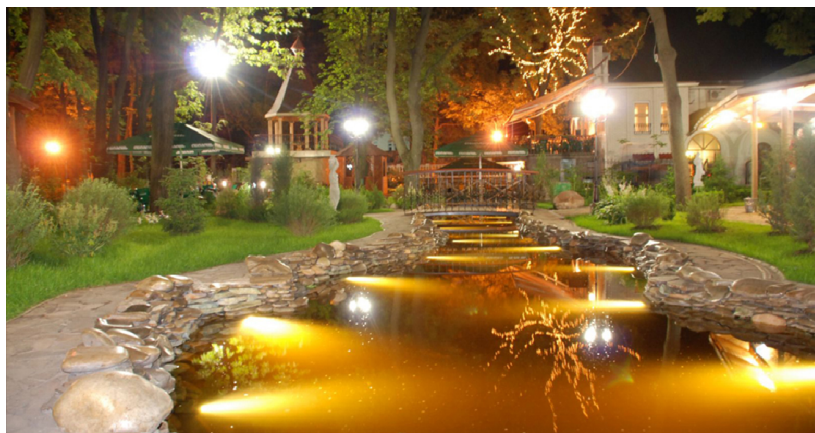


Д. А. Павлюченко, С. В. Хохлова

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Учебное пособие



2003

Рецензенты: *Н. П. Гужов*, канд. техн. наук, доц.,
А. В. Виштитеев, канд. техн. наук, доц.

Павлюченко Д. А., Хохлова С. В. Технология проектирования электрического освещения: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003

Изложены особенности проектирования сложных технических объектов и систем. Подробно рассматриваются вопросы, связанные с реализацией проектов электрического освещения, начиная с организации процесса проектирования, а также выполнения всех задач светотехнической и электротехнической частей проекта. Отдельно излагаются некоторые базовые понятия автоматизированного проектирования, классификация и виды обеспечения САПР.

© Новосибирский государственный
технический университет, 2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	
1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	4
1.1. Проектирование сложных технических систем	6
1.2. Проектирование систем электроснабжения	6
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ	9
2.1. Организация проектирования освещения	12
2.1.1. Организация проектирования	12
2.1.2. Стадийность проектирования освещения	12
2.1.3. Исходные данные для проектирования	12
2.1.4. Проектная документация	13
2.2. Светотехническая часть проекта	13
2.2.1. Световые величины и единицы	14
2.2.2. Виды и системы освещения	14
2.2.3. Источники света	16
2.2.4. Осветительные приборы	21
2.2.5. Расчет электрического освещения	25
2.2.6. Оценка качества освещения	30
2.3. Электротехническая часть проекта	35
2.3.1. Напряжение осветительных сетей	36
2.3.2. Источники питания осветительных установок	36
2.3.3. Схемы питания осветительных установок	37
2.3.4. Расчет осветительной сети	38
3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	42
3.1. Общие сведения о САПР	50
3.2. Состав и структура САПР	50
3.3. Классификация САПР	52
3.4. Виды обеспечения САПР	53
3.5. Автоматизация чертежных работ	54
ЛИТЕРАТУРА	55

ВВЕДЕНИЕ

Прежде чем что-либо создать, человек формирует в своем воображении субъективную модель предмета труда. Дальнейшая его деятельность направлена на реализацию этой модели. Эти два условных этапа трудовой деятельности называются *проектированием* и *исполнением*. Если в трудовой деятельности участвует один человек, то модель предмета труда обычно замыкается внутри его собственных представлений и понятий. Примером может служить эпоха ремесленного труда или в современных условиях это соответствует изготовлению несложных объектов. Как только в трудовой процесс вовлекается несколько участников, так появляется необходимость обмена информацией об объекте между участниками, а также усложняются способы и средства проектирования.

Непосредственно состояние и уровень развития теории проектирования технических объектов зависят, в первую очередь, от требований, предъявляемых к результатам проектирования. Последние, в свою очередь, определяются возможностями реализации и доступными средствами проектирования. Эти факторы меняются, и соответственно этому совершенствуется и развивается теория исследования и проектирования технических объектов.

В качестве этапов развития теории проектирования можно выделить следующие:

- ручное индивидуальное проектирование (до 40 годов XX века);
- ручное типовое проектирование (40-60 года XX века);
- автоматизированное проектирование (с конца 60 годов XX века).

Первый этап характеризуется ограниченной номенклатурой производимых изделий, имеющих сравнительно простую конструкцию. Многие изделия создавались впервые, без прототипов, и требовали принятия оригинальных проектных решений. Методы и средства проектирования при этом были самые простейшие. Расчетные методики опирались на эмпирические коэффициенты. Технические средства проектирования ограничивались кульманом, логарифмической линейкой, готовальной. Проектная документация в организациях имела свою собственную систему оформления. Руч-

ное индивидуальное проектирование сыграло прогрессивную роль, однако с ростом типоразмеров, расширением номенклатуры и усложнением конструкций эта форма проектирования начала тормозить развитие промышленности.

Возникшие противоречия были устранены переходом к ручному типовому проектированию, при котором активно внедрялись методы группового проектирования, агрегирования и унификации. Вследствие группового проектирования создавалось целое семейство подобных изделий. Агрегирование и унификация позволили проектировать различные изделия из типовых конструктивных узлов и деталей. Благодаря этому значительно повысилась производительность труда проектировщиков. В эти же годы произошел переход к единой системе конструкторской документации (ЕСКД), а также появились новые технические средства: арифмометр, устройства печати и размножения документации.

Применение ЭВМ и их периферийных устройств явилось основой для перехода к новому периоду проектирования – автоматизированному проектированию. Новые средства проектирования дали возможность использованию новых методов проектирования (методов математического моделирования, оптимизации, принятия решений). В результате возросли производительность труда, а также качество проектов. Стало возможным анализировать большое количество вариантов, использовать не только более сложные, но и более точные модели. Появление же ЭВМ последних поколений, оснащенных графическими и другими инструментальными средствами, позволило автоматизировать не только расчетную, но и конструкторско-технологическую стадию проектирования.

Все это в целом является неотъемлемой базой для создания и внедрения систем автоматизированного проектирования (САПР) в инженерную практику, в том числе и в практику проектирования электроснабжения и электроосвещения объектов.

Предлагаемое учебное пособие состоит из введения и трех глав, в которых описываются особенности проектирования как любых сложных технических объектов и систем в целом, так и систем электроснабжения и электроосвещения, в частности. Основная часть пособия посвящена рассмотрению вопросов, связанных с реализацией проектов электрического освещения, начиная с организации процесса проектирования, а также выполнения всех задач светотехнической и электротехнической частей проекта. Отдельно излагаются некоторые базовые понятия автоматизированного проектирования, классификация и виды обеспечения САПР. При работе над пособием авторы использовали труды по рассматриваемой теме [1–14].

1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При рассмотрении любых вопросов, связанных с проектированием объектов и систем, в первую очередь необходимо определить, что непосредственно является проектированием. Существует достаточно большое количество таких определений, в которых приводятся различные формулировки, акцентирующие внимание на той или иной особенности предмета определения, например:

Проектирование – процесс выработки и фиксации определенного минимума данных, подробно характеризующих некоторый воображаемый объект, в котором максимально используется стандартизированные элементы.

Проектирование – процесс создания описания еще несуществующего объекта на основе первичной исходной информации.

С процессом проектирования непосредственно связано также понятие инженерного проекта.

Инженерный проект – это изображение (модель) будущего объекта или сооружения, представленное в схемах, чертежах, макетах, описаниях, созданных коллективом проектировщиков в результате логического анализа исходных данных на основе расчетов и сопоставления вариантов.

Среди требований, предъявляемых к оптимальному проекту, можно выделить:

- минимальные затраты на его реализацию;
- максимальное удобство эксплуатации объекта;
- применение типовых стандартных узлов;
- избежание лишней детализации и повторений представления материалов.

Сложность объектов и задач проектирования делает практически невозможной реализацию одноэтапных процессов решения этих задач. В этом случае необходимо применение идей и методов декомпозиции. Поэтому процесс проектирования, как прави-

ло, осуществляется в несколько этапов. На каждом этапе решается сравнительно простая задача проектирования, а результаты решения на предыдущих этапах используются в качестве дополнительной исходной информации для последующих. Между этапами могут быть итерационные связи.

В общем виде процесс проектирования любого объекта, системы может быть представлен состоящим из четырех основных блоков (рис. 1.1):

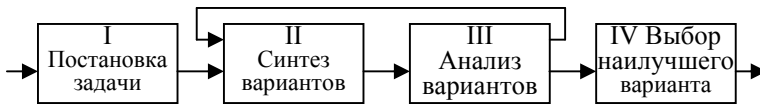


Рис. 1.1. Блок-схема процесса проектирования объектов

Блок I – постановка задачи или так называемое «внешнее проектирование» – определение свойств и характеристик будущей системы, ориентировочная оценка стоимости проектирования, производства и эксплуатации будущей системы.

Блок II – синтез проекта, в сущности – это формирование вариантов системы из отдельных элементов.

Блок III – анализ вариантов, на этом этапе производится окончательный расчет всех синтезированных элементов системы.

Блок IV – выбор наилучшего варианта по одному или нескольким критериям.

Обратная связь, дающая возможность осуществления корректировки вариантов, реализует указанную выше итерационность процесса проектирования.

При более подробном исследовании сути процесса проектирования и последующем развитии блок-схемы, приведенной на рис. 1.1, можно выделить некоторые стандартные этапы, общие для проектирования любых сложных технических объектов и систем.

Техническое задание – совокупность документов, содержащих сведения о назначении объекта, основных требованиях, предъявляемых к проекту, основных показателях и характеристиках объекта проектирования. Техническое задание формируется на основе заявки заказчика. Среди основных исходных данных можно отметить следующие: сведения о прототипах объекта, основные узлы и агрегаты, структурные связи и др. Техническое задание может дополняться и изменяться на последующих этапах.

Технико-экономическое обоснование. Проводится по всем предприятиям, вновь вводимым в эксплуатацию. На данном этапе выполняется расчет основных экономических показателей объекта, по укрупненным статистическим показателям рассчитывается сметная стоимость.

Техническое предложение. На данном этапе производится формирование различных вариантов проекта. На основе технико-экономических расчетов выполняется их оценка, в результате которой выбирается наилучший вариант. Выбранный вариант проверяется на возможность реализации и работоспособность. Техническое предложение формируется на основе технического задания. Проверенный таким образом вариант проекта формируется в виде технического предложения.

Эскизный проект – совокупность документов, представляющих в общих чертах описание объекта проектирования. Здесь производится более тщательное технико-экономическое обоснование, детализируется процесс проектирования, намечаются или измеряются этапы проектирования. На данном этапе решаются организационные вопросы.

Технический проект – основной документ, в котором выполняется расчет основных технических показателей объекта. На этом этапе идет в основном конструкторская реализация объекта проектирования. С позиций конструирования уточняются и корректируются результаты предыдущих этапов проектирования, проводятся более длительные и точные расчетные и экспериментальные исследования.

Рабочая документация. На данном этапе выпускается полный объем проектной документации. В комплект рабочей документации, кроме документов, полученных на этапах эскизного и технического проектирования, входят также пояснительные записки по описанию объекта проектирования и обоснованию принятых решений, рисунки и таблицы данных, материальные спецификации, перечень стандартов и других нормативных документов. Вся эта документация, называемая рабочим проектом, после соответствующего утверждения является основой для продолжения жизненного цикла объекта проектирования (реализации и эксплуатации).

1.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Проектирование системы электроснабжения объекта или в общем виде реализация электротехнического проекта осуществляется в рамках создания проекта объекта в целом. При этом также подразумевается выполнение архитектурно-строительной, технологической, теплотехнической и сантехнической частей проекта.

Проектные изыскательные работы выполняются по договору между заказчиком и генеральной проектной организацией, являющейся, как правило, разработчиком технологической части проекта. Разработка проектов разделов (например, электрочасти, вентиляции и др.) должна поручаться специализированным проектным институтом по договору с генеральным проектировщиком.

Генеральный проектировщик и специализированные проектные организации несут ответственность за соблюдение утвержденных технико-экономических показателей строящегося предприятия, качество проектно-сметной документации, правильное определение сметной стоимости и очередности строительства, своевременную разработку и комплектность проектно-сметной документации, а также за своевременное внесение в проектно-сметную документацию изменений, вызванных заключением экспертиз.

Проектирование системы электроснабжения, выполняемое проектной организацией, осуществляется в несколько этапов (рис. 1.2).

Данные этапы являются реализацией стандартных этапов проектирования технических систем для конкретной системы, в нашем случае системы электроснабжения. При этом точно так же можно выделить те же самые стадии, но с некоторыми особенностями, вызванными спецификой объекта проектирования.

Рассмотрим последовательно содержание каждого блока, представленного на рис. 1.2.

В качестве исходных данных для проектирования обычно задаются:

- краткая характеристика источника питания: мощность, степень обеспечения электроэнергией, нормальное эксплуатационное напряжение, пределы отклонений напряжения на источнике питания, количество питающих линий, которые могут быть выделены для питания проектируемого предприятия, технические

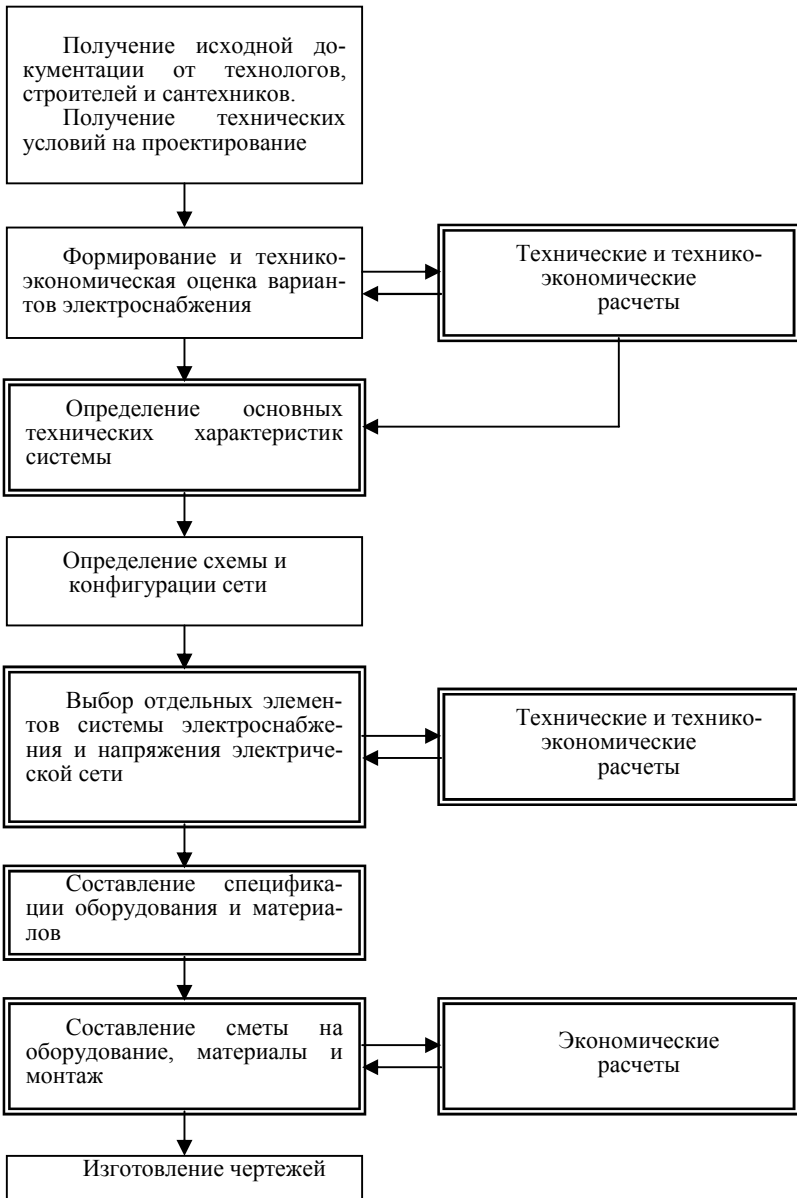


Рис. 1.2. Блок-схема этапов проектирования систем электроснабжения

условия энергоснабжающей организации на присоединение предприятия к питающей сети, токи короткого замыкания в питающей сети, данные о значении емкостного тока замыкания на землю;

- краткая характеристика производства или краткое описание выполняемых работ, допустимые перерывы питания отдельных приемников, категории цехов по характеру среды, количество смен, степень их загрузки, годовое число часов работы отдельных цехов предприятия, данные о количестве и местоположении механизмов, мощности электроприемников по отдельным цехам, данные о специальных установках и предъявляемых к ним требованиях;

- генплан предприятия с указанием местоположения всех цехов и установок, характер грунта и глубина его промерзания, сведения о метеорологических и климатических условиях и степени загрязнения среды;

- сведения о посторонних потребителях и их электрических связях, требования к бесперебойности их электроснабжения.

Namечаются несколько вариантов схем электроснабжения, одновременно производятся расчеты электрических нагрузок, различные технико-экономические расчеты.

Определяются лучший вариант и его основные технические данные: число питающих линий, число и мощность главной понижающей подстанции, число и мощность цеховых подстанций, предварительное сечение основных линий электропередачи.

Определяются схема и конфигурация распределительной сети.

Окончательно определяются параметры всех элементов электрической сети.

Составляется спецификация основного оборудования и материалов.

Составляется смета.

Изготавливаются чертежи. В основной комплект рабочих чертежей включают:

- общие данные по рабочим чертежам;
- схемы электрические принципиальные питающей и распределительных сетей;
- планы расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

2.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ

2.1.1. Организация проектирования

Высокий технический уровень проектных решений и хорошее качество проектов электрического освещения в значительной степени зависят от организации светотехнического проектирования. Специфика осветительных установок обуславливает целесообразность выполнения проектов освещения специализированными проектными подразделениями.

В крупных проектных институтах проектирование освещения осуществляется светотехническими отделами или секторами. В ряде отраслевых комплексных проектных организаций в составе электротехнических отделов имеются светотехнические бригады, реже – секторы. Однако во многих проектных организациях одни и те же проектировщики выполняют проекты разных электрических установок. В составе светотехнического отдела кроме проектировщиков целесообразно иметь конструкторов, специализирующихся в разработке рабочих конструктивных чертежей для проектов освещения.

Отдельные части проектов – сложные схемы управления освещением, задания заводам электротехнической промышленности на щиты и пульта управления, сметы – нужно выполнять в соответствующих специализированных подразделениях проектных организаций при обязательном участии проектировщиков-светотехников, состоящем в выдаче заданий и контроле.

2.1.2. Стадийность проектирования освещения

Проектирование осветительных установок подчиняется общим положениям, принятым в области разработки проектов и смет для строительства предприятий, зданий и сооружений.

Для предприятий, зданий и сооружений, строительство которых осуществляется по типовым и повторно применяемым проектам, а также для технически несложных объектов проектирование ведется в одну стадию – разрабатывается *рабочий проект* со сводным сметным расчетом. Для других объектов строительства, в том числе крупных и сложных, ведется двухстадийное проектирование – выполняется *технический проект* со сводным расчетом стоимости и создается *рабочая документация* со сметами.

В целом при проектировании электроосвещения выделяют светотехническую и электротехническую части проекта. В светотехнической части проектирования должны быть решены следующие вопросы:

- выбор системы освещения;
- выбор нормируемой освещенности;
- выбор источников света;
- выбор светильников и их размещение;
- расчет электрического освещения;
- оценка качества освещения.

В электротехнической части задания:

- выбор напряжения и источника питания осветительной установки;
- выбор схемы питания осветительной установки;
- выбор марки проводов и способа прокладки;
- расчет сечений проводов по нагреву и потере напряжения.

2.1.3. Исходные данные для проектирования

Для проектирования внутреннего освещения необходима следующая первичная документация: архитектурно-строительные планы и разрезы зданий с указанием назначения отдельных помещений, чертежи металлических конструкций, технологические планы и разрезы, чертежи санитарно-технических коммуникаций, сведения о характере среды в помещениях, данные об особенностях технологического процесса и др.

Разработка проекта осветительных установок часто выполняется одновременно с проектированием других разделов объекта, т. е. осуществляется так называемое параллельное проектирование. В этих случаях проектирование освещения приходится начинать не по окончательным, а по промежуточным исходным данным с последующим уточнением и корректировкой проектных материалов в процессе их разработки, а иногда и после окончания проектов путем выпуска чертежей или разработки новых.

2.1.4. Проектная документация

Проектирование осветительных установок регламентировано СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», отраслевыми нормами искусственного освещения, инструкциями по проектированию, а также ПУЭ, ГОСТами и некоторыми другими нормативными документами.

Требования к подготавливаемой документации по проектированию технических объектов сформулированы в ГОСТ 21.101-97 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации». Настоящий стандарт устанавливает основные требования к проектной и рабочей документации, а также общие правила выполнения графической и текстовой документации.

Вся документация по проектированию электрического освещения производится в соответствии с ГОСТ 21.608-84 «Система проектной документации для строительства. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи». В соответствии с государственным стандартом в состав основного комплекта рабочих чертежей включают:

- общие данные по рабочим чертежам;
- планы расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей;
- принципиальные схемы дистанционного управления освещением;
- схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В;
- кабельный журнал для питающей сети (при необходимости);
- чертежи установки электрического оборудования (при отсутствии типовых).

2.2. СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА

2.2.1. Световые величины и единицы

Любое тело, температура которого выше абсолютно нуля, излучает в окружающее пространство *лучистую энергию*. Энергию излучения принято измерять в джоулях (Дж). В большинстве случаев бывает необходимо знать не энергию излучения, а *мощность излучения*. Мощность излучения, характеризующая количество энергии, излучаемой в единицу времени, называется *поток излучения* или *лучистым потоком*. Единицей лучистого потока служит 1 ватт (Вт).

В светотехнике, где основным приемником является глаз человека, для оценки эффективности действия лучистого потока принята система световых величин и единиц. Одним из основных понятий в этой системе является *световой поток* – это та часть

лучистого потока, которая воспринимается зрением человека как свет и измеряется в люменах (лм).

Световой поток реального источника излучения в окружающем пространстве обычно распределяется неравномерно. Интенсивность его излучения в любом направлении характеризуется *силой света* I , определяемой отношением светового потока к телесному углу, в пределах которого он распространяется:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}. \quad (2.1)$$

Понятие силы света, строго говоря, относится к точечному источнику, размеры которого малы по сравнению с расстоянием, на котором определяется его действие. Поэтому в практике пользуются понятием средней силы света, принимая световой поток Φ_{ω} распределенным равномерно в пределах большего или меньшего телесного угла ω :

$$I = \frac{\Phi_{\omega}}{\omega}. \quad (2.2)$$

Телесный угол измеряется отношением площади S , которую он вырезает на поверхности сферы, описанной из его вершины, к квадрату радиуса r этой сферы:

$$\omega = \frac{S}{r^2}. \quad (2.3)$$

За единицу телесного угла – стерадиан (ср) – принимается угол, который, имея вершину в центре сферы, вырезает на ее поверхности участок, равный квадрату радиуса. Единица силы света – кандела (кд) – это световой поток в люменах (лм), испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср (лм/ср).

Для количественной оценки освещения какой-либо поверхности пользуются понятием *освещенности* E , т. е. отношением светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (2.4)$$

Единица освещенности – люкс (лк) – это освещенность поверхности площадью 1 м^2 световым потоком 1 лм (лм/м²).

В расчетах для характеристики светящихся поверхностей, в том числе и источников света, иногда фигурирует *светимость* M , которая оценивает плотность светового потока, излучаемого светящей поверхностью. Она равна отношению светового потока, отражаемого или пропускаемого поверхностью, к ее площади:

$$M = \frac{\Phi}{S}. \quad (2.5)$$

Единицей светимости служит люмен на квадратный метр ($\text{лм}/\text{м}^2$) светящей поверхности, что соответствует плоской поверхности площадью 1 м^2 , равномерно излучающей (в одну сторону) световой поток в 1 лм .

Условия видения объектов, имеющих различные свойства, количественно характеризуются величиной *яркости* L . Яркостью называется отношение силы света, излучаемого поверхностью в данном направлении, к величине этой поверхности:

$$L = \frac{I}{S}. \quad (2.6)$$

Единицей яркости служит кандела на квадратный метр ($\text{кд}/\text{м}^2$).

Различные материалы в зависимости от физических свойств и состояния поверхностей обладают различной способностью отражения, поглощения и пропускания света. Световые свойства поверхностей характеризуются коэффициентами отражения ρ , пропускания τ и поглощения α , причем во всех случаях $\rho + \tau + \alpha = 1$.

2.2.2. Виды и системы освещения

В производственных помещениях используется три типа освещения

Естественное – освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. Источник естественного освещения – это солнечная радиация, т. е. поток лучистой энергии солнца, доходящей до земной поверхности в виде прямого и рассеянного света. Естественное освещение предусматривается, как правило, в помещениях с постоянным пребыванием людей. В

производственных помещениях используются следующие виды естественного освещения:

- боковое – одностороннее – световые проемы в одной из наружных стен помещения; двустороннее – световые проемы в двух противоположных наружных стенах помещения;
 - верхнее – фонари и световые проемы в покрытии, а также световые проемы в стенах в местах перепада высот здания;
- комбинированное – световые проемы, указанные для бокового и верхнего освещения.

Естественное освещение какой-либо точки помещения характеризуется коэффициентом естественной освещенности (КЕО). Коэффициент естественной освещенности есть выражение в процентах отношение естественной освещенности $E_{\text{в}}$, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременно значению наружной горизонтальной освещенности $E_{\text{н}}$, создаваемой светом полностью открытого небосвода:

$$e = 100 \frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{н}}} . \quad (2.7)$$

Искусственное – освещение помещений искусственным светом с помощью электрических ламп – газоразрядных или накаливания.

Совмещенное или *смешанное* – освещение, при котором недостаточное естественное освещение дополняется искусственным.

В практике проектирования осветительных установок промышленных зданий используются две отличные друг от друга системы освещения.

Первая система – *система общего освещения* – это освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения. Его назначение состоит не только в освещении рабочих поверхностей, но и всего помещения в целом, поскольку светильники общего освещения обычно размещаются под потолком помещения на достаточно большом расстоянии от рабочих поверхностей.

В системе общего освещения принято различать два способа размещения светильников: *равномерное* и *локализованное*. В *системе общего равномерного освещения* расстояния между светильниками в каждом ряду и расстояния между рядами выдержи-

ваются неизменными. В *системе общего локализованного освещения* положение каждого светильника определяется соображениями выбора наиболее выгодного направления светового потока и устранения теней на освещаемом рабочем месте, т. е. целиком зависит от расположения оборудования.

Равномерное расположение светильников общего освещения применяется обычно в тех случаях, когда желательно обеспечить одинаковые условия освещения по всей площади помещения в целом. При необходимости дополнительного подсвета отдельных участков освещаемого помещения, если эти участки достаточно велики по площади или если по условиям работы невозможно устройство местного освещения, прибегают к локализованному размещению светильников.

Локализованное размещение светильников в перечисленных выше случаях позволяет одновременно с уменьшением удельной установленной мощности по сравнению с вариантом равномерно-го размещения обеспечить и лучшее качество освещения, в частности создать желательное направление светового потока на рабочие поверхности и устранить падающие тени от близко расположенного оборудования.

Вторая система – *система комбинированного освещения* – освещение, при котором к общему освещению добавляется местное. Данная система включает в себя как светильники, расположенные непосредственно у рабочего места и предназначенные для освещения только лишь рабочей поверхности (*местное освещение*), так и светильники общего освещения, предназначенные для выравнивания распределения яркости в поле зрения и создания необходимой освещенности по проходам помещения. Система комбинированного освещения обычно характеризуется повышенными первоначальными затратами на оборудование по сравнению с системой общего освещения.

С точки зрения удобства эксплуатации система комбинированного освещения имеет преимущества по сравнению с системой общего освещения. Действительно, так как светильники местного освещения расположены непосредственно у рабочих мест, значительно упрощаются их чистка, смена перегоревших ламп, а также систематический надзор и текущий ремонт осветительной установки. Местное освещение на рабочих местах, на которых в данный момент работа не производится, может быть выключено, что обеспечивает большую гибкость в эксплуатации освещения, исключая непроизводительный расход электроэнергии.

Проведенный анализ преимуществ и недостатков систем освещения позволяет сформулировать следующие рекомендации по их использованию:

Общее равномерное освещение:

– в производственных помещениях при высокой плотности расположения оборудования, если это оборудование не создает теней на рабочих поверхностях и не требует изменения направления света;

– в производственных помещениях, в которых по всей площади выполняются однотипные работы;

– в производственных помещениях, в которых работа не требует большого и длительного напряжения зрения (разряд V по СНиП и ниже), а также во вспомогательных, складских и проходных помещениях.

Общее локализованное освещение:

– в производственных помещениях при расположении рабочих мест группами, сосредоточенными на отдельных участках;

– в производственных помещениях, в которых на отдельных участках выполняются работы различной точности, требующие разных уровней освещенности;

– в помещениях при выполнении работ, относящихся по СНиП к разрядам IV и ниже.

Комбинированное освещение:

– в производственных помещениях с оборудованием, создающим глубокие и резкие тени на рабочей поверхности в условиях общего освещения, а также на рабочих местах, требующих изменения направления света;

– в производственных помещениях с оборудованием, рабочие поверхности которого расположены вертикально или наклонно и нуждаются в сравнительно высоких уровнях освещенности;

– в производственных помещениях, в которых выполняются точные зрительные работы, относящиеся к разрядам I-IV по СНиП, за исключением тех случаев, когда устройство местного освещения невозможно по технологическим или конструктивным соображениям.

Как видно, одним из важных факторов, используемых для выбора системы освещения, является характеристика зрительной работы, выполняемой при реализации того или иного технологического процесса. В СНиП подразделяются зрительные работы на соответствующие разряды по минимальному размеру объекта различения (табл. 2.1).

Разряды зрительной работы

Разряд зрительной работы	Минимальный размер объекта различения, мм	Характеристика зрительной работы
I	менее 0.15	Наивысшая точность
II	0.15...0.3	Очень высокая точность
III	0.3...0.5	Высокая точность
IV	0.5...1.0	Средняя точность
V	1.0...5.0	Малая точность
VI	более 5.0	Очень малая точность
VII	–	Светящиеся материалы и изделия
VIII	–	Общее наблюдение за процессом

В соответствии со своим назначением электрическое освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. *Рабочее освещение* – освещение, обеспечивающее нормируемую освещенность в помещениях – применяется во всех без исключения помещениях.

Аварийное освещение – освещение, обеспечивающее минимальную допустимую освещенность при отключении рабочего освещения. При этом различают *освещение безопасности* (для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения) и *эвакуационное освещение* (для осуществления эвакуации при аварийном отключении рабочего освещения).

Аварийное освещение для продолжения работы требуется в помещениях, где в результате погасания общего освещения могут возникнуть массовый травматизм и отравление людей, пожар, взрыв и т. п. Согласно СНиП в этих случаях на рабочих поверхностях необходимо создавать наименьшую освещенность в размере 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения от общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий.

Аварийное освещение для эвакуации должно устраиваться:

- в местах, опасных для прохода людей;
- в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 человек;

- по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 человек;
- в лестничных клетках жилых зданий высотой 6 этажей и более;
- в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход людей из помещения при аварийном отключении нормального освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования;
- в помещениях общественных и вспомогательных зданий промышленных предприятий, если в помещениях могут одновременно находиться более 100 человек;
- в производственных помещениях без естественного света.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) и на ступенях лестниц: в помещениях – 0.5 лк, на открытых территориях – 0.2 лк.

Охранное освещение – освещение вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Освещенность, создаваемая при этом, должна быть не менее 0.5 лк.

Дежурное освещение – освещение в нерабочее время. Область применения, величины освещенности, равномерность и требования к качеству для дежурного освещения не нормируются.

2.2.3. Источники света

К числу источников искусственного света массового применения, выпускаемых нашей промышленностью, относятся лампы накаливания, люминесцентные лампы и дуговые разрядные лампы.

Лампы накаливания. Действие ламп накаливания основано на принципе теплового излучения. Свечение в этих лампах возникает в результате нагрева вольфрамовой нити до высокой температуры. При низких температурах телом излучаются почти исключительно невидимые инфракрасные лучи, длина которых больше, чем у световых лучей. По мере повышения температуры изменяется состав спектра, происходит увеличение видимого излучения.

Промышленность выпускает различные типы ламп накаливания: вакуумные (В), газонаполненные (Г) (наполнитель – смесь аргона и азота), биспиральные (Б), с криптоновым наполнением (К).

Лампы накаливания просты в изготовлении, удобны в эксплуатации, не требуют дополнительных устройств для включения в сеть, обеспечивают практически мгновенное зажигание при включении независимо от температуры внешней среды. Недостаток этих ламп – малая световая отдача при большой яркости нити накала, низкий КПД, равный 10-13 %. Срок службы ламп составляет 800...1000 ч. Лампы дают непрерывный спектр, отличающийся от спектра дневного света преобладанием желтых и красных лучей, что искажает восприятие человеком цветов окружающих предметов.

Галогенные лампы накаливания наряду с вольфрамовой нитью содержат в колбе пары того или иного галогена (например, йода), который повышает температуру накала нити и практически исключает испарение. Они имеют более продолжительный срок службы (до 3000 ч) и более высокую светотдачу (до 30 лм/Вт).

Газоразрядные лампы излучают свет в результате электрических разрядов в парах газа. На внутреннюю поверхность колбы нанесен слой светящегося вещества – люминофора, трансформирующего электрические разряды в видимый свет. Различают газоразрядные лампы низкого (люминесцентные) и высокого давления (ДРЛ).

Люминесцентные лампы создают в производственных и других помещениях искусственный свет, приближающийся к естественному, более экономичны в сравнении с другими лампами и создают освещение, более благоприятное с гигиенической точки зрения. Работа люминесцентной лампы основана на использовании ультрафиолетового излучения в парах ртути низкого давления, наполняющего колбу лампы, при прохождении через них электрического тока с последующим его преобразованием с помощью люминофора в видимое излучение.

В зависимости от состава люминофора и особенностей конструкции различают несколько типов люминесцентных ламп: ЛБ – лампы белого света, ЛД – лампы дневного света, ЛТБ – лампы тепло-белого света, ЛХБ – лампы холодного света, ЛДЦ – лампы дневного света правильной цветопередачи. Наиболее универсальны лампы белого света. Лампы ЛХБ, ЛД и особенно ЛДЦ применяются в случаях, когда выполняемая работа предполагает цветоразличение.

К преимуществам люминесцентных ламп относятся больший срок службы и высокая световая отдача, достигающая для ламп некоторых видов 75 лм/Вт, т. е. они в 2.5-3 раза экономичнее

ламп накаливания. Свечение происходит со всей поверхности трубки, а следовательно, яркость и слепящее действие люминесцентных ламп значительно ниже ламп накаливания. Низкая температура поверхности колбы (около 5 °С), делает лампу относительно пожаробезопасной.

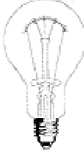
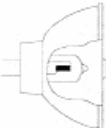


Несмотря на ряд преимуществ, люминесцентное освещение имеет и некоторые недостатки: пульсация светового потока, вызывающая стробоскопический эффект (искажение зрительного восприятия объектов различения – вместо одного предмета видны изображения нескольких); сложная схема включения, требующая регулирующих пусковых устройств (дресселей, стартеров); чувствительность к колебаниям температуры окружающей среды (оптимальная температура 20-25 °С); понижение и повышение температуры вызывает уменьшение светового потока.

Для освещения открытых пространств, высоких (более 6 м) производственных помещений большое распространение получили дуговые люминесцентные ртутные лампы высокого давления. Эти лампы, в отличие от обычных люминесцентных ламп, сосредоточивают в небольшом объеме значительную мощность. Конструктивно лампа состоит из внешнего баллона, выполненного из стекла, внутри которого помещена кварцевая газоразрядная лампа, наполненная некоторым количеством ртути и инертным газом. На внутреннюю поверхность баллона нанесен слой люминофора.

Основные достоинства ламп ДРЛ состоят в устойчивости к атмосферным воздействиям (лампы работают при любой температуре внешней среды), возможности изготовления ламп большой мощности. Кроме того, их можно устанавливать в обычных светильниках взамен ламп накаливания. К недостаткам ламп относится длительное разгорание при включении (5-7 мин), а также способность повторно зажигаться только после охлаждения. Однако существенным недостатком является плохая цветопередача, позволяющая применять лампы только при отсутствии каких-либо требований к различению цветов. Некоторые характеристики ламп накаливания и газоразрядных ламп приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Некоторые виды ламп и их характеристики

Тип лампы		Световая отдача, лм/Вт	Средний срок службы, ч
	Лампы накаливания общего назначения	10...15	1000
	Зеркальные галогенные лампы накаливания	20...30	2000...3000
	Линейные люминесцентные лампы	60...80	10000...15000
	Ртутные лампы высокого давления с люминофором	45...50	12000...15000

В общем случае при решении вопроса о выборе источника света для освещения производственных помещений необходимо анализировать преимущества и недостатки источников света и уже потом делать вывод о необходимости и целесообразности применения тех или иных ламп с учетом рекомендаций СНиП.

2.2.4. Осветительные приборы

Осветительным прибором называют совокупность осветительной арматуры и помещенного в нее источника света. Осветительные приборы, предназначенные для освещения объектов, расположенных относительно близко от них, называют светильниками, а удаленных объектов – прожекторами.

Необходимость помещения лампы внутрь осветительной арматуры вызывается следующими соображениями. При горении открытая лампа излучает световой поток в пространство равномерно во все стороны. Около половины всего излучаемого потока направляется в верхнюю полусферу. Эта часть светового потока, падая на окрашенные в темные цвета или загрязненные стены и потолки производственных помещений, в результате отражения либо дает незначительное увеличение освещенности рабочих мест, либо вообще не используется. Осветительная арматура позволяет перераспределить световой поток источника света, т. е. послать его в нужном направлении.

Применяя в зависимости от внешней среды соответствующую осветительную арматуру, также можно надежно предохранить лампу от загрязнений, коррозии, механических повреждений, влаги, пожаро- и взрывоопасной пыли и паров.

В общем случае все светильники характеризуются следующими основными показателями: характером распределения светового потока в пространстве; величиной защитного угла; коэффициентом полезного действия.

Светильники в зависимости от заданных условий распределения светового потока между верхней и нижней полусферами делятся на следующие группы.

Светильники прямого света (П) направляют не менее 80 % всего светового потока, излучаемого лампой, в нижнюю полусферу. Благодаря тому, что наибольшая часть светового потока направляется непосредственно на освещаемые поверхности, светильники прямого света самые экономичные по расходу электроэнергии и применяются для освещения производственных помещений и наружного освещения. Их недостаток заключается в появлении довольно резких теней.

Светильники преимущественно прямого света (Н) излучают в нижнюю полусферу от 60 до 80 % всего светового потока. Такие светильники применяются в цехах с хорошо отражающими стенами и потолками.

Светильники рассеянного света (Р) излучают световой поток во все стороны (от 40 до 60 % в каждую полусферу). Эта группа является промежуточной между светильниками прямого и отраженного света и применяется в производственных помещениях, когда необходимо, кроме освещения нижней части помещения, осветить также и часть технологического оборудования и трубопроводов, расположенных в верхней части помещения. Светильники этой группы широко используются и для освещения административных помещений, школ, библиотек и бытовых помещений при светлых тонах окраски потолков и стен.

Светильники преимущественно отраженного света (В) направляют от 60 до 80 % светового потока в верхнюю полусферу и применяются в тех случаях, когда по характеру работы, выполняемой в данном помещении, не должно быть теней (некоторые административные помещения).

Светильники отраженного света (О) направляют не менее 80 % светового потока, излучаемого лампой, в верхнюю полусферу. При освещении чистых и светлых помещений они создают свет, равномерно распределенный по всему объему помещения, при этом почти совсем отсутствуют резкие тени и полутени. Эти светильники применяются для освещения общественных зданий, больниц, чертежно-конструкторских бюро, а также для архитектурно-художественного освещения. Светильники отраженного света менее экономичны в энергетическом отношении, чем светильники групп прямого или рассеянного света.

Излучаемый в данной полусфере поток также может быть различно распределен в пространстве. Его распределение по отдельным направлениям пространства характеризуется кривыми силы

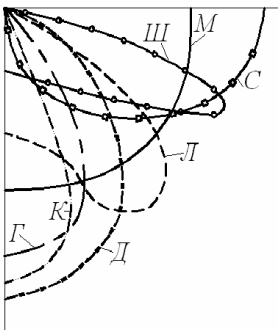


Рис. 2.1. Типовые кривые силы света

света. Государственный стандарт устанавливает следующие основные типы кривых силы света (рис. 2.1): К – концентрированная; Г – глубокая; Д – косинусная; С – синусная; Л – полуширокая; Ш – широкая; М – равномерная.

Существуют также некоторые специальные кривые света. Кривые светораспределения для конкретных светильников приводятся в светотехнических справочниках.

Другой характеристикой светильников является его защитный угол. Для защиты глаз наблюдателя от воздействия яркости источника света каждый светильник должен иметь определенную величину защитного угла. Защитным углом светильника с лампой накаливания называют угол γ , образованный двумя прямыми линиями, из которых одна проходит через тело накала лампы, а другая соединяет крайнюю точку тела накала с противоположным краем отражателя (рис. 2.2).

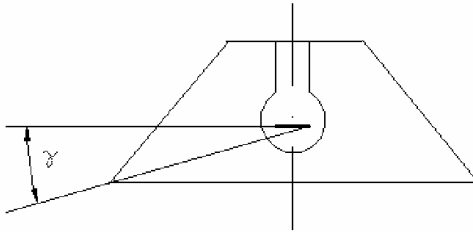


Рис. 2.2. Защитный угол светильника

Световой поток, излучаемый открытой лампой, всегда будет больше светового потока светильника с этой же лампой. Это объясняется тем, что часть светового потока поглощается осветительной арматурой.

Отношение светового потока светильника $\Phi_{\text{св}}$ к световому потоку источника света (лампы) $\Phi_{\text{л}}$ называется коэффициентом полезного действия светильника:

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{св}}}{\Phi_{\text{л}}} . \quad (2.8)$$

Как было показано ранее, общее освещение может быть выполнено при равномерном или локализованном расположении светильников. Расположение светильников локализованного освещения, их мощность и высота подвеса определяются индивидуально для каждого рабочего места или участка производственного помещения. При этом учитываются характер производственного процесса и требования наилучшего направления светового потока.

При равномерном размещении светильников необходимо найти наиболее выгодное расстояние между ними, при котором для заданных освещенностей потребляется наименьшее количество энергии. Размещение светильников чаще всего производится по

углам квадрата, прямоугольника или в шахматном порядке (рис. 2.3, 2.4).

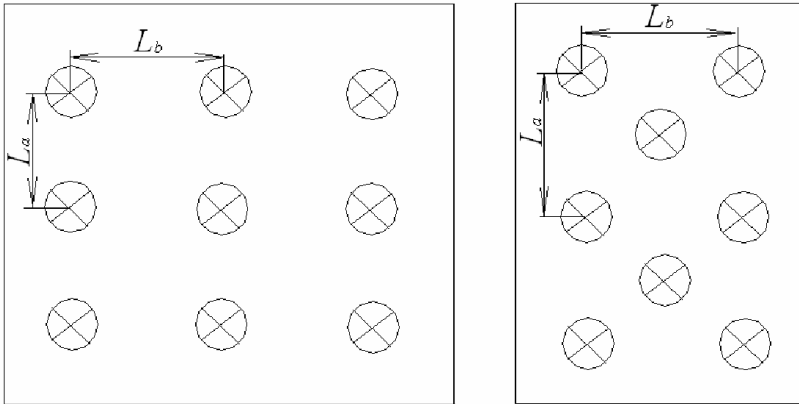


Рис. 2.3. Варианты размещения светильников

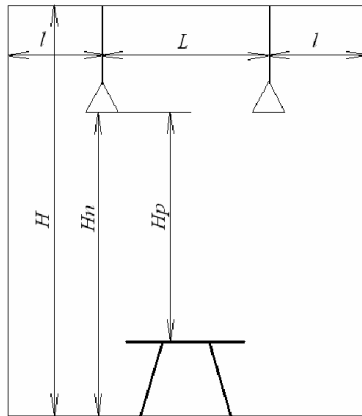


Рис. 2.4. Расположение светильников по высоте помещения

При размещении светильников проектировщик сталкивается с двумя противоречивыми условиями. С одной стороны, частое расположение светильников требует применения ламп малой мощности с невысокой светоотдачей, что приводит к повышенному расходу электроэнергии и излишним капитальным затратам на светильники и монтаж электросети. С другой стороны, редкое

расположение светильников с лампами относительно большой мощности приводит к неравномерной освещенности, что в итоге также невыгодно в энергетическом отношении, поскольку освещенность точек поверхностей под светильниками будет намного превышать освещенность точек между светильниками, где необходимо обеспечить нормированную минимальную освещенность. В результате оказываются невыгодными в энергетическом отношении как слишком большие, так и слишком малые расстояния между светильниками. В светотехнике пользуются понятием относительного расстояния между светильниками, которое представляет собой отношение абсолютной величины расстояния между светильниками L к высоте их подвеса над рабочей поверхностью H_p :

$$\frac{L}{H_p}. \quad (2.9)$$

При прямоугольном размещении светильников под L следует понимать среднегеометрическую величину из длины и ширины освещаемой поверхности. Тогда относительное расстояние будет равно

$$\frac{L}{H_p} = \frac{\sqrt{L_a L_b}}{H_p}, \quad (2.10)$$

где L_a , L_b – расстояния между светильниками по ширине и длине помещения.

При шахматном расположении наибольшая равномерность освещения обеспечивается, если светильники располагаются по вершинам равностороннего треугольника, т. е.

$$L_b = \sqrt{3}L_a. \quad (2.11)$$

Для люминесцентных светильников, располагаемых рядами, величина L является расстоянием между этими рядами.

Рекомендуемые относительные расстояния для наиболее часто применяемых светильников, приводятся в светотехнических справочниках. При этом оптимальные относительные расстояния не всегда могут быть приняты по архитектурно-строительным и другим условиям. Поэтому при проектировании осветительных установок возможны отступления от наивыгоднейшего отноше-

ния L/H_p . Однако увеличение L/H_p сверх рекомендованных крайне нежелательно.

При освещении помещений люминесцентными лампами они размещаются сплошными рядами или с незначительными разрывами. Расстояние между параллельными рядами светильников выбираются так же, как и для светильников с лампами накаливания по отношению L/H_p .

Кроме расстояния между светильниками, необходимо выбрать также расстояния от крайнего ряда светильников до стен. Они принимаются в пределах:

- когда рабочие места расположены непосредственно у стен зданий,

$$l = (0.25 \dots 0.3)L;$$

- когда у стены располагаются только проходы и проезды,

$$l = (0.4 \dots 0.5)L.$$

2.2.5. Расчет электрического освещения

Задача светотехнического расчета при проектировании осветительных установок состоит в определении мощности отдельной лампы и установленной мощности всей установки. При расчете вначале определяется световой поток, необходимый для создания заданной освещенности, а затем по световому потоку выбираются стандартные лампы.

Светотехнические расчеты выполняются следующими методами: а) методом коэффициента использования; б) точечным методом; в) методом удельной мощности.

Метод коэффициента использования. Данный метод применим и дает достаточные для практики результаты при расчете общего равномерного освещения. При этом определяется освещенность поверхности с учетом как светового потока, падающего непосредственно на освещаемую поверхность, так и отраженного от стен, потолков и самой освещаемой поверхности.

Как известно, на рабочую поверхность падает не весь световой поток установленных ламп, так как некоторая часть его поглощается осветительной арматурой, стенами и потолком. Следовательно,

$$\Phi_p < n\Phi_{л}, \quad (2.12)$$

где n – число ламп, $\Phi_{л}$ – световой поток одной лампы.

Коэффициентом использования светового потока осветительной установки называется отношение светового потока, подающего на поверхность, равную площади помещения, к суммарному световому потоку всех источников света

$$\eta = \frac{\Phi_p}{n\Phi_{л}}. \quad (2.13)$$

Для определения коэффициента использования можно воспользоваться выражением

$$\eta = \eta_c \eta_{п}, \quad (2.14)$$

где η_c – КПД светильника, $\eta_{п}$ – коэффициент использования помещения, определяемый по светотехническому справочнику с учетом коэффициентов отражения $\rho_{пот}$ – потолка, $\rho_{ст}$ – стен, ρ_p – расчетной поверхности, а также индекса помещения

$$i = \frac{ab}{H_p(a+b)}, \quad (2.15)$$

где a и b – длина и ширина помещения.

Средняя освещенность поверхности определяется выражением

$$E_{ср} = \frac{\Phi_p}{S} = \frac{\eta n \Phi_{л}}{S}. \quad (2.16)$$

Нормативные документы устанавливают наименьшие величины освещенности. Поэтому при расчете необходимо обеспечить минимальную освещенность. Для этого вводится поправочный коэффициент

$$z = \frac{E_{ср}}{E_{\min}}. \quad (2.17)$$

Значение z можно принять для ламп накаливания и ДРЛ равным 1.15, для люминесцентных ламп – равным 1.1.

Также в выражение вводится коэффициент запаса k_3 для компенсации снижения освещенности от осветительной установки с течением времени. С учетом вышесказанного получаем

$$E_{\min} = \frac{n\Phi\eta}{Sz k_3}. \quad (2.18)$$

Тогда основное выражение для определения светового потока отдельной лампы будет следующим:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{nE_{\min}\eta}{Sz k_3}. \quad (2.19)$$

Порядок расчета в соответствии с полученными выражениями следующий:

- выбирают тип светильника, намечают высоту его подвеса и наивыгоднейшее число светильников;
- устанавливают минимальный нормируемый уровень освещенности;
- определяют коэффициент использования осветительной установки;
- определяют по справочным данным значения поправочного коэффициента и коэффициента запаса;
- рассчитывается световой поток лампы;

по расчетному потоку подбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой не должен отличаться от требуемого расчетом более чем на -10 и $+20$ %. При невозможности выбрать лампу, поток которой лежит в указанных пределах, изменяется число светильников.

Точечный метод. Данный метод применим для определения освещенности любой точки на рабочей поверхности как при равномерном, так и при локализованном расположении светильников. Также точечный метод используется для проверочных расчетов. Недостатком его является то, что он не учитывает освещенность, создаваемую отраженным световым потоком.

Расчет ведется для наименее освещенной (наихудшей) точки в пределах поверхности, на которой должна быть обеспечена нормированная освещенность. В ряде случаев для этого следует определить значение суммы освещенности для нескольких точек, которые можно считать характерными, но чаще всего можно ограничиться немногими точками, в которых наиболее вероятен минимум освещенности, нередко даже одной точкой. При общем

равномерном освещении крупных помещений основными контрольными точками являются центр углового поля и середина его длинной стороны. Эти точки и некоторые другие случаи показаны на рис. 2.5.

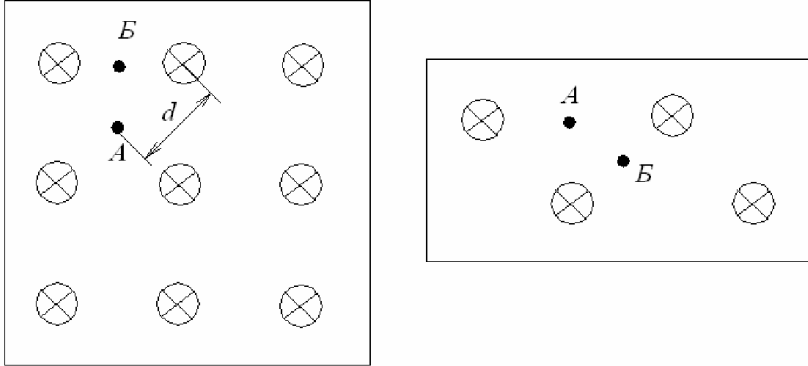


Рис. 2.5. Контрольные точки

Поток одной лампы в данном методе определяется по формуле

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{1000E_{\text{min}}k_3}{\mu\Sigma e}, \quad (2.20)$$

где Σe – сумма условных освещенностей от всех светильников, определенных по изолюксам; μ – коэффициент дополнительной освещенности, учитывающий отраженную составляющую освещенности и принимаемый равным 1.0...1.2.

Особенности метода целесообразно рассмотреть при анализе алгоритма расчета:

- выбирают тип светильника, намечают высоту его подвеса и наивыгоднейшее число светильников;
- устанавливают минимальный нормируемый уровень освещенности;
- определяют значения коэффициента дополнительной освещенности и коэффициента запаса;
- определяют, измерив по плану, расстояния d от заданной точки до проекции каждого из ближайших светильников (рис. 2.5);
- находят по графикам пространственных изолюк значения условной освещенности – e , суммируя их, получают Σe . Графики

изолюкс приводятся в светотехнических справочниках для конкретного типа светильника. Условная освещенность при этом определяется в зависимости от расстояния d и высоты подвеса светильника;

- рассчитывается световой поток лампы;
- по расчетному потоку подбирается ближайшая стандартная лампа.

Метод удельной мощности. Этот метод является упрощенной формой расчета освещенности методом коэффициента использования. Расчет по удельной мощности применяется для определения мощности осветительной установки при общем равномерном освещении, а также для оценки правильности произведенного светотехнического расчета. Данный способ непригоден для расчета локализованного освещения, а также для расчета помещений, затененных громоздким оборудованием.

Удельной мощностью называется отношение общей установленной мощности ламп помещения к освещаемой площади:

$$P_{\text{уд}} = \frac{nP_{\text{л}}}{S}, \quad (2.21)$$

где $p_{\text{уд}}$ – удельная мощность, n – число ламп, $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, S – площадь помещения.

Таблицы значений удельной мощности приводятся в светотехнических справочниках в зависимости от заданной освещенности, типа светильника, высоты его подвеса и характеристик помещения.

Порядок расчета по данному методу следующий:

- выбирают тип светильника, намечают высоту его подвеса и наиболее выгодное число светильников;
- находят по соответствующим таблицам удельную мощность руд $P_{\text{уд}}$;
- определяют установленную мощность ламп по формуле

$$P_{\text{у}} = P_{\text{уд}}S; \quad (2.22)$$

- определяют мощность одной лампы

$$P_{\text{л}} = \frac{P_{\text{у}}}{n}. \quad (2.23)$$

2.2.6. Оценка качества освещения

К качественным показателям промышленных осветительных установок относятся: равномерность распределения освещенности; показатель ослепленности; коэффициент пульсации.

Равномерность распределения освещенности зависит от светораспределения светильников и их размещения в пространстве, определяемого относительным расстоянием. При выдерживании оптимальных значений относительного расстояния равномерность освещения находится в пределах нормы.

Слепящее действие осветительной установки точно также зависит от светораспределения светильников, относительного расстояния, а также характеристик освещаемого помещения, его размеров и коэффициентов отражения. При применении типовых светильников и при оптимальных отношениях значения показателя ослепленности находятся в пределах нормы.

Количественной мерой степени пульсации является отношение изменения светового потока или освещенности за период переменного тока к среднему значению этих величин.

Выражение для величины $K_{п.и}$, характеризующей пульсации светового потока источников света или светильников, и $K_{п}$ – характеризующей пульсации освещенности на рабочей поверхности, имеют вид

$$K_{п.и} = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\text{ср}}}, \quad (2.24)$$

$$K_{п} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\text{ср}}}. \quad (2.25)$$

Коэффициент пульсации освещенности зависит от коэффициента пульсации светового потока источника света, светораспределения светильников, их размещения и от схемы включения в сеть трехфазного тока.

Нормами устанавливаются значения коэффициента пульсации в зависимости от точности зрительной работы. Основная таблица норм в зависимости от разряда зрительных работ устанавливает наибольшее значение $K_{п}$ в пределах от 10 до 20 % (табл. 2.3).

Нормированные значения коэффициента пульсации

Разряд зрительной работы Система освещения	I, II	III	IV–VII
Система общего освещения	10	15	20
Система комбинированного освещения:			
общее	20	20	20
местное	10	15	20

Если нормативные значения $K_{п}$ не меньше, чем $K_{п.л}$ лампы (или совокупности ламп в светильнике), то дополнительных мер для ограничения пульсаций не требуется, в противном же случае необходимое значение $K_{п}$ достигается тем, что в освещении каждой точки рабочей поверхности участвуют светильники, присоединенные к различным фазам трехфазной сети. Для этого применяются двух- и трехфазные групповые линии, осуществляется определенный порядок присоединения светильников к разным фазам, а в некоторых случаях светильники сближаются или же в одной точке устанавливаются сдвоенные или строенные светильники.

В справочниках приводятся таблицы, в которых указано, при каких схемах фазировки и при каких расстояниях между светильниками обеспечиваются те или иные нормативные значения $K_{п}$. Например, все значения $K_{п}$, начиная от 10 %, обеспечиваются при установке в одной точке трех ламп типа ДРЛ или при установке в светильнике трех люминесцентных ламп разных фаз.

2.3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА

Структура электротехнической части проекта, направленной на выполнение проектирования осветительной электрической сети, включает в себя выбор напряжения и источника питания осветительной установки, выбор и обоснование схемы питания, расчет марки и сечения проводников, способов их прокладки и т. д.

2.3.1. Напряжение осветительных сетей

Для светильников общего освещения разрешается применять напряжения:

- не выше 380/220 В переменного тока – при заземленной нейтрали;
- 220 В – при изолированной нейтрали.

Для светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания должны применяться напряжения:

- в помещениях без повышенной опасности не выше 220 В;
- в помещениях с повышенной опасностью не выше 50 В.

Для ручных переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью должно применяться напряжение не выше 50 В. В особо неблагоприятных условиях, когда опасность поражения током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением с заземленными металлическими поверхностями, должно применяться напряжение не выше 12 В.

Напряжение большинства выпускаемых промышленностью источников света не превышает 220 В, что соответствует требованиям электробезопасности. Для газоразрядных ламп, рассчитанных на напряжение 380 В, допускается применять линейное напряжение 380 В системы 380/220 В и фазное напряжение системы 660/380 В. Причем это возможно только при соблюдении следующих условий: выполнения ввода в осветительный прибор проводниками с изоляцией на напряжение не менее 660 В; ввод в осветительный прибор двух и трех разных фаз системы 660/380 В запрещается.

2.3.2. Источники питания осветительных установок

Осветительные сети обычно не совмещаются с силовыми сетями. Тем не менее питание осветительных установок обычно производится от общих для силовых и осветительных сетей трансформаторов на напряжении 380/220 В при глухом заземлении нейтрали. Область применения самостоятельных осветительных трансформаторов ограничивается случаями, когда характер силовой нагрузки промышленных предприятий (мощные сварочные аппараты, частый пуск мощных электродвигателей) не позволяет при совместном питании обеспечить требуемое качество напряжения у ламп.

Если силовые электроприемники питаются от сети напряжением 660/380 В с заземленной нейтралью, то к этой же сети могут быть присоединены светильники, рассчитанные на напряжение 380 В (газоразрядные лампы). Питание же остальных осветительных приборов производится от промежуточных трансформаторов напряжением 660/380 В или от отдельных трансформаторов напряжением 6(10)/0.4 кВ.

При решении вопросов питания аварийного освещения необходимо учитывать требования СНиП и ПУЭ. В них указывается,

что светильники аварийного освещения безопасности (для продолжения работ), а также светильники эвакуационного освещения в помещениях без естественного света должны присоединяться к независимому источнику или переключаться на него автоматически при внезапном отключении рабочего освещения (рис. 2.6, а, б). Светильники эвакуационного освещения в помещениях с естественным светом присоединяются к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от распределительного устройства подстанции или от ввода в здание (рис. 2.6, в).

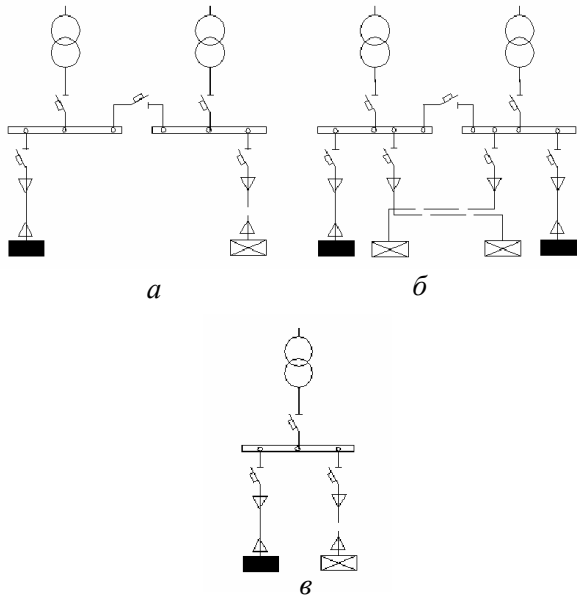


Рис. 2.6. Варианты питания рабочего и аварийного освещения

2.3.3. Схемы питания осветительных установок

Электрическая осветительная сеть в общем случае может состоять из следующих звеньев (рис. 2.7): распределительное устройство трансформаторной подстанции 1, питающая сеть 2, магистральный щиток 3, щитки аварийного 4 и групповые щитки рабочего 5 освещения, групповая сеть 6, а также источники света 7. При реализации конкретных схем питания осветительных установок те или иные звенья могут отсутствовать.

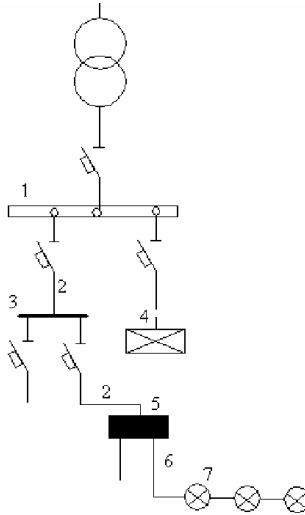


Рис. 2.7. Структура осветительной сети

Как показано, сети освещения разделяются на питающие и групповые. К питающей сети относятся линии от трансформаторных подстанций или других точек питания до групповых щитков, к групповой сети – линии от групповых щитков до осветительных приборов.

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

Магистральные осветительные щиты получают питание одной мощной линией от подстанции, а затем осуществляют распределение электроэнергии между присоединенными к ним групповым щиткам. Наличие в схеме магистральных щитов позволяет сделать сложную разветвленную сеть более гибкой и структурированной. Это также позволяет избежать чрезмерного усложнения распределительного устройства подстанции.

Групповые щитки, в которых устанавливаются аппараты защиты и управления для групповых линий, предназначены для питания непосредственно осветительных приборов.

Размещая в помещении групповые щитки, следует руководствоваться следующими положениями:

- для уменьшения протяженности групповой сети и расхода проводникового материала групповые щитки располагают в центре нагрузки;
- для удобства обслуживания щитки располагают в местах легкодоступных для обслуживающего персонала.

Схемы питающих сетей отличаются достаточным разнообразием. При этом могут быть использованы как радиальные, так и магистральные схемы питания. Различия между этими схемами с точки зрения области применения незначительны. В основном при решении вопроса питания осветительных установок руководствуются компоновкой помещений. Зачастую отдельными линиями следует питать производственные участки или цеха. При этом, с одной стороны, при использовании большого числа радиальных линий увеличивается общая протяженность сетей. С другой стороны, при использовании магистралей могут чрезмерно возрасти сечения проводников. Ниже приведены схемы, наиболее часто встречающиеся при питании освещения и силовых электроприемников от общих трансформаторов (рис. 2.8).

На рис. 2.8. показаны: 1 – групповые щитки рабочего освещения, 2 – отходящие линии силовых электроприемников, 3 – щитки аварийного освещения, 4 – магистральные осветительные щиты, 5 – главные магистрали.

При распределении светильников между линиями групповой сети следует руководствоваться установленными ПУЭ предельными данными по максимальному току аппаратов и числу подключенных ламп. Например, в каждую фазу групповой линии включается не более 20 ламп накаливания, ДРЛ или не более 60...100 люминесцентных ламп в зависимости от максимальной единичной мощности источника света.

Групповые линии выполняют одно-, двух- и трехфазными. Увеличение фазности, как было ранее указано, позволяет уменьшить уровень пульсаций освещенности.

При построении групповых сетей для трехфазных систем переменного тока применяются следующие схемы:

- глухозаземленная нейтраль
 - двухпроводная однофазная (рис. 2.9, а, б);
 - двухпроводная двухфазная (рис. 2.9, д);
 - трехпроводная двухфазная с нулевым проводом (рис. 2.9, е);

- трехпроводная трехфазная (рис. 2.9, е);
- четырехпроводная трехфазная с нулевым проводом (рис. 2.9, з);
- изолированная нейтраль
 - двухпроводная двухфазная (рис. 2.9, д);
 - трехпроводная трехфазная (рис. 2.9, е).

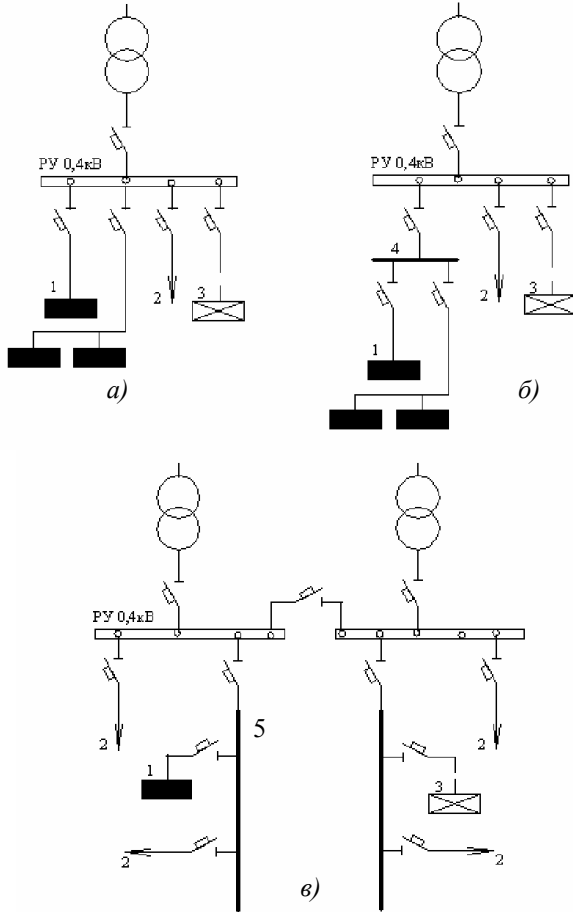


Рис. 2.8. Схемы питания осветительных сетей:
 а – питание непосредственно от щита подстанции; б – питание через магистральный щиток; в – питание при системе блок трансформатор-магистраль

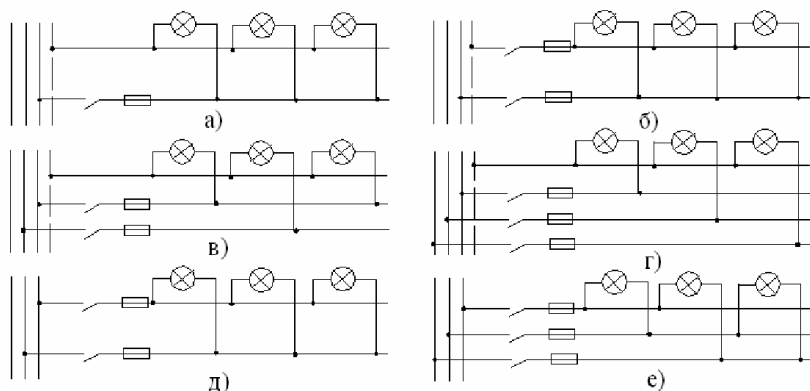


Рис. 2.9. Схемы групповых сетей

В качестве способа подключения осветительных приборов по фазам групповой линии наиболее предпочтительным является *A-B-C-A-B-C...* Данный вариант наиболее оптимален как с точки зрения снижения пульсаций освещенности, так и равномерности распределения освещенности.

2.3.4. Расчет осветительной сети

При выполнении осветительных сетей выдвигается ряд обязательных требований, которые должны быть при этом учтены. Среди таких требований можно выделить надежность, долговечность, пожаробезопасность, экономичность, а также удобство эксплуатации сетей.

При рассмотрении вопросов, связанных с расчетом осветительных сетей, определяется способ выполнения сети, выбирается марка используемых проводников, рассчитываются их сечения, производится выбор защитно-коммутационных аппаратов.

Выполнение осветительных сетей. В качестве проводникового материала для выполнения сетей применяются алюминий и медь. Наибольшее распространение получили провода и кабели с алюминиевыми жилами в основном вследствие своей большей экономичности. Применение же медных проводников, обладающих несколько лучшими характеристиками (меньшее удельное сопротивление, большая механическая прочность), как правило, рекомендуется в помещениях с химически агрессивными средами, с большим уровнем вибрации, во взрывоопасных помещениях, а также в жилых зданиях.

Основные рекомендации по использованию конкретных видов и марок проводников в зависимости от характеристики окружающей среды и особенностей помещения приводятся в нормативно-технической литературе. Среди наиболее распространенных видов электропроводки можно отметить следующие:

- незащищенные изолированные провода (АПРТО, АПВ, АРТВ);
- защищенные провода (АПРФ);
- кабели (АВВГ, АВРГ, АНРГ);
- осветительные шинопроводы (ШОС).

Марки указаны для проводников с алюминиевыми жилами, аналогичные изделия с медными жилами отличаются отсутствием начальной буквы А.

По способу выполнения электропроводки в зданиях подразделяются на открытые и скрытые. В данное время в общественных, административно-бытовых, инженерно-лабораторных и других подобных зданиях, должна применяться скрытая прокладка проводов. Как правило, скрытая проводка выполняется в имеющихся каналах и пустотах строительных конструкций, в зазорах между плитами, в слое штукатурки, в специально подготовленных бороздах и т. д. При необходимости выполнения сменяемой проводки возможна прокладка проводов в полиэтиленовых или стальных трубах.

Для производственных и вспомогательных зданий следует преимущественно применять открытую проводку. При этом в качестве конкретных способов реализации может использоваться: прокладка кабелей и защищенных проводов непосредственно по строительным конструкциям здания, прокладка незащищенных изолированных проводов в лотках, коробах, трубах, выполнение сетей с помощью шинопроводов. Определяющим условием в выборе вида прокладки является характеристика окружающей среды.

Расчет электрической нагрузки. В зависимости от характера производства и назначения помещений часть ламп по различным причинам обычно не включена, поэтому при расчете сетей электрического освещения пользуются расчетной мощностью, которая определяется с использованием коэффициента спроса.

$$P_p = nPK_c\alpha, \quad (2.26)$$

где n – количество ламп, P – мощность одной лампы, K_c – коэффициент спроса, α – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре.

Для люминесцентных ламп при стартерных схемах включения коэффициент α равен 1.2, при бесстартерных схемах – 1.3, для ламп ДРЛ – 1.1.

Коэффициенты спроса для некоторых объектов приведены в табл. 2.4.

Т а б л и ц а 2.4

Величины K_c для различных объектов

Наименование	K_c
Групповые сети	1
Аварийное освещение, наружное освещение	1
Небольшие производственные здания	0.95
Административные здания	0.9
Крупные производственные здания	0.8
Складские помещения	0.6

Реактивная мощность осветительной установки вычисляется по формуле

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.27)$$

При этом коэффициент реактивной мощности определяется видом источников света. Для ламп накаливания $\operatorname{tg} \varphi$ равен 0, для газоразрядных ламп при использовании компенсированных схем пускорегулирующих устройств он равен 0.9...0.95, без компенсации реактивной мощности – 0.5...0.75.

Выбор сечений проводников по нагреву. В зависимости от фазности осветительной сети ток определяется по формулам:

- для однофазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{U_\phi \cos \varphi}; \quad (2.28)$$

- для двухфазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{2U_\phi \cos \varphi}; \quad (2.29)$$

- для трехфазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_{\text{л}} \cos \varphi}, \quad (2.30)$$

где P_p – активная расчетная мощность нагрузки одной, двух или трех фаз соответственно; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки; $U_{\text{л}}$, $U_{\text{ф}}$ – линейное и фазное напряжения сети соответственно.

В соответствии с расчетным током по справочной литературе определяется длительно допустимая токовая нагрузка проводников. При этом согласно ПУЭ сечение нулевых рабочих проводников трехфазных питающих и групповых линий должно выбираться:

- для участков сети, по которым протекает ток от газоразрядных ламп с компенсированными пускорегулирующими аппаратами, а также при защите трехфазных осветительных питающих и групповых линий предохранителями или однополюсными автоматическими выключателями при любых источниках света, сечение нулевых рабочих проводников следует принимать равным сечению фазных проводников;

- для участков сети, по которым протекает ток от газоразрядных ламп с некомпенсированными пускорегулирующими аппаратами – не менее половины сечения фазных проводников при больших сечениях, но не менее 16 мм² для медных и 25 мм² для алюминиевых проводов.

Выбор сечений проводников по потере напряжения. Источники света, применяемые в сетях электрического освещения, весьма чувствительны к потерям напряжения. Поэтому в осветительных сетях важно обеспечить допустимый уровень напряжения, указанный ПУЭ.

Общая потеря напряжения в сети до наиболее удаленного светильника

$$\Delta U_{\text{д}} = U_{\text{хх}} - U_{\text{мин}} - \Delta U_{\text{т}}, \quad (2.31)$$

где $\Delta U_{\text{д}}$ – располагаемая потеря напряжения в сети, $U_{\text{хх}}$ – номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора, $U_{\text{мин}}$ – допустимая величина напряжения у наиболее удаленного светильника, $\Delta U_{\text{т}}$ – потеря напряжения в трансформаторе.

В выражении (2.31) напряжение холостого хода трансформаторов принимается равным 105 % номинального значения напря-

жения ламп, допускаемое же снижение напряжения по ГОСТ 13109-97 у ламп рабочего освещения промышленных зданий составляет 2.5 %.

Как видно, в формуле общей потери напряжения в сети переменной является только ΔU_T , которая зависит от мощности питающего трансформатора, его загрузки и коэффициента мощности сети. Определенные по формуле (2.31) значения ΔU_d с учетом сведений об общей расчетной нагрузке трансформаторной подстанции, от которой запитаны осветительные сети, приводятся в справочной литературе.

Прежде чем перейти к непосредственному расчету сечения линии, рассмотрим случай определения потери напряжения в двухпроводной сети (рис. 2.10).

Потеря напряжения в двухпроводной линии равна разности абсолютных величин напряжения в начале и конце линии. При этом для определения потери напряжения в двухпроводной сети достаточно определить потерю напряжения в одном проводе и полученный результат удвоить.

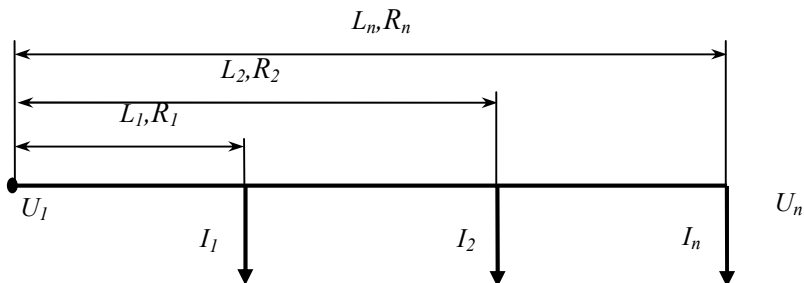


Рис. 2.10. Однолинейное изображение двухпроводной линии

Для линии с n ответвлениями

$$\Delta U = 2 \sum_{i=1}^n I_i R_i, \quad (2.32)$$

где I – токи в ответвлениях линии, R – сопротивления проводов от начала линии до соответствующего ответвления.

Полагая сечение и материал проводов вдоль всей линии одинаковыми, получим выражение для определения потери напряжения

$$\Delta U = \frac{2}{\gamma S} \sum_{i=1}^n I_i L_i, \quad (2.33)$$

где γ – проводимость проводов, S – сечение участков линии, L – длины проводов от начала линии до соответствующего ответвления.

Потеря напряжения в линии в процентах от номинального напряжения

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot 100}{\gamma S U_n} \sum_{i=1}^n I_i L_i. \quad (2.34)$$

Перейдя в выражении (2.34) от токов к заданным мощностям ответвлений, получаем окончательное выражение для потери напряжения

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot 100}{\gamma S U_n^2} \sum_{i=1}^n P_i L_i, \quad (2.35)$$

где P – мощность электроприемников каждого ответвления.

Все приведенные выводы справедливы и для трехфазных сетей. Тогда с учетом выражения (2.35) сечение линии, рассчитанное по потери напряжения, можно определить следующим образом:

$$S = \frac{M}{C \Delta U_d}, \quad (2.36)$$

где M – момент нагрузки, равный $\sum_{i=1}^n P_i L_i$; C – коэффициент, зависящий от напряжения и материала проводника и включающий в себя в постоянные величины выражения (2.35). Возможные значения C приведены в табл. 2.5.

Т а б л и ц а 2.5

Значения коэффициента C

Напряжение, В	Система сети и род тока	Значения коэффициента для проводников	
		медных	алюминиевых
380/220	Трехфазная четырехпроводная	72	44
380	Трехфазная трехпроводная	72	44
220	Трехфазная трехпроводная	24	14.7
380/220	Двухфазная трехпроводная	32	19.5
220	Двухпроводная переменного и постоянного тока	12	7.4

Если отдельные участки сети выполнены проводниками разного сечения, то возникает задача наиболее экономичного распределения потерь напряжения между отдельными звеньями сети. При этом расчет следует производить по условиям общего минимума расхода проводникового материала. В этом случае сечение каждого участка определяется с учетом приведенного момента

$$M = \sum M + \sum \alpha m, \quad (2.37)$$

где $\sum M$ – сумма моментов данного и всех последующих участков с тем же числом проводов в линии; $\sum m$ – сумма моментов, питаемых через данный участок линий с иным числом проводов; α – коэффициент приведения моментов (табл. 2.6).

Т а б л и ц а 2.6

Значения коэффициента α

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения
Трехфазная четырёхпроводная	Однофазное	1.85
	Двухфазное трехпроводное	1.39
Двухфазная трехпроводная	Однофазное	1.33
Трехфазная трехпроводная	Двухпроводное	1.15

Защита осветительных сетей. Осветительные сети независимо от способа их прокладки должны быть защищены от токов короткого замыкания. Кроме того, некоторые виды осветительных сетей согласно ПУЭ должны иметь также защиту от перегрузки. К таким сетям относятся: а) сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией; б) осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также во взрыво- и пожароопасных зонах.

Защита осветительных сетей осуществляется при помощи плавких предохранителей или автоматических выключателей, установленных на щитах подстанции, магистральных и групповых щитках.

Номинальные токи аппаратов защиты следует выбирать наименьшими по расчетным токам соответствующих участков сети, но вместе с тем они не должны срабатывать при случайных пиках нагрузки. В осветительных сетях такие пики создаются из-за наличия у источников света пусковых токов. Наиболее неблагоприятны в этом отношении газоразрядные лампы высокого давления. С учетом этого следует выбирать защитный аппарат по условию

$$I_{з.ап} = KI_p, \quad (2.38)$$

где $I_{з. ап}$ – ток защитного аппарата, K – коэффициент, учитывающий пусковой ток источника света; I_p – расчетный ток линии. Коэффициент K принимает значения 1.0...1.4 в зависимости от используемых источников света.

ПУЭ устанавливают наряду с проверкой на допустимые нагрев и потерю напряжения определенные соотношения между токами защитных аппаратов и длительно допустимыми токами проводников, т. е. пропускной способностью проводов и кабелей. В соответствии с этим в сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки), должно обеспечиваться условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников аппараты защиты имели кратность не более:

- 300 % для номинального тока плавкой вставки предохранителя;
- 450 % для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный расцепитель (отсечку);

- 100 % для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);
- 125 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависящей от тока характеристикой.

В сетях, защищаемых от перегрузок, должно быть обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам аппараты защиты имели кратность не более:

80 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный расцепитель, – для проводников с поливинилхлоридной, резиновой изоляцией; для проводников, прокладываемых в невзрывоопасных производственных помещениях промышленных предприятий, допускается 100 %;

- 100 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный расцепитель, – для кабелей с бумажной изоляцией;

- 100 % для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) – для проводников всех марок;

- 100 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой – для проводников с поливинилхлоридной, резиновой изоляцией;

- 125 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой – для кабелей с бумажной изоляцией.

В случае, когда при удовлетворении этих условий, ток не совпадает с допустимым током проводника, разрешается применять провод ближайшего меньшего сечения. Однако при этом он не должен быть меньше расчетного тока линии.

3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САПР

Идея автоматизации проектирования появилась с внедрением в нашу жизнь вычислительной техники. Однако технические средства, позволяющие реализовать подобные замыслы, появились лишь во второй половине XX века. В это время практически

во всех отраслях народного хозяйства нашей страны создавались системы автоматизированного проектирования. При этом в общем случае в развитии автоматизированного проектирования обычно выделяют следующие три условных периода:

- 1950–1960 гг. – теоретические исследования возможности решения электротехнических и конструкторских задач на ЭВМ и создание первых программ для решения этих задач;

- 1960–1970 гг. – разработка методов, алгоритмов и программ решения отдельных задач из различных этапов проектирования.

- С 1970 г. – разработка методологических основ САПР и продолжение работ, характерных для первых двух периодов.

Что же непосредственно представляет собой САПР, в чем состоит ее назначение и что подлежит автоматизации?

Исходя из названия назначением САПР является проектирование. Причем под объектом проектирования в данном случае понимаются любые изделия, системы или технологические процессы, проектированием которых занимается сам человек. Объектом автоматизации является совокупность действий проектировщиков, разрабатывающих проект конкретного объекта и оформляющих результаты разработок в виде рабочей проектной документации.

Поскольку в процессе проектирования любых объектов возможно выделить некоторые одинаковые операции и действия, это позволяет формализовать значительную часть проектных процедур и разработать средства их автоматизации. Для этого создается схема всего процесса проектирования. Затем такая структура с помощью методов декомпозиции разбивается на ряд этапов и подэтапов до конкретных простейших операций.

После такой декомпозиции эти операции можно описать с использованием математических методов и определить инструментальные средства для их автоматизации. Затем необходимо рассмотреть выделенные проектные операции и средства автоматизации в комплексе и найти способы синтеза их в единую систему, отвечающую поставленным целям.

Таким образом, САПР представляет собой совокупность вычислительных средств, объединенных в локальную сеть, а также программно-методический комплекс, необходимый для реализации проектных операций.

3.2. СОСТАВ И СТРУКТУРА САПР

Итак, с учетом вышесказанного, САПР – это организационно-техническая структура, состоящая из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанного с подразделениями проектной организации, и выполняющая автоматизированное проектирование объектов.

Структурными составными частями САПР являются самостоятельные подсистемы, обладающие всеми свойствами систем. *Подсистемой* называют выделенную по некоторым признакам часть САПР, обеспечивающую получение законченных проектных решений.

По *назначению* подсистемы САПР разделяют на проектирующие и обслуживающие (рис. 3.1). К проектирующим относят подсистемы, выполняющие проектные процедуры и операции. К обслуживающим относят подсистемы поиска информации, подготовки документации, графического отображения, предназначенные для поддержания работоспособности проектирующих подсистем.

По *отношению к объекту проектирования* различают объективно ориентированные (О-О) и объектно-независимые (О-Н). К О-О относят те подсистемы, которые выполняют одну или несколько проектных процедур или операций, непосредственно зависящих от конкретного объекта проектирования. К О-Н относят подсистемы, выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции.

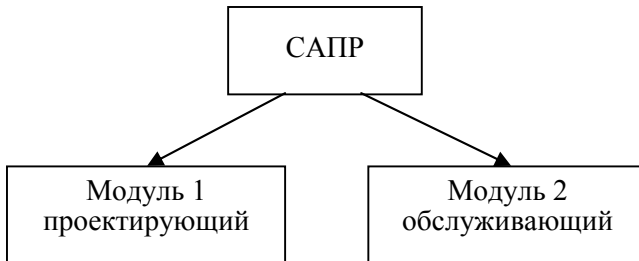


Рис. 3.1. Подсистемы САПР

Используя такую структуру, САПР какого-либо предприятия как сложную техническую систему можно представить с помощью вычислительной сети, объединяющей банки знаний и базы данных о проектируемых объектах, технологическую часть, ар-

хитектурно-строительную, теплотехническую, сантехническую, электротехническую части проекта.

В свою очередь, САПР любой из перечисленных частей проекта можно представить, используя принцип декомпозиции, также с помощью вычислительной сети, но более низкого уровня, объединяющей между собой (например, для электротехнической части проекта):

- банки знаний и базы данных;
 - раздел электрооборудования;
- раздел электроосвещения;
- раздел автоматики и контрольно-измерительных приборов;
 - раздел электроснабжения и подстанций;
 - раздел связи и сигнализации.

Таким образом, следует, как показано на примере, проводить процесс декомпозиции до получения простейших проектных процедур, которые непосредственно могут быть автоматизированы с применением современных технических средств.

3.3. КЛАССИФИКАЦИЯ САПР

Необходимы единые классификация и обозначения САПР для использования их в промышленности, оценки их научно-технического уровня и, главное, для обеспечения унификации и стандартизации их элементов. Существуют классификации по нескольким признакам.

По типу объекта проектирования:

- САПР машиностроения;
- САПР технологических процессов;
- САПР организационных структур.

По уровню автоматизации проектирования:

- до 25 % автоматизированных процедур;
- до 50 % автоматизированных процедур;
- свыше 50 % автоматизированных процедур.

По комплексности автоматизации проектирования:

- один из этапов проектирования;
- несколько этапов проектирования;
- все этапы проектирования;

По характеру выпускаемой документации:

- текстовый;
- графический материал (чертежи);
- все типы документов.

По числу (объему) выпускаемой документации:

- малое, до 10^5 ;
- среднее, до 10^6 ;
- высокая производительность, свыше 10^6 .

3.4. ВИДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР

В стандарте для реализации САПР выделены семь составляющих, выполняющих одинаковые функции независимо от назначения и вида САПР.

Организационное обеспечение – совокупность документов (инструкции, приказы, положения), регламентирующих взаимосвязанную работу всех подразделений проектной организации.

Методическое обеспечение – совокупность документов, представляющих собой описание технических средств автоматизации, правила работы с ними, их технико-экономические характеристики и т. д.

Информационное обеспечение – совокупность документов, в которых представлены сведения о прототипах объектов, о типовых функциональных узлах, стандартах и другая нормативно-техническая документация (стандарты, ГОСТы).

Техническое обеспечение – совокупность технических средств (вычислительная техника, устройство ввода и вывода информации и т. д.), предназначенных для автоматизации процесса проектирования.

Математическое обеспечение – совокупность алгоритмов, математических моделей, методов, оптимизационных процедур, необходимых для реализации тех или иных этапов процесса проектирования.

Программное обеспечение – совокупность программных средств, реализующих процесс проектирования объектов. Должны быть представлены описание программ и инструкции по их применению. Программное обеспечение можно разделить следующим образом: общесистемное (операционная система); прикладное (для выполнения определенных работ проектирования).

Лингвистическое обеспечение – совокупность основных языков программирования и проектирования, необходимых для реализации общения человека с машиной.

3.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЧЕРТЕЖНЫХ РАБОТ

В настоящее время не найдется такого проектировщика, который бы не стремился максимально автоматизировать свою деятельность. Более того, некоторые задачи просто невозможно решить без применения вычислительной техники, поэтому системы автоматизированного выполнения чертежных работ вряд ли утратят свою актуальность.

Возможности современных систем автоматизированного выполнения чертежных работ достаточно разнообразны. Рассмотрим две наиболее популярные среди разработчиков системы.

AutoCAD – не является готовой САПР, однако позволяет эффективно решать проблемы автоматизации проектной деятельности. Любые задачи автоматизации в соответствии с конкретными нуждами и уникальными требованиями могут решаться пользователями с использованием средств AutoCAD гибко и эффективно, что требует соответствующей технической квалификации. Это открытая графическая среда для функционирования созданных для нее приложений, собственно САПР-систем, предназначенных для решения самых разнообразных проектных и технических задач в различных областях применения. Данная программа позволяет использовать библиотеки стандартных элементов, которые содержат наборы элементов схем или конструкций. Библиотеки содержат в себе не только графические изображения элементов, но и их спецификации.

КОМПАС – выпускаемая Российской компанией «Аскон» – система, являющаяся средой пространственного твердотельного моделирования. Система обладает гораздо более скромными возможностями проектирования двумерных чертежей, чем AutoCAD. Но тем не менее она является вполне серьезным средством разработки и моделирования объектов. К достоинствам программы можно отнести ее полную ориентированность на ГОСТ. Для системы КОМПАС существуют библиотеки стандартных элементов для разных отраслей техники, таких как машиностроение, архитектура, электротехника, электроника и др. Встроенная поддержка ГОСТ делает создание чертежей в данной системе более простым и быстрым.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Проектирование* промышленных электрических сетей / Под ред. В. И. Круповича. – М.: Энергия, 1979.
2. *Конюхова Е. А.* Электроснабжение объектов. – М.: Изд-во «Мастерство», Высш. шк., 2001.
3. *Епанешников М. М.* Электрическое освещение: Учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. – М.: Энергия, 1973.
4. *Кнорринг Г. М.* Осветительные установки. – Л.: Энергоиздат, 1981.
5. *Аветисян Д. А.* Автоматизация проектирования электрических систем. – М.: Высш. шк., 1998.
6. *Патрушев С. Б.* Технология проектирования систем электроснабжения. Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999.
7. *Кнорринг Г. М.* Справочник для проектирования электрического освещения. – М.: Госэнергоиздат, 1973.
8. *Айзенберг Ю. Б.* Справочная книга по светотехнике. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
9. *Справочник* по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю. Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. *Справочник* по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю. Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
11. *Правила* устройства электроустановок. – Министерство энергетики РФ, М.: Изд-во «НЦ ЭНАС», 2003.
12. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минстрой России, 1995.
13. ГОСТ 21.101-97 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации».
14. ГОСТ 21.608-84 «Система проектной документации для строительства. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи».