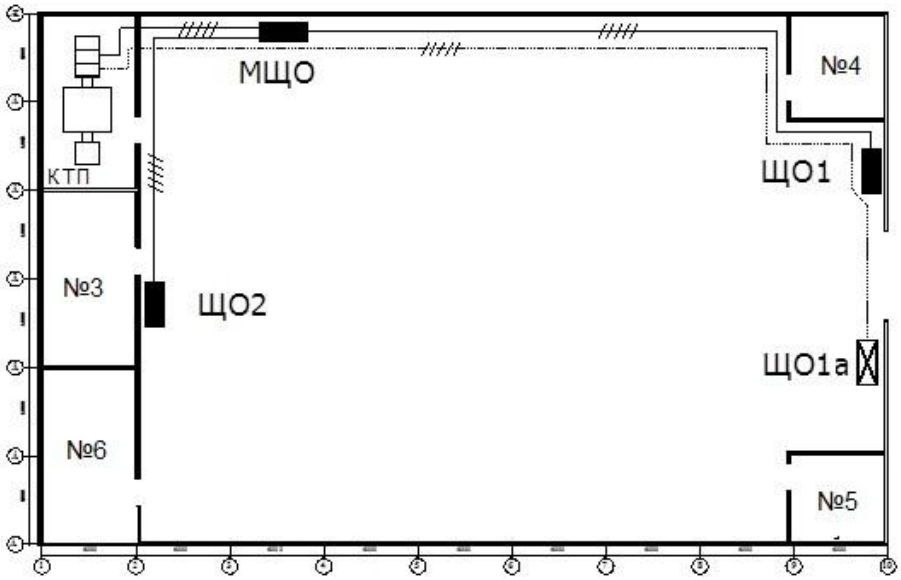


Рисунок 8.5 – Схема расположения щитков освещения и трассы электрической сети: № 3 – кабинета технолога, № 4 – гардероб, № 5 – склада продукции; № 6 – санузел

9 ВЫБОР ТИПА ЩИТКОВ ОСВЕЩЕНИЯ, МАРКИ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ И СПОСОБОВ ИХ ПРОКЛАДКИ

Основными факторами, определяющими выбор щитков освещения, являются: количество присоединяемых к ним линий, условия окружающей среды и способ установки [2, с. 398–408].

Наиболее совершенными являются щитки с автоматическими выключателями. Выпускаются они с вводным автоматом или без него, с количеством линейных автоматов от 3 до 30. В щитках могут быть однофазные, трехфазные или совместно одно и трехфазные линейные автоматические выключатели.

На промышленных объектах в осветительных установках могут применяться осветительные щитки типа ЯОУ8500, ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ, ЩО8505, ЩРО8505, распределительные пункты типа ПР8501 и др. [2, табл. 8.20–8.25]. Осветительные щитки и распределительные пункты выпускаются с автоматическими выключателями, технические характеристики которых представлены в [2, табл. 8.26–8.30].

По [2, табл. 8.20–8.25] выполнить выбор щитков освещения и в табличной форме привести следующую информацию: условное наименование щитка на плане, фактическое количество одно и трехфазных присоединений, тип щитка, количество одно и трехфазных автоматов в щитке, тип автоматов, способ установки.

В осветительных электрических сетях зданий применяются изолированные провода и кабели. Широко используются кабели *марок ВВГ и АВВГ* с медными и алюминиевыми жилами, с поливинилхлоридной изоляцией жил, в поливинилхлоридной оболочке без защитного покрова (голый).

В осветительных сетях производственных предприятий из экономических соображений, как правило, применяются провода и *кабели с алюминиевыми жилами*.

Проводники с медными жилами необходимо использовать в следующих случаях: для помещений со средой, химически активной по отношению к алюминию; для ввода в пускорегулирующие аппараты и осветительные приборы, питаемые на напряжении 400 В; во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Ia; для присоединения к сети переносных и передвижных осветительных приборов и др.

Осветительные электропроводки могут быть открытыми и скрытыми.

Открытая электропроводка прокладывается по поверхности стен и потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений, на опорах и т. п. Из большого числа различных способов выполнения открытой электропроводки многолетняя практика отобрала ряд наиболее рациональных способов, к которым можно отнести прокладку в трубах, коробах, на лотках и тросах, а также непосредственно по строительным основаниям: стенам и потолкам. Такие способы получили широкое распространение в зданиях промышленных предприятий.

Скрытая электропроводка размещается внутри конструктивных элементов зданий и сооружений (в стенах, полах, фундаментах, перекрытиях), а также по перекрытиям в подготовке пола, непосредственно под съемным полом и т. п. В общественных, административных и жилых зданиях практически всегда предусматривается скрытая проводка.

При скрытой электропроводке провода и кабели прокладываются в трубах, гибких металлорукавах, глухих коробах (без крышек), замкнутых каналах и пустотах строительных конструкций, в заштукатуренных бороздах, под штукатуркой, а также замоноличиваются в строительные конструкции при их изготовлении.

Основными факторами, определяющими выбор способов прокладки проводов и кабелей, являются: условия окружающей среды, наличие соответствующих строительных конструкций (плит перекрытия, ферм и т. д.), возможность применения индустриальных способов монтажа (способы, обеспечивающие скоростной монтаж), технико-экономические и эстетические соображения. Для конкретного выбора способа прокладки проводов и кабелей можно использовать литературу [2–4].

По ГОСТ 30331.15-2001 [5] следует учесть, что изолированные провода допускается прокладывать только в трубах, коробах и на изоляторах. Не допускается прокладывать изолированные провода скрыто под штукатуркой, в бетоне, в кирпичной кладке, в пустотах строительных конструкций, а также открыто по поверхности стен и потолков, на лотках, на тросах и других

конструкциях. В этом случае должны применяться изолированные провода с защитной оболочкой или кабели.

Результаты выбора проводов, кабелей и способов их прокладки оформить в табличной форме со следующей информацией: наименование участка, марки провода или кабеля, способ прокладки.

Пример. Исходные данные: план сборочного цеха (рис. 6.1), схема питания электрического освещения цеха от двухтрансформаторной подстанции (рис. 7.4), схема расположения щитков освещения и трассы электрической сети цеха (рис. 8.5).

В качестве магистрального щитка МЩО по [2, табл. 8.25] выбираем пункт распределительный осветительный ПР41-4302-43У4 (четыре трехполюсных автоматических выключателя АЕ2046).

В качестве щитка рабочего освещения ЩО1, от которого будет питаться рабочее освещение основного помещения сборочного цеха по четырем 3-фазным линиям, рабочее освещение гардероба (№ 4) и склада продукции (№ 5) по двум 1-фазным линиям, по [2, табл. 8.22] выбираем осветительный групповой щиток ЩО8505-1215 (пятнадцать однополюсных автоматических выключателей ВА61F29-1В).

В качестве щитка аварийного освещения ЩО1а по [2, табл. 8.22] выбираем осветительный групповой щиток ЩО8505-0206 (шесть однополюсных автоматических выключателей ВА61F29-1В).

Способ установки щитков – открытый (подвешиваются на стены помещений, на высоте удобной для обслуживания, ориентировочно 1,5 м).

Для ЩО2 выбор аналогичен, информацию сводим в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Выбор типа щитка освещения

Наименование щитка освещения	Количество линий в щитке		Тип щитка	Количество автоматов		Тип автоматов	Способ установки
	1-фазных	3-фазных		1-фазных	3-фазных		
МЩО	–	2	ПР41-4302-43У4	–	4	АЕ2046	На стене
ЩО1	2	4	ЩО8505-1215	15	–	ВА61F29-1В	На стене
ЩО2	3	–	ЩО8505-1604	4	–	ВА61F29-1В	На стене
ЩО1а	5	–	ЩО8505-0206	6	–	ВА61F29-1В	На стене

В качестве электрической проводки во всех помещениях цеха выбираем кабели с алюминиевыми жилами и двойной изоляцией, типа АВВГ. Способ прокладки проводов и кабелей сети электрического освещения определяем характером производства, наличием соответствующих строительных конструкций (плит перекрытия, ферм и т. д.) и требованиями технической

эстетики. Результаты выбора марки и способа прокладки проводов и кабелей сводим в таблицу 9.2.

Таблица 9.2 – Выбор типа и способа прокладки проводов и кабелей

Участок	Марка провода	Способ прокладки (наименование помещения)
КТП – МЩО	АВВГ	Открытый, в кабельном канале (КТП), в трубе (сборочный цех)
МЩО – ЩО1	АВВГ	Открытый, в коробе (сборочный цех)
…	…	…
КТП – ЩО1а	АВВГ	Открытый, в кабельном канале (КТП), в коробе (сборочный цех)
ЩО1 – С1	АВВГ	Открытый, на тросах, под фермами потолочных перекрытий помещения (сборочный цех)
…	…	…
ЩО1 – С4	АВВГ	Открытый, на тросах, под фермами потолочных перекрытий помещения (сборочный цех)
ЩО1 – С5	АВВГ	Скрытый, по стенам – под слоем штукатурки, по потолку – в пустотах строительных перекрытий (гардероб)
…	…	…
ЩО1 – С9	АВВГ	Скрытый, по стенам – под слоем штукатурки, по потолку – в пустотах строительных перекрытий (санузел)

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ЦЕХА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

По результатам выполнения светотехнического расчета определяем расчетную нагрузку каждого участка электрической сети. В общем случае расчетная нагрузка освещения определяется по формуле:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{с}} \cdot \left[\sum_{1}^{n} P_{\text{лн}} + (1{,}2 \ldots 1{,}3) \cdot \sum_{1}^{m} P_{\text{лл}} + 1{,}1 \cdot \sum_{1}^{k} P_{\text{рлвд}} \right],$$

где $K_{\text{с}}$ – коэффициент спроса освещения, характеризующий использование источников света по времени; $P_{\text{лн}}$, $P_{\text{лл}}$, $P_{\text{рлвд}}$ – номинальная мощность лампы, соответственно лампы накаливания, люминесцентной лампы, разрядной лампы высокого давления, кВт; n, m, k – количество ламп, питающихся по линии, соответственно ламп накаливания, люминесцентных ламп, разрядных ламп высокого давления; 1,2…1,3 и 1,1 – коэффициенты, учитывающие потери в пускорегулирующей аппаратуре газоразрядной лампы.

При отсутствии данных обследования осветительных установок коэффициент спроса для расчета *питающей сети* рабочего освещения производственных зданий следует принимать равным:

1,0 – для мелких зданий и линий, питающих отдельные групповые щитки;

0,95 – для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

0,9 – для библиотек и административных зданий;

0,85 – для зданий, состоящих из многих отдельных помещений;

0,8 – для лечебных, конторско-бытовых и лабораторных зданий;

0,6 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений, а также для электрических подстанций.

Для расчета *групповой сети* рабочего освещения и всех звеньев сети аварийного освещения производственных, а также наружного освещения коэффициент спроса принимается равным единице.

В случае *неравномерной нагрузки фаз* расчетная активная нагрузка линии принимается равной утроенному значению нагрузки наиболее загруженной фазы.

По результатам расчета оформляется таблица со следующей информацией: участок сети, тип лампы, мощность лампы, количество ламп, коэффициент спроса освещения, расчетная мощность общего рабочего освещения.

Пример. Исходные данные: план цеха с размещением светотехнического оборудования (рис. 10.1). Линия С1 в однофазном исполнении (фаза *L*2, нулевые рабочий и защитный проводники). Групповые линии С2 и С4 приняты трехфазными. Линия С3 – однофазная, так как в данном ряду два светильника используются в системе освещения для эвакуации и запитываются отдельной линией от щитка аварийного освещения ЩАО. Распределение светильников по фазам *L*1, *L*2 и *L*3 произведено так, чтобы в максимальной степени уменьшить проявления стробоскопического эффекта и по возможности равномерно загрузить фазы.

Длины участков линий определяем по плану цеха с учетом вертикальной и горизонтальной прокладки кабелей.

Принимаем для линии С1 длину участка вертикальной трассы 2,5 м. Тогда расстояние от щитка рабочего освещения ЩО до разветвления линии С1: l_1 = 2,5 + 26,5 = 29 м. Длина от точки разветвления до центра приложения суммарной нагрузки каждого плеча ответвления: l_2 = 1,5 + 3 = 4,5 м (рис. 10.1).

Принимаем для линий С2–С4 длину участка вертикальной трассы 6 м. Расстояние от ЩО до первого светильника линии С2: l_1 = 6 + 5,5 = 11,5 м, линии С3: l_1 = 6 + 11 = 17 м, линии С4: l_1 = 6 + 9,5 = 15,5 м. Расстояние между соседними светильниками в ряду системы рабочего освещения для линий С2 и С4 составляет 6 м, а для линии С3 – 12 м.

Определяем расчетные нагрузки групповых линий, приняв $K_с$ = 1:

линия С1: $P_{р1} = K_с \cdot 1{,}2 \cdot \sum_{1}^{m} P_{лл} = 1 \cdot 1{,}2 \cdot (4+4) \cdot 0{,}018 = 0{,}085 + 0{,}085 = 0{,}17$ кВт ;

линия С2: $P_{р2} = K_с \cdot 1{,}1 \cdot \sum_{1}^{k_2} P_{рлвд} = 1 \cdot 1{,}1 \cdot 3 \cdot 0{,}4 = 1{,}32$ кВт ;

линия С3: $P_{р3} = K_с \cdot 1{,}1 \cdot \sum_{1}^{k_3} P_{рлвд} = 1 \cdot 1{,}1 \cdot 2 \cdot 0{,}4 = 0{,}88$ кВт .

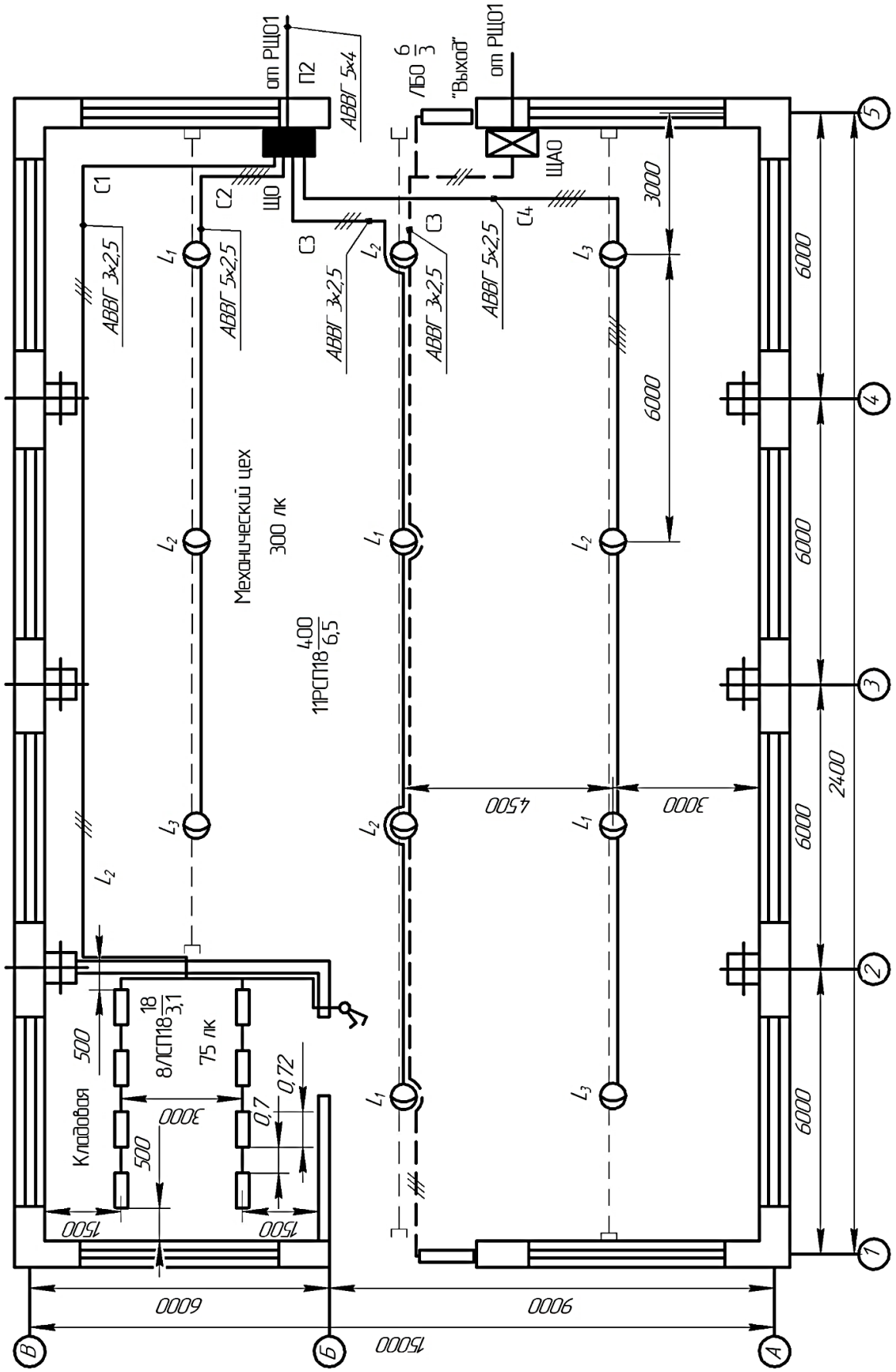


Рисунок 10.1 – План цеха с размещением светотехнического оборудования

По трехфазной линии С4 питаются четыре светильника, что не позволяет равномерно распределить их по фазам. К фазам $L1$ и $L2$ подключается по одному светильнику, а к фазе $L3$ – два. Расчетная нагрузка наиболее загруженной фазы $L3$

$$P_{\text{рмф4}} = K_{\text{с}} \cdot 1{,}1 \cdot \sum_{1}^{k_{\text{4м}}} P_{\text{рлвд}} = 1 \cdot 1{,}1 \cdot 2 \cdot 0{,}4 = 0{,}88 \text{ кВт} .$$

В этом случае расчетная нагрузка групповой линии С4

$$P_{\text{р4}} = 3 \cdot P_{\text{рмф4}} = 3 \cdot 0{,}88 = 2{,}64 \text{ кВт} .$$

Для линии, питающей осветительный щиток РЩО1, $K_{\text{с}} = 0{,}95$, а для ЩО – $K_{\text{с}} = 1$. Тогда их расчетные нагрузки

$$P_{\text{рП1}} = K_{\text{с}} \cdot \left(P_{\text{р0}} + P_{\text{р1}} + P_{\text{р2}} + P_{\text{р3}} + P_{\text{р4}}\right) =$$

$$= 0{,}95 \cdot \left(28{,}5 + 0{,}17 + 1{,}32 + 0{,}88 + 2{,}64\right) = 31{,}83 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{рП2}} = K_{\text{с}} \cdot \left(P_{\text{р1}} + P_{\text{р2}} + P_{\text{р3}} + P_{\text{р4}}\right) = 1 \cdot \left(0{,}17 + 1{,}32 + 0{,}88 + 2{,}64\right) = 5{,}01 \text{ кВт} .$$

Результаты определения расчетной мощности общего рабочего освещения цеха и вспомогательных помещений сводим в таблицу 10.1.

Таблица 10.1 – Расчетные мощности общего рабочего освещения цеха и вспомогательных помещений

№	Участок сети	Тип лампы	Мощность лампы, Вт	Кол-во ламп	$K_{\text{с}}$	$P_{\text{р}}$, кВт
1	Групповая линия С1	ЛЛ	18	8	1	0,17
2	Групповая линия С2	ДРЛ	400	3	1	1,32
3	Групповая линия С 3	ДРЛ	400	2	1	0,88
4	Групповая линия С4	ДРЛ	400	4	1	2,64
5	Распределительная линия РЩО1–ЩО	–	–	–	1	5,01
6	Питающая линия КТП–РЩО1	–	–	–	0,95	31,83

11 ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ И РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Выбор сечений проводов и кабелей в соответствии с [4] должен выполняться по допустимой потере напряжения, по допустимому нагреву длительным током. Выбранное сечение проводника должно быть согласовано с защищаемым аппаратом.

Расчет по потере напряжения в линии заключается в определении располагаемой (допустимой) потери напряжения в осветительной сети, т. е. потери напряжения в линии от источника питания (шин 0,4 кВ КТП) до последней лампы в ряду.

Этап *выбора сечения кабелей начинаем с первого (головного) участка сети освещения (с линии, питающей РЩО)*. Порядок расчета следующий:

а) определяем активную $U_а$ и реактивную $U_р$ (в процентах) составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора:

$$U_{ка} = \frac{\Delta P_к}{S_{нт}} \cdot 100; \;\; U_{кр} = \sqrt{U_к^2 - U_{ка}^2} \; .$$

где $\Delta P_к$ – потери короткого замыкания, кВт; $S_{нт}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А; $U_к$ – напряжение короткого замыкания, %. Значения $\Delta P_к$ и $U_к$ можно определить по таблице 11.1, а более точные значения приводятся в каталогах на трансформаторы;

Таблица 11.1 – Значения потерь короткого замыкания и напряжения короткого замыкания трансформаторной подстанции ТП 10/0,4 кВ

Мощность трансформатора $S_{нт}$, кВ·А	160	250	400	630	1000	1600	2500
Потери короткого замыкания $\Delta P_к$, кВт	2,65	3,7	5,5	7,6	11,6	16,5	23,5
Напряжение короткого замыкания $U_к$, %	4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5

б) определяем потери напряжения (в процентах) в трансформаторе

$$\Delta U_т = \beta_т \cdot \left(U_{ка} \cdot \cos\varphi_т + U_{кр} \cdot \sin\varphi_т\right),$$

где $\beta_т$ – коэффициент загрузки трансформатора; $\cos\varphi_т$ – коэффициент мощности нагрузки трансформатора;

в) рассчитываем допустимое значение потери напряжения (в процентах) в осветительной сети по формуле:

$$\Delta U_{доп} = U_х - U_л - \Delta U_т \, ,$$

где $U_х$ – напряжение холостого хода на вторичной стороне трансформатора, $U_х$ = 105 %; $U_л$ – минимальное допустимое напряжение у наиболее удаленной лампы, $U_л$ = 95 %;

г) определяем момент нагрузки рассматриваемого участка сети, который в общем случае для линии длиной L с сосредоточенной нагрузкой $P_р$ (рис. 11.1 *а*) равен

$$M = P_р \cdot L \, .$$

Если группа светильников одинаковой мощности присоединяется к групповой линии с равными интервалами l (рис. 11.1 *б*), то рассредоточенная нагрузка линии заменяется суммарной сосредоточенной, прилаженной в середине участка. Тогда значение L определяем по формуле

$$L = l_1 + l \cdot \frac{n-1}{2} \, ,$$

где l_1 – длина участка линии от осветительного щитка до первого светильника, м; n – фактическое число светильников в ряду.

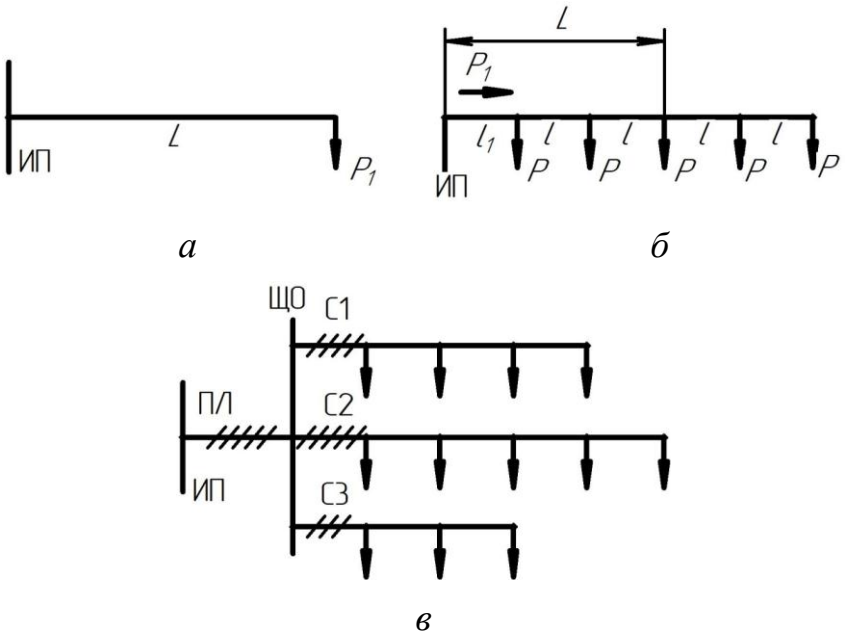


Рисунок 11.1 – Схемы осветительных сетей: *а* – линия с сосредоточенной нагрузкой; *б* – групповая линия с равномерно распределенной нагрузкой; *в* – разветвленная сеть: ИП – источник питания; ПЛ – питающая пятипроводная линия; ЩО – щиток освещения; С1, С2, С3 – групповые четырех-, пяти- и трехпроводные линии

При расчете разветвленной осветительной сети (рис. 11.1 *в*) рассчитываем приведенный момент по формуле

$$M_{\text{пр}}=\sum M+\sum \alpha \cdot m,$$

где $\sum M$ – сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов линии, что и на данном участке, кВт·м; $\sum \alpha \cdot m$ – сумма приведенных моментов участков с другим числом проводов, кВт·м; α – коэффициент приведения моментов, который принимается по [2, табл. 8.15].

При расчете групповых линий, для которых сечение проводников принимается неизменным в пределах каждой группы, особенно часто приходится встречаться с разветвленными сетями. В этом случае можно приближенно определять, какая лампа является электрически наиболее удаленной. Затем рассчитать моменты нагрузки только по пути тока к этой лампе и по ним выбрать сечение проводников;

д) при расчете разветвленной осветительной сети (рис. 11.1 *в*) по условию минимума расхода цветного металла сечение проводников F до разветвления определяем по приведенному моменту нагрузки $M_{\text{пр}}$

$$F=\frac{M_{\text{пр}}}{C\cdot \Delta U_{\text{доп}}},$$

где C – коэффициент, зависящий от материала провода и напряжения сети, определяем по [2, табл. 8.14];

е) полученное сечение округляем до ближайшего большего стандартного значения по [2, табл. 8.5–8.10]. Также по [2, табл. 8.5–8.10] устанавливаем допустимые длительные токи $I_{доп}$ для проводов и кабелей.

Допустимые токовые нагрузки проводников, способы прокладки которых отличаются от указанных в [2, табл. 8.5–8.10], принимаются:

– для пятипроводных линий, проложенных в трубах или каналах строительных конструкций, питающих светильники с лампами накаливания, – как для трех одножильных проводов, прокладываемых в одной трубе, а для таких же линий, питающих газоразрядные лампы, – как для четырех одножильных проводов, прокладываемых в одной трубе;

– для пятижильных кабелей, питающих лампы накаливания, – как для трехжильных кабелей, а при питании газоразрядных ламп – как для четырехжильных кабелей;

– для кабелей, проложенных в коробах или лотках, – как для кабелей, проложенных в воздухе;

– для проводов, проложенных в каналах строительных конструкций, а также замоноличенных проводок – как для проводов в трубах;

– для проводов, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, – как для проводов, проложенных в трубах;

ж) проверяем выбранный кабель по условию допустимого нагрева. Нагрев проводников обусловливается током, который определяем по формулам:

– для однофазной сети (двух- и трехпроводной)

$$I_{р} = \frac{P_{р}}{U_{нф} \cdot \cos\varphi};$$

– для двухфазной сети с рабочим и защитным нулевым проводами (трех- и четырехпроводной)

$$I_{р} = \frac{P_{р}}{2 \cdot U_{нф} \cdot \cos\varphi};$$

– для трехфазной сети (четырех- и пятипроводной)

$$I_{р} = \frac{P_{р}}{3 \cdot U_{нф} \cdot \cos\varphi} = \frac{P_{р}}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \cos\varphi},$$

где $U_{нф}$, $U_{н}$ – соответственно номинальное фазное и междуфазное напряжение сети, кВ; cos φ – коэффициент мощности осветительной нагрузки.

Светильники на две и более ЛЛ комплектуются ПРА, обеспечивающими cos φ не менее 0,92, а на одну ЛЛ – 0,9. Большинство светильников с газоразрядными лампами высокого давления (типа ДРЛ, ДРИ и т. п.) при

напряжении 230 В имеют некомпенсированные ПРА со средним значением cos φ = 0,5. Для светильников с лампами накаливания cos φ = 1. Соответствующие коэффициенты мощности будут иметь нагрузки осветительных линий.

Для участка сети, питающего групповые линии с разными величинами cos φ, определяется средневзвешенное значение коэффициента мощности по выражению:

$$\cos\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{n} \cos\varphi_i \cdot P_{\text{p}i}}{\sum_{i=1}^{n} P_{\text{p}i}},$$

где $\cos\varphi_i$ – коэффициент мощности нагрузки i-й линии; $P_{\text{p}i}$ – расчетная мощность осветительной нагрузки i-й линии; n – количество групповых линий;

з) если $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}} / K_{\text{п}}$, то выбранный по допустимой потере напряжения кабель удовлетворяет условию нагрева. Если нет, то увеличиваем площадь сечения кабеля и определяем допустимые длительные токи $I_{\text{доп}}$ для данного кабеля ($K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент на фактические условия прокладки проводов и кабелей. Если условия прокладки проводов и кабелей не отличаются от принятых в [2], то величина $K_{\text{п}} = 1$);

и) производим расчет фактической потери напряжения на первом (головном) участке сети освещения (линии, питающей РЩО), по собственному моменту линии:

$$\Delta U_{\text{П}} = \frac{M_{\text{П}}}{C \cdot F}.$$

Последующий участок сети рассчитывается по допустимой потере напряжения от места его присоединения, т. е. от расчетной допустимой потери напряжения должно быть вычтено значение фактической потери напряжения на предыдущем питающем участке:

$$\Delta U'_{\text{доп}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{П}}.$$

Далее проводим *расчет защиты осветительной сети*.

Этап расчета должен выполняться с конца электрической сети, т. е. автоматических выключателей щитков групповых линий, с последующим расчетом автоматов предыдущих участков, с учетом селективности их срабатывания. Порядок расчета следующий:

а) определяем номинальный ток защитного аппарата (номинальный ток расцепителя автоматического выключателя), установленного в начале каждого радиального участка сети или магистрали:

– для осветительных сетей с лампами накаливания и люминесцентными лампами низкого давления

$$I_{\text{ном р}} \geq I_{\text{р}};$$

– для осветительных сетей с газоразрядными лампами типа ДРЛ, ДРИ и ДНаТ

$$I_{\text{ном р}} \geq 1{,}3 \cdot I_{\text{р}}.$$

По расчетному значению выбираем ближайшее большое значение номинального тока расцепителя автомата из [2, табл. 8.26–8.30]. Следует помнить, что тип автоматического выключателя определен ранее, при выборе щитков освещения (пункт 9).

При проектировании осветительного электрооборудования для обеспечения избирательности (селективности) защиты рекомендуется строить защиту так, чтобы каждый ближайший к источнику питания защитный аппарат имел номинальный ток или уставку *на две ступени выше*, чем предшествующий ему со стороны электроприемников аппарат. Пример, если в групповом щитке установлены автоматы с расцепителями на 10 А (при разных значениях номинальных токов расцепителей принимается большее), то в распределительном (магистральном) щитке освещения на линии, питающей рассматриваемую группу световых приборов, по условию селективности расцепитель автомата должен иметь номинальный ток не менее 16 А. Допускается минимальная разница на одну ступень;

б) выбранные сечения проводников должны соответствовать их защитным аппаратам, что проверяется по условию

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{з}}}{K_{\text{п}}},$$

где $K_{\text{з}}$ – кратность длительно допустимого тока проводника по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата; $I_{\text{з}}$ – номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата, А.

В сетях, не требующих защиты от перегрузки, принимаются следующие минимальные значения коэффициента $K_{\text{з}}$:

0,33 – для номинального тока плавкой вставки предохранителя;

1,0 – для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой.

Если условие выполняется, то принятое ранее стандартное сечение проводника является окончательным. Если условие не выполняется, то принимаем следующее ближайшее большее стандартное сечение по [2, табл. 8.5–8.10]. И снова выполняем проверку по условию допустимого нагрева (п. 11, этап выбора сечения кабелей, шаги е–з) и на согласование с защитным аппаратом (п. 11, этап расчета защиты осветительной сети), пока не будет принято окончательное сечение.

По результатам расчета оформить таблицы со следующей информацией: линия; сечение жилы по потере напряжения; расчетный ток линии; марка

кабеля, количество и сечение жил; допустимый ток кабеля; фактическая потеря напряжения; тип автоматического выключателя; номинальный ток расцепителя; кратность токовой отсечки; ток срабатывания электромагнитного расцепителя; окончательно выбранная марка кабеля.

На основе проведенных вычислений и принятых проектных решений составляем расчетную схему для рабочего освещения цеха.

На расчетной схеме указываем:

I. Тип осветительного щитка, типы автоматических выключателей, установленных в нем, типы расцепителей (К – комбинированный; Э – электромагнитный) и токи расцепителей, А.

II. Над осветительной линией указывается:

– маркировка линии – расчетная нагрузка, кВт – коэффициент мощности – расчетный ток, А – длина участка, м.

III. Под осветительной линией указывается:

– момент нагрузки, кВт·м – потеря напряжения, % – марка, сечения проводника – способ прокладки (Тс – трос; Т – металлическая труба; П – пластмассовая труба).

Пример оформления надписей на расчетной схеме осветительной сети представлен на рисунке 11.2.

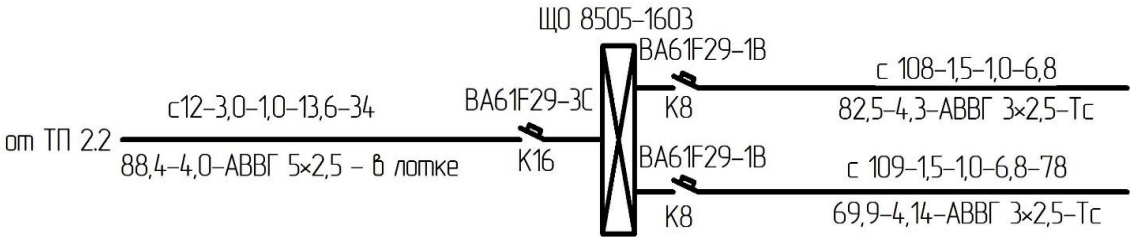


Рисунок 11.2 – Пример оформления надписей на расчетной схеме осветительной сети

Пример. Исходные данные: план цеха с размещением светотехнического оборудования (рис. 10.1). Питание осветительных установок осуществляется от двухтрансформаторной подстанции с трансформаторами типа ТМГ11-1000, имеющими следующие паспортные данные: $S_{нт}$ = 1000 кВ·А; $\Delta P_к$ = 10,8 кВт; $U_к$ = 5,5 %. Трансформаторы работают с коэффициентом мощности нагрузки cos $\varphi_т$ = 0,9, коэффициент загрузки трансформаторов $\beta_т$ = 0,8. Щиток рабочего освещения ЩО проектируемого здания питается от распределительного щитка освещения РЩО1. Помимо щитка ЩО от РЩО1 питаются другие щитки предприятия. Их суммарный приведенный момент $M_{пр0}$ = 6280 кВт·м, расчетная нагрузка $P_{р0}$ = 28,5 кВт и коэффициент мощности cos φ_0 = 0,5.

Линия С1 в однофазном исполнении, выполнена трехжильным кабелем, прокладывается открыто по строительным элементам здания с креплением скобами. Групповые линии С2 и С4 приняты трехфазными, выполнены пятижильными кабелями. Линия С3 – однофазная. Кабельные линии С2–С4

прокладываются на тросах. Питающие линии П1–П2 выполняются кабелями, проложенными на лотках. Для всех линий выбраны кабели с алюминиевыми жилами марки АВВГ.

Для рабочего освещения принят групповой щиток ЩО8505-0209 (количество выключателей – 9) с однополюсными автоматическими выключателями типа ВА61F29-1В на групповых линиях. Для РЩО1 – распределительный пункт ПР8501-003 с трехполюсным автоматическим выключателем типа ВА51-31.

Выбор сечения проводников линии, питающей РЩО1

Рассчитаем допустимую потерю напряжения в сети электрического освещения, начиная от шин ТП и заканчивая зажимами наиболее удаленного светильника. Для этого предварительно вычисляем активную U_a и реактивную $U_р$ составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора:

$$U_{ка} = \frac{\Delta P_к}{S_{нт}} \cdot 100 = \frac{10{,}8}{1000} \cdot 100 = 1{,}08\%;$$

$$U_{кр} = \sqrt{U_к^2 - U_{ка}^2} = \sqrt{5{,}5^2 - 1{,}08^2} = 5{,}4\%.$$

Находим значение $\sin \varphi_т$:

$$\cos \varphi_т = 0{,}9;\ \varphi_т = \arccos 0{,}9 = 25{,}8°; \sin \varphi_т = \sin 25{,}8° = 0{,}435.$$

Определяем потери напряжения в трансформаторе:

$$\Delta U_т = \beta_т \cdot \left(U_{ка} \cdot \cos\varphi_т + U_{кр} \cdot \sin \varphi_т\right) = 0{,}8 \cdot \left(1{,}08 \cdot 0{,}9 + 5{,}4 \cdot 0{,}435\right) = 2{,}66\%.$$

Тогда величина допустимой потери напряжения в сети электрического освещения

$$\Delta U_{доп} = U_х - U_л - \Delta U_т = 105 - 95 - 2{,}66 = 7{,}34\%.$$

Определяем собственные моменты нагрузок соответствующих линий: линия, питающая РЩО1 (пятижильная):

$$M_{П1} = P_{рП1} \cdot L_{П1} = 31{,}83 \cdot 185 = 5888{,}6\ кВт \cdot м;$$

линия, питающая ЩО (пятижильная):

$$M_{П2} = P_{рП2} \cdot L_{П2} = 5{,}01 \cdot 100 = 501\ кВт \cdot м;$$

линия С1 (трехжильная) для люминесцентных ламп:

$$m_1 = P_{р1} \cdot l_1 + \frac{P_{р1}}{2} \cdot l_2 = 0{,}17 \cdot 29 + 0{,}085 \cdot 4{,}5 = 5{,}31\ кВт \cdot м;$$

линия С2 (пятижильная):

$$M_2 = P_{р2} \cdot \left(l_1 + l \cdot \frac{n-1}{2} \right) = 1{,}32 \cdot \left(11{,}5 + 6 \cdot \frac{3-1}{2} \right) = 23{,}1 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

линия С3 (трехжильная):

$$m_3 = P_{р3} \cdot \left(l_1 + l \cdot \frac{n-1}{2} \right) = 0{,}88 \cdot \left(17 + 12 \cdot \frac{2-1}{2} \right) = 20{,}2 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

линия С4 (пятижильная):

$$M_4 = P_{р4} \cdot \left(l_1 + l \cdot \frac{n-1}{2} \right) = 2{,}64 \cdot \left(15{,}5 + 6 \cdot \frac{4-1}{2} \right) = 64{,}7 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

По [2, табл. 8.15] принимаем коэффициент приведения моментов равным α = 1,85.

Для выбора сечения проводников линии, питающей РЩО1, по допустимой потере напряжения определяем ее приведенный момент нагрузки

$$M_{прП1} = M_{П1} + M_{пр0} + M_{П2} + M_2 + M_4 + \alpha \cdot (m_1 + m_3) =$$

$$= 5888{,}6 + 6280 + 501 + 23{,}1 + 64{,}7 + 1{,}85 \cdot (5{,}31 + 20{,}2) = 12804{,}6 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

По [2, табл. 8.14] находим коэффициент $C_{П1}$ = 48. Далее определяем сечение жил питающего кабеля по формуле:

$$F_{П1} = \frac{M_{прП1}}{C_{П1} \cdot \Delta U_{доп}} = \frac{12804{,}6}{48 \cdot 7{,}34} = 36{,}3 \text{ мм}^2.$$

С учетом [2, табл. 8.6], полученное сечение округляем до ближайшего большего стандартного значения 50 мм^2. Выбираем кабель АВВГ 5×50 и по [2, табл. 8.6] определяем для него при прокладке в воздухе допустимый длительный ток как для трехжильного кабеля с понижающим коэффициентом 0,92 на четвертую жилу:

$$I_{доп\ П1} = 0{,}92 \cdot 110 = 101{,}2 \text{ А}.$$

Проверяем выбранный кабель по условию допустимого нагрева, принимая для нормальных условий прокладки $K_п$ = 1. Принимаем коэффициент мощности осветительной нагрузки для линии С1 (светильники на одну ЛЛ) равным 0,9; для линий С2–С4 (светильники с лампами типа ДРЛ) – 0,5.

Определим средневзвешенное значение коэффициента мощности нагрузки линии по выражению:

$$\cos\varphi_{П1} = \frac{\cos\varphi_0 \cdot P_{р0} + \cos\varphi_1 \cdot P_{р1} + \cos\varphi_2 \cdot P_{р2} + \cos\varphi_3 \cdot P_{р3} + \cos\varphi_4 \cdot P_{р4}}{P_{р0} + P_{р1} + P_{р2} + P_{р3} + P_{р4}} =$$

$$= \frac{0{,}5 \cdot 28{,}5 + 0{,}9 \cdot 0{,}17 + 0{,}5 \cdot 1{,}32 + 0{,}5 \cdot 0{,}88 + 0{,}5 \cdot 2{,}64}{28{,}5 + 0{,}17 + 1{,}32 + 0{,}88 + 2{,}64} = 0{,}5.$$

Расчетный ток линии находим по формуле

$$I_{\text{рП1}} = \frac{P_{\text{рП1}}}{3 \cdot U_{\text{нф}} \cdot \cos\varphi_{\text{П1}}} = \frac{31{,}83}{3 \cdot 0{,}23 \cdot 0{,}5} = 92{,}26 \text{ А}.$$

Так как 101,2 А > 92,26 А, то выбранный по допустимой потере напряжения кабель удовлетворяет условию нагрева.

Производим расчет фактической потери напряжения в линии, питающей РЩО1, по собственному моменту линии:

$$\Delta U_{\text{П1}} = \frac{M_{\text{П1}}}{C \cdot F_{\text{П1}}} = \frac{5888{,}6}{48 \cdot 50} = 2{,}45\%.$$

Таким образом, оставшаяся величина допустимой потери напряжения

$$\Delta U'_{\text{доп}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{П1}} = 7{,}34 - 2{,}45 = 4{,}89\%.$$

Выбор сечений проводников линии, питающей ЩО

Определяем площадь сечения жилы кабеля линии, питающей ЩО, по приведенному моменту ее нагрузки:

$$M_{\text{прП2}} = M_{\text{П2}} + M_2 + M_4 + \alpha \cdot (m_1 + m_3) =$$

$$= 501 + 23{,}1 + 64{,}7 + 1{,}85 \cdot (5{,}31 + 20{,}2) = 636 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

По [2, табл. 8.14] находим коэффициент $C_{\text{П2}}$ = 48. Тогда сечение жилы кабеля линии, питающей ЩО:

$$F_{\text{П2}} = \frac{M_{\text{прП2}}}{C_{\text{П2}} \cdot \Delta U'_{\text{доп}}} = \frac{636}{48 \cdot 4{,}89} = 2{,}71 \text{ мм}^2.$$

По [2, табл. 8.6] принимаем сечение жилы кабеля 4 мм^2. Кабель марки АВВГ 5×4 с допустимым током по нагреву как для трехжильного кабеля с понижающим коэффициентом 0,92 на четвертую жилу при прокладке в воздухе $I_{\text{доп П2}}$ = 0,92·27 = 24,84 А. Проверяем сечение жил кабеля по допустимому нагреву. Определяем расчетный ток линии, предварительно вычислив средневзвешенное значение коэффициента мощности:

$$\cos\varphi_{\text{П2}} = \frac{\cos\varphi_1 \cdot P_{\text{р1}} + \cos\varphi_2 \cdot P_{\text{р2}} + \cos\varphi_3 \cdot P_{\text{р3}} + \cos\varphi_4 \cdot P_{\text{р4}}}{P_{\text{р1}} + P_{\text{р2}} + P_{\text{р3}} + P_{\text{р4}}} =$$

$$= \frac{0{,}9 \cdot 0{,}17 + 0{,}5 \cdot 1{,}32 + 0{,}5 \cdot 0{,}88 + 0{,}5 \cdot 2{,}64}{0{,}17 + 1{,}32 + 0{,}88 + 2{,}64} = 0{,}51;$$

$$I_{\text{рП2}} = \frac{P_{\text{рП2}}}{3 \cdot U_{\text{нф}} \cdot \cos\varphi_{\text{П2}}} = \frac{5{,}01}{3 \cdot 0{,}23 \cdot 0{,}51} = 14{,}24 \text{ А}.$$

Выбранный по допустимой потере напряжения кабель удовлетворяет условию нагрева (24,84 А > 14,24 А).

Фактическая потеря напряжения в линии, питающей ЩО:

$$\Delta U_{\text{П2}} = \frac{M_{\text{П2}}}{C \cdot F_{\text{П2}}} = \frac{501}{48 \cdot 4} = 2{,}61\%.$$

Таким образом, оставшаяся величина допустимой потери напряжения

$$\Delta U''_{\text{доп}} = \Delta U'_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{П2}} = 4{,}89 - 2{,}61 = 2{,}28\%.$$

Выбор сечений проводников групповых линий

Определяем сечение жил кабеля однофазной линии С1, исходя из оставшейся величины допустимой потери напряжения с учетом, что по [2, табл. 8.14] коэффициент $C_{\text{С1}} = 8$:

$$F_{\text{С1}} = \frac{m_1}{C_{C1} \cdot \Delta U''_{\text{доп}}} = \frac{5{,}31}{8 \cdot 2{,}28} = 0{,}29 \text{ мм}^2.$$

По [2, табл. 8.6] принимаем сечение жилы кабеля 2,5 мм^2. Кабель марки АВВГ 3×2,5 с допустимым током по нагреву при прокладке в воздухе как для двухжильного кабеля $I_{\text{доп С1}} = 21$ А. Для проверки сечения жил кабеля по допустимому нагреву определяем расчетный ток линии С1:

$$I_{\text{рС1}} = \frac{P_{\text{р1}}}{U_{\text{нф}} \cdot \cos\varphi_1} = \frac{0{,}17}{0{,}23 \cdot 0{,}9} = 0{,}82 \text{ А}.$$

Так как 21 > 0,82 А, то выбранный по допустимой потере напряжения кабель удовлетворяет условию нагрева.

Фактическая потеря напряжения в линии С1:

$$\Delta U_{\text{С1}} = \frac{m_1}{C_{\text{С1}} \cdot F_{\text{С1}}} = \frac{5{,}31}{8 \cdot 2{,}5} = 0{,}27\%.$$

Определяем сечение жил кабеля трехфазной групповой линии С2 с учетом, что по [2, табл. 8.14] коэффициент $C_{\text{С2}} = 48$:

$$F_{\text{С2}} = \frac{M_2}{C_{\text{С2}} \cdot \Delta U''_{\text{доп}}} = \frac{23{,}1}{48 \cdot 2{,}28} = 0{,}21 \text{ мм}^2.$$

По [2, табл. 8.6] принимаем сечение жилы кабеля 2,5 мм^2. Кабель марки АВВГ 5×2,5 с допустимым током по нагреву при прокладке в воздухе как для трехжильного кабеля с понижающим коэффициентом 0,92 на четвертую жилу $I_{\text{доп С2}} = 0{,}92 \cdot 19 = 17{,}48$ А. Определяем расчетный ток линии С2:

$$I_{\text{рС2}} = \frac{P_{\text{р2}}}{3 \cdot U_{\text{нф}} \cdot \cos\varphi_2} = \frac{1{,}32}{3 \cdot 0{,}23 \cdot 0{,}5} = 3{,}83 \text{ А}.$$

Выбранный по допустимой потере напряжения кабель удовлетворяет условию нагрева (17,48 А > 3,83 А).

Фактическая потеря напряжения в линии С2:

$$\Delta U_{C2} = \frac{M_2}{C_{C2} \cdot F_{C2}} = \frac{23{,}1}{48 \cdot 2{,}5} = 0{,}19\%.$$

Определяем сечение жил кабеля однофазной линии С3, с учетом, что по [2, табл. 8.14] коэффициент $C_{C3} = 8$:

$$F_{C3} = \frac{m_3}{C_{C3} \cdot \Delta U''_{доп}} = \frac{20{,}2}{8 \cdot 2{,}28} = 1{,}11 \text{ мм}^2.$$

По [2, табл. 8.6] принимаем сечение жилы кабеля 2,5 мм^2. Кабель марки АВВГ 3×2,5 с допустимым током по нагреву при прокладке в воздухе как для двухжильного кабеля $I_{доп\ С3} = 21$ А. Для проверки сечения жил кабеля по допустимому нагреву определяем расчетный ток линии С3:

$$I_{рС3} = \frac{P_{р3}}{U_{нф} \cdot \cos\varphi_3} = \frac{0{,}88}{0{,}23 \cdot 0{,}5} = 7{,}65 \text{ А}.$$

Так как 21 А > 7,65 А, то выбранный по допустимой потере напряжения кабель удовлетворяет условию нагрева.

Фактическая потеря напряжения в линии С3:

$$\Delta U_{C3} = \frac{m_3}{C_{C3} \cdot F_{C3}} = \frac{20{,}2}{8 \cdot 2{,}5} = 1{,}01\%.$$

Определяем сечение жил кабеля трехфазной групповой линии С4 с учетом, что по [2, табл. 8.14] коэффициент $C_{C4} = 48$:

$$F_{C4} = \frac{M_4}{C_{C4} \cdot \Delta U''_{доп}} = \frac{64{,}7}{48 \cdot 2{,}28} = 0{,}59 \text{ мм}^2.$$

По [2, табл. 8.6] принимаем сечение жилы кабеля 2,5 мм^2. Кабель марки АВВГ 5×2,5 с допустимым током по нагреву при прокладке в воздухе как для трехжильного кабеля с понижающим коэффициентом 0,92 на четвертую жилу $I_{доп\ С4} = 0{,}92 \cdot 19 = 17{,}48$ А. Определяем расчетный ток линии С4:

$$I_{рС4} = \frac{P_{р4}}{3 \cdot U_{нф} \cdot \cos\varphi_4} = \frac{2{,}64}{3 \cdot 0{,}23 \cdot 0{,}5} = 7{,}65 \text{ А}.$$

Выбранный по допустимой потере напряжения кабель удовлетворяет условию нагрева (17,48 А > 7,65 А).

Фактическая потеря напряжения в линии С4:

$$\Delta U_{C4} = \frac{M_4}{C_{C4} \cdot F_{C4}} = \frac{64{,}7}{48 \cdot 2{,}5} = 0{,}54\%.$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 11.2.

Расчет защиты осветительной сети

Выбор номинального тока расцепителя автомата, защищающего линию, питающую светильники с люминесцентными лампами низкого давления, производим по условию

$$I_{\text{ном р}} \geq I_{\text{р}}.$$

Таблица 11.2 – Результаты расчета электрических сетей рабочего освещения

Линия	Собственный момент нагрузки, кВт·м	Сечение жилы по потере напряжения, мм^2	Расчетный ток линии, А	Марка кабеля, количество и сечение жил, мм^2	Допустимый ток кабеля, А	Фактическая потеря напряжения, %
П1	5888,6	50	92,26	АВВГ 5×50	101,2	2,45
П2	501	4	14,24	АВВГ 5×4	24,84	2,61
С1	5,31	2,5	0,82	АВВГ 3×2,5	21	0,27
С2	23,1	2,5	3,83	АВВГ 5×2,5	17,48	0,19
С3	20,2	2,5	7,65	АВВГ 3×2,5	21	1,01
С4	64,7	2,5	7,65	АВВГ 5×2,5	17,48	0,54

Для линии С1:

$$I_{\text{ном рС1}} \geq I_{\text{рС1}} = 0{,}82 \text{ А}.$$

Тогда для выключателя ВА61F29-1В по [2, табл. 8.27] принимаем номинальный ток расцепителя $I_{\text{ном рС1}} = 1 \text{ А}$, кратность тока отсечки автомата по отношению к номинальному току расцепителя – 3. В этом случае ток срабатывания электромагнитного расцепителя

$$I_{\text{ср рС1}} = 3 \cdot 1 = 3 \text{ А}.$$

Выбор номинальных токов расцепителей автоматических выключателей для защиты линий С2–С4, питающих светильники с лампами типа ДРЛ, осуществляем с учетом пусковых токов ламп по выражению

$$I_{\text{ном р}} \geq 1{,}3 \cdot I_{\text{р}}.$$

Для линии С2:

$$I_{\text{ном рС2}} \geq 1{,}3 \cdot I_{\text{рС2}} = 1{,}3 \cdot 3{,}83 = 4{,}98 \text{ А}.$$

Для защиты трехфазной групповой линии С2 выбрано три однополюсных автоматических выключателя типа BA61F29-1B, согласно [2, табл. 8.27] принимаем номинальный ток расцепителя $I_{\text{ном рС2}} = 5\ \text{А}$, кратность тока отсечки автомата по отношению к номинальному току расцепителя – 3, ток срабатывания электромагнитного расцепителя

$$I_{\text{ср рС2}} = 3 \cdot 5 = 15\ \text{А}.$$

Для линии С3:

$$I_{\text{ном рС3}} \geq 1{,}3 \cdot I_{\text{рС3}} = 1{,}3 \cdot 7{,}65 = 9{,}95\ \text{А}.$$

Для защиты однофазной групповой линии С3 выбран однополюсный автоматический выключатель типа BA61F29-1B, согласно [2, табл. 8.27] принимаем номинальный ток расцепителя $I_{\text{ном рС3}} = 10\ \text{А}$, кратность тока отсечки автомата по отношению к номинальному току расцепителя – 3, ток срабатывания электромагнитного расцепителя

$$I_{\text{ср рС3}} = 3 \cdot 10 = 30\ \text{А}.$$

Для линии С4:

$$I_{\text{ном рС4}} \geq 1{,}3 \cdot I_{\text{рС4}} = 1{,}3 \cdot 7{,}65 = 9{,}95\ \text{А}.$$

Для защиты трехфазной групповой линии С4 выбрано три однополюсных автоматических выключателя типа BA61F29-1B, согласно [2, табл. 8.27] принимаем номинальный ток расцепителя $I_{\text{ном рС4}} = 10\ \text{А}$, кратность тока отсечки автомата по отношению к номинальному току расцепителя – 3, ток срабатывания электромагнитного расцепителя

$$I_{\text{ср рС4}} = 3 \cdot 10 = 30\ \text{А}.$$

Выбор номинального тока расцепителей автоматов, защищающих распределительные линии, производим по условию

$$I_{\text{ном р}} \geq I_{\text{р}}.$$

Для распределительной линии П2:

$$I_{\text{ном рП2}} \geq I_{\text{рП2}} = 14{,}24\ \text{А}.$$

Для защиты трехфазной распределительной линии П2 выбран трехполюсный автоматический выключатель типа ВА51-31. Тогда с учетом значений автоматических выключателей для групповых линий С1–С4 и согласно условию селективности защиты по [2, табл. 8.29] принимаем номинальный ток расцепителя $I_{\text{ном рП2}} = 20\ \text{А}$, кратность тока отсечки автомата

по отношению к номинальному току расцепителя – 3, ток срабатывания электромагнитного расцепителя

$$I_{\text{ср рП1}} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ А}.$$

Проверку выбранных сечений проводников по условию соответствия аппаратам защиты производим по выражению

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{з}}}{K_{\text{п}}},$$

приняв в качестве номинального тока защитного аппарата $I_{\text{з}}$ значение $I_{\text{ном р}}$, а $K_{\text{з}} = 1$.

Произведем проверку сечения жил кабеля линии С1:

$$I_{\text{доп С1}} \geq \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{ном рС1}}}{K_{\text{п}}} = \frac{1 \cdot 1}{1} = 1 \text{ А}.$$

Так как $I_{\text{доп С1}} = 21$ А > 1 А, то выбранное сечение жил кабеля АВВГ 3×2,5 соответствует аппарату максимальной токовой защиты.

Проверка сечения жил кабеля линии С2:

$$I_{\text{доп С2}} \geq \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{ном рС2}}}{K_{\text{п}}} = \frac{1 \cdot 5}{1} = 5 \text{ А}.$$

Так как $I_{\text{доп С2}} = 17{,}48$ А > 5 А, то выбранное сечение жил кабеля АВВГ 5×2,5 соответствует аппарату максимальной токовой защиты.

Проверка сечения жил кабеля линии С3:

$$I_{\text{доп С3}} \geq \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{ном рС3}}}{K_{\text{п}}} = \frac{1 \cdot 10}{1} = 10 \text{ А}.$$

Так как $I_{\text{доп С3}} = 21$ А > 10 А, то выбранное сечение жил кабеля АВВГ 3×2,5 соответствует аппарату максимальной токовой защиты.

Проверка сечения жил кабеля линии С4:

$$I_{\text{доп С4}} \geq \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{ном рС4}}}{K_{\text{п}}} = \frac{1 \cdot 10}{1} = 10 \text{ А}.$$

Так как $I_{\text{доп С4}} = 17{,}48$ А > 10 А, то выбранное сечение жил кабеля АВВГ 5×2,5 соответствует аппарату максимальной токовой защиты.

Произведем проверку сечения жил кабеля линии П2:

$$I_{\text{доп П1}} \geq \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{ном рП1}}}{K_{\text{п}}} = \frac{1 \cdot 20}{1} = 20 \text{ А}.$$

Так как $I_{\text{доп П2}} = 24{,}84$ А > 20 А, то выбранное сечение жил кабеля АВВГ 5×4 соответствует аппарату максимальной токовой защиты.

Результаты расчета защиты осветительной сети сводим в таблицу 11.3.

Таблица 11.3 – Защитные аппараты для осветительной сети

Линия	$I_р$, А	$I_{доп}$, А	Марка кабеля	Кол-во автоматов, шт.	Тип автомата	$I_{ном\ р}$, А	Кратность токовой отсечки	$I_{ср\ р}$, А
П2	14,24	24,84	АВВГ 5×4	1	ВА51-31	20	3	60
С1	0,82	21	АВВГ 3×2,5	1	ВА61F29-1В	1	3	3
С2	3,83	17,48	АВВГ 5×2,5	3	ВА61F29-1В	5	3	15
С3	7,65	21	АВВГ 3×2,5	1	ВА61F29-1В	10	3	30
С4	7,65	17,48	АВВГ 5×2,5	3	ВА61F29-1В	10	3	30

На основе проведенных вычислений и принятых проектных решений составляем расчетную схему для рабочего освещения (рис. 11.3).

В разделе «Заключение» расчетно-пояснительной записки приводится информация, характеризующая конечную цель, достигнутую в результате проектирования осветительной установки. Например, в результате выполнения курсовой работы разработан проект осветительной установки, создающий световую среду в соответствии с требованиями нормативной документации и удовлетворяющий необходимой бесперебойности, безопасности технического обслуживания и ремонта, удобства управления.

В разделе должна быть приведена общая характеристика спроектированной осветительной установки. По светотехнической части можно отметить, что для системы общего равномерного освещения цеха и его вспомогательных помещений применены такие-то источники света и осветительные приборы, предусмотрена такая-то система обслуживания их. По электрической части – источником питания осветительной установки является ТП (ВРУ), применена такая-то схема питания с системой заземления электрической сети TN-S (TN-C-S), в таких-то помещениях предусмотрен такой-то способ прокладки проводов и кабелей, применены такие-то марки проводов и кабелей, тип щитков освещения и т. д.

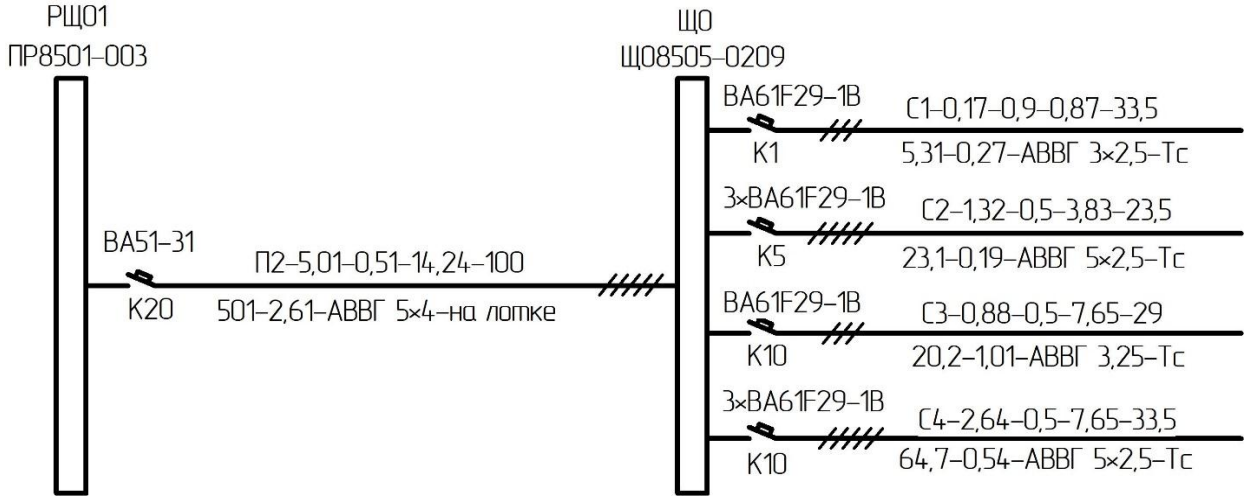


Рисунок 11.3 – Расчетная схема осветительной сети рабочего освещения цеха

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы Республики Беларусь : СН 02.04.03-2020. – Введ. 24.03.2021 (с отменой ТКП 45-2.04-153-2009 (02250)). – Минск : Минстройархитектура, 2021. – 86 с.

2. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск : Техноперспектива, 2011. – 543 с.

3. Козловская В. Б. Электрическое освещение : справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – 2-е изд. – Минск : Техноперспектива, 2008. – 271 с.

4. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.

5. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электроборудования. Глава 52. Электропроводки : ГОСТ 30331.15-2001 (МЭК 364-5-52-93). – Введ. 01.03.2003. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003. – 24 с.

Приложение А

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПИТАНИЯ

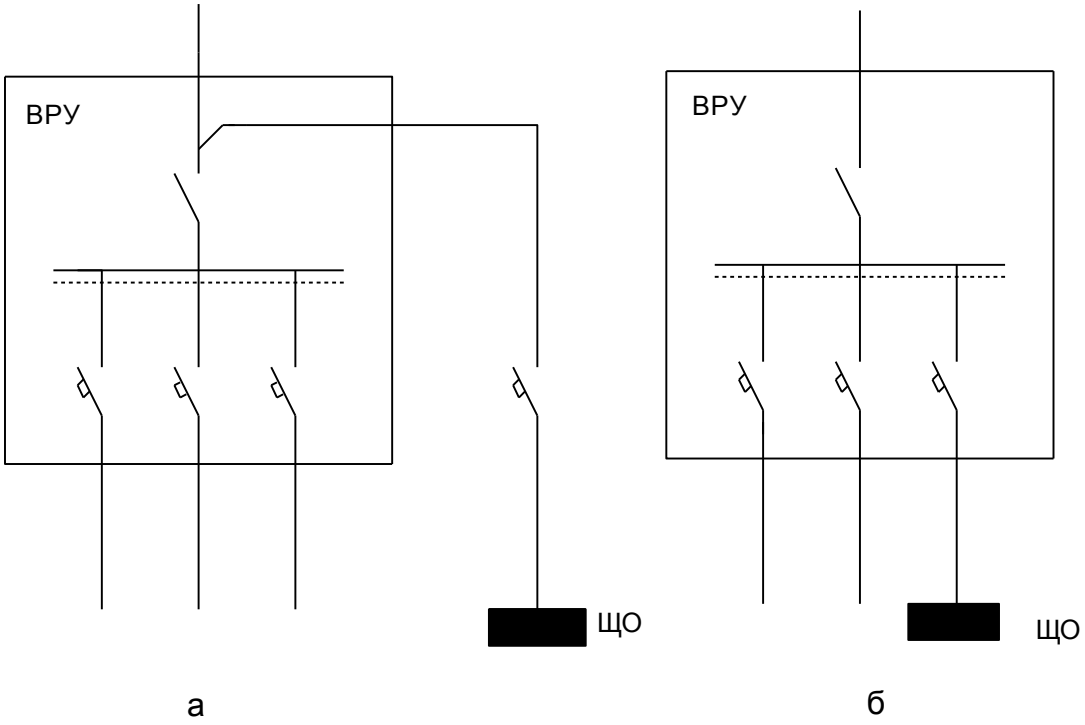


Рисунок А.1 – Схемы питания электрического освещения от вводно-распределительного устройства (ВРУ) совместно с силовыми электроприемниками

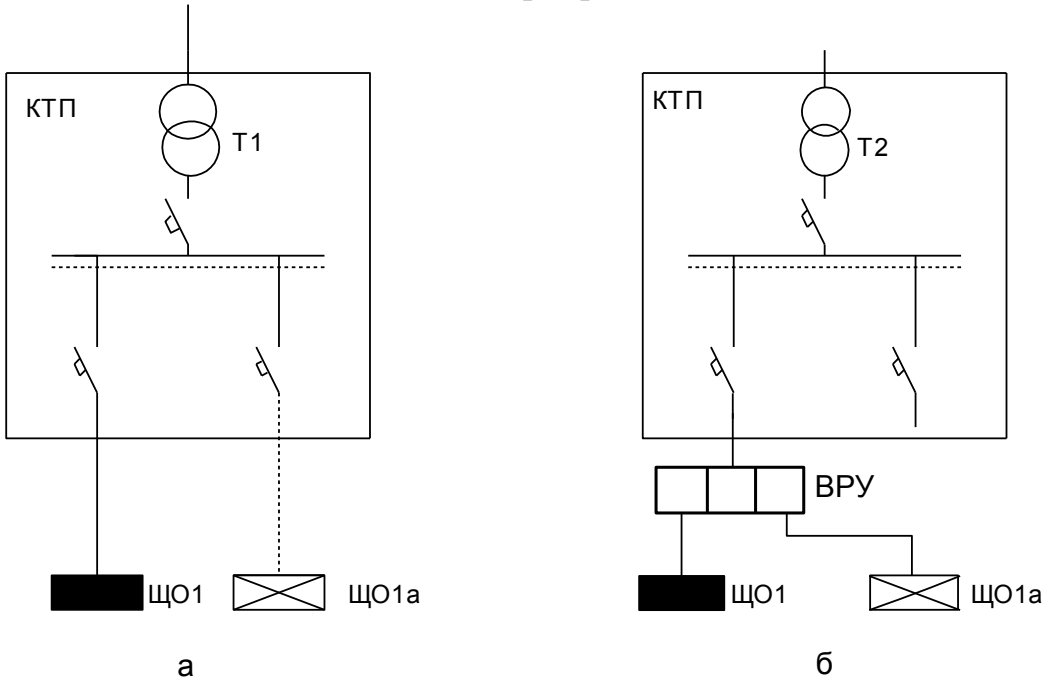


Рисунок А.2 – Схемы питания рабочего и эвакуационного освещения от одной однотрасформаторной подстанции:
а – осветительные щитки питаются по отдельным линиям от щита подстанции;
б – по общей линии с разделением ее на вводе в здание

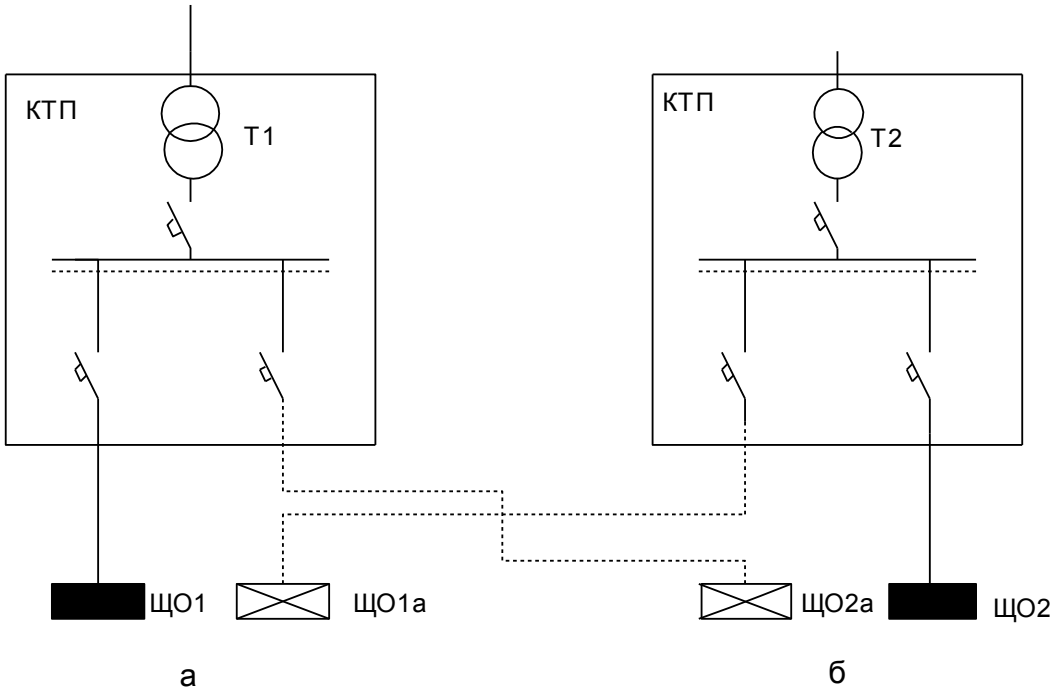


Рисунок А.3 – Перекрестная схема питания: рабочее освещение помещения питается от одного трансформатора, аварийное освещение в этом же помещении питается от другого трансформатора

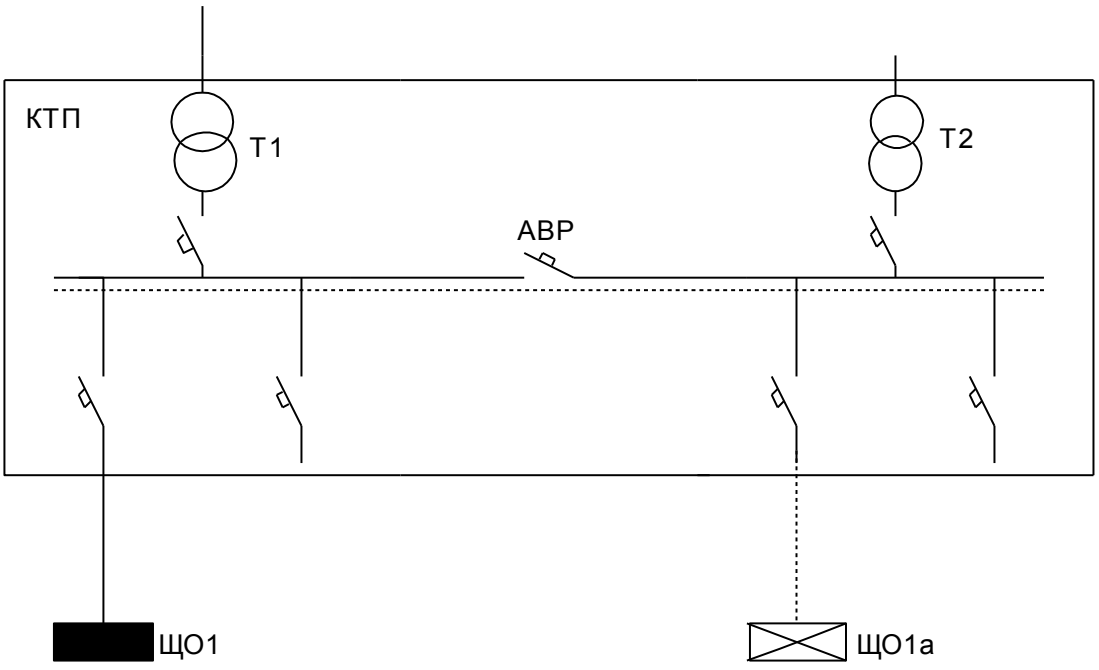


Рисунок А.4 – Схема питания электрического освещения от двухтрансформаторной подстанции

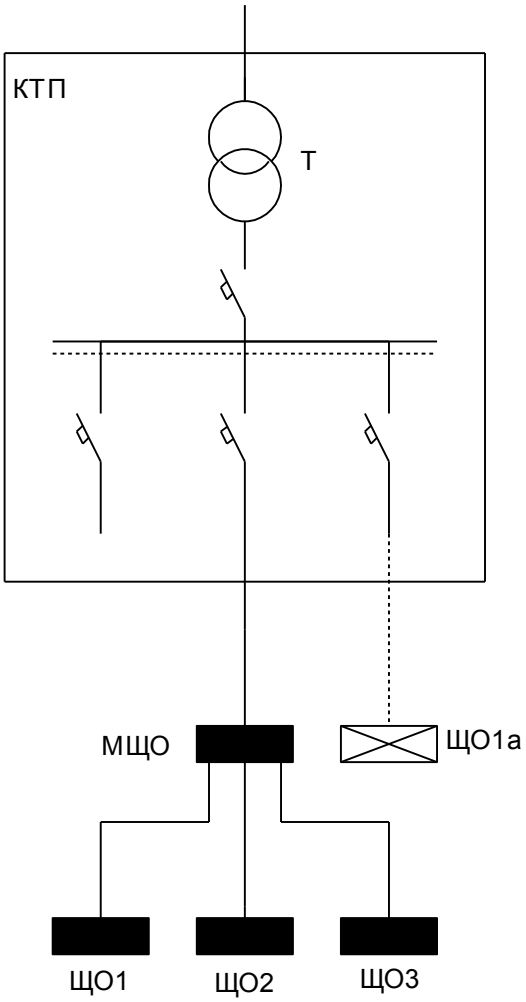


Рисунок А.5 – Схема питания групповых щитков от магистрального щитка

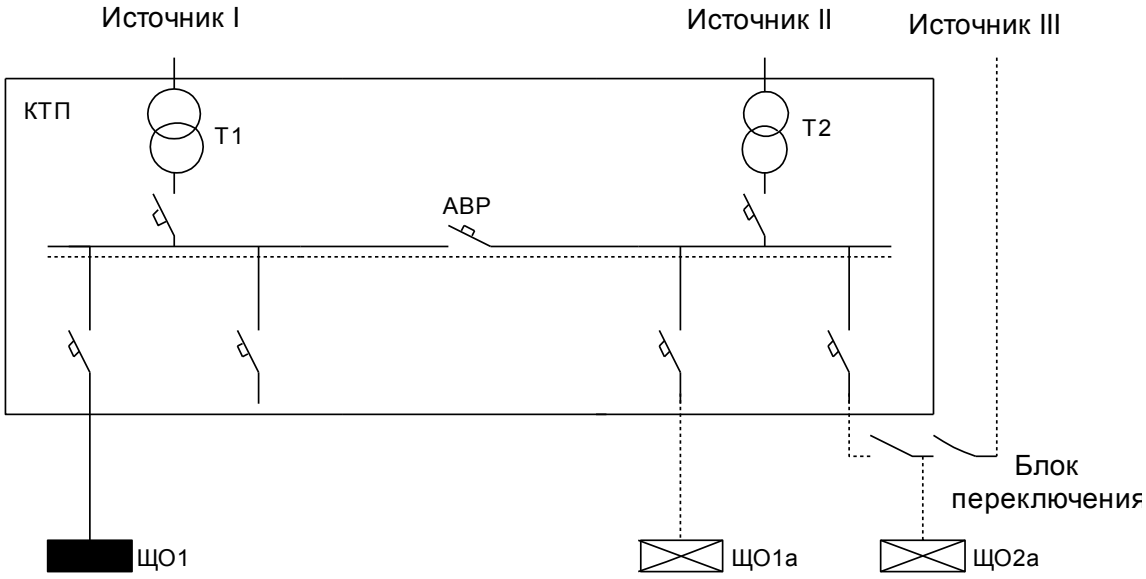


Рисунок А.6 – Схема питания электрического освещения от трех источников

Учебное издание

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Методические указания по выполнению курсового проекта

Составитель:
Гусаров Алексей Михайлович

Редактор *Р.А. Никифорова*
Корректор *А.В. Пухальская*
Компьютерная верстка *А.М. Гусаров*

Подписано к печати 04.12.2023. Формат 60x90 1/16. Усл. печ. листов 4,4.
Уч.-изд. листов 5,6. Тираж 2 экз. Заказ № 296.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.