

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Р. И. Кустова, Д. И. Кривовязенко

**СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования
по направлению специальности*

*1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(электроэнергетика)»*

Минск
БГАТУ
2023

УДК 628.9(07)
ББК 31.294я7
К94

Рецензенты:
кафедра энергоэффективных технологий МГЭУ
имени Д. А. Сахарова
(кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой *В. А. Пашинский*);
кандидат технических наук, доцент, заместитель директора
по научной работе и проектированию РНПУП «Институт
энергетики Национальной академии наук Беларуси» *Н. Е. Шевчик*

Кустова, Р. И.
К94 Светотехническое оборудование. Практикум : учебно-методическое
пособие / Р. И. Кустова, Д. И. Кривовязенко. – Минск : БГАТУ, 2023. –
112 с.
ISBN 978-985-25-0206-1.

Содержит описание методики и последовательности выполнения практических работ по учебной дисциплине «Светотехническое оборудование». Рассматривается выбор светотехнического оборудования; методики расчета осветительных и облучательных установок, проектирование и расчет электрических сетей светотехнических установок.

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по направлению специальности 1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)».

УДК 628.9(07)
ББК 31.294я7

ISBN 978-985-25-0206-1

© БГАТУ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическое занятие № 1. Проектирование светотехнической части осветительных установок.	5
Практическое занятие № 2. Расчет осветительных установок методами удельной мощности и коэффициента использования светового потока	16
Практическое занятие № 3. Расчет осветительных установок точечным методом	27
Практическое занятие № 4. Расчет установок ультрафиолетового облучения животных и птицы.	36
Практическое занятие № 5. Расчет установок инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы.	57
Практическое занятие № 6. Расчет установок для досвечивания растений в условиях защищенного грунта	69
Практическое занятие № 7. Проектирование электрических сетей светотехнических установок	83
Практическое занятие № 8. Расчет сечения питающих и групповых сетей светотехнических установок	94
Список рекомендуемой литературы	111

ВВЕДЕНИЕ

Практикум подготовлен в соответствии с действующей учебной программой учебной дисциплины «Светотехническое оборудование». Материал к каждой работе содержит цель и задачи работы, краткие теоретические сведения по теме со ссылкой на литературные источники, пример расчета, контрольные вопросы и задания для самостоятельной работы. Описание методики и последовательности выполнения работы поясняются рисунками, схемами, таблицами.

Объем практической работы продолжительностью, как правило, 80–90 минут рассчитан с учетом предварительной тщательной подготовки к ее выполнению – изучению необходимого теоретического материала и последовательности расчетов.

Издание предназначено для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по направлению специальности 1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства (электроэнергетика)».

Практическое занятие № 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Цель занятия: ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов при проектировании светотехнической части осветительной установки. Получить практические навыки выбора источников света, системы и вида освещения, нормируемой освещенности, коэффициента запаса и осветительных приборов, размещения осветительных приборов в освещаемом пространстве.

Задачи занятия:

1. Для заданного преподавателем здания выбрать источники света, системы и виды освещения, нормируемые значения освещенности, коэффициенты запаса и осветительные приборы осветительных установок входящих в него помещений.
2. Выполнить расчет размещения принятых для осветительных установок световых приборов в освещаемых помещениях.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите последовательность рассмотрения вопросов при проектировании осветительных установок.
2. Какие источники света рекомендуются нормативными документами для осветительных установок сельскохозяйственных предприятий?
3. Какие системы освещения применяют в осветительных установках, и как производится их выбор?
4. Назовите известные вам виды освещения и укажите, в каких случаях их применяют?
5. Как определяют требуемый уровень освещенности рабочих поверхностей производственных, административных, бытовых и сельскохозяйственных помещений?
6. Поясните физический смысл коэффициента запаса осветительной установки и как определяют его нормативное значение?
7. Какие требования учитывают при выборе светильников для осветительной установки?
8. Какие категории помещений по условиям окружающей среды вам известны? Приведите примеры.

9. Поясните физический смысл светотехнического и энергетического наивыгоднейших относительных расстояний между светильниками и их определение в осветительной установке.

10. Поясните понятие расчетной высоты подвеса светильников и приведите расчетную формулу для ее вычисления.

11. Приведите формулы для определения числа рядов светильников, количества светильников в одном ряду и общего количества светильников в помещении.

12. В чем отличие в расчетах при размещении светильников с линейными и точечными излучателями?

Порядок расчета:

При разработке светотехнической части проекта осветительной установки следует придерживаться следующей последовательности рассмотрения основных вопросов:

- выбор источников света;
- выбор нормируемой освещенности и коэффициента запаса;
- выбор системы и вида освещения;
- выбор осветительных приборов (типа светильников);
- размещение светильников в освещаемом пространстве;
- светотехнический расчет осветительной установки (определение мощности источников света для точечных излучателей или определение количества светильников для линейных излучателей).

Выбор источников света определяется технико-экономическими показателями и производится по рекомендациям СН 2.04.03–2020 [1] «Естественное и искусственное освещение» и «Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений».

Нормируемую освещенность рабочих поверхностей можно определить по таблице, приведенной в СН 2.04.03–2020, в зависимости от характеристики зрительных работ, наименьшего размера объекта различения, контраста объекта различения с фоном и характеристики фона. Для облегчения определения норм освещенности на основе СН 2.04.03–2020 разработаны отраслевые нормы рабочего освещения производственных, административных, общественных и бытовых помещений, а также зданий и сооружений для хранения сельскохозяйственной продукции, животноводческих и птицеводческих помещений, нормируемая освещенность для которых определяется в зависимости от технологического назначения помещения [2].

Уменьшение освещенности от источников света в процессе их эксплуатации в расчетах учитывается коэффициентом запаса K_z , значение которого зависит от наличия пыли, дыма и копоти в рабочей зоне помещения, от конструкции светильников, типа источников света и периодичности чисток светильников.

Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений рекомендуют принимать коэффициент запаса для ламп накаливания 1,15, для газоразрядных ламп – 1,3, для светодиодных источников – 1,1 [2]. При этом чистка светильников должна производиться не реже 1 раза в 3 месяца.

Выбор системы освещения зависит от уровня нормируемой освещенности рабочих поверхностей. При нормируемой освещенности рабочей поверхности менее 200 лк применяют систему общего освещения, которое может быть выполнено с равномерным или локализованным (неравномерным) размещением светильников.

Систему комбинированного (наличие наряду со светильниками общего освещения также местных светильников) освещения применяют тогда, когда на рабочей поверхности необходимо создать освещенность 200 лк и более. При этом освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % от нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения, но не менее 200 лк и не более 500 лк при газоразрядных лампах и, соответственно, 75 лк и 150 лк при лампах накаливания [1].

СН 2.04.03–2020 рекомендуют следующие виды освещения: рабочее, аварийное, охранное и дежурное. В сельскохозяйственных помещениях, в которых содержатся животные, для периодического контроля в нерабочее время за их состоянием и безопасного движения дежурного персонала в проходах и коридорах из общего количества выделяют 10 %–15 % светильников на дежурное освещение, к дежурному освещению также иногда относят освещение входов в здания.

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

Выбор светильников определяется видом источника излучения, назначением, требованиями к характеру светораспределения и ограничения слепящего действия, эксплуатационной группой и экономической целесообразностью.

Порядок выбора светильников следующий:

1. Из номенклатуры светильников выбирают те, которые удовлетворяют назначению (для производственных помещений, для общественных зданий и сооружений или для наружного освещения) и принятому источнику излучения.

2. В зависимости от категории среды в помещении и типа источника излучения определяют минимально допустимую степень защиты светильников.

3. Выделив из номенклатуры светильники, удовлетворяющие минимально допустимой степени защиты, проводят их выбор по характеру светораспределения и типу кривой силы света: для производственных помещений обычно принимают светильники прямого (П) или преимущественно прямого светораспределения (Н); для административных, общественных и жилых помещений, особенно когда представляют требования к качеству освещения – светильники рассеянного (Р) преимущественно отраженного (В) или отраженного (О) светораспределения. Чем выше помещение и больше нормируемая освещенность, тем более концентрированными кривыми силы света должны обладать светильники (К или Г). По мере уменьшения высоты помещения наиболее выгодны светильники с типовой кривой силы света Г, Д и т. д. Например, можно рекомендовать кривую М для высоты 2,0–2,5 м, кривую Д – для высоты 2,5–3,5 м, кривую Г – для высоты 3,5–4,5 м, кривую К – для высоты более 4,5 м. Для освещения в вертикальной или наклонной плоскости целесообразны светильники класса Р (рассеянного) с полуширокой кривой типа Л или равномерной М [5].

4. Окончательным вариантом принимаемого решения следует считать экономическую целесообразность сравниваемых равноценных по светотехническому эффекту вариантов, оцениваемую по критерию минимума приведенных затрат. Однако в практике проектирования зачастую ограничиваются только сопоставлением установленной мощности осветительной установки.

Размещение светильников при равномерном освещении производят по углам прямоугольника (рис. 1.1) (соотношение сторон не более 1,5:1) или вершинам ромба с учетом допуска к светильникам для обслуживания, для светильников с люминесцентными лампами (линейные источники) по рядам.

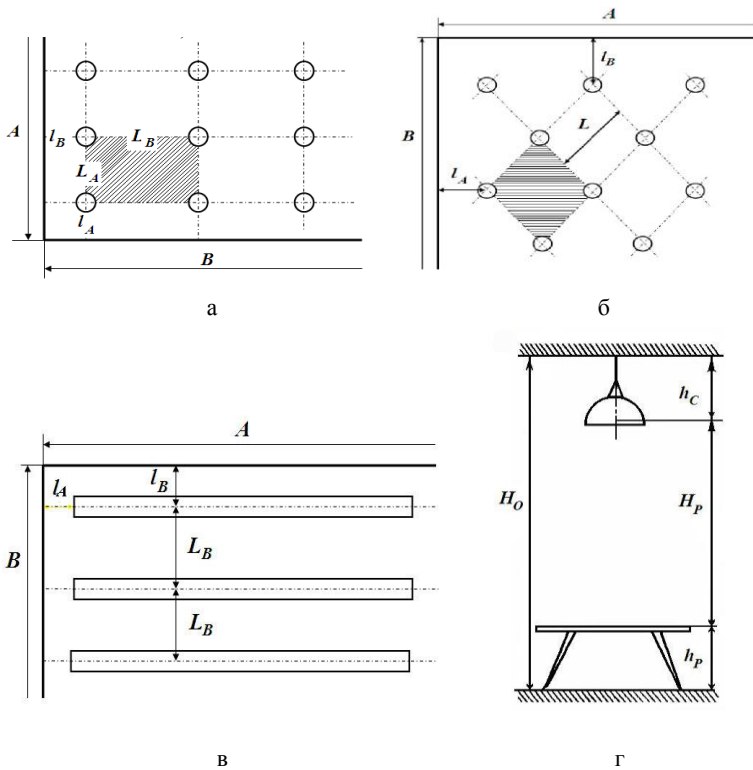


Рис. 1.1. Варианты размещения светильников: а – по углам прямоугольников; б – по вершинам ромба; в – в линию (для светильников с люминесцентными лампами); г – в разрезе

Расчетные значения расстояния между светильниками в ряду и расстояния между рядами светильников определяются по формуле

$$L_{A,B} = \lambda_c \cdot H_p, \quad (1.1)$$

где H_p – расчетная высота установки светильников, м.

Расчетная высота установки светильников

$$H_p = H_o - h_c - h_p, \quad (1.2)$$

где H_o – высота помещения, м;

h_c – высота свеса светильников (расстояние от светового центра светильника до перекрытия), определяемая с учетом размеров светильников и способа их установки, м;

h_p – высота рабочей поверхности (поверхности, на которой нормируется освещенность), м.

Требования к минимально допустимой высоте установки светильников изложены в [4] и зависят от категории помещения по степени опасности поражения электрическим током, конструкции светильников, напряжения питания ламп.

Расстояние от стены до ближайшего ряда светильников $l_{A,B}$ принимают в пределах $0,3-0,5L_{A,B}$: при наличии рабочих поверхностей у стен $l_{A,B} = 0,3L_{A,B}$, а при отсутствии – $l_{A,B} = 0,5L_{A,B}$ [8].

По известным $L_{A,B}$, длине A и ширине B в помещении можно определить:

число рядов светильников:

$$N_2 = \frac{B - 2l_{A,B}}{L_{A,B}} + 1, \quad (1.3)$$

число светильников в одном ряду:

$$N_1 = \frac{A - 2l_{A,B}}{L_{A,B}} + 1, \quad (1.4)$$

общее число светильников в помещении:

$$N_{\Sigma} = N_1 \cdot N_2. \quad (1.5)$$

Полученные значения N_1 и N_2 округляют до целого числа в сторону наименьшего значения. После чего размещают светильники на плане с учетом строительного модуля помещения и определяют действительные расстояния от стены до ближайшего ряда светильников и до ближайшего светильника в ряду, расстояние между рядами и светильниками в ряду.

Следует отметить, что при проектировании осветительных установок со светильниками с люминесцентными лампами первоначально намечают только число рядов N_2 , а число светильников в ряду N_1 и в помещении определяют светотехническим расчетом. При этом светотехнически наивыгоднейшее относительное расстояние λ_c определяется по поперечной кривой силы света светильников с люминесцентными лампами [8].

Исходные данные:

Для сельскохозяйственного помещения, принятого по табл. 1.1 в соответствии с заданным преподавателем вариантом, выбрать:

- источник света для светового прибора осветительной установки;
- определить систему и вид освещения;
- для осветительной установки подобрать значения нормируемой освещенности и коэффициента запаса, а, при необходимости, и нормируемые значения качественных параметров;
- тип осветительного прибора (светильника);
- разместить световые приборы в освещаемом пространстве помещения.

Пример расчета:

Проведем расчет для 32 варианта (табл. 1.1).

В соответствии с требованиями СН 2.04.03–2020 в качестве источника света для производственных помещений рекомендуется принимать энергоэкономичные лампы. Принимаем в помещениях для содержания свиноматок газоразрядные лампы низкого давления.

1. Из приложения 3.12 [8] норм освещенности зданий и сооружений в помещении для содержания свиноматок определяем нормированное значение освещенности $E_{\min} = 75$ лк, нормируемая поверхность – пол. Коэффициент запаса по отраслевым нормам принимаем $K_3 = 1,3$.

2. Так как уровень нормируемой освещенности не превышает 200 лк, то в соответствии с рекомендациями СН 2.04.03–2020 принимаем систему общего освещения с равномерным размещением светильников. Вид освещения – рабочее освещение, а так как в помещении содержатся животные, принимаем дежурное освещение, выделив 10 % светильников рабочего освещения равномерно расположив их над проходами.

Исходные данные

№ варианта	Тип и характеристика помещения (длина (А), ширина (В), высота (H_0)), м	№ варианта	Тип и характеристика помещения (длина (А), ширина (В), высота (H_0)), м
1	Помещения для содержания коров (64×18×2,8)	11	Кабинет врача (7×4×2,8)
2	Помещение для отела коров (24 ×12×3,0)	12	Лаборатория в животноводческих предприятиях (10×6×2,9)
3	Профилакторий для содержания телят (36×12×2,8)	13	Участок для обработки кормов (16×12×3,8)
4	Помещение для дорашивания молодняка КРС (56 ×18×3,2)	14	Варочное отделение кормоцеха (36×18×3,6)
5	Помещение для содержания хряков-производителей (72×18×3,0)	15	Пункт переработки шерсти (22×15×3,2)
6	Помещения для напольного содержания кур (52×12×3,0)	16	Помещение для протравливания картофеля (18×9×3,6)
7	Помещения для сортировки и обработки цыплят (12×8×3,0)	17	Помещения для содержания поросят-отъемышей (56×18×2,8)
8	Моечная для дезинфекции яиц (12×6×3,0)	18	Помещения для стрижки овец (24×18×3,2)
9	Помещения для содержания кроликов (56×16×2,8)	19	Помещение для содержания коз (54×16×3,2)
10	Доильный зал (18×9×3,2)	20	Помещения для содержания рабочих лошадей (32×12×3,5)

№ варианта	Тип и характеристика помещения (длина (А), ширина (В), высота (H ₀)), м	№ варианта	Тип и характеристика помещения (длина (А), ширина (В), высота (H ₀)), м
21	Родильное отделение для лошадей (48×16×3,0)	27	Цех переработки кормов (24×12×3,2)
22	Помещения для клеточного содержания кур (72×18×3,2)	28	Участок ремонта и технического обслуживания машин (20×12×4,5)
23	Помещения для родительского стада уток (64×18×3,0)	29	Инкубаторий (32×18×2,9)
24	Участок для упаковки яиц (18×8×2,7)	30	Участок мойки агрегатов автомобилей (12×9×3,8)
25	Помещение для посола и временного хранения шкур (32×18×2,8)	31	Склад пиломатериалов (24×10×3,8)
26	Помещение для откатки шкурок по мездре (18×12×3,2)	32	Помещение для содержания свиноматок (42×18×2,7)

3. Из приложения 3.16 [8] определяем категорию помещения по условиям окружающей среды – особо сырое, с химически активной средой. По приложению 3.14 [8] определяем минимально допустимую степень защиты светильника – минимум 54. Из номенклатуры светильников выделяем те, которые удовлетворяют минимально допустимой степени защиты. Учитывая производственный характер помещения, принимаем светильник, имеющий кривую силу света Г или Д. Окончательно принимаем светильник типа ЛСП18–36 приложение 3.3 [8] прямого класса светораспределения (П) с кривой силы света Д–2 и степенью защиты 54.

4. Разместим светильники равномерно по вершинам прямоугольника.

Из приложения 3.3 [8] определяем высоту светильника $h_{св} = 0,165$ м. Принимаем высоту свеса светильника, подвешенного на крюках

$$h_c = h_{св} + h_{кр},$$

где высота крюка ($h_{кр} = 0,08$ м)

$$h_c = 0,17 + 0,08 = 0,25 \text{ м.}$$

Расчетная высота установки светильника

$$H_p = 2,7 - 0,25 - 0 = 2,45 \text{ м.}$$

Из приложения 3.5 [8] для кривой силы света Д-2 определяем значение относительного наивыгоднейшего расстояния $\lambda_c = 1,45$.

Тогда расстояние между светильниками в ряду L_A и между рядами L_B .

$$L_{A,B} = 1,45 \cdot 2,45 = 3,6 \text{ м.}$$

Расстояния от стены до крайнего ряда и от крайнего светильника в ряду

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

Число рядов

$$N_2 = \frac{18 - 2 \cdot 1,8}{3,6} + 1 = 5 \text{ шт.}$$

Принимаем $N_2 = 5$ рядов.

Действительное расстояния между рядами светильников

$$L_B = \frac{18 - 2 \cdot 1,8}{5 - 1} = 3,6 \text{ м.}$$

Так как при проектировании осветительных установок с люминесцентными лампами первоначально вычисляют только число рядов N_2 , число светильников в ряду N_1 и число светильников в помещении N_2 вычислим одним из методов светотехнического расчета.

Результаты расчета представим в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты проектирования светотехнической части осветительной установки

Наименование помещения	Нормируемая освещенность		K_3	Система освещения	Вид освещения	Типы светильника	H_p м	$I_{AB, M}$	N_2 шт.	L_B м
	E_n , лк	рабочая поверхность								
Помещение для содержания свиноматок	75	$\Gamma - 0,0$	1,3	общая	рабочее, дежурное	ЛСП18-36	2,45	1,8	5	3,6

Практическое занятие № 2

РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК МЕТОДАМИ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА

Цель занятия: ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов и получить навыки расчета осветительных установок методами удельной мощности и коэффициента использования светового потока.

Задачи занятия:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительной установки помещений методами удельной мощности и коэффициента использования светового потока.
2. Выполнить расчет осветительных установок помещений в заданном преподавателем здании методами удельной мощности и коэффициента использования светового потока.

Контрольные вопросы и задания

1. В каких случаях расчет осветительных установок проводят методом коэффициента использования светового потока?
2. Перечислите последовательность выполнения операций при расчете осветительных установок методом коэффициента использования светового потока.
3. Напишите основную расчетную формулу метода коэффициента использования светового потока. Какие величины в нее входят?
4. Какие параметры влияют на значение коэффициента использования светового потока, и как он определяется по справочным таблицам?
5. С учетом каких требований выбирают тип и мощность источников при известном значении расчетного светового потока?
6. Назовите особенности расчета осветительных установок с люминесцентными лампами методом коэффициента использования светового потока.
7. В каких случаях для расчета осветительных установок применяют метод удельной мощности?

8. Какие параметры учтены при составлении таблиц удельной мощности для светильников с люминесцентными лампами, лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ?

9. Напишите формулу для определения расчетного значения удельной мощности осветительной установки со светильниками с люминесцентными лампами, лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ.

10. Как определить потребляемую расчетную мощность источника по методу удельной мощности?

11. Как выбрать источник по известному значению расчетной мощности?

12. Назовите особенности расчета осветительных установок с люминесцентными лампами методом удельной мощности.

13. Каким методом можно выполнить проверочный расчет осветительных установок? Напишите расчетную формулу для проверочного расчета.

Порядок расчета:

Метод удельной мощности.

Под удельной мощностью понимают отношение суммарной мощности источников света к площади освещаемой поверхности.

Методом удельной мощности пользуются для приближенного расчета (ошибка не более $\pm 20\%$) осветительных установок помещений, к освещению которых не предъявляются особые требования, например, вспомогательные и складские помещения, кладовые, коридоры и т. д. Методом удельной мощности также разрешается рассчитывать освещение любых помещений, у которых отсутствуют существенные затенения рабочих поверхностей.

В основу метода удельной мощности положены результаты многочисленных расчетов средних значений мощности источников, приходящихся на 1 м^2 освещаемой поверхности. На основе подобных результатов составлены справочные таблицы, позволяющие при соответствии всех параметров осветительной установки паспортным данным таблиц определить необходимую удельную мощность установки ($P_{уд}$), обеспечивающую требуемые условия освещения.

К паспортным данным таблиц удельной мощности при лампах накаливания относят:

- тип светильников;
- нормируемую освещенность;

– коэффициент запаса (при его значениях, отличных от указанных в таблицах, допускается пропорциональный пересчет значений удельной мощности);

– коэффициенты отражения поверхностей помещения (таблицы рассчитаны для коэффициентов отражения потолка, $\rho_{\text{п}} = 50 \%$, стен, $\rho_{\text{с}} = 30 \%$ и рабочих поверхностей, $\rho_{\text{р.п.}} = 10 \%$; допускается при более светлых поверхностях уменьшать, а при более темных – увеличивать $P_{\text{уд}}$ на 10%);

– напряжение питания источников света (для ламп накаливания принято напряжение 230 В).

Для люминесцентных ламп и ламп типа ДРЛ сохраняет силу все вышесказанное, но со следующими отличиями:

– таблицы приводятся только для освещенности 100 лк, так как в данном случае имеет место прямая пропорциональность между $E_{\text{н}}$ и $P_{\text{уд}}$;

– в качестве паспортных данных приняты тип и мощность лампы и соответствующая ей световая отдача (кроме ламп ДРЛ);

– таблицы составлены без учета напряжения сети, к которому подключают источник.

В основе расчета лежат формулы:

а) для точечных излучателей

$$P_{\text{р}} = \frac{P_{\text{уд}} S}{N_{\Sigma} n_{\text{с}} \eta_{\text{с}}}; \quad (2.1)$$

б) для линейных излучателей

$$N_{\Sigma} = \frac{P_{\text{уд}} S}{P_{\text{л}} n_{\text{с}} \eta_{\text{с}}}, \quad (2.2)$$

где $P_{\text{уд}}$ – расчетное значение удельной мощности, Вт/м²;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

$P_{\text{р}}$ – расчетное значение мощности лампы, Вт;

N_{Σ} – суммарное количество светильников в помещении;

$P_{\text{л}}$ – мощность лампы в светильнике, Вт;

$n_{\text{с}}$ – число ламп в одном светильнике, шт.;

$\eta_{\text{с}}$ – КПД светильника.

Расчетное задание удельной мощности определяют по формуле:
а) для точечных излучателей

$$P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}^{\text{табл}} K_1 K_2 K_3 ; \quad (2.3)$$

б) для линейных излучателей

$$P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}^{\text{табл}} K_1 K_2 \frac{E_{\text{н}}}{100}, \quad (2.4)$$

где $P_{\text{уд}}^{\text{табл}}$ – табличное значение удельной мощности, определяемое для выбранного типа светильника по расчетной высоте подвеса и площади освещаемого помещения для удлиненных помещений ($A > 2,5 \text{ В}$), табличную $P_{\text{уд}}^{\text{табл}}$ находят для условной площади 2 В^2 ;

K_1 – коэффициент приведения коэффициента запаса к табличному значению;

K_2 – коэффициент приведения коэффициентов отражения поверхностей помещения к табличному значению;

K_3 – коэффициент приведения напряжения питания источников к табличному значению (для пересчета с $U_{\text{н}} = 127 \text{ В}$ на $U_{\text{н}} = 230 \text{ В}$ принять $K_3 = 0,86$);

$E_{\text{н}}$ – номинируемое значение освещенности помещения, лк.

Дальнейший расчет ведут в следующей последовательности:

а) для точечных излучателей

По расчетной мощности лампы $P_{\text{р}}$ с учетом шкалы мощностей выпускаемых промышленностью источников света выбирают подходящую лампу такую, чтобы

$$0,9P_{\text{р}} \leq P_{\text{л}} \leq 1,2P_{\text{р}}, \quad (2.5)$$

проверяют возможность установки выбранной лампы в светильник,

$$P_{\text{л}} \leq P_{\text{свет}}, \quad (2.6)$$

где $P_{\text{свет}}$ – мощность лампы в светильнике, Вт.

б) для линейных излучателей
определяют число светильников в ряду

$$N_1 = \frac{N_{\Sigma}}{N_2}, \quad (2.7)$$

где N_2 – число рядов.

Число N_1 округляют в сторону увеличения.

Определяют расстояние разрыва между светильниками в ряду

$$l_p = \frac{A - N_1 \cdot l_c - 2 \cdot l_A}{N_1 - 1}, \quad (2.8)$$

где A – длина помещения, вдоль которого установлены ряды светильников, м;

l_A – расстояние от крайнего светильника в ряду до стены, м;

l_c – длина светильника, м.

Проверяем расположение светильников в ряду

$$0 \leq l_p \leq 1,5L_B, \quad (2.9)$$

где L_B – расстояние между рядами светильников, м.

Порядок расчета методом удельной мощности следующий:

- проверяют применимость метода;
- определяют табличное значение удельной мощности;
- определяют коэффициенты отражения потолка $\rho_{п}$, стен $\rho_{с}$, рабочей поверхности $\rho_{р.п.}$;
- определяют расчетное значение удельной мощности (формулы 2.3, 2.4):

а) для точечных излучателей

- определяют расчетную мощность ламп (формула 2.1);
- подбирают ближайшую по мощности с учетом требований (формула 2.5) по таблице выпускаемых промышленностью ламп;

– проверяют возможность установки лампы в светильник (формула 2.6);

б) для линейных излучателей

– определяют суммарное количество светильников в помещении (формула 2.2);

– определяют число светильников в ряду (формула 2.7) и общее количество светильников в помещении;

– определяют расстояние разрыва между светильниками в ряду (формула 2.8);

– проверяют расположение светильников в ряду (формула 2.9).

Метод коэффициента использования светового потока.

Метод коэффициента использования светового потока осветительной установки применяют при расчете общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей в помещениях при отсутствии крупных затеняющих предметов.

Основная расчетная формула

$$\Phi_p = \frac{E_n K_3 Sz}{n_c N_{\Sigma} \eta}, \quad (2.10)$$

где Φ_p – расчетный световой поток лампы рассчитываемой осветительной установки, лм;

E_n – номинируемое значение освещенности помещения, лк;

K_3 – коэффициент запаса;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

z – коэффициент минимальной освещенности (отношение средней освещенности к минимальной);

n_c – число ламп в светильнике, шт.;

N_{Σ} – общее число светильников в помещении, шт.;

η – коэффициент использования светового потока, в долях единицы.

Формулой в представленном виде пользуются для расчета освещения от светильников с *круглосимметричными источниками* (с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ, и т. д.), когда известно число светильников, но не известна мощность лампы в светильнике. Поэтому, определив расчетный световой поток источника Φ_p и сопо-

ставив его с номинальным значением светового потока выпускаемых промышленностью ламп $\Phi_{л}$, находим тип и мощность источника. При этом необходимо учесть, что световой поток выбранной лампы не должен отличаться от расчетного в пределах от -10% до $+20\%$ т. е.

$$0,9\Phi_p \leq \Phi_{л} \leq 1,2\Phi_p. \quad (2.11)$$

Если невозможно выбрать лампу, соответствующую условию (2.11), то изменяют число светильников в освещаемом помещении с таким расчетом, чтобы расстояние между светильниками ненамного отличалось от светотехнически наиболее выгодного расстояния $\lambda_c H_p$. Причем изменения ведут в сторону увеличения расстояния и уменьшения числа светильников.

При расчете освещения от светильников с люминесцентными лампами известными величинами являются мощность лампы в светильнике, число и световой поток, а также число рядов светильников. Неизвестные величины – общее число светильников N_{Σ} в освещаемом помещении и в одном ряду N_1 .

Общее число светильников в помещении определяют по формуле

$$N_{\Sigma} = \frac{E_n K_3 S z}{n_c \Phi_{л} \eta}, \quad (2.12)$$

число светильников в ряду определяется по формуле

$$N_1 = \frac{N_{\Sigma}}{N_2}. \quad (2.13)$$

Число светильников N_1 округляют в сторону увеличения.

Расстояние между светильниками в ряду l_p определяют по формуле 2.8.

Неизвестными величинами в формулах (2.10) и (2.12) являются коэффициент использования светового потока η и коэффициент минимальной освещенности z . Коэффициент использования светового потока определяют по справочным таблицам (приложение

3.24 [8]) и он зависит от характера светораспределения светильника (класса светораспределения и формы КСС), коэффициентов отражения поверхностей, площади и формы освещаемого помещения, расчетной высоты подвеса светильника.

Индекс помещения определяют по формуле

$$i = \frac{AB}{H_p(A+B)}, \quad (2.14)$$

где A и B – соответственно длина и ширина освещаемого помещения.

Коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{п}}$, стен $\rho_{\text{с}}$ и рабочей поверхности $\rho_{\text{р.п.}}$ определяют по справочным таблицам.

Коэффициент минимальной освещенности вводится для того, чтобы обеспечить освещенность в любой нормируемой точке не ниже минимальной. При расчете освещения от светильников с лампами накаливания, светодиодными источниками и высокого давления (ДРИ, ДРЛ и др.) $z = 1,15$, с люминесцентными лампами $z = 1,1$, а для всех светильников отраженного света $z = 1,0$.

Порядок расчета методом коэффициента использования светового потока:

- проверяют применимость метода;
- определяют коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{п}}$, стен $\rho_{\text{с}}$, рабочей поверхности $\rho_{\text{р.п.}}$;
- определяют индекс помещения i (формула 2.14);
- определяют коэффициент использования светового потока;
- а) для точечных излучателей:
 - вычисляют требуемый световой поток источника света (формула 2.10);
 - подбирают из каталога тип лампы ближайший по световому потоку с учетом требований (формула 2.11);
 - проверяют возможность установки лампы в светильник (формула 2.6);
- б) для линейных излучателей
 - определяют количество светильников в освещаемом помещении N_{Σ} (формула 2.12), число светильников в ряду (формула 2.13);
 - определяют расстояние разрыва между светильниками в ряду (формула 2.8);

– проверяют расположение светильников в ряду (формула 2.9).

Исходные данные:

Для принятого ранее помещения, согласно варианту, после проектирования светотехнической части осветительной установки дополнить светотехнический расчет:

- методом удельной мощности;
- методом коэффициента использования светового потока.

Пример расчета:

Выполним расчет для 32 варианта (см. табл. 1.1).

Метод удельной мощности

Исходные данные для расчетов представлены в табл. 1.2.

1. Проверяем применимость метода: метод применим для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей в помещениях при отсутствии крупных затеняющих предметов.

2. Из приложения 3.22 [8] с учетом принятого ранее источника света, H_p , площади помещения определяем табличное значение удельной мощности для помещения содержания свиноматок площадью ($42 \cdot 18 = 756 \text{ м}^2$) и КСС Д, $P_{\text{уд}}^{\text{табл.}} = 2,5 \text{ Вт/м}^2$.

3. Из приложения 3.23 [8] в зависимости от материала и окраски рабочей поверхности определяем коэффициенты отражения рабочих поверхностей: потолка $\rho_{\text{п}} = 30 \%$, стен $\rho_{\text{с}} = 10 \%$, рабочей поверхности $\rho_{\text{р.п.}} = 10 \%$.

4. Определяем расчетное значение удельной мощности. Для этого вычислим значения поправочных коэффициентов:

- при $K_3 = 1,3$ поправочный коэффициент K_1 равен

$$K_1 = \frac{K_3^{\text{реал}}}{K_3^{\text{табл}}} = \frac{1,3}{1,5} = 0,86,$$

где $K_3^{\text{реал}} = 1,3$ реальное значение коэффициента запаса осветительной установки;

$K_3^{\text{табл}} = 1,5$ табличное значение коэффициента запаса осветительной установки (приложение 3.22 [8]).

– так как коэффициенты отражения поверхностей рассчитываемого помещения ниже табличного значения (приложение 3.22 [8]),

$P_{\text{уд}}$ необходимо увеличить на 10 %, следовательно, $K_2 = 1,1$.

5. Вычисляем значение удельной мощности $P_{\text{уд}}$ (формула 2.4)

$$P_{\text{уд}} = 2,5 \cdot 0,86 \cdot 1,1 \cdot 75 / 100 = 1,8 \text{ Вт/м}^2.$$

6. Суммарное число светильников в помещении (формула 2.2)

$$N_{\Sigma} = \frac{1,8 (42 \cdot 18)}{36 \cdot 1 \cdot 0,7} = 54 \text{ шт.}$$

Принимаем $N_{\Sigma} = 55$ светильников с учетом количества рядов.

Число светильников в ряду (формула 2.13)

$$N_1 = N_{\Sigma} / N_2 = 55 / 5 = 11 \text{ св.}$$

7. Определяют расстояние между светильниками в ряду.

При длине светильника $l_c = 1,33$ м действительное расстояние между светильниками (формула 2.8)

$$l_p = \frac{42 - 2 \cdot 1,8 - 1,33 \cdot 11}{11 - 1} = 2,37 \text{ м.}$$

Принимаем $l_p = 2,4$ м.

Проверяем расположение светильников в ряду (формула 2.9)

$$0 \leq 2,4 \leq 5,4 \text{ м.}$$

Условие выполняется, расчет выполнен верно.

Метод коэффициента использования светового потока

Исходные данные для расчетов представлены в табл. 1.2.

1. Проверяем применимость метода. Метод применим для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей в помещениях при отсутствии крупных затеняющих предметов.

2. Из приложения 3.23 [8] в зависимости от материала и окраски рабочей поверхности определяем коэффициенты отражения рабочих поверхностей: потолка $\rho_{\text{п}} = 30$ %, стен $\rho_{\text{с}} = 10$ %, рабочей поверхности $\rho_{\text{р.п.}} = 10$ %.

3. Вычисляем индекс помещения (формула 2.14)

$$i = \frac{42 \cdot 18}{2,48(42 + 18)} = 5.$$

4. Из приложения 3.24 [8] с учетом индекса помещения, коэффициентов отражения, кривой силы света (типа светильника) определяем коэффициент использования светового потока $\eta = 65\%$.

5. Определяем количество светильников в помещении по формуле 2.12 (для светильников с люминесцентными лампами), приняв лампу ЛБ-36 со световым потоком $\Phi_{\text{л}} = 3050$ лм (приложение Б10 [10]).

$$N_{\Sigma} = \frac{75 \cdot 1,3(42 \cdot 18) \cdot 1,1}{1 \cdot 3050 \cdot 0,65} = \frac{81081}{1982,5} = 40,8 \text{ шт.}$$

С учетом количества рядов N_{Σ} принимаем 45 шт.

Число светильников в ряду (формула 2.13)

$$N_1 = N_{\Sigma} / N_2 = 45/5 = 9 \text{ светильников.}$$

Определяем расстояние между светильниками в ряду.

При длине светильника $l_c = 1,33$ м действительное расстояние между светильниками l_p (формула 2.8)

$$l_p = \frac{42 - 2 \cdot 1,8 - 1,33 \cdot 9}{9 - 1} = 3,3 \text{ м.}$$

Проверяем расположение светильников в ряду (формула 2.9)

$$0 \leq 3,3 \leq 5,4 \text{ м.}$$

Требование равномерности обеспечивается.

Практическое занятие № 3

РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТОЧЕЧНЫМ МЕТОДОМ

Цель занятия: освоить последовательность и методику, получить практические навыки расчета осветительных установок точечным методом.

Задачи занятия:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительной установки помещений точечным методом.
2. Выполнить расчет осветительных установок помещений в заданном преподавателем здании точечным методом (методом линейных изолюкс).

Контрольные вопросы и задания

1. В каких случаях при проектировании осветительных установок применяют точечный метод расчета?
2. Как определить освещенность в точке при известном значении силы света круглосимметричного светильника в направлении рассматриваемой точки?
3. Как определить освещенность в точке, если световой поток источника в круглосимметричном светильнике отличается от справочного значения, принятого при построении кривой силы света?
4. Напишите формулу для определения требуемого значения светового потока источников методом пространственных изолюкс.
5. Как определяют угловую горизонтальную освещенность в расчетной точке рабочей поверхности методом пространственных изолюкс?
6. Для каких контрольных точек в методе пространственных изолюкс рассчитывают условную горизонтальную освещенность?
7. Перечислите последовательность выполнения операций при расчете осветительных установок методом пространственных изолюкс.
8. В каких случаях для расчета осветительных установок с люминисцентными лампами следует применять точечный метод (метод линейных изолюкс)?
9. Какие допущения положены в основу построения кривых линейных изолюкс?

10. Как можно определить освещенность в контрольной точке по кривым линейных изолуэкс?

11. Как поступают при определении освещенности в точке, если она не лежит против конца светящейся линии?

12. Какие точки принимают за контрольные при расчете осветительных установок методом линейных изолуэкс?

13. Напишите формулу для определения требуемой линейной плотности светового потока светящейся линии.

14. Как определить количество светильников в линии и разместить их при известном значении требуемой плотности светового потока?

15. Перечислите последовательность выполнения операций при расчете осветительных установок с люминесцентными лампами точечным методом.

Порядок расчета:

Метод применяется при расчете общего равномерного и локализованного освещения, местного освещения, освещения вертикальных и наклонных к горизонту плоскостей, наружного освещения. В основу метода положено определение условной освещенности в контрольных точках, которые определяются, как показано на рис. 3.1, для случая общего равномерного освещения.

Условную освещенность в контрольной точке можно определить:

а) для *круглосимметричных точечных излучателей*

1) с использованием кривой распределения силы света данного излучателя (рис. 3.2) по формуле

$$\Sigma e = \frac{I_{a1} \cdot \cos^3 \alpha_1}{H_{p1}^2} + \frac{I_{a2} \cdot \cos^3 \alpha_2}{H_{p2}^2} + \dots + \frac{I_{ai} \cdot \cos^3 \alpha_i}{H_{pi}^2}. \quad (3.1)$$

где I_a – условная сила света излучателя (светильника) в направлении контрольной точки, определяемая по кривой распределения силы света данного излучателя (светильника) в зависимости от угла α_i между вертикальной осью симметрии и линией, соединяющей его световой центр с контрольной точкой, кд;

H_p – расчетная высота подвеса светильника над горизонтальной плоскостью с контрольной точкой А, м;

α_i – угол между осью излучателя (светильника) и линией, соединяющей световой центр излучателя (светильника) с освещаемой точкой, град.

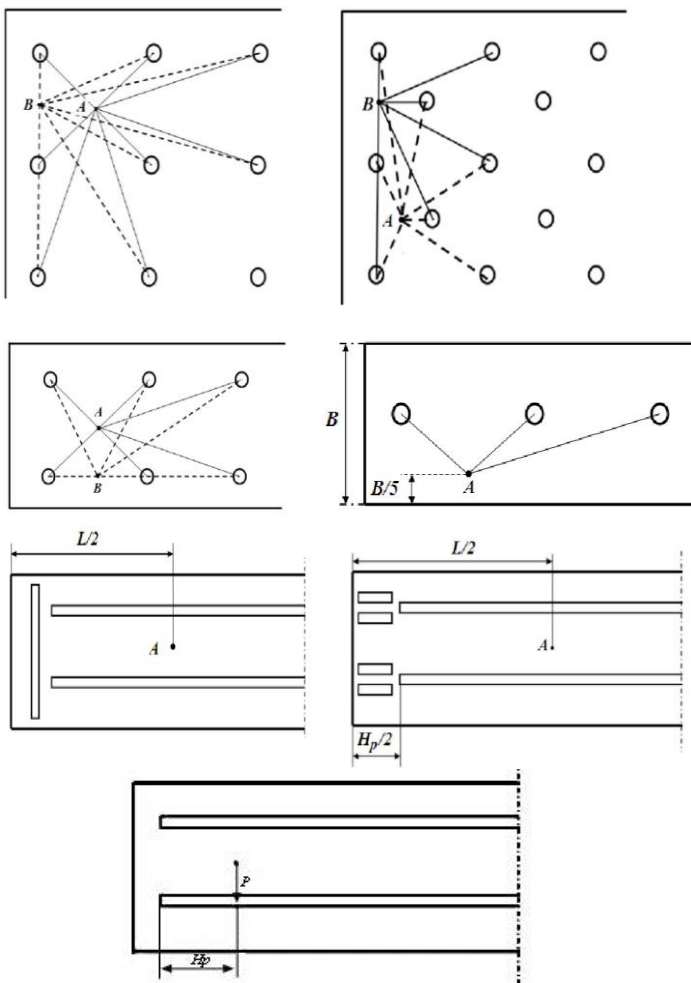


Рис. 3.1. К выбору контрольных точек для различных вариантов светильников с круглосимметричными излучателями (лампы накаливания, ДРИ, ДРЛ, ДНаТ) и люминесцентными лампами

2) с использованием кривых пространственных изолюкс, которые приводятся в справочной литературе (рис. 3.7 [8]).

По кривым пространственных изолюкс находят точку с известными d и H_p . Условная горизонтальная освещенность определяется путем интерполирования между значениями, указанными у ближайших

изолукс. Значение d – кратчайшее расстояние между контрольной точкой А и точкой проекции светового центра светильника на горизонтальную плоскость, на которой расположена точка А (см. рис. 3.2).

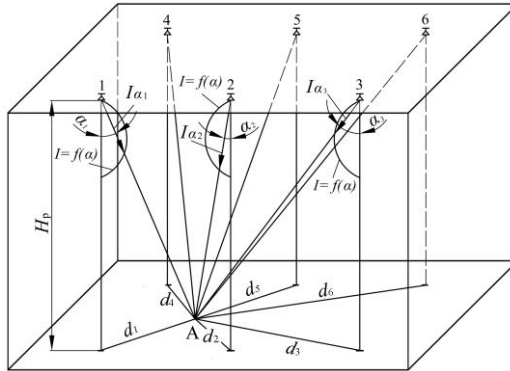


Рис. 3.2. К расчету освещенности от точечных излучателей в точке А точечным методом

При вычислении условной освещенности в контрольной точке обычно учитывают лишь «ближайшие» светильники (находящиеся на расстоянии трех наименьших значений d).

Для круглосимметричных точечных излучателей требуемый световой поток (Φ_p) источников света с учетом коэффициента запаса (K_3) определяют по формуле

$$\Phi_p = \frac{1000 E_n K_3}{\eta_{\cup} \mu \Sigma e}, \quad (3.2)$$

где E_n – нормированное значение освещенности рабочей поверхности, лк;

K_3 – коэффициент запаса;

μ – коэффициент добавочной освещенности, учитывающий воздействие «удаленных» светильников и отраженных световых потоков на освещаемую поверхность (принимается равным 1,1...1,2);

η_{\cup} – коэффициент полезного действия (КПД) светильника в нижнюю полусферу в относительных единицах (приложение 3.3 [8]);

Σe – сумма условных освещенностей, создаваемых каждым из близлежащих светильников осветительной установки, лк.

По расчетному потоку Φ_p подбирается ближайшая стандартная лампа, световой поток которой должен отличаться от расчетного в пределах $-10 \dots +20\%$ т. е.

$$0,9\Phi_p \leq \Phi_{л} \leq 1,2\Phi_p. \quad (3.3)$$

Проверяют возможность установки лампы в светильник с учетом требований (2.6);

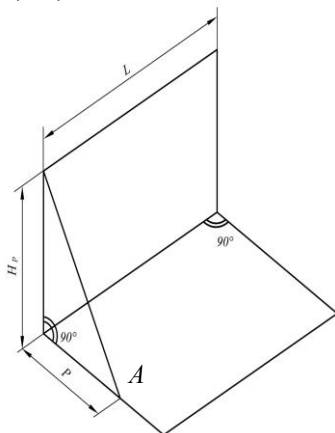


Рис. 3.3. К определению освещенности в точке А по методу линейных изолюк

б) для линейных излучателей

– с использованием кривых линейных изолюк (рис. 3.11, [8]), которые позволяют определить условную освещенность в контрольной точке рабочей поверхности с учетом допущений о том, что рассматриваемая точка расположена против конца линии (рис. 3.3), условная линейная плотность потока равна $\Phi' = 1000$ лм/м, а $H_p = 1$ м. Освещенность других точек определяется путем разделения светящейся линии на части или дополнения их воображаемыми отрезками, освещенность от которых затем суммируется или вычитается (рис. 3.4).

При пользовании кривыми линейных изолюк по плану обмеряют размеры P и L , определяют отношение $p' = p : H_p$ и $L' = L : H_p$, по кривым находят значения условной освещенности e при координатах p' и L' путем интерполирования между ближайшими линейными изолюк-сами. Линии, для которых $L' > 4$, при расчетах рассматриваются как неограниченно длинные и значения условной освещенности находят для $L' = 4$.

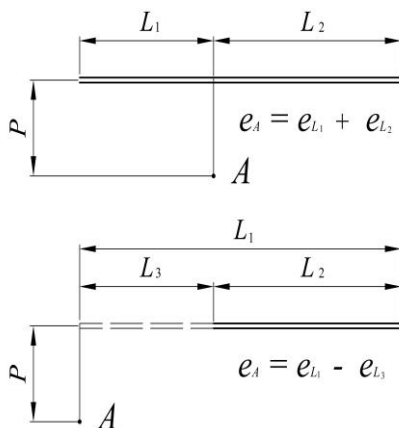


Рис. 3.4. К определению освещенности, когда точка А не лежит против конца светящейся линии

Определив условную освещенность в контрольной точке, вычисляют линейную плотность светового потока

$$\Phi'_p = \frac{1000 E_H K_3 H_p}{\mu \Sigma e}. \quad (3.4)$$

Выбирают тип газоразрядной лампы и определяют значение светового потока (приложение 2.7 [8]), после чего определяют количество светильников в ряду N_1 .

$$N_1 = \frac{\Phi'_p L_p}{n_c \Phi_{л}}, \quad (3.5)$$

где L_p – длина светящегося ряда, м.
 n_c – число ламп в светильнике.

Значение N_1 округляют в сторону увеличения.

Определяют общее число светильников в помещении

$$N_{\Sigma} = N_1 \cdot N_2. \quad (3.6)$$

Определяют действительное расстояние между светильниками в ряду l_p по формуле 2.8 и проверяют расположение светильников в ряду по формуле 2.9.

Порядок расчета установки с *круглосимметричными точечными излучателями* точечным методом следующий:

- после размещения светильников на плане помещения намечают контрольные точки и вычисляют в них условную освещенность;
- из контрольных точек выбирают расчетную точку с наименьшей условной освещенностью;
- по расчетной формуле 3.2 определяют требуемое значение светового потока источника с учетом требований 3.3, пользуясь таблицей выпускаемых промышленностью ламп, находят мощность источников $P_{л}$;
- проверяют возможность установки лампы в светильник с учетом требований (2.6).

Осветительные установки с *линейными излучателями* рассчитывают точечным методом в следующем порядке:

- размещают светильники по рядам согласно расчету, намечают контрольную точку (рис. 3.1).
- вычисляют условную освещенность в контрольной точке;
- определяют требуемую линейную плотность светового потока по формуле 3.4;
- для выбранного типа газоразрядной лампы определяют номинальное значение ее светового потока $\Phi_{л}$ (приложение 2.7 [8]);
- по формуле 3.5 определяют количество светильников в ряду N_1 ;
- по формуле 3.6 определяют общее число светильников в помещении N_{Σ} ;
- определяют расстояние разрыва между светильниками в ряду по формуле 2.8;
- проверяют расположение светильников в ряду с учетом требований 2.9.

Исходные данные:

Для принятого ранее помещения, согласно варианту, после проектирования светотехнической части осветительной установки выполнить светотехнический расчет методами пространственных и линейных изолукс соответственно, применяя светильники с лампами накаливания и люминесцентными лампами.

Пример расчета:

Выполнен расчет для 32 варианта (см. табл. 1.1) методом линейных изолукс.

1. Размещаем светильники на плане помещения в соответствии с расчетом, приведенным в практическом занятии № 1, и намечаем контрольную точку А (см. рис. 3.2).

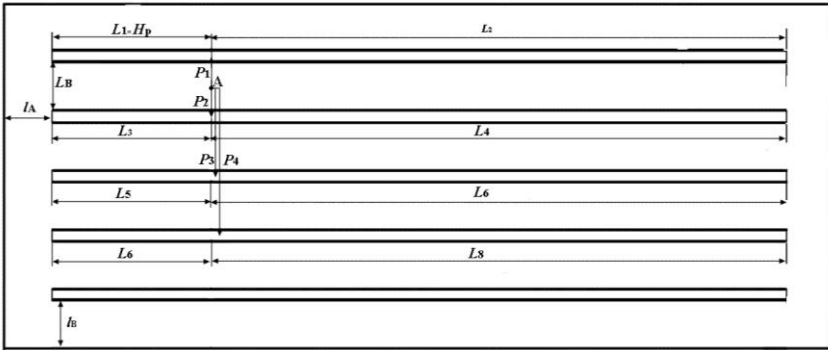


Рис. 3.5. К расчету осветительной установки методом линейных изолук

2. Определяем длины полурядов и расстояние от контрольной точки до проекции рядов на рабочую поверхность

$$L_1 = L_3 = L_5 = L_7 = H_p = 2,48 \text{ м,}$$

$$L_2 = L_4 = L_6 = L_8 = A - 2l_A - L_1 = 42 - 2 \cdot 1,8 - 2,48 = 35,9 \text{ м,}$$

$$P_1 = P_2 = L_B / 2 = 3,6 / 2 = 1,8 \text{ м,}$$

$$P_3 = L_B + L_B / 2 = 3,6 + 1,8 = 5,4 \text{ м,}$$

$$P_4 = 2L_B + L_B / 2 = 2 \cdot 3,6 + 1,8 = 9 \text{ м.}$$

3. Определяем приведенные размеры L' , P'

$$L'_1 = L'_3 = L'_5 = L'_7 = \frac{L_1}{H_p} = \frac{2,48}{2,48} = 1, \quad L'_2 = L'_4 = L'_6 = L'_8 = \frac{L_2}{H_p} = \frac{35,9}{2,48} = 14,5,$$

если приведенный размер больше 4, принимаем

$$L'_2 = L'_4 = L'_6 = L'_8 = 4.$$

$$P'_1 = P'_2 = \frac{P_1}{H_p} = \frac{1,8}{2,48} = 0,73, \text{ аналогично } P'_3 = 2,2; \quad P'_4 = 3,6;$$

и по графикам линейных изолюкс (рис. 3.11, [8]) для кривой силы света Д-2 (см. выбор светильников – практическая работа № 1) определяем условную освещенность в контрольной точке от всех полурядов

$e_1 = e_3 = 50$ лк; $e_2 = e_4 = 64$ лк; $e_5 = 6,5$ лк; $e_6 = 9$ лк; $e_7 = 1,5$ лк; $e_8 = 3,7$ лк.

4. Определяем суммарную освещенность в контрольной точке

$$\sum e = e_1 + \dots + e_8 = 50 + 64 + 50 + 64 + 6,5 + 9 + 1,5 + 3,7 = 248,7 \text{ лк.}$$

5. Определяем расчетное значение линейной плотности светового потока Φ'_p (формула 3.4)

$$\Phi'_p = \frac{1000 \cdot 75 \cdot 1,3 \cdot 2,48}{1,1 \cdot 248,7} = 882 \text{ лм/м.}$$

6. При отсутствии требований к цветопередаче принимаем к установке в светильник лампу ЛБ-36. Световой поток лампы $\Phi_{л} = 3050$ лм (приложение Б10.2 [10]).

7. Определяем количество светильников N_1 в ряду длиной L_p (формула 3.5)

$$L_p = A - 2l_A = 42 - 2 \cdot 1,8 = 38,4 \text{ м,}$$

$$N_1 = \frac{882 \cdot 38,4}{1 \cdot 3050} = 11,1 \text{ шт.}$$

Так как $N_2 = 5$ рядов, то N_1 принимаем 10 шт. Определяем общее число светильников (формула 3.6)

$$N_{\Sigma} = N_1 N_2 = 5 \cdot 10 = 50 \text{ шт.}$$

8. При длине светильника $l_c = 1,33$ м действительное расстояние между светильниками l_p (формула 2.8)

$$l_p = \frac{42 - 2 \cdot 1,8 - 1,33 \cdot 10}{10 - 1} = 2,8 \text{ м.}$$

9. Проверяем расположение светильников в ряду с учетом требований (2.9)

$$0 \leq 2,8 \leq 5,4 \text{ м.}$$

Требование равномерности обеспечивается.

Практическое занятие № 4

РАСЧЕТ УСТАНОВОК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ ЖИВОТНЫХ И ПТИЦЫ

Цель занятия: ознакомиться с методикой и получить практические навыки расчета установок ультрафиолетового облучения животных и птицы.

Задачи занятия:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок УФ облучения животных и птицы.
2. Выполнить расчет установок УФ облучения сельскохозяйственных животных или птицы для заданного преподавателем варианта.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите диапазон длин волн витального действия ультрафиолетового излучения.
2. Какие единицы и величины их измерения используются для оценки витального действия ультрафиолетового излучения?
3. Укажите отличительные особенности использования известных в светотехнике методов расчета при проектировании установок ультрафиолетового облучения животных и птицы.
4. Как определить время работы стационарной установки ультрафиолетового облучения методом коэффициента использования эффективного потока?
5. Поясните методику расчета стационарных установок ультрафиолетового облучения точечным методом.
6. Как определить минимально допустимую высоту подвеса облучателей стационарных установок ультрафиолетового облучения?
7. Разъясните порядок определения витальной экспозиции при однократном проходе облучателей подвижной установки ультрафиолетового облучения.
8. Какое допущение положено в основу приближенного расчета витальной экспозиции за однократный проход облучателей подвижной установки ультрафиолетового облучения?
9. Напишите формулы для определения количества проходов и времени работы облучателей подвижной установки ультрафиолетового облучения. Как определить входящие в них величины?

10. Какие факторы влияют на режимы работы установок ультрафиолетового облучения, и каким образом их можно учесть при эксплуатации?

Порядок расчета:

Разделение установок ультрафиолетового облучения на стационарные и подвижные вносит определенную специфику в методику их расчета.

Расчет стационарных облучательных установок

Расчету предшествует размещение облучателей. При равномерном размещении принимают коэффициент неравномерности облучения z (отношение средней облученности к минимальной) не более 1.4.

Расчетную высоту подвеса облучателя можно определить по табл. 4.1 или по формуле

$$H_p \geq \sqrt{\frac{I_0}{E_{\text{доп}}}}, \quad (4.1)$$

где I_0 – значение силы эффективного излучения при зональном угле равно нулю;

$E_{\text{доп}}$ – допустимая облученность для данного вида и возраста животного (птицы).

Наивыгоднейшее относительное расстояние для облучателей с лампами ДРТ и ЛЭ в стандартной арматуре $\lambda_3 = 1,4$. При этом коэффициент неравномерности облученности z не превышает 1,15...1,25, а размещение облучателей над поверхностью определяют по формулам (4.2–4.6).

Расстояние между рядами облучателей L_B и между облучателями в ряду L_A :

$$L_A = L_B = \lambda_3 H_p. \quad (4.2)$$

Расстояние от крайнего ряда l_B и от крайнего облучателя в ряду l_A до края облучаемой площади

$$\lambda_A = \lambda_B = (0,3...0,5) L_{A,B}. \quad (4.3)$$

Количество рядов облучателей

$$N_2 = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L_B} + 1, \quad (4.4)$$

где B – ширина облучаемой площадки.

Количество облучателей в ряду

$$N_1 = \frac{A - 2 \cdot l_A}{L_A} + 1, \quad (4.5)$$

где A – длина облучаемой площадки.

Действительные расстояния:

– между рядами облучателей:

$$L_B = \frac{B}{N_2 - 1}, \quad (4.6)$$

– между облучателями в ряду:

$$L_A = \frac{A}{N_1 - 1}. \quad (4.7)$$

Общее число облучателей:

$$N_{\Sigma} = N_1 N_2. \quad (4.8)$$

После размещения облучателей производят их светотехнический расчет, который в общем случае может быть произведен тремя методами: методом удельной облученности, методом коэффициента использования эффективного потока и точечным методом.

Таблица 4.1

Ориентировочные значения времени работы и высоты подвеса УФ облучателей

Вид и возрастная группа животных и птицы	Облучатели ЭО1-30М, ЭО-1, ЭО-2		Облучатели ОРК-2, ОРКШ		Подвижная установка	
	Высота подвеса облучателя от пола, м	Длительность облучения в сутки, час	Высота расположения облучателя от спины животных, м	Длительность облучения в сутки, мин	Высота облучателя от спины животных, м	Число проходов за сутки
Телята до 6 месяцев	2...2,2	3...3,5	1,5	15...20	1,5	2
Телята старше 6 месяцев	1...2,2	3,5...4	1,5	20...25	1,5	2
Телки и нетели	2...2,2	4...4,5	1	15...20	1	3
Коровы и быки	2...2,2	4,5...5	1	25...30	1	3
Поросята-сосуны	1,8...2	1...1,5	1,5	5	–	–
Поросята-отъемыши	1,8...2	2...2,5	1,5	10	1,5	1
Молодняк на откорме и свиноматки	1,8...2	2,5...3	1,5	10	1,5	1
Ягнята 3-дневного возраста	1,8...2	4...5	1,5	30...35	–	–
Овцематки	1,8...2	5...6	1,5	35...40	1,5	4
Цыплята при содержании на полу	2...2,2	1...1,5	2	5	2...2,2	1 через сутки

Вид и возрастная группа животных и птицы	Облучатели ЭО1-30М, ЭО-1, ЭО-2		Облучатели ОРК-2, ОРКШ		Подвижная установка	
	Высота подвеса облучателя от пола, м	Длительность облучения в сутки, час	Высота расположения облучателя от спины животных, м	Длительность облучения в сутки, мин	Высота облучателя от спины животных, м	Число проходов за сутки
Куры-несушки при содержании на полу	2...2,2	2,5...3	2	10	2...2,2 от пола	1
Облучение яиц перед инкубацией	–	–	0,8 от лотка	2	–	–

Метод удельной облученности

Метод удельной облученности прост, но пригоден для приближительного расчета облученности от единичного облучателя, когда рядом находящиеся облучатели не создают суммарный лучистый поток, направленный на облучаемую поверхность.

Расчет ведут следующим образом. По табл. 4.2 в зависимости от высоты подвеса и принятой лампы определяют витальную облученность $E_{\text{ср}}$.

Затем, исходя из рекомендуемой суточной дозы H_{Σ} (табл. 4.3), определяют суточное время работы установки

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_B \cdot K_A}, \quad (4.7)$$

где $K_A = 1,2-1,4$ – коэффициент, учитывающий влияние арматуры на перераспределение лучистого потока в нужном направлении.

Таблица 4.2

Витальная облученность, $\text{Вит}\cdot\text{ч}\cdot\text{м}^{-2}$, на поверхности, находящейся на различном расстоянии от ультрафиолетовых ламп

Тип лампы	Высота подвеса ламп над облучаемой поверхностью, м			
	1,0	1,5	2,0	2,5
ДРТ-375	720	319	180	114
ЛЭ-30	42	18,6	10,6	6,7
ЛЭ-15	20	8,9	5,0	3,2

Таблица 4.3

Рекомендуемые суточные дозы витального облучения сельскохозяйственных животных и птицы

Вид животного и птицы	Доза витального облучения, $\text{мвит}\cdot\text{ч}\cdot\text{м}^{-2}$	Допустимая облученность, $\text{мвит}\cdot\text{м}^{-2}$
Коровы и быки-производители	270...290	930
Телята старше 6 месяцев	160...180	570
Телята до 6 месяцев	120...140	430
Телки и нетели	180...210	570
Поросята-сосуны	20...25	83
Поросята-отъемыши	60...80	230
Поросята на откорме и свиноматки	60...80	–
Куры-несушки при содержании на полу	20...25	–
Куры-несушки при клеточном содержании	40...50	150
Цыплята при содержании на полу	15...20	58
Цыплята при содержании в клетках	20...25	58
Овцематки	245...260	–
Ягнята 3-дневного возраста от отбивки	220...240	–

Метод коэффициента использования эффективного потока

Метод коэффициента использования эффективного потока взят из раздела осветительных установок практически без всяких изменений. Он применим при относительно равномерном облучении объектов на горизонтальной поверхности. При этом принято, что коэффициент отражения ультрафиолетовых лучей от стен и потолка равен нулю.

Основная расчетная формула метода коэффициента использования эффективного потока

$$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi_{\text{в}} N_{\Sigma} \eta_{\text{э}} K_{\text{ф}}}{K_3 S}, \quad (4.8)$$

где $E_{\text{ср}}$ – средняя облученность объекта, мвит·м⁻²;

$\Phi_{\text{в}}$ – эффективный поток излучателя в эффективных единицах (вит, мвит);

N_{Σ} – суммарное число горелок установки ультрафиолетового облучения, шт.;

$\eta_{\text{э}}$ – коэффициент использования эффективного потока;

$K_{\text{ф}}$ – коэффициент формы животных (для сферы (птица) $K_{\text{ф}} = 0,5$ для цилиндра (животные) $K_{\text{ф}} = 0,64$);

K_3 – коэффициент запаса, равный 1,5–2,0;

S – площадь облучаемой поверхности, м².

Коэффициент использования эффективного потока определяется по табл. 4.4 с учетом индекса установки, который можно рассчитать по формуле

$$i = \frac{S}{H_p(A+B)}, \quad (4.9)$$

где A, B – размеры облучаемой поверхности, м.

Таблица 4.4

Значение коэффициента использования эффективного потока

Индекс установки	Облучатели с лампами ДРТ в стандартной арматуре	Облучатели с лампами ЛЭ и ЛЭО в стандартной арматуре
0,5	0,16	0,20
0,6	0,21	0,24

Индекс установки	Облучатели с лампами ДРТ в стандартной арматуре	Облучатели с лампами ЛЭ и ЛЭО в стандартной арматуре
0,7	0,29	0,28
0,8	0,33	0,31
0,9	0,36	0,34
1,0	0,37	0,36
1,1	0,39	0,39
1,25	0,41	0,42
1,5	0,44	0,46
1,75	0,46	0,49
2,0	0,49	0,52
2,25	0,51	0,54
2,5	0,53	0,56
3,0	0,56	0,58
3,5	0,59	0,60
4,0	0,60	0,62
5,0	0,62	0,64

Высота подвеса горелок над облучаемой поверхностью H_p должна удовлетворять требованию

$$E_{cp} z \leq E_{доп}, \quad (4.10)$$

где $E_{доп}$ – допустимая облученность, зависит от вида и возраста животных и птицы (см. табл. 4.3);

Z – коэффициент неравномерности облучения.

При выполнении требования (4.10) исключаются местные ожоги ультрафиолетовыми лучами поверхности тела животного.

При известной дозе облучения H_{Σ} и средней облученности поверхности E_{cp} (см. табл. 4.3) время облучения t равно:

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_{cp}}, \quad (4.11)$$

где H_{Σ} – рекомендуемая суточная доза облучения, мвит·ч·м⁻².

Точечный метод

При известной кривой распределения силы витального излучения облучателя для расчета стационарных облучательных установок может быть применен точечный метод. При этом в качестве расчетной точки принимается точка с наилучшими условиями облучения, что позволяет избежать переоблучения животных (птицы).

В точечном методе расчета значение облученности E_3 в точке на расчетной поверхности, создаваемой совместным действием нескольких ближайших облучателей, определяется по формуле

$$E_3 = \frac{\mu K_\phi \sum I_{ai} \cos^2 \alpha_i}{H_p^2 K_3}, \quad (4.12)$$

где H_p – расчетная высота подвеса облучателей, м;

K_3 – коэффициент запаса, равный 1,5–2,0;

I_{ai} – сила витального излучения i -го облучателя под углом α_i к вертикальной оси симметрии облучателя, вит·ср⁻¹;

μ – коэффициент добавочной облученности, создаваемой неучтенными облучателями (принимается равным 1,1–1,3).

Сила витального излучения I_{ai} в направлении угла α_i определяется по кривой пространственного распределения излучения (рис. 4.1). Угол α_i между вектором силы излучения каждого i -го облучателя, учитываемого при вычислении облученности, в направлении контрольной точки и вертикальной осью симметрии облучателя определяют по формуле

$$\alpha_i = \arctg(d_i / H_p), \quad (4.13)$$

где d_i – кратчайшее расстояние от точки проекции i -го облучателя на поверхности облучения до контрольной точки.

Далее, если выполняется условие (формула 4.10), определяют время облучения по формуле (4.11).

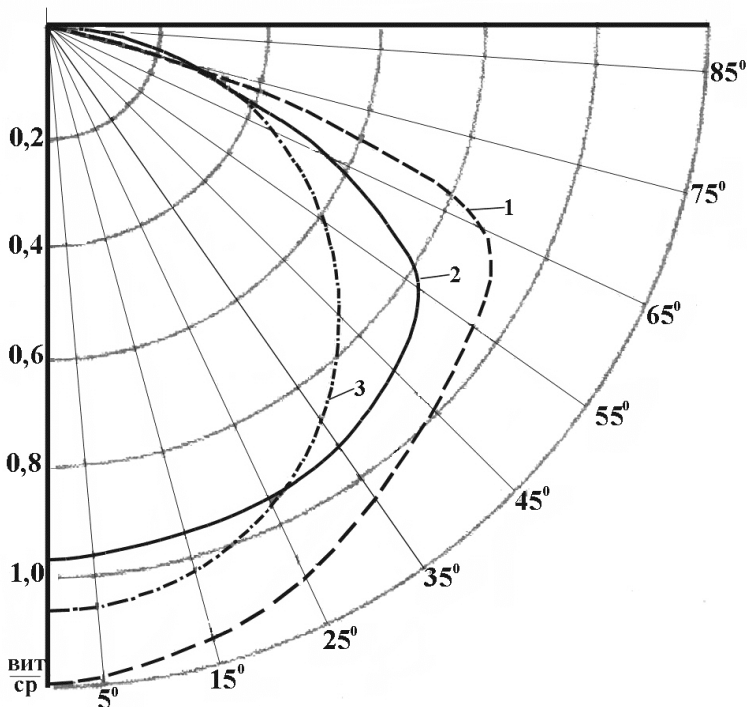


Рис. 4.1. Кривые пространственного распределения силы витального излучения облучателя: 1 – ОРК-2; ОРКШ; 2 – подвижной установки; 3 – кривая $I_{\alpha} = I_{\alpha} \cos \alpha$

Расчет подвижных установок

Расчет подвижных установок ультрафиолетового облучения сводится к определению дозы облучения за один проход и количества проходов при известных расчетной высоте подвеса и скорости перемещения облучателей.

Облучатель, передвигаясь со скоростью v на высоте H_p над расчетной точкой M (рис. 4.2), создает в ней изменяющуюся по значению витальную облученность, мгновенное значение которой

$$E_{\alpha_i} = \frac{K_{\phi} I_{\alpha_i} \cos^2 \alpha_i}{K_3 H_p^2}, \quad (4.14)$$

где

$$\cos \alpha_i = \frac{H_p}{\sqrt{(H_p^2 + l_{0-i}^2)}}. \quad (4.15)$$

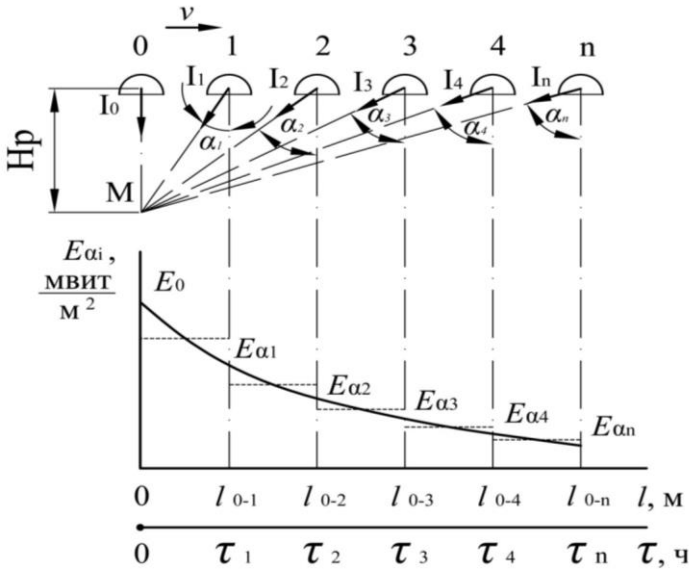


Рис. 4.2. К расчету дозы облучения

По известным значениям $E_{\alpha_0}, E_{\alpha_1}, E_{\alpha_2}, \dots, E_{\alpha_n}$ и соответствующим расстояниям от точек 1, 2, 3, ..., n до начального положения облучателя $l_{0-1}, l_{0-2}, l_{0-3}, \dots, l_{0-n}$ строят кривую распределения витальной облученности в точке M при однократном проходе облучателя (см. рис. 4.2). Преобразуют ось абсцисс из расстояния l_{0-i} во время τ_i так:

$$\tau_i = \frac{l_{0-i}}{g}. \quad (4.16)$$

Площадь, ограниченная указанной кривой и осью абсцисс, соответствует количеству облучения при однократном проходе облучателя. Численное значение количества облучения при однократном проходе облучателя

$$H_1 = 2 \sum_{i=0}^n E_i \Delta \tau_i = 2 \left[(E_{\alpha_0} + E_{\alpha_1}) \frac{(\tau_1 - 0)}{2} + (E_{\alpha_0} + E_{\alpha_1}) \frac{(\tau_1 - \tau_2)}{2} + \dots + (E_{\alpha_{n-1}} + E_{\alpha_n}) \frac{(\tau_n - \tau_{n-1})}{2} \right]. \quad (4.17)$$

Условия облучения точки M на участке пути облучателя слева и справа от положения «0» одинаковы, поэтому общее количество облучения определяют как удвоенное значение количества облучения, создаваемого облучателем при движении, например, в правой части рис. 4.2 от положения «0» к n .

По нормируемой суточной дозе облучения животного или птицы H_Σ , определяют расчетное количество проходов

$$m_p = \frac{H_\Sigma}{H_1} \quad (4.18)$$

или расчетное время работы облучателей

$$\tau_p = \frac{L' H_\Sigma}{\vartheta H_1}. \quad (4.19)$$

При определении длины хода L' учитывают, что облучатели не должны доходить до оси 0–0 и края площадки на расстояние $l' = 0,58H_p$ (рис. 4.3). В противном случае животное, находящееся на уровне этой оси, получит двойную дозу облучения

$$L' = \frac{A}{2} - 2 \cdot 0,58H_p. \quad (4.20)$$

Среднюю облученность, получаемую животным или птицей за один проход облучателя, можно определить и приближенным путем. Если кривую распределения витального потока облучателя (см. рис. 4.1) с некоторым допущением принять за косинусную и аппроксимировать формулой вида

$$I_\alpha = I_0 \cos \alpha, \quad (4.21)$$

где I_0 – сила витального излучения облучателя при $\alpha = 0$. Тогда доза, получаемая животным (птицей) за однократный проход облучателя:

$$H_1 = \frac{2K_\phi I_0 L'}{K_3 H_p \vartheta \sqrt{L'^2 + H_p^2}}. \quad (4.22)$$

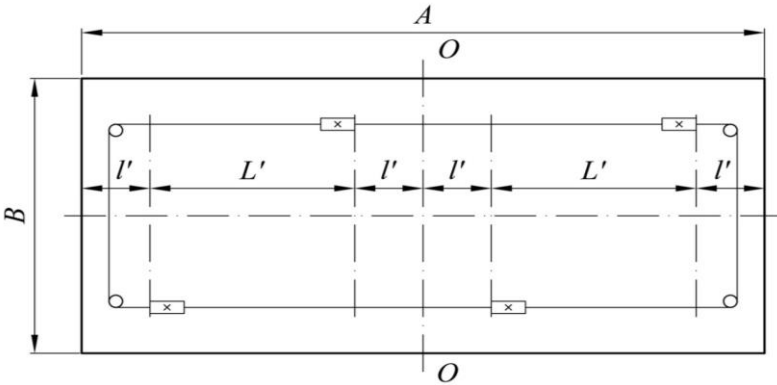


Рис. 4.3. План размещения подвижной облучательной установки

Число проходов и время работы установки определяют по формулам (4.18) и (4.19).

Порядок расчета стационарных установок УФ облучения животных и птиц следующий:

- определяют расчетную высоту подвеса облучателей (формула 4.1);
- определяют расчетное расстояние между рядами облучателей и облучателями в ряду, а также расстояние от краев облучаемой поверхности до облучателей (формулы 4.2, 4.3);
- определяют количество рядов облучателей, облучателей в ряду и общее число облучателей (формулы 4.4, 4.5);
- определяют действительные расстояния между рядами облучателей и облучателями в ряду (формулы 4.6, 4.7).

Далее:

расчет методом коэффициента использования эффективного потока:

- рассчитывают индекс установки (формула 4.9);
- распределяют коэффициент использования эффективного потока (табл. 4.4);

- рассчитывают среднюю витальную облученность (формула 4.8);
- проверяют выполнение требования на соответствие средней и допустимой витальных облученностей (4.10);
- определяют время облучения, за которое облучаемый объект получит требуемую витальную экспозицию (4.11).

Расчет точечным методом

- на плане размещают облучатели согласно расчету, намечают контрольную точку с максимальной облученностью;
- намечают облучатели, которые будут учитываться при вычислении создаваемой от них облученности в контрольной точке;
- определяют угол α_i между вектором силы излучения каждого i -го облучателя, учитываемого при вычислении облученности, в направлении контрольной точки и вертикальной осью симметрии облучателя (формула 4.13)
- по значениям угла α_i для каждого облучателя, учитываемого при вычислении облученности, определяют значения силы витального излучения $I_{\alpha i}$ в направлении контрольной точки (см. рис. 4.1);
- определяют расчетную витальную облученность, создаваемую каждым облучателем, который учитывается при вычислении облученности (формула 4.12);
- проверяют выполнение требования на соответствие расчетной и допустимой витальных облученностей (формула 4.10);
- определяют время облучения, за которое облучаемый объект получит требуемую витальную экспозицию (4.11).

Расчет подвижных установок УФ облучения животных и птицы методом графического интегрирования.

Расчет производим в следующей последовательности:

- определяют расчетную высоту подвеса облучателей (формула 4.1);
- на плане помещения (облучаемой поверхности) наметить трассу движения облучателей (см. рис. 4.3);
- определяют длину хода облучателей (формула 4.20);
- задавшись расстоянием проекции облучателя на облучаемой поверхности до точки начала его перемещения с интервалом через 1 м ($l_{0-1} = 1$ м, $l_{0-2} = 2$ м, ..., $l_{0-5} = 5$ м), определяют углы α_i между вектором силы излучения облучателя при его перемещении в направлении контрольной точки и вертикальной осью его симметрии, а также для каждого из найденных углов α_i значения силы витального излучения $I_{\alpha i}$ в направлении расчетной точки (см. рис. 4.2);

– вычисляют мгновенные значения витальной облученности на расчетной поверхности при различных расположениях облучателя E_{α_i} (формула 4.14);

– строят кривую изменения витальной облученности в зависимости от расстояния облучателей до расчетной точки (см. рис. 4.2);

– преобразовывают ось абсцисс из значений расстояний l_{0-i} в значения времени перемещения облучателей τ_i (см. рис. 4.2);

– определяют экспозицию облучения за один проход облучателей (формула 4.21);

– определяют расчетное количество проходов облучателей, за которые объект получит нормированное значение суточной экспозиции (формула 4.18);

– вычислить расчетное время работы установки (4.19).

Исходные данные:

По выданному преподавателем индивидуальному заданию выполнить расчет стационарных установок УФ облучения животных и птицы методами коэффициента использования эффективного потока и точечным методом.

Результаты расчетов представить по форме табл. 4.5.

Таблица 4.5

Расчет витальной облученности, создаваемой близлежащими облучателями в контрольной точке

Номер облучателей	Расстояния от контрольной точки до проекции i -го облучателя $d_{i,}$ м	Угол α_i , град.	Сила витального излучения I_{wi} , мВит·ср ⁻¹	$\cos^2 \alpha_i$	Витальная облученность E_{α_i} , мВит·м ⁻²
1	2	3	4	5	6
Суммарная витальная облученность в контрольной точке, мВит·м ⁻²					$\Sigma E_{\alpha} =$

Пример расчета:

В помещении для содержания животных и птицы разместить стационарные облучатели, определить витальную облученность и время

работы установки. Исходные данные для решения задачи принять по табл. 4.7 в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

Выполним расчет для 27 варианта.

Таблица 4.6

Исходные данные к расчету

Овцематки	Размер облучаемой площадки, м ²	Тип облучателя	Доза витального облучения, H , мВит·ч·м ⁻²	Допустимая облученность, E , мВит·м ⁻²
Телки и нетели	18×48	ОРК-2	180...210	570

Стационарная установка

1. Приняв в первом приближении кривую силы витального излучения облучателя ОРК-2 за косинусную, определяем относительное наивыгоднейшее расстояние $\lambda_3 = 1,4$.

2. Расчетную высоту подвеса облучателя определяем по формуле 4.1 (из рис. 4.1. $I_0 = 1200$ мВит·ср⁻¹, из табл. 4.3 $E_{\text{доп}} = 570$ мВит·м⁻²).

$$H_p \geq \sqrt{\frac{1200}{570}} \geq 1,45 \text{ м.}$$

Принимаем $H_p = 1,5$ м.

Если не указана допустимая облученность, расчетную высоту установки облучателей определяем из табл. 4.1.

3. Расстояние между рядами облучателей и между облучателями в ряду (формула 4.2)

$$L_A = L_B = 1,4 \cdot 1,5 = 2,1 \text{ м.}$$

4. Расстояние от краев площадки до облучателей (формула 4.3)

$$l_B = l_A = 0,3 \cdot 2,1 = 0,63 \text{ м.}$$

5. Количество рядов облучателей (формула 4.4)

$$N_2 = \frac{18 - 2 \cdot 0,63}{2,1} + 1 = 8,9 \text{ рядов.}$$

Принимаем $N_2 = 9$ рядов.

6. Количество облучателей в ряду (формула 4.5)

$$N_1 = \frac{48 - 2 \cdot 0,63}{2,1} + 1 = 23,3 \text{ шт.}$$

Принимаем $N_1 = 23$ шт.

7. Общее число облучателей (формула 4.6)

$$N_{\Sigma} = 9 \cdot 23 = 207 \text{ шт.}$$

8. Действительное расстояние между рядами

$$L_B = \frac{18 - 2 \cdot 0,63}{9 - 1} = 2,1 \text{ м.}$$

9. Действительное расстояние между облучателями в ряду

$$L_A = \frac{48 - 2 \cdot 0,63}{23 - 1} = 2,1 \text{ м.}$$

Метод коэффициента использования эффективного потока

1. Определяем индекс установки (формула 4.9)

$$i = \frac{18 \cdot 48}{1,5(18 + 48)} = 8,7,$$

т. к. индекс установки больше 5 принимаем 5.

Таблица 4.7

Исходные данные

Вариант	Вид и возрастная группа животных и птицы	Стационарная установка	
		Размеры облучаемой площадки, м	Тип облучателя
1	Цыплята при содержании на полу	18×80	ЭО1-ЗОМ
2	Овцематки	12×15	ОРК-2

Вариант	Вид и возрастная группа животных и птицы	Стационарная установка	
		Размеры облучаемой площадки, м	Тип облучателя
3	Поросята-отъемыши	18×72	ОРК-2
4	Коровы и быки	18×72	ОРК-2
5	Куры-несушки при содержании на полу	18×80	ЭО1
6	Молодняк на откорме и свиноматки	24×56	ЭО-1
7	Телки и нетели	18×36	ЭО-2
8	Телята старше 6 месяцев	12×24	ЭО-1
9	Телята до 6 месяцев	6×9	ЭО1-ЗОМ
10	Коровы и быки	24×56	ОРК-2
11	Телки и нетели	18×24	ОРК-2
12	Телята старше 6 месяцев	12×36	ОРК-2
13	Телята до 6 месяцев	6×6	ОРКШ
14	Куры при содержании на полу	18×72	ЭО1-ЗОМ
15	Цыплята при содержании на полу	12×84	ЭО-2
16	Молодняк свиней на откорме	12×64	ЭО-1
17	Овцематки	12×12	ОРК-2
18	Свиноматки	12×36	ОРК-2
19	Поросята-отъемыши	12×52	ЭО1-ЗОМ
20	Коровы и быки	18×54	ОРК-2
21	Телки и нетели	8×18	ОРК-2
22	Телята старше 6 месяцев	14×72	ЭО1-ЗОМ
23	Телята до 6 месяцев	12×36	ЭО2
24	Поросята отъемыши	12×18	ЭО-1
25	Свиноматки	12×48	ЭО1-ЗОМ
26	Овцематки	24×24	ОРК-2
27	Телки и нетели	18x48	ОРК-2

2. По табл. 4.4 определяем $\eta_3 = 0,62$.

3. По табл. 4.8 определяем поток лампы (в облучателе ОРК-2 – лампа ДРТ-400) $\Phi_3 = 4750$ мВит, $K_3 = 2$ и рассчитываем среднюю облученность (формула 4.8)

$$E_{cp} = \frac{4700 \cdot 207 \cdot 0,62 \cdot 0,64}{2 \cdot 18 \cdot 48} = 223,4 \text{ мВит} \cdot \text{м}^{-2}.$$

4. Проверяем выполнение требования (4.10)

$$223,4 \cdot 1,25 \leq 570.$$

$$279,3 \leq 570.$$

Требование выполняется.

5. Определив суточную дозу $H_{\Sigma} = 210$ мвит·ч·м⁻² (см. табл. 4.3), рассчитываем время облучения (формула 4.11)

$$t = \frac{210}{223} = 0,94 \text{ часа.}$$

Таблица 4.8

Технические характеристики ультрафиолетовых ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм	Витальный поток, мВит	Бактерицидный поток, мбк	Срок службы, ч
ЛЭ-15	15	127	40	300	55	3000
ЛЭО-15	15	127	650	110	-	5000
ЛЭЗО-1	30	220	110	750	125	5000
ЛЭР-40	40	220	120	1600	-	1500
ДРТ-400	400	220	8000	4750	10500	2500
ДРВЭД-220-160	160	220	2100	350	-	1500

Точечный метод

1. Намечаем контрольную точку с максимальной облученностью (рис. 4.4). Нумеруем облучатели и по формуле $\alpha_i = \arctg(d_i/H_p)$ вычисляем угол α_i между векторами силы излучения i -го излучателя в направлении контрольной точки и вертикальной осью симметрии. Пользуясь кривыми силы витального излучения (см. рис. 4.1), по углу α_i определяем значение силы излучения I_{wi} . По формуле (4.12) вычисляем облученность в контрольной точке от принятых облучателей.

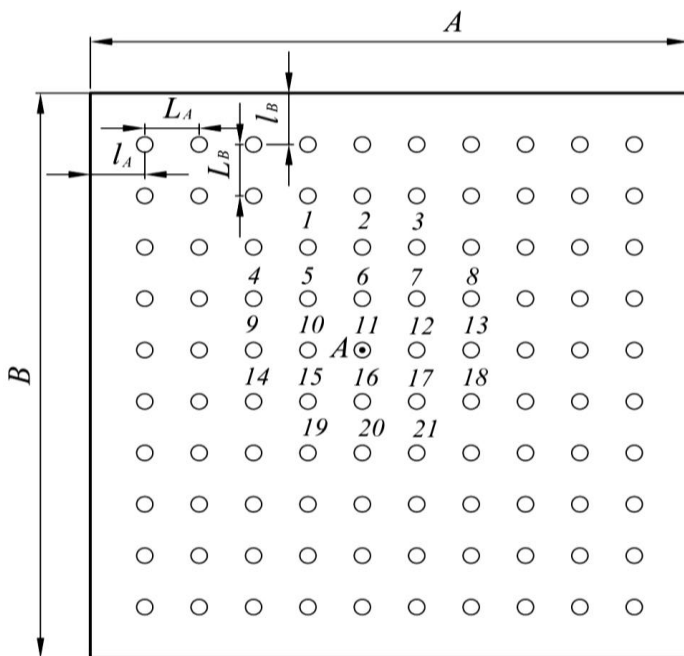


Рис. 4.4. К расчету облучательной установки точечным методом

Для облучателя 11:

$$E_{e1} = \frac{1,1 \cdot 0,64 \cdot 1200 \cdot 1^2}{1,5 \cdot 2} = 281,6 \text{ мВит} \cdot \text{м}^{-2}.$$

При расчете учитываем «ближайшие» облучатели. Результаты расчетов облученности от всех облучателей представим в виде табл. 4.9.

Таблица 4.9

Расчет витальной облученности в контрольной точке

Номер облучателя	Расстояние от контр. точки до проекции i -го облучателя d_{i2} , м	Угол α_i , град.	Сила излучения, I_{ai} , мВит·ср ⁻¹	$\cos^2 \alpha_i$	Витальная облученность E_{ei} , мВит·м ⁻²
1	4,6	72	0	0,10	-
2	4,2	70	600	0,12	10,9

Окончание таблицы 4.9

Номер облучателей	Расстояние от контр. точки до проекции i-го облучателя d_i , м	Угол α_i , град.	Сила излучения, $I_{\alpha i}$, мВит·ср-1	$\cos^2 \alpha_i$	Витальная облученность $E_{\alpha i}$, мВит·м ⁻²
3	4,6	72	0	0,10	-
4	4,5	71,6	150	0,10	2,3
5	2,9	62,6	880	0,21	28,9
6	2,1	54,6	920	0,34	48,9
7	2,9	62,6	880	0,21	28,9
8	4,5	71,6	150	0,10	2,3
9	4,0	69,5	620	0,12	11,6
10	2,0	53,1	955	0,36	53,7
11	0	0	1200	1	187,7
12	2,0	53,1	955	0,36	53,7
13	4,0	69,5	620	0,12	11,6
14	4,5	71,6	150	0,10	2,3
15	2,9	62,6	880	0,21	28,9
16	2,1	54,6	920	0,34	48,9
17	2,9	62,6	880	0,21	28,9
18	4,5	71,6	150	0,10	2,3
19	4,6	72	-	0,10	-
20	4,2	70	600	0,12	10,9
21	4,6	72	-	0,10	-
					$\Sigma E_3 = 562,7$

Проверяем выполнение требования (4.10)

$$562,7 \cdot \leq 570.$$

$$562,7 \leq 570.$$

Требование выполняется.

Рассчитываем время облучения для требуемой суточной дозы $H_{\Sigma} = 210$ мВит·ч·м⁻² (табл. 4.3) (формула 4.11)

$$t = \frac{210}{562,7} = 0,37 \text{ часа.}$$

Практическое занятие № 5

РАСЧЕТ УСТАНОВОК ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВА МОЛОДНЯКА ЖИВОТНЫХ И ПТИЦЫ

Цель занятия: ознакомиться с методикой и получить практические навыки расчета установок инфракрасного (ИК) обогрева молодняка животных и птицы.

Задачи занятия:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок ИК обогрева молодняка животных и птицы.
2. Выполнить расчет установок ИК обогрева сельскохозяйственных животных или птицы для заданного преподавателем варианта.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите диапазон длин волн оптического излучения, используемых для инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы.
2. Какие параметры определяют температуру в микрозоне расположения молодняка?
3. Напишите формулу определения температуры помещения в микрозоне размещения животных и птицы.
4. Как приближенно определить среднюю радиационную температуру поверхностей ограждений, обращенных к микрозоне?
5. Как определить среднее значение инфракрасной облученности от круглосимметричных излучателей при известном ее распределении на облучаемой поверхности?
6. Как изменится инфракрасная облученность на облучаемой поверхности, если круглосимметричный излучатель установить под углом β к вертикали?
7. Надо ли изменять площадь облучаемой поверхности по мере роста молодняка животных и птицы? Каким образом это можно сделать?
8. От каких факторов зависят значения минимальной, средней и минимальной инфракрасной облученности поверхности при обогреве молодняка животных и птицы?
9. Как изменится средняя инфракрасная облученность облучаемой поверхности при уменьшении (увеличении) температуры пола установки комбинированного обогрева?
10. Можно ли изменить значение инфракрасной облученности (или температуры, создаваемой инфракрасными лампами-

термоизлучателями) при регулировании напряжения питания ламп-термоизлучателей? Изменится ли при этом площадь обогреваемой лампами термоизлучателями поверхности?

Порядок расчета:

При расчете установок ИК обогрева молодняка животных и птицы температуру в микрозоне расположения молодняка t_0 определяют как результат суммарного воздействия температуры помещения в микрозоне t_{Π} и температуры $t_{ИК}$, создаваемой ИК лампами-термоизлучателями

$$t_0 = t_{\Pi} + k_1 t_{ИК}, \quad (5.1)$$

где k_1 – коэффициент восприятия ИК излучения организмом животного.

$$t_{\Pi} = k_2 t_p + (1 - k_2) t_{\text{в}}, \quad (5.2)$$

где k_2 – опытный коэффициент, равный для коровников 0,3, свиарников – 0,42, жилых зданий – 0,5;

t_p – средняя радиационная температура поверхностей ограждений, обращенных к микрозоне;

$t_{\text{в}}$ – средневзвешенная температура воздуха в зоне облучения, °С.

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n S_i t_{pi}}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (5.3)$$

где S_i , t_{pi} – площадь элементов поверхностей ограждений, обращенных к зоне облучения, м² и их средняя радиационная температура, °С.

Температура t_0 задана зооветеринарными требованиями. Температура $t_{ИК}$, создаваемая ИК-лампами в зоне обогрева животных, зависит от температуры помещения t_{Π} . Требуемая температура облучения

$$t_{ИК} = \frac{t_0 - t_{\Pi}}{k_1}. \quad (5.4)$$

Температуру $t_{\text{ИК}}$ создают инфракрасной облученностью $E_{\text{ИК}}$ на поверхности обогреваемого объекта. При известном значении $E_{\text{ИК}}$ температура

$$t_{\text{ИК}} = k_3 E_{\text{ИК}}, \quad (5.5)$$

где $k_3 = 0,04 \text{ } ^\circ\text{C м}^2 \text{ Вт}^{-1}$ – переводной коэффициент, связывающий $t_{\text{ИК}}$ и $E_{\text{ИК}}$.

В зоне ИК обогрева находится обычно группа сельскохозяйственных животных (поросят, кроликов, цыплят и т. д.), которая занимает определенную площадь $A_{\text{ж}}$ (рис. 5.1). ИК облученность $E_{\text{ИК}}$ этой площади, а следовательно, и распределение температуры $t_{\text{ИК}}$ по площади – неравномерны. Максимальные значения $E_{\text{ИК}}$ и $t_{\text{ИКmax}}$ будут в центре, а минимальные $E_{\text{ИК}}$ и $t_{\text{ИКmin}}$ – по краям зоны обогрева. В расчетах следует учитывать средние значения ИК облученности $E_{\text{ИКср}}$ или температуры $t_{\text{ИКср}}$. При этом диапазон $t_{\text{ИКmin}} - t_{\text{ИКmax}}$ не должен выходить за пределы комфортной температуры содержания животных или птицы.

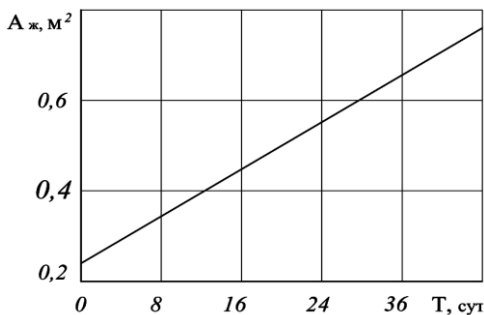


Рис. 5.1. Зависимость площади обогрева $A_{\text{ж}}$ для десяти поросят от их возраста

Технические средства ИК обогрева выбирают по наибольшему $E_{\text{ИКmax}}$ или среднему $E_{\text{ИКср}}$ значению ИК облученности горизонтальной поверхности. Если поле облученности (рис. 5.2), начиная от центра симметрии, разделить на ряд концентрических колец равной ширины Δl с площадью i -го кольца

$$\Delta S_i = (2_i - 1)\pi(\Delta l)^2, \text{ то}$$

$$E_{\text{ИК.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n (2i-1) E_i}{n^2}, \quad (5.6)$$

где E_i – средняя ИК облученность i -го кольца, Вт м⁻².

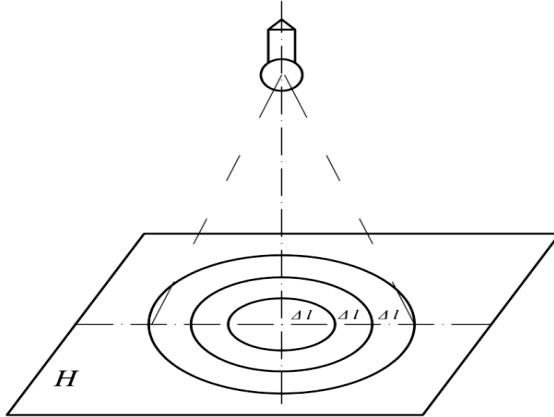


Рис. 5.2. К определению средних значений ИК облученности горизонтальной поверхности под ИК лампой с круглосимметричным распределением потока

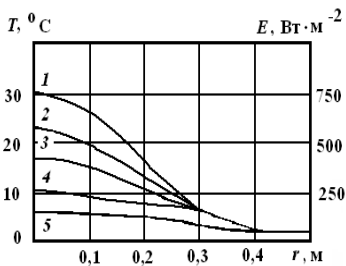
Если одной лампы недостаточно, чтобы создать необходимое значение $t_{\text{ИК}}$, то используют несколько. Температурное поле от любого числа ламп получают сложением полей от единичных источников. Температура в точке обогреваемой поверхности равна сумме температур, создаваемых в этой точке каждой отдельной лампой.

В некоторых случаях для увеличения площади зоны обогрева ИК источники располагают под углом β к вертикали. При этом ИК облученность в точке

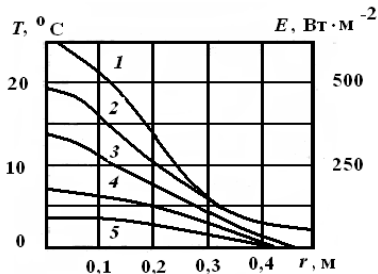
$$E_{\beta} = E_0 \cos \beta, \quad (5.7)$$

где E_0 – ИК-облученность в рассматриваемой точке при $\beta = 0$, Вт·м⁻².

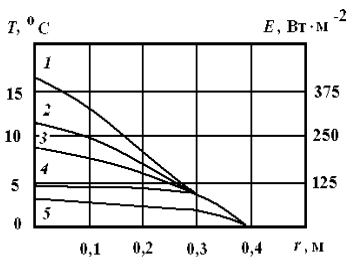
При известном значении $E_{\text{ИК}}$ по зависимостям ИК облученности и температуры под лампой (рис. 5.3, 5.4, 5.5) от высоты подвеса, напряжения и угла наклона находят, в зависимости от условий задачи, высоту подвеса, напряжение на лампе или угол наклона.



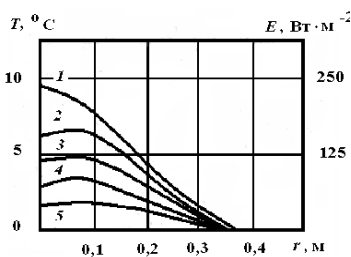
a)



б)



в)



г)

Рис. 5.3. Эпюры облученности от лампы ИКЗК220-250:

а - $U = 220$ В; б - $U = 180$ В; в - $U = 140$ В;

г - $U = 100$ В; 1 - $H_p = 0,4$ м; 2 - $H_p = 0,5$ м; 3 - $H_p = 0,6$ м; 4 - $H_p = 1,0$ м; 5 - $H_p = 1,0$ м

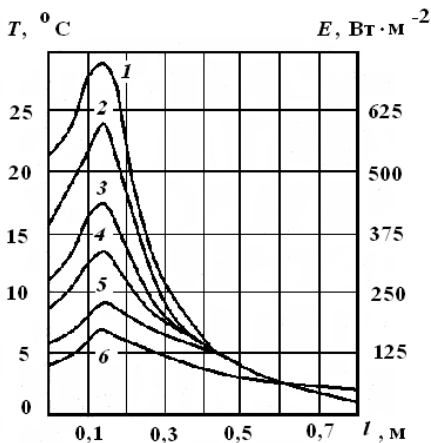


Рис. 5.4. Эпюры облученности от лампы ИКЗК220-500, $U = 220$ В: 1 - $H_p = 0,7$ м;

2 - $H_p = 0,8$ м; 3 - $H_p = 0,9$ м; 4 - $H_p = 1,0$ м; 5 - $H_p = 1,3$ м; 6 - $H_p = 1,4$ м

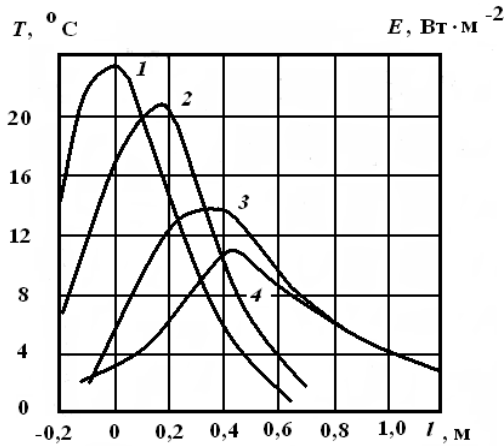


Рис. 5.5. Эпюры облученности от лампы ИКЗК 220–250 при различных углах наклона ($H_p = 0,5$ м; $U = 220$ В): 1 – 0° ; 2 – 20° ; 3 – 45° ; 4 – 60°

Методику использования приведенных формул покажем на примере расчета установок инфракрасного облучения молодняка животных, в частности, для случая комбинированного электрообогрева (электрообогреваемый пол и ИК-облучатели) поросят в логове свинарника-маточника. Средневзвешенная температура воздуха в зоне содержания поросят t_B

$$t_B \approx (t_{п.п} + t'_B) / 2, \quad (5.8)$$

где $t_{п.п}$ – температура поверхности электрообогреваемого пола, $^\circ\text{C}$;
 t'_B – средневзвешенная температура воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$.

Средняя радиационная температура поверхностей ограждений t_p , обращенных к зоне, для данного случая

$$t_p = \frac{S t_{п.п} + (S_{п} - S) t'_p}{S_{п}}, \quad (5.9)$$

где t'_p – средневзвешенная температура ограждений помещения, $^\circ\text{C}$ (принимая $t'_B = t'_p$);

S – площадь электрообогреваемого пола, м^2 ;
 $S_{\text{п}}$ – площадь ограждения, м^2 .

$$S = ab, \quad (5.10)$$

$$S_{\text{п}} = 2h(a + b) + ab. \quad (5.11)$$

где a , b , h – ширина, длина и высота секции для поросят в станке, м.

Далее рассчитывают температуру в помещении $t_{\text{п}}$ (формула (5.2)), требуемую температуру $t_{\text{ИК}}$ (формула (5.4)) и ИК-облученность $E_{\text{ИК}}$ (формула (5.5)), создаваемую ИК-лампами в зоне, ограниченной площадью $A_{\text{ж}}$. В зависимости от условия задачи с помощью соответствующих характеристик, изображенных на рис. 5.1, 5.2 и 5.3, определяют высоту подвеса ИК-ламп, напряжение их питания, угол наклона к вертикальной оси, изменение этих показателей в зависимости от возраста животных.

Подобным образом можно определить ИК-облученность $E_{\text{ИК}}$ и температуру $t_{\text{ИК}}$ в центре и на границе зоны обогрева, а также найти их средние значения и сравнить с комфортной температурой для данного вида животных.

Исходные данные:

Для заданного варианта по табл. 5.1 решить следующую задачу.

Для системы комбинированного обогрева поросят в свиноматочнике определить требуемую ИК-облученность $E_{\text{ИК}}$, а также высоту подвеса ламп ИКЗК 220-250 над полом при номинальном напряжении питания ламп (1-й вариант) и напряжение питания ламп ИКЗК 220-250 при заданной высоте подвеса (2-й вариант). Средневзвешенная температура воздуха в помещении $t'_{\text{в}}$ равна $18\text{ }^{\circ}\text{C}$; $a = 1,0\text{ м}$; $b = 2,5\text{ м}$; $h = 0,5\text{ м}$; $k_1 = 0,42$.

Проследить, как изменятся рассчитываемые показатели, если температуру пола понизить или повысить на 2 и $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также изменить рекомендуемую температуру в зоне расположения молодняка $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Пример расчета:

Проведем расчет для 26 варианта (табл. 5.1).

При расчетах температуру электрообогреваемого пола $t_{п.п}$ и рекомендуемую ощущаемую температуру в зоне расположения молодняка принять по табл. 5.1. Средневзвешенная температура воздуха в помещении t'_R равна

$$18 \text{ }^\circ\text{C}; a = 1,0 \text{ м}; b = 2,5 \text{ м}; h = 0,5 \text{ м}; k_1 = 0,42.$$

Таблица 5.1

Исходные данные

Вариант	$t_{п.п}$, $^\circ\text{C}$	t_0 , $^\circ\text{C}$	H_p , м	Вариант	$t_{п.п}$, $^\circ\text{C}$	t_0 , $^\circ\text{C}$	H_p , м
1	26	30	0,5	14	24	24	0,75
2	25	26	0,6	15	25	26	0,65
3	24	24	0,7	16	26	30	0,55
4	23	22	0,8	17	26	30	0,5
5	26	29	0,75	18	25	26	0,6
6	25	25	0,7	19	24	24	0,7
7	24	23	0,65	20	23	22	0,8
8	23	21	0,6	21	23	22	0,75
9	26	30	0,55	22	24	24	0,65
10	25	26	0,5	23	25	26	0,55
11	24	24	0,6	24	26	30	0,5
12	23	22	0,7	25	26	30	0,6
13	23	22	0,8	26	25	26	0,7

Средневзвешенная температура воздуха в зоне содержания поросят (формула (5.8)):

$$t_{\text{в}} = \frac{(25+18)}{2} = 21,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Площадь ограждения секции для поросят в станке (формула (5.11)):

$$S_{\text{п}} = 2 \cdot 0,5 \cdot (1 + 2,5) + 1 \cdot 2,5 = 6 \text{ м}^2.$$

Площадь электрообогреваемого пола (формула (5.10)):

$$S = 1 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ м}^2.$$

Средняя радиационная температура поверхностей ограждений (формула (5.9)):

$$t_{\text{р}} = \frac{26 \cdot 25 + (6 - 2,5) \cdot 18}{6} = 20,92 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температура в зоне расположения молодняка (формула (5.2)):

$$t_{\text{н}} = 0,42 \cdot 20,92 + (1 - 0,42) \cdot 21,5 = 21,26 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Требуемая температура от ИК-облучения (формула (5.4)):

$$t_{\text{ИК}} = \frac{26 - 21,26}{1} = 4,74 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Требуемая ИК-облученность для создания температуры $t_{\text{ИК}}$ (формула (5.5)):

$$E_{\text{ИК}} = 4,74/0,04 = 118,6 \text{ Вт/м}^2.$$

Пользуясь эпюрами на рис. 5.3, строим зависимости:

$$E_{\text{ИК}} = f(U_{\text{л}}) \text{ для } H_{\text{р}} = 0,7 \text{ м (рис. 5.6),}$$

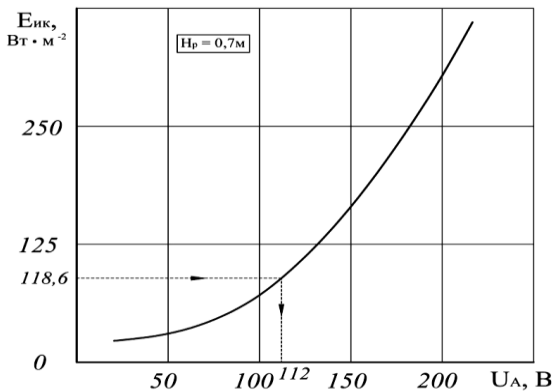


Рис. 5.6. Зависимость ИК-облученности от напряжения на лампе ИКЗК-220–250 при высоте подвеса $H_p = 0,7$ м $E_{ИК} = f(U_{л})$ для $U_{л} = 220$ В (рис. 5.7).

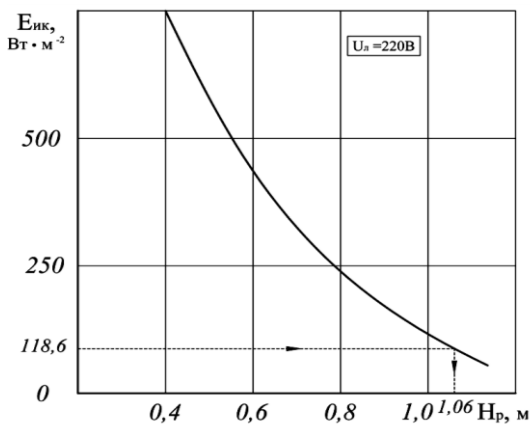


Рис. 5.7. Зависимость ИК-облученности от высоты подвеса лампы ИКЗК-220–250 при напряжении питания $U_{л} = 220$ В

Расчет проведем по наибольшему значению ИК-облученности. Из полученных графиков определяем:

$$H_p = 1,06 \text{ м при } U_{л} = 220 \text{ В,}$$

$$U_{л} = 112 \text{ В при } H_p = 0,7 \text{ м.}$$

Проследим, как изменяются рассчитываемые показатели при изменении температуры пола и при изменении температуры в логове. Результаты расчетов приведены в табл. 5.2.

Графические зависимости требуемых напряжения питания и высоты подвеса облучателей при изменении температуры пола и в логове показаны на рис. 5.8 и 5.9.

Таблица 5.2

Зависимость параметров ИК облучения от температуры

$t_{п.п.}$ °C	t_o °C	t_B °C	t_p °C	t_n °C	$t_{ИК}$ °C	$E_{ИК}$ Вт/м ²	H_p м	$U_{дв}$ В
25	26	21,5	20,92	21,26	4,14	118,6	1,06	112
23	26	20,5	20,06	20,32	5,6	142	0,93	136
21	26	19,5	19,25	19,40	6,60	165	0,86	146
27	26	22,5	21,75	22,19	3,81	95,25	1,11	102
29	26	23,5	22,58	23,11	2,89	72,25	1,28	88
25	24	21,5	20,92	21,26	2,74	68,5	1,38	82
25	28	21,5	20,92	21,26	6,74	168,5	0,85	147

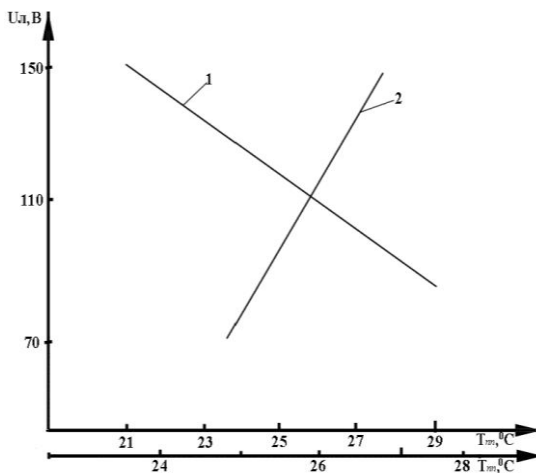


Рис. 5.8. Зависимость напряжения питания облучателя от температуры обогреваемого поля (1) и от ощущаемой температуры (2) при $H_p = 0,7$ м

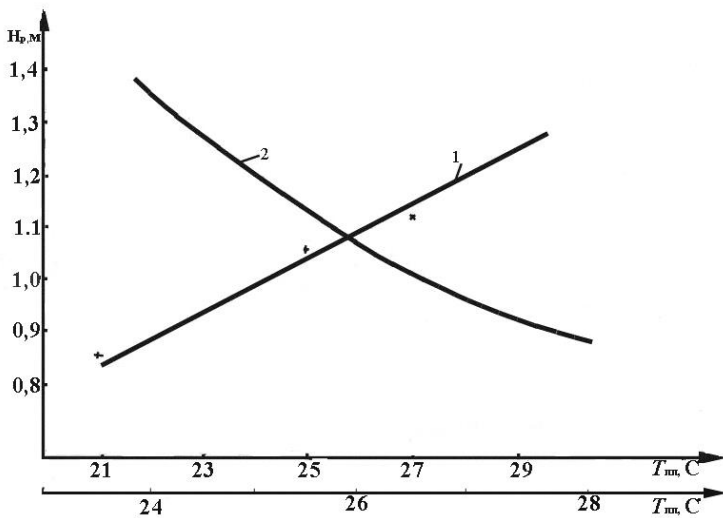


Рис. 5.9. Зависимость высоты подвеса лампы ИКЗК-220–250 от температуры обогреваемого пола (1) и от ощущаемой температуры (2) при $U_{\text{л}} = 220$ В

Практическое занятие № 6

РАСЧЕТ УСТАНОВОК ДЛЯ ДОСВЕЧИВАНИЯ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Цель занятия: ознакомиться с методикой и получить навыки расчета установок для облучения растений в условиях защищенного грунта.

Задачи занятия:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок для облучения растений.
2. Для заданного преподавателем варианта произвести расчет стационарных установок для облучения растений, определить размеры, необходимые для размещения облучателей, их количество и суммарную установленную электрическую мощность.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите диапазон длин волн оптического излучения, используемого при облучении растений.
2. Укажите примерное значение требуемого уровня облученности при искусственном облучении рассады томатов и огурцов в условиях защищенного грунта.
3. Перечислите известные вам облучатели и источники, используемые для искусственного облучения растений.
4. Какие из известных вам облучателей наиболее эффективны при искусственном облучении растений в условиях защищенного грунта?
5. Поясните методику расчета облучательной установки с круглосимметричными облучателями при искусственном облучении растений.

6. Как определить зависимость облученности в точке в функции расстояния между осью симметрии облучателя и рассматриваемой точкой.

Порядок расчета:

Полноценное развитие растений возможно только при обеспечении требуемого уровня облученности. Для районов севернее 45° широты при выращивании рассады овощных культур уровень искусственной облученности в области ФАР (фотосинтетическая активная радиация) принимают: для огурцов 6,5 тыс. лк, для томатов 7,5 тыс. лк, или 8,5

и 10 фит/м² соответственно. Продолжительность облучения рассады для 0–3 световых зон – не менее 12–16, а для 4–6 световых зон – до 12 ч в сутки. Примерный срок облучения рассады огурцов – 30–40, томатов – 45–50 дней. Уровень облученности растений в фазе плодоношения несколько выше и должен быть не менее: для огурцов – 10 тыс. лк, томатов – 12 тыс. лк или 13,7 и 16,4 фит/м² соответственно. Продолжительность облучения огурцов – 12–14, томатов – 14–16 ч в сутки. Для цветочных и декоративных растений необходимо обеспечить уровень облученности в области ФАР до 5–7 тыс. лк, а в селекционных теплицах, фитотронах и фитокамерах без естественной освещенности – в несколько раз больше, в зависимости от продолжительности облучения, сроков выращивания, назначения растений и других специальных агротехнических требований.

Для облучения растений применяют стационарные тепличные облучатели ОТ-400 с лампой ДРЛФ 400, ОТ-1000 с лампой ДРФ 1000, ОТ-2000 с лампой ДРОТ 2000, ОТ-3000 и ДРОТ 3000 с лампой ДМ4 3000, ОТ-6000 с лампой ДМ4 6000, РСП15-2000 с лампой ДРЛ 2000, ССПОЗ-750 с лампой ДРВ 750, ЖСП18-400 с лампой ДНаТ 400, ГСП26 с лампами ДРИ 400 и ДРИ 1000, ОГС01 «Фотос» с лампами типа ДРИ мощностью 1000, 2000, 3500 и ДМЗ 3000, облучатели с люминесцентными лампами ЛФ и ЛФР, смонтированные в рамках-кассетах, например ОТ 6×40. В зависимости от типа используемых источников излучения установки рассчитывают различными методами.

1. Точечные источники излучения

Для точечных источников (лампы ДРЛ, ДРЛФ, ДРВ, ДРИ и др.) рассчитывают месторасположение облучателей над облучаемой поверхностью.

Облучательные установки располагают по вершинам квадрата (рис. 6.1). Показатель неравномерности облучения $z = E_{\min}/E_{\text{ср}}$ должен быть не менее 0,8. Высоту размещения облучателей над растениями принимают такой, чтобы обеспечить заданный уровень облученности и в то же время не перегреть растения. Например, рекомендуемые значения высоты подвеса облучателей над верхушками растений составляют: ОТ-400, ССПОЗ-750 – 0,6–1,2 м; ГСП26-400 – 1,0–1,8 м; ОТ-1000, РСП15-2000, ЖСП18-400 – 1,5–2,2 м; ОГС01 «Фотос...», ОТ-2000 – 1,8–2,4 м; ГСП26-1000 – 2,0–2,5 м.

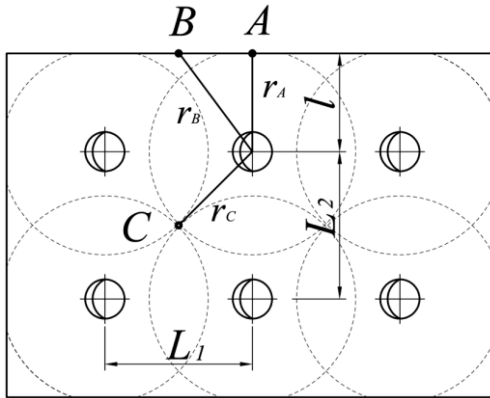


Рис. 6.1. План размещения облучателей

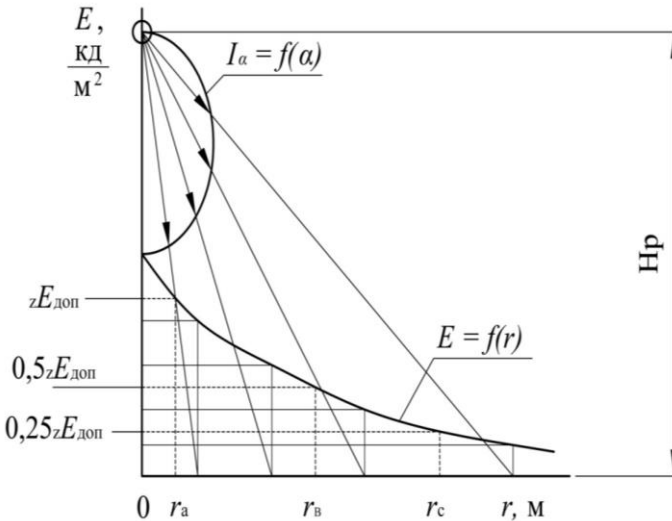


Рис. 6.2. Зависимость облученности от расстояния до облучателя

Достаточно точно расстояние между облучателями при заданной высоте подвеса дает графоаналитический метод расчета. Сначала в прямоугольной системе координат строят зависимость облученности E от расстояния r между проекцией оси симметрии облучателя на расчетной поверхности и расчетной точкой (рис. 6.2). Облученность определяют по формуле

$$E = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{H_p^2}, \quad (6.1)$$

где I_{α} – сила излучения в направлении расчетной точки;
 α – зональный угол, ($\alpha = \arctg (r/H_p)$);
 H_p – расчетная высота подвеса облучателя, м.

Силу I_{α} определяют по кривой силы излучения облучателя (рис. 6.3). Желательно, чтобы на рис. 6.2 оси координат, обозначающие H_p и r , имели одинаковый масштаб.

На плане расположения облучателей (см. рис. 6.1) намечают контрольные точки А, В и С, в которых облученность может оказаться минимальной. Расстояние l от края поверхности до крайнего ряда облучателей и расстояние между облучателями L определяют из условия, что облученность в любой точке расчетной поверхности $E_{A,B,C} \geq zE_{\text{доп}}$, где $E_{\text{доп}}$ – нормируемая облученность растения.

Для отыскания расстояния l определяют облученность в точке А: $E_A \approx zE_{\text{доп}}$ и по кривой $E = f(r)$ (см. рис. 6.2) находят расстояние $r_A = l$. Расстояние L определяют так, чтобы обеспечить в точке В, где облученность суммируется от двух источников, условие $E_B \geq zE_{\text{доп}}$. Для этого по кривой $E = f(r)$ (см. рис. 6.2) находят расстояние r_B , при котором $E_B = 0,5 zE_{\text{доп}}$.

Аналогично находят расстояние r_C для точки С, где облученность суммируется от четырех источников, $E_C = 0,25zE_{\text{доп}}$.

Расстояние между облучателями

$$L_1 = 2\sqrt{(r_B^2 - r_A^2)}, \quad (6.2)$$

$$L_2 = 2\sqrt{(r_C^2 - r_B^2 + r_A^2)} \quad (6.3)$$

принимают равным меньшему из полученных значений. По известным l и L размещают облучатели, рассчитывают требуемое количество их и установленную электрическую мощность.

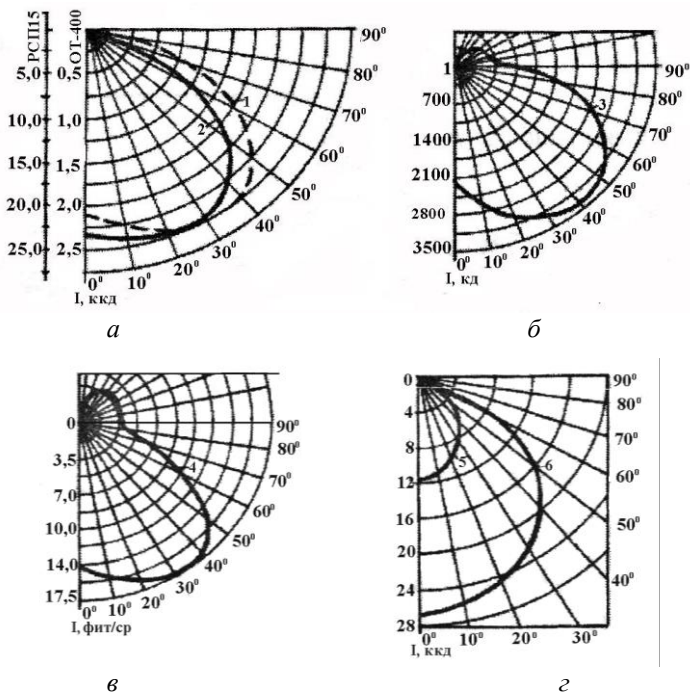


Рис. 6.3. Кривые распределения силы излучения облучателей:
 а – ОТ-400 (1) и РСП15-2000 (2); б – ССП03-750 (3); в – ОТ-1000 (4);
 г – ГСП26-400 (5) и ГСП26-1000 (6)

Подобные расчеты можно выполнить в световой, фотосинтезной или энергетической системах величин в области фотосинтезно-активной радиации. Иногда расчет ведут по сферической облученности, полагая, что для фотосинтеза практически безразлично, с какой стороны к растению поступает поток оптического излучения. Сферическая облученность $E_{сф}$ численно равна облученности поверхности сферы исчезающе малого размера. E_c значение

$$E_{сф} = 0,25E_{max} \quad \text{или} \quad E_{сф} = I\alpha / (4l_1^2),$$

где E – максимальная освещенность горизонтальной поверхности, перпендикулярной направлению падения лучей, лк;

I_α – сила света облучателя в направлении угла α , кд;

l_1 – расстояние от облучателя до рассматриваемой точки, м.

Приближенно установленную мощность облучательной установки можно рассчитать по удельной мощности серийных облучателей для различных световых зон (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Рекомендуемые значения удельной мощности установок с различными серийными тепличными облучателями, применяемыми для облучения рассады огурцов и томатов (без учета потерь в ПРА)

Световые зоны (севернее 45 широты)	2	3	4
1. Города, входящие в указанные световые зоны	Вологда	Калинин	Пинск
	Рига	Владимир	Куйбышев
	Тарту	Москва	Пенза
	Псков	Каунас	Курск
	Новгород	Минск	Харьков
	Кострома	Казань	Полтава
	Иваново	Рязань	Киев
	Горький	Тула	Саратов
	Ярославль	Калуга	Волгоград
	Киров	Гомель	Донецк
Удельная мощность для различных облучателей, Вт·м ⁻²			
ОТ-400	200–250	120–200	100–120
ОТ- 1000	115–145	70–115	60–70
ОТ-2000	100–125	60–100	50–60
ЖСП 18-400 -001	90–100	50–90	45–50
РСП15-2000	110–135	65–110	55–65
ССПОЗ-750-001	250–310	150–250	125–150
ГСП26	75–93	45–75	35–.45
СОРТ- 1-1000	270–335	160–270	135–160
ОТ 6×400	210–260	125–210	105–125

2. Линейные источники излучения

Среднюю фитооблученность $E_{ф.ср}$ под установкой с люминесцентными лампами, смонтированными в рамках-кассетах (рис. 6.4), определяют по приближенной формуле

$$E_{\text{ф.ср}} = \frac{(n-1)\Phi_{\text{л}}\eta_{\text{исп}}K_{\text{ф}}}{lLK_3}, \quad (6.4)$$

где $E_{\text{ф.ср}}$ – средняя облученность расчетной поверхности под облучательной установкой, фит/м²;

n – количество ламп на один метр длины рамки-кассеты, шт м⁻¹;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одной лампы, лм;

l, L – ширина и длина рамки-кассеты, м;

$K_3 = 1,2...1,3$ – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока при старении ламп;

$K_{\text{ф}}$ – коэффициент перевода светового потока в фитопоток, фит·лм⁻¹;

$\eta_{\text{исп}}$ – коэффициент использования светового потока.

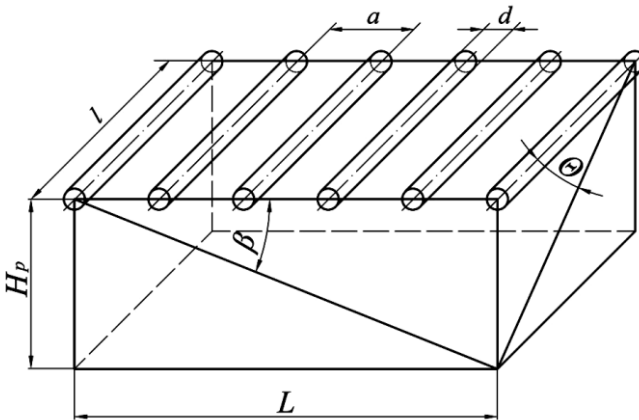


Рис. 6.4. К определению облученности под рамкой-кассетой

Таблица 6.2

Характеристика источников, используемых для облучения растений

Тип источника	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Фитопоток, фит	Габариты, мм		Срок службы, тыс. ч.	$K_{\text{ф}}$ фит·лм ⁻¹
				длина	диаметр		
ЛБ-40	40	3000	4,62	1199,4	40	10	$1,54 \cdot 10^{-3}$
ЛД-40	40	2340	3,74	1199,4	40	10	$1,60 \cdot 10^{-3}$
ЛФ-40-1	40	1680	4,22	1199,4	40	5,0	$2,51 \cdot 10^{-3}$

Тип источника	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Фитопоток, фит	Габариты, мм		Срок службы, тыс. ч.	К _ф фит·лм ⁻¹
				длина	диаметр		
ЛФ-40-2	40	1600	5,22	1 199,4	40	5,0	3,26 · 10 ⁻³
ДРЛФ-400	400	10500	27,2	368	152	6,5	2,59 · 10 ⁻³
ДРФ-1000	1000	—	136	.		1,5	—
ДРЛ-2000	2000	—	—	—		6,0	1,52 · 10 ⁻³
ДРВ-750	750	24000	—	—		2,0	—
ДРИ-1000	1000	9000	—	292	122	3,0	—
ДНАТ-400	400	46000		255	62	7,0	

Выражение (6.4) может быть записано в виде

$$E_{\phi} = \mu e_{\phi}, \quad (6.5)$$

где μ – постоянная, зависящая от характеристик облучателя;

$e_{\phi} = (n - 1)\eta_{\text{исп}}$ – относительная облученность, зависящая от высоты H_p (рис. 6.5) при заданной длине рамки-кассеты.

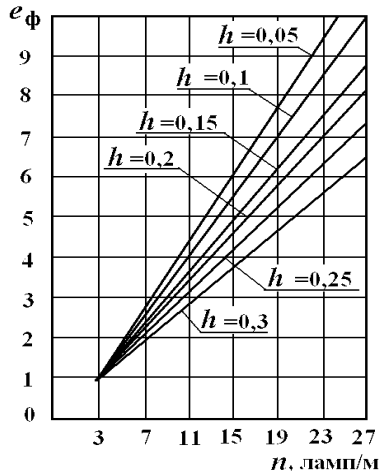


Рис. 6.5. Зависимость относительной облученности от числа ламп в рамке-кассете

Определяют постоянную

$$\mu = \frac{\Phi_{\text{л}} K_{\phi}}{lL}. \quad (6.6)$$

Относительная облученность

$$e_{\Phi} = \frac{E_{\Phi}}{\mu}. \quad (6.7)$$

По графику на рис. 6.5 для заданной высоты $H_p = h$ определяют требуемое количество ламп.

Исходные данные:

Для заданного варианта по табл. 6.3 решить следующую задачу.

Рассчитать установку для облучения растений, выращиваемых на стеллаже, с газоразрядными лампами высокого (1-й вариант) и низкого (2-й вариант) давления. Определить размеры, необходимые для размещения облучателей, количество ламп и установленную мощность установки.

Пример расчета:

Проведен расчет для 30 варианта (табл. 6.3).

Расчет точечных излучателей (с газоразрядными лампами высокого давления). Требуемая освещенность для рассады огурцов $E = 6,5$ клк ($8,5$ фит·м²).

Сила света облучателя ССП03-750 при $\alpha = 0$ (см. рис. 6.3, б):

$$I_0 = 2100 \text{ кд.}$$

Расчетная высота подвеса облучателя

$$H_p \leq \sqrt{\frac{I_0}{E}} \leq \sqrt{\frac{2100}{6500}} \leq 0,57 \text{ м.}$$

Принимаем $H_p = 0,55$ м.

Строим распределение облученности от единичного облучателя на стеллаже (рис. 6.6). Задаем расстояния между осью симметрии облучателя и рассматриваемыми точками: $r_0 = 0$ м, $r_1 = 0,2$ м, $r_2 = 0,4$ м, $r_3 = 0,6$ м, $r_4 = 0,8$ м, $r_5 = 1,0$ м.

Соответственно углы α для принятых величин r :

$$\alpha_i = \text{arctgr} r_i / H_p,$$

$$\alpha_0 = 0^\circ, \alpha_1 = 20^\circ, \alpha_2 = 36^\circ, \alpha_3 = 47^\circ, \alpha_4 = 55^\circ, \alpha_5 = 60^\circ.$$

По кривой на рис. 6.3, б и по углу α определяем силу излучения:

$$I_{a0} = 2100 \text{ кД}, I_{a1} = 2975 \text{ кД}, I_{a2} = 3325 \text{ кД}, I_{a3} = 3325 \text{ кД}, \\ I_{a4} = 3150 \text{ кД}, I_{a5} = 2975 \text{ кД}.$$

Облученность в рассматриваемых точках от единичного облучателя (формула (6.1)):

$$E_0 = 6,94 \text{ клк}, E_1 = 8,16 \text{ клк}, E_2 = 6,52 \text{ клк}, E_3 = 3,43 \text{ клк}, \\ E_4 = 1,96 \text{ клк}, E_5 = 1,23 \text{ клк}.$$

При неравномерности облученности $z = 0,8$ определяем $zE_{\max} = 0,8 \cdot 8,16 = 6,8$ клк и из рис. 6.6 находим $r_A = 0,39$ м.

Таблица 6.3

Исходные данные

Вариант	Вид и возраст растений	Размер облучаемой площадки	Газоразрядные лампы высокого давления	Газоразрядные лампы низкого давления	
				Тип лампы	Высота подвеса
1	Рассада томатов	4×12	ОТ-400	ЛБ-40	0,1
2	Рассада огурцов	4×18	ССП03-750	ЛД-40	0,2
3	Томаты овощи	4×24	ГСП26-400	ЛФ-40-1	0,3
4	Огурцы овощи	4×48	ГСП26-1000	ЛФ-40-2	0,4
5	Рассада томатов	6×12	РСП15-2000	ЛБ-40	0,15
6	Рассада огурцов	6×18	ОТ-1000	ЛД-40	0,25
7	Рассада томатов	6×24	ГСП26-400	ЛФ-40-1	0,35
8	Рассада огурцов	6×48	ГСП26-1000	ЛФ-40-2	0,45
9	Томаты овощи	12×12	ОТ-400	ЛБ-40	0,1
10	Огурцы овощи	12×24	РСП15-2000	ЛД-40	0,2
11	Рассада томатов	12×20	ОТ-400	ЛФ-40-2	0,3
12	Рассада огурцов	12×48	ОТ-1000	ЛФ-40-1	0,4
13	Томаты овощи	4×48	ГСП26-400	ЛБ-40	0,15

Окончание таблицы 6.3

Вариант	Вид и возраст растений	Размер облучаемой площадки	Газоразрядные лампы высокого давления	Газоразрядные лампы низкого давления	
				Тип лампы	Высота подвеса
14	Огурцы овощи	6×12	ГСП26-1000	ЛД-40	0,25
15	Рассада томатов	6×18	РСП15-2000	ЛФ-40-2	0,35
16	Рассада огурцов	4×12	ОТ-400	ЛФ-40-1	0,45
17	Томаты овощи	4×18	ССП03-750	ЛБ-40	0,1
18	Рассада томатов	4×24	ГСП26-400	ЛД-40	0,2
19	Рассада огурцов	4×48	ГСП26-1000	ЛФ-40-2	0,3
20	Томаты овощи	6×18	РСП15-2000	ЛФ-40-1	0,4
21	Огурцы овощи	6×24	ОТ-1000	ЛБ-40	0,15
22	Рассада томатов	6×48	ГСП26-400	ЛД-40	0,25
23	Рассада огурцов	12×12	ГСП26-400	ЛФ-40-2	0,35
24	Рассада томатов	12×24	ГСП26-1000	ЛФ-40-1	0,45
25	Рассада огурцов	4×48	ОТ-400	ЛБ-40	0,1
26	Томаты овощи	6×12	РСП15-2000	ЛД-40	0,2
27	Огурцы овощи	6×18	ОТ-400	ЛФ-40-1	0,3
28	Рассада томатов	4×12	ОТ-1000	ЛФ-40-2	0,4
29	Томаты овощи	6×18	ГСП26-400	ЛБ-40	0,15
30	Рассада огурцов	4×12	ССП03-750	ЛФ-40-2	0,25

Аналогично откладываем на оси ординат (см. рис. 6.6) $0,5zE_{\max} = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 8,16 = 3,25$ клк и находим $r_B = 0,62$ м.

Также определяем $0,25zE_{\max} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 8,16 = 1,62$ клк и находим $r_C = 0,88$ м.

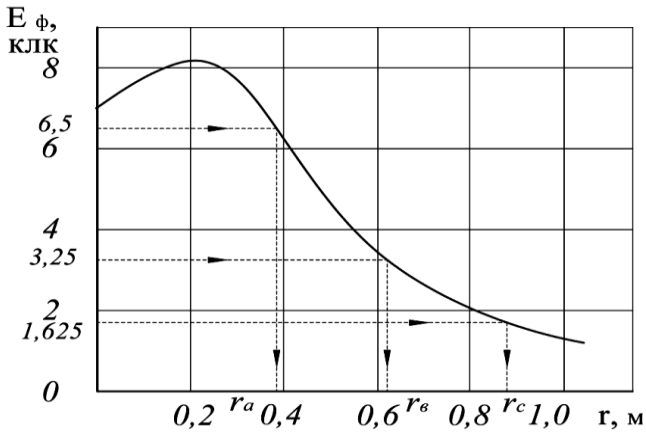


Рис. 6.6. Распределение облученности от одного облучателя

Расстояние между облучателями в ряду (формула (6.2))

$$L_1 = 2 \cdot \sqrt{0,62^2 - 0,39^2} = 0,97 \text{ м,}$$

и между рядами (формула (6.3))

$$L_2 = 2 \cdot \sqrt{0,88^2 - 0,62^2 + 0,39^2} = 1,35 \text{ м.}$$

Принимаем наименьшее значение

$$L = L_i = 0,96 \text{ м.}$$

Количество рядов облучателей

$$N_2 = \frac{B - 2r_A}{L} + 1 = \frac{4 - 2 \cdot 0,39}{0,96} + 1 = 4,35, \text{ принимаем 5 рядов.}$$

Количество облучателей в ряду

$$N_1 = \frac{A - 2r_A}{L} + 1 = \frac{12 - 2 \cdot 0,39}{0,96} + 1 = 12,68, \text{ принимаем 13 шт.}$$

Общее число облучателей

$$N_{\Sigma} = N_1 N_2 = 5 \cdot 13 = 65 \text{ облучателей.}$$

Действительное расстояние между рядами

$$L'_2 = \frac{B - 2r_A}{N_2 - 1} = \frac{4 - 2 \cdot 0,39}{5 - 1} = 0,8 \text{ м}$$

и между облучателями в ряду

$$L'_2 = \frac{A - 2r_A}{N_1 - 1} = \frac{12 - 2 \cdot 0,39}{13 - 1} = 0,86 \text{ м.}$$

Суммарная расчетная мощность с учетом потерь в ПРА

$$P_{\text{расч}} = 1,1 N_{\Sigma} P_{\text{л}} = 1,1 \cdot 65 \cdot 750 = 53\ 625 \text{ м.}$$

Удельная мощность облучательной установки (без учета потерь в ПРА)

$$P_{\text{уд}} = \frac{N_{\Sigma} P_{\text{л}}}{AB} = \frac{65 \cdot 750}{4 \cdot 12} = 1015 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Расчет линейных излучателей:

1. Световой поток для лампы ЛФ-40-2 (см. табл. 6.2) $\Phi_{\text{л}} = 1600$ лм, переводной коэффициент $K_{\text{ф}} = 3,26 \cdot 10^3$ фт·лм⁻¹.

2. Необходимая фитооблученность для данного вида растений $E_{\text{ф}} = 8,5$ фит.

3. Задаемся шириной рамки-кассеты равной длине лампы $l = 1,2$ м.

4. В этом случае коэффициент μ (формула (6.6))

$$\mu = \frac{1600 \cdot 3,26 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 1} = 4,35.$$

5. Относительная облученность (формула (6.7))

$$e_{\text{ф}} = \frac{8,5}{4,35} = 1,95.$$

6. Пользуясь графиком на рис. 6.5, определяем количество ламп на единицу длины рамки-кассеты. При $h_p = 0,25$ м получаем $n = 7$ шт./м.

7. Принимаем рамку-кассету шириной $l = 1,2$ м и длиной $B = 4$ м. Тогда на весь стеллаж необходимо $N_2 = 10$ таких рамок-кассет.

8. Число ламп в одной рамке-кассете:

$$N_1 = Bn = 4 \cdot 7 = 28 \text{ шт.}$$

9. Общее число ламп:

$$N_{\Sigma} = N_1 N_2 = 28 \cdot 10 = 280 \text{ шт.}$$

10. Суммарная расчетная мощность с учетом потерь в ПРА:

$$P_{\text{расч}} = 1,2 N_{\Sigma} P_{\text{л}} = 1,2 \cdot 280 \cdot 40 = 13\,440 \text{ Вт.}$$

11. Удельная мощность облучения рассады огурцов:

$$P_{\text{уд}} = \frac{N_{\Sigma} P_{\text{л}}}{AB} = \frac{280 \cdot 40}{4 \cdot 12} = 233,3 \text{ Вт/м}^2.$$

Практическое занятие № 7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Цель занятия: ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов при проектировании электрической сети осветительной установки, получить практические навыки выбора схемы питания и компоновки сети, обоснования способа прокладки и марок проводникового материала, компоновки и рационального размещения групповых щитков.

Задачи занятия:

1. Получить практические навыки проектирования электрической сети осветительной установки.
2. Для заданной преподавателем осветительной установки со схемой и монтажными размерами размещения светильников: определить напряжение и схему питания электрической сети; выбрать групповые щитки, определить места их расположения и способы установки; разбить трассу электрической сети осветительной установки, предусмотрев подвод питания к каждому светильнику с мест управления ими; выбрать марки проводов (кабелей) и способы их прокладки; составить расчетную схему электрической сети.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите последовательность выполнения операций при расчете электрической сети осветительных и облучательных установок.
2. Как производится выбор напряжения питания электрической сети?
3. Перечислите схемы выполнения питающих сетей осветительных установок и объясните их рациональное применение.
4. Как определяют требуемое количество групповых осветительных щитков?
5. Как определить требуемое количество групп в групповом осветительном щитке?
6. По каким параметрам выбирается групповой осветительный щиток?
7. Как определяют место установки группового осветительного щитка?
8. Как производят выбор марок проводов и кабелей и способов их прокладки для осветительной сети?

Порядок расчета:

Электрическую часть осветительной установки проектируют в следующей последовательности: выбирают напряжение и схему питания; определяют место расположения групповых щитков и трасс сети; выбирают марки проводов и способ прокладки сети; рассчитывают и проверяют сечения проводников; выбирают аппараты защиты сети от аварийных режимов; составляют принципиальные схемы электрической сети и сметы, спецификации; разрабатывают специальные мероприятия по охране труда, эксплуатации сетей, экономии электрической энергии.

1) Выбор напряжения и схемы питания электрической сети

В общем случае выбор напряжения электрической сети осветительной установки определяется степенью опасности поражения людей и животных электрическим током в проектируемом помещении.

В помещениях без повышенной опасности напряжение 230 В допускают для всех светильников общего назначения независимо от высоты их установки. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при установке светильников с лампами накаливания на высоте более 2,5 м над полом или обслуживающей площадкой допустимо также напряжение 230 В. При высоте подвеса меньше 2,5 м применяют светильники, конструкция которых исключает возможность доступа к лампе без специальных приспособлений, либо напряжение должно быть не выше 42 В. Разрешается установка светильников с люминесцентными лампами на высоте менее 2,5 м при условии, что их контактные части недоступны для случайных прикосновений.

Светильники местного стационарного освещения с лампами накаливания в помещениях без повышенной опасности должны питаться напряжением 230 В, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных – не выше 42 В. Для питания переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных также должно применяться напряжение не выше 42 В. Для этого применяют понижающие трансформаторы.

В случаях, если опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работника, соприкосновением с большими металлическими хорошо заземленными поверхностями, питание переносных светильников должно быть не выше 12 В.

Наиболее часто для питания электрического освещения в сельскохозяйственном производстве применяют систему трехфазного

тока с глухим заземлением нейтрали, напряжением 400/230 В. Источники света при этом подключают, как правило, на фазное напряжение. Газоразрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ и др.), рассчитанные на напряжение 400 В, допускается подключать на линейное напряжение 400 В системы 400/230 В.

Сети осветительных и облучательных установок, прокладываемые от источников питания до потребителей, состоят из групповых и питающих линий. Групповые линии прокладывают от групповых щитков до светильников или облучателей и штепсельных розеток. К питающим линиям относят участки сети от источника питания до групповых щитков.

Питающие линии обычно выполняют четырехпроводными (трехфазными), а групповые – двух-, трех- и четырехпроводными в зависимости от нагрузки и длины.

Питающие линии могут быть магистральными, радиальными или радиально-магистральными. Наиболее широкое распространение на сельскохозяйственных предприятиях получили радиально-магистральные линии.

Схему питания осветительной или облучательной установки выбирают по следующим условиям: надежность электроснабжения, экономичность (минимальные капитальные и эксплуатационные затраты), удобство в управлении и простота эксплуатации.

Радиальные сети по сравнению с магистральными имеют меньшее сечение проводов, меньшие зоны аварийного режима при неисправности в питающих сетях, но большую общую протяженность. Необходимость применения радиальной сети может быть вызвана расположением подстанции и осветительных щитков, при котором трасса магистральной питающей сети будет чрезмерно удлинена.

Применение чисто магистральной сети целесообразно для сокращения ее общей протяженности. В месте разветвления линии устанавливают распределительный пункт, от которого могут отходить как магистральные, так и радиальные групповые линии.

При планировке сети возможны различные варианты ее выполнения, даже в пределах одной радиально-магистральной системы. Когда преимущество одного варианта не очевидно, тогда необходимо прибегать к технико-экономическому сопоставлению вариантов.

2) Выбор групповых щитков, определение места их расположения и разбивка трассы сети

Количество групповых щитков осветительной установки определяют исходя из размеров здания и рекомендуемой протяженности групповых линий. Принимают длину четырехпроводных трехфазных групповых линий напряжением 400/230 В равной 80 м, напряжением – 230/127 В – 60 м и соответственно двухпроводных однофазных – равной 35 м и 25 м. Однофазные групповые линии целесообразно применять в небольших конторах, а также в средних помещениях при установке в них светильников с лампами накаливания мощностью до 200 Вт и с люминесцентными лампами. Применение трехфазных групповых линий экономично в больших помещениях (птичниках, коровниках и т. д.), освещаемых как лампами накаливания, так и газоразрядными лампами.

Ориентировочное количество групповых щитков можно определить по формуле

$$n_{щ} = \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{2r}, \quad (7.1)$$

где $n_{щ}$ – рекомендуемое количество групповых щитков, шт.;

A, B – длина и ширина здания, м;

r – рекомендуемая протяженность групповой линии, м.

Для уменьшения протяженности и сечения проводов групповой сети щитки устанавливают по возможности в центре электрической нагрузки, координаты которого

$$x_{ц} = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{\sum P_i}, \quad y_{ц} = \frac{\sum P_i \cdot y_i}{\sum P_i}, \quad (7.2)$$

где $x_{ц}, y_{ц}$ – координаты центра электрических нагрузок в координатных осях x, y , м;

P_i – мощность i -й электрической нагрузки, кВт;

x_i, y_i – координаты i -й электрической нагрузки в координатных осях x, y , м.

При выборе мест установки групповых осветительных щитков

учитывают также и то, что групповые щитки, предназначенные для управления светильниками, устанавливают в местах, удобных для обслуживания: проходах, коридорах и на лестничных клетках. Щитки, имеющие отключающие аппараты, устанавливают на доступной для обслуживания высоте (1,8–2,0 м от пола).

При компоновке внутренних сетей светильники объединяют в группы, чтобы на одну фазу группы приходилось не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРН, ДНаТ и розеток или 50 люминесцентных ламп.

Осветительные щитки выбирают в зависимости от количества групп, схемы соединения, аппаратов управления и защиты, а также по условиям среды, в которых они будут работать. В зависимости от условий среды в помещениях применяют групповые щитки незащищенные, защищенные и защищенные с уплотнением. Щитки, защищенные с уплотнением, предназначены для установки в производственных помещениях с тяжелыми условиями среды. Большое значение имеет также выбор трассы сети, которая должна быть не только кратчайшей, но и наиболее удобной для монтажа и обслуживания. Прокладка сети по геометрически кратчайшим трассам практически невозможна или нецелесообразна по причинам конструктивного и технологического характера. Трассу открытой проводки, как по конструктивным, так и по эстетическим соображениям, намечают параллельно и перпендикулярно основным плоскостям помещений. Только при скрытой проводке на горизонтальных плоскостях можно применять прямолинейную трассировку между фиксированными точками сети.

Выбранные трассы питающих и групповых линий, места установки групповых щитков, светильников, выключателей и розеток наносят на план помещения согласно условным обозначениям.

3) Выбор марки проводов, кабелей и способов их прокладки

Осветительную электропроводку, как правило, следует выполнять проводами и кабелями с алюминиевыми жилами. С медными жилами ее выполняют только во взрывоопасных помещениях классов В-1 и В-1а. Гибкие кабели с медной жилой и резиновой изоляцией марки КРПТ, КРПГ применяют для подключения переносных или передвижных светильников.

При проектировании сельскохозяйственных объектов используют следующие способы прокладки электропроводок: на тросе; на лотках и в коробах; в пластмассовых и стальных трубах; металлических и резинотехнических гибких рукавах; в каналах строительных конструкций; проводом и кабелем по строительным основаниям и конструкциям (ОСТ 70.004.0013–81).

При выборе того или иного способа прокладки электропроводки необходимо учитывать среду помещения, его строительные особенности, архитектурно-художественные, экономические требования.

В зависимости от условий окружающей среды в помещении и принятого способа прокладки провода и кабеля выбирают по приложению 5.1 [8].

Исходные данные:

1. Получить у преподавателя задание на проектирование электрической сети светотехнической установки.

2. При выполнении задания к практическому занятию придерживаться следующей последовательности рассмотрения основных вопросов:

- выбрать напряжение и схему питания электрической сети;
- разработать схему питания и управления светотехническими приборами, выбрать групповые щитки, определить места их расположения и способы установки;
- выбрать марки проводов (кабелей) и способы их прокладки;
- подобрать необходимое электрооборудование (выключатели, розетки, коробки и др.);
- составить расчетную схему электрической сети.

3. На строительном плане здания привести схему электрической сети с указанием на ней мест размещения светильников и электрооборудования.

Пример расчета:

Выполним проект электрической сети осветительной установки здания свинарника для опоросов на 60 свиноматок. Результаты проектирования осветительной установки для помещений свинарника приведены на рис. 7.1. Принятые типы светильников, параметры их компоновки в помещениях свинарника даны в табл. 7.1–7.4.

1. *Выбор напряжения и схемы питания электрической сети.* В помещениях отсутствуют светильники переносные и местного освещения, высота подвеса светильников общего освещения менее 2,5 м от пола. Помещение свинарника относится к особо опасным, в этом случае допускается применение напряжения 230 В. Конструкция светильника должна исключать доступ к лампе без специальных приспособлений (для светильников с лампами накаливания) и случайное прикосновение к контактным частям (для светильников с люминесцентными лампами).

Примем систему трехфазного тока с глухим заземлением нейтрали напряжением 400/230 В. Подключим лампы на фазное напряжение. Это позволит выполнить силовую и осветительную сети на едином напряжении без использования понижающих трансформаторов.

Учитывая сравнительно небольшие размеры здания и небольшое число групповых щитков, а также необходимость высокой надежности электроснабжения, принимаем радиальную схему питания осветительной установки.

2. *Выбор групповых щитков, определение места их расположения и разбивка трассы сети.* В соответствии с результатами светотехнического расчета вычерчиваем план здания (рис. 7.1). Наносим на него в виде условных обозначений светильники (ряды светильников). Принимаем щиток с однофазными группами. Рекомендуемая протяженность групповых линий $r = 35$ м.

По формуле (7.1) вычисляем требуемое количество групповых щитков

$$n_{\text{щ}} = \frac{\sqrt{42^2 + 18^2}}{2 \cdot 35} = \frac{\sqrt{2088}}{70} = 0,652.$$

Принимаем один щиток. Для определения места его установки рассчитываем координаты центра электрической нагрузки. Исходя из количества светильников и мощности ламп, в каждом помещении определяем установленную мощность:

$$P_1 = N_1 N_2 n P_{\text{л}} = 8 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,04 = 3,84 \text{ кВт},$$

$$P_2 = 2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,06 = 0,24 \text{ кВт},$$

$$P_3 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,04 = 0,04 \text{ кВт},$$

$$P_4 = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,15 = 0,30 \text{ кВт},$$

$$P_5 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,04 = 0,04 \text{ кВт},$$

$$P_6 = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,15 = 0,30 \text{ кВт},$$

$$P_7 = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,15 = 0,30 \text{ кВт},$$

$$P_8 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,15 = 0,15 \text{ кВт},$$

$$P_9 = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,15 = 0,30 \text{ кВт}.$$

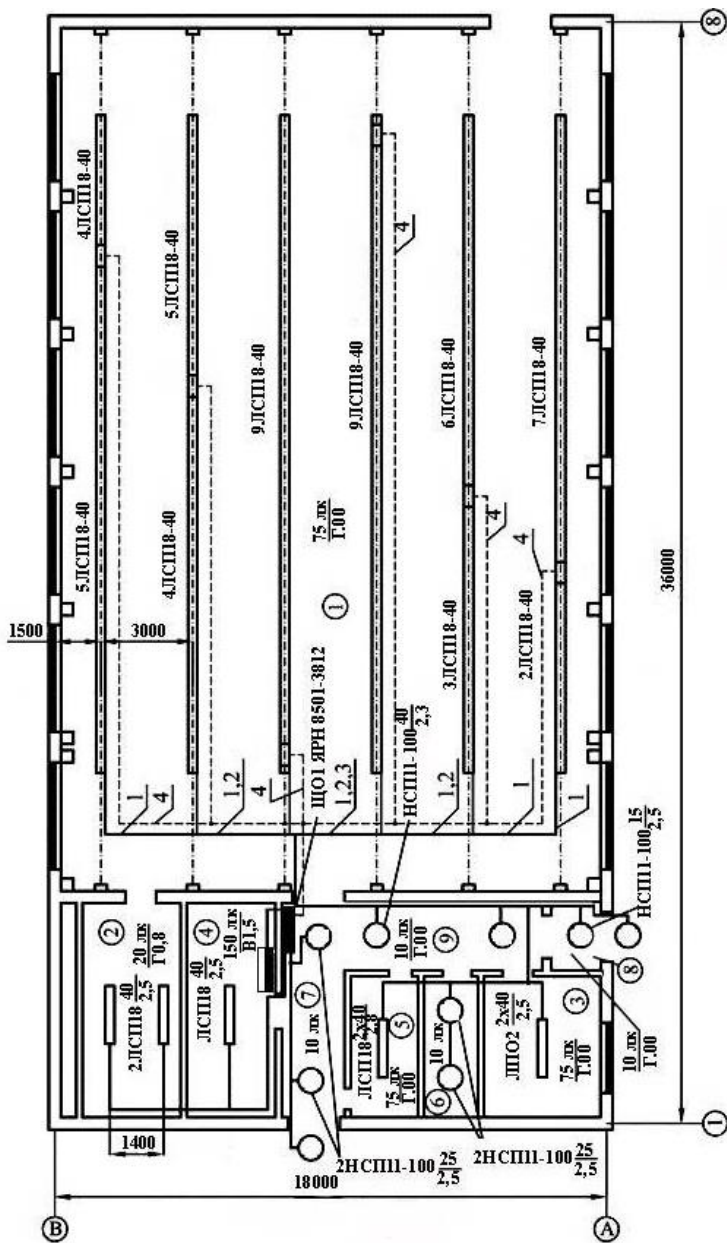


Рис. 7.1. План осветительной установки свиарника

Приняв, что нагрузка каждого помещения сосредоточена в центре, и построив оси координат, как показано на рис. 7.1, определим координаты центров всех помещений:

$$x_1 = 24 \text{ м}, y_1 = 9 \text{ м}, x_2 = 3 \text{ м}, y_2 = 14 \text{ м}, x_3 = 1,8 \text{ м}, y_3 = 1,5 \text{ м},$$

$$x_4 = 3 \text{ м}, y_4 = 9,6 \text{ м}, x_5 = 1,8 \text{ м}, y_5 = 5,8 \text{ м}, x_6 = 1,8 \text{ м}, y_6 = 3,4 \text{ м},$$

$$x_7 = 3 \text{ м}, y_7 = 7,8 \text{ м}, x_8 = 4,2 \text{ м}, y_8 = 3,8 \text{ м}, x_9 = 4,2 \text{ м}, y_9 = 0,8 \text{ м}.$$

По формуле (7.2) определим координаты центра электрической нагрузки всего здания:

$$x_{\text{ц}} = \frac{3,84 \cdot 24 + 0,24 \cdot 3 + 0,04 \cdot 1,8 + 0,30 \cdot 3 + 0,04 \cdot 1,8 + 0,03 \cdot 3 + 0,015 \cdot 4,2 + 0,03 \cdot 4,2}{3,84 + 0,24 + 0,04 + 0,30 + 0,04 + 0,03 + 0,015 + 0,03} = \frac{94,257}{4,562} = 20,65 \text{ м}$$

$$y_{\text{ц}} = \frac{3,84 \cdot 9 + 0,24 \cdot 14 + 0,14 \cdot 1,5 + 0,30 \cdot 9,6 + 0,04 \cdot 5,8 + 0,03 \cdot 3,4 + 0,03 \cdot 7,8 + 0,015 \cdot 3,8 + 0,03 \cdot 0,8}{3,84 + 0,24 + 0,04 + 0,30 + 0,04 + 0,03 + 0,015 + 0,03} = \frac{41,509}{4,565} = 9,09 \text{ м}.$$

С учетом рассчитанного центра электрических нагрузок и с целью обеспечения удобства обслуживания и экономии проводникового материала размещаем групповой щиток на стене, как показано на рис. 7.1, максимально близко к центру электрической нагрузки.

Определяем требуемое количество групповых линий в групповом щитке:

а) исходя из количества ламп в здании, количество однофазных групп:

$$n = \frac{N_{\text{ЛЛ}}}{50} = \frac{111}{50} = 2,22, \text{ принимаем } 3,$$

где $N_{\text{ЛН}}$ – общее число ламп накаливания, шт.;

$N_{\text{ЛЛ}}$ – общее число люминесцентных ламп, шт.

б) приняв управление освещением из помещения № 1 автоматическими выключателями, установленными в групповом щитке, исходя из удобства управления светильниками, обеспечения энергосбережения путем отключения рядов светильников, параллельных окнам, принимаем 3 групповые линии для рабочего освещения и одну групповую линию для дежурного освещения в помещении № 1. В остальных помещениях (№ 2–№ 9) подключаем светильники к отдельной однофазной групповой линии.

Таким образом, необходим групповой щиток с 5 групповыми однофазными линиями.

Выбираем из приложения 5.2 [8] групповой щиток (в зависимости от количества групп, аппаратов защиты, условий среды в помещении, вида установки) ЩРО-1136-6-40УХЛ4 с 6 однополюсными автоматическими выключателями. На плане помещения намечаем трассы прокладки сетей (см. рис. 7.1), места установки выключателей, обозначаем номера групп и приводим данные светильников. Число проводов на участках более двух обозначаем косыми черточками, количество которых соответствует числу жил.

3. *Выбор марки проводов, кабелей и способов их прокладки.* Осветительную проводку выполняем проводами и кабелями с алюминиевыми жилами. По категории помещений, условиям окружающей среды, виду электропроводки (открытая по несгораемым поверхностям непосредственно, а в помещении № 1 – на тросах), пользуясь приложением 5.1 [8], выбираем кабель АВВГ.

Исходя из плана помещения (см. рис. 7.1) и намеченных трасс прокладки осветительной сети, составляем расчетную схему (рис. 7.2).

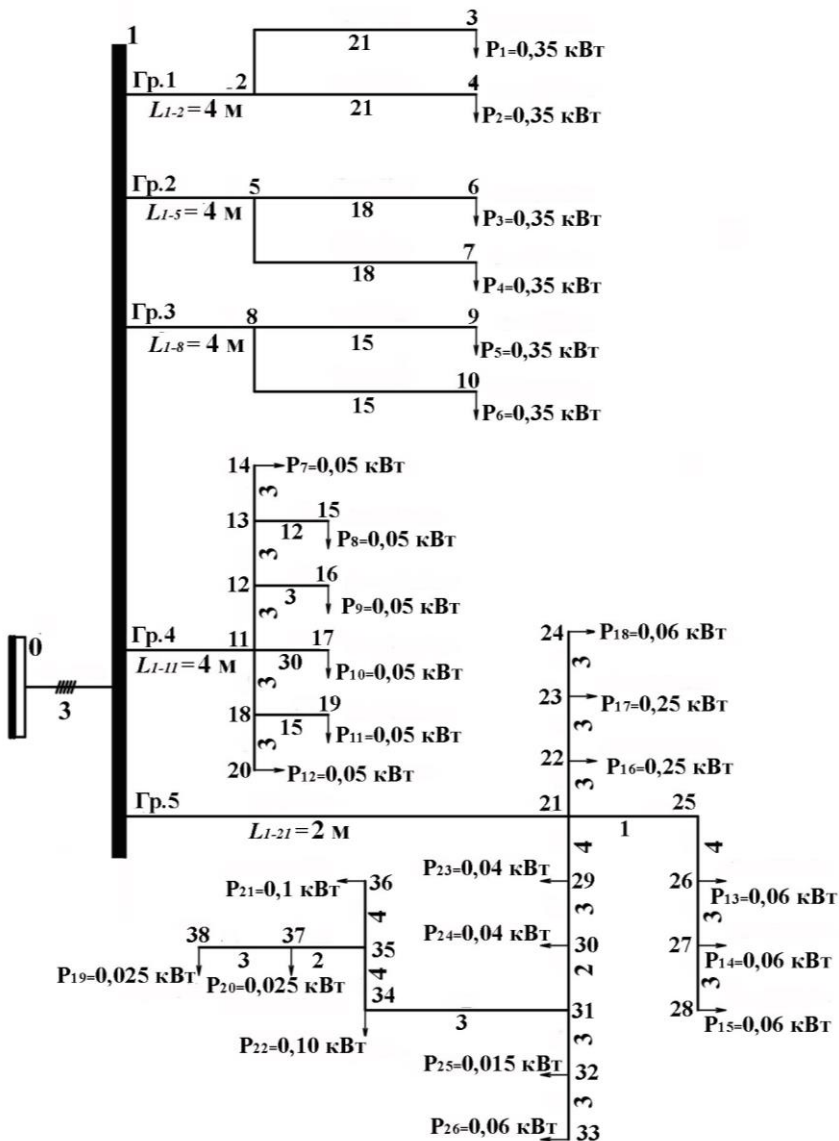


Рис. 7.2. Расчетная схема осветительной сети

Практическое занятие № 8

РАСЧЕТ СЕЧЕНИЯ ПИТАЮЩИХ И ГРУППОВЫХ СЕТЕЙ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Цель занятия: ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов при расчете сечения токоподводящих проводников электрической сети, получить практические навыки определения сечения по условию минимума затрат проводникового материала и проверки по допустимому нагреву, механической прочности, соответствию току вставки защитного аппарата.

Задачи занятия:

1. Получить практические навыки проектирования электрической сети светотехнической установки.
2. Для расчетной схемы электрической сети светотехнической установки (результаты выполнения задания к занятию № 7): определить сечение токоподводящих жил проводов и кабелей, а также требуемые токи вставки защитных аппаратов и выбрать их марку; проверить электрическую сеть по допустимому нагреву, механической прочности и соответствию току вставки защитного аппарата.

Контрольные вопросы и задания

1. Какую цель ставят при расчете электрических сетей осветительных и облучательных установок?
2. По каким условиям производят расчет и проверки сечения проводников электрической сети осветительных и облучательных установок?
3. Перечислите последовательность выполнения операций при расчете электрической сети осветительных и облучательных установок.
4. Как определить расчетную и установленную мощности токоприемников электрической сети осветительных и облучательных установок?
5. Напишите формулу для расчета сечения провода участка электрической сети с одинаковым количеством проводов и поясните физический смысл входящих в нее величин.
6. Напишите формулу для расчета сечения проводов участков разветвленной электрической сети с различным количеством проводов и поясните физический смысл входящих в нее величин.
7. Как находят коэффициенты α и C , входящие в расчетные формулы, и от чего они зависят?

8. Как определить значение допустимых потерь напряжения в электрической сети осветительных и облучательных установок?

9. Поясните общую методику расчета сечения проводников электрической сети по условию минимума затрат проводникового материала.

10. Как проверить сечение проводников электрической сети на выполнение требований механической прочности?

11. Как проверить сечение проводников электрической сети на выполнение требований допустимого нагрева?

12. Напишите формулы для определения расчетного тока однофазного, двухфазного и трехфазного участков электрической сети.

13. Какие аппараты используются для защиты электрических сетей от коротких замыканий?

14. По каким параметрам определяют ток уставки элементов защитных аппаратов?

15. Какие электрические сети осветительных и облучательных установок защищают от перегрузок?

16. Поясните, как и для чего осуществляется проверка сечения проводников электрической сети на соответствие току вставки защитного аппарата.

Порядок расчета:

Расчет электрических сетей осветительных и облучательных установок ставит целью определить сечение проводов, гарантирующих необходимое напряжение у источников излучения, допустимую плотность тока, не вызывающую перегрева, и необходимую механическую прочность сети. Сечение проводов электрической сети определяют по условию минимума затрат проводникового материала. После расчета электрическую сеть проверяют по допустимому нагреву, механической прочности и соответствию току уставки защитного аппарата.

Площадь сечения проводов определяют по формуле

$$S = \frac{\sum M + \sum \alpha \cdot m}{C \Delta U}, \quad (8.1)$$

где S – сечение проводов участка, мм²;

$\sum M = \sum Pl$ – сумма моментов рассчитываемого и всех последующих участков с тем же числом проводов, что и у рассчитываемого, кВт·м;

P – расчетная мощность, кВт;

l – длина участка, м;

$\Sigma \alpha \cdot t$ – сумма моментов всех ответвлений с числом проводов, отличающихся от числа проводов рассчитываемого участка, кВт·м;

α – коэффициент приведения моментов, зависящий от числа проводов рассчитываемого участка и в ответвлениях (табл. 8.1);

C – коэффициент, зависящий от материала проводов, системы и напряжения сети, кВт·м/(В мм²) (табл. 8.2);

ΔU – допустимые потери напряжения, % от U_n .

Таблица 8.1

Значения коэффициента α

Линия	Ответвление	Значение коэффициента α
Трехфазная с нулем	Однофазное	1,83
Трехфазная с нулем	Двухфазное с нулем	1,37
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная	Двухфазное	1,15

Таблица 8.2

Значения коэффициента C

Номинальное напряжение, В	Система сети и род тока	Значения коэффициентов для проводов	
		медных	алюминиевых
400/230	Трехфазная с нулевым проводом	77	46
400/230	Двухфазная с нулевым проводом	34	20
230	Однофазная (двухпроводная)	12,8	7,7
36	Однофазная (двухпроводная)	0,34	0,21
24	Однофазная (двухпроводная)	0,153	0,092
12	Однофазная (двухпроводная)	0,038	0,0234

Нагрузки определяют с учетом установленной мощности осветительной установки и коэффициента спроса. Коэффициент спроса K_c зависит от вида зданий и сооружений (табл. 8.3) и учитывается при расчете питающих сетей. Для групповых линий он равен единице.

При определении установленной мощности учитывают потери электрической энергии в ПРА, которые для люминесцентных ламп в среднем составляют 20 %–30 %, а для ламп типа ДРЛ – 8 %–12 %.

Таблица 8.3

Значение коэффициента спроса K_c

Наименование объекта	Коэффициент спроса, K_c
Мелкие производственные здания, мастерские, торговые помещения	1
Библиотеки, здания административного назначения и общественного питания	0,9
Производственные здания, состоящие из нескольких отдельных помещений	0,85
Лечебные, детские, учебные учреждения, конторско-бытовые здания	0,8
Складские помещения	0,6
Наружное освещение	1
Теплицы, помещения для содержания скота, птицы, оборудованные облучательными установками различного назначения	1

Предполагаемые потери напряжения определяют в зависимости от мощности питающего трансформатора, его коэффициента загрузки и $\cos \varphi$. Если указанные показатели неизвестны, то в практических расчетах допустимые потери напряжения от вводного щита до наиболее удаленного потребителя принимают 2,5 %.

После расчета выбирают ближайшую стандартную площадь сечения токоведущей жилы и проверяют ее на механическую прочность:

$$S_{\text{гост}} \geq S_{\text{доп}}, \quad (8.2)$$

где $S_{\text{гост}}$ – выбранная стандартная площадь сечения проводника, мм²;

$S_{\text{доп}}$ – площадь сечения проводника, допустимая для данного вида сети и принятого способа прокладки (табл. 8.4), мм².

Таблица 8.4

Наименьшее сечение токопроводящих жил по условиям механической прочности

Наименование проводников и способ прокладки	Сечение жил, мм ²	
	алюминиевых	медных
Незащищенные изолированные провода внутри помещений при прокладке:		
непосредственно по основаниям, на роликах, шлицах и тросах	2,5	1
на лотках, в коробках (кроме глухих) для жил, присоединенных к винтовым зажимам	2	1
на лотках, в коробках (кроме глухих) для жил, присоединяемых пайкой:		
– однопроволочных	–	0,5
– многопроволочных	–	0,35
– на изоляторах	4	1,5
незащищенные изолированные провода в наружных электропроводах:		
на стенах, по конструкциям или опорам на изоляторах	4	2,5
под навесом на роликах	2,5	1,5
вводы от воздушных линий	4	2,5
Кабеля и защищенные изолированные провода для стационарной электропроводки (без труб, рукавов и глухих коробов) для жил, к винтовым зажимам	2	1
Кабели и защищенные изолированные провода для стационарной электропроводки (без труб, рукавов и глухих коробов) для жил, присоединяемых пайкой:		
– однопроволочных	–	0,5
– многопроволочных	–	0,35
Защищенные и незащищенные провода и кабели, прокладываемые в замкнутых каналах и в строительных конструкциях или под штукатурку	1	1

Затем это сечение проверяют на нагрев:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (8.3)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток для данного способа прокладки, числа жил, материала и сечения провода (табл. 8.5–8.6), А;

I_p – расчетный ток, А.

Таблица 8.5

Длительно допустимый ток $I_{\text{доп}}$ для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25 °С и земли 15 °С

Сечение, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных						Ток, А, для кабелей			
	открыто	одножильных			одного		при прокладке			
		2	3	4	2-, 3- жильного		по воздуху	в земле	по воздуху	в земле
2	21	19	18	15	17	14	–	–	–	–
2,5	24	20	19	19	19	16	21	34	19	29
3	27	24	22	21	22	18	–	–	–	–
4	32	28	28	23	25	21	29	42	27	38
5	36	32	30	27	28	24	–	–	–	–
6	39	36	32	30	31	26	38	55	32	46
8	46	43	40	37	38	32	–	–	–	–
10	60	50	47	39	42	38	55	80	42	70
16	75	60	60	55	60	55	70	105	60	90

Таблица 8.6

Длительно допустимый ток $I_{\text{доп}}$ для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с медными жилами при окружающей температуре воздуха 25 °С и земли 15 °С

Сече- ние, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных						Ток, А, для кабелей			
	открыто	одножильных			одного		при прокладке			
		2	3	4	2-, 3- жильного		по воздуху	в земле	по воздуху	в земле
0,75	15	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1	17	16	15	14	15	14	–	–	–	–
1,2	20	18	15	15	26	14,5	–	–	–	–
1,5	23	19	19	16	18	15	19	33	19	27

Сечение, мм ²	Ток А для проводов, проложенных						Ток А для кабелей			
	открыто	одножильных			одного		при прокладке			
		2	3	4	2-, 3- жильного		по воздуху	в земле	по воздуху	в земле
2	26	24	24	20	23	19	–	–	–	–
2,5	30	27	27	25	25	21	27	44	25	38
3	34	32	32	26	28	24	–	–	–	–
4	41	38	38	30	32	27	38	55	35	49
5	46	42	42	34	37	31	–	–	–	–
6	50	46	46	40	40	34	50	70	42	60
8	62	54	51	46	48	43	–	–	–	–
10	80	70	60	50	55	50	70	105	55	95

При определении длительно допустимого тока учитывают поправочный коэффициент на температуру окружающей среды

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.т}} K_{\Theta}, \quad (8.4)$$

где $I_{\text{доп.т}}$ – длительно допустимый ток при температуре окружающей среды 20 °С, А;

K_{Θ} – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды (приводится в ПУЭ).

Значение расчетного тока для каждого из участков сети определяют по формулам:

$$\text{трехфазная сеть } I = \frac{P_{\text{р3}}}{\sqrt{3}U_{\text{л}} \cos \varphi}, \quad (8.5)$$

$$\text{двухфазная сеть } I = \frac{P_{\text{р2}}}{2U_{\text{л}} \cos \varphi}, \quad (8.6)$$

$$\text{однофазная сеть } I = \frac{P_{\text{р1}}}{U_{\text{л}} \cos \varphi}, \quad (8.7)$$

где $P_{\text{р3,2,1}}$ – расчетная мощность (включая потери в ПРА газоразрядных ламп) трех-, двух- или однофазной нагрузки, Вт;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки;
 U_L, U_Φ – линейное и фазное напряжение сети, В.

Коэффициент мощности на участке при смешанной нагрузке:

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{pi} \cos \varphi_i)}{\sum P_{pi}}, \quad (8.8)$$

где P_{pi} – расчетная нагрузка i -го потребителя с коэффициентом мощности равным $\cos \varphi_i$.

Все осветительные сети подлежат защите от токов короткого замыкания. Кроме того, требуется защита от перегрузок для сетей в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, пожароопасных и взрывоопасных зонах, а также для открытых проводок с горючей изоляцией (АПР, ПРД и т. д.).

Для защиты используют плавкие предохранители и автоматические выключатели, мгновенно обесточивающие поврежденный участок сети. Аппараты защиты устанавливают в начале головных участков питающей или групповой сети и в местах, где сечение проводников уменьшается. Токи уставок I_B защитных аппаратов определяют по расчетному току защищаемого участка (табл. 8.7).

Таблица 8.7

Токи уставок защитных аппаратов

Защитный аппарат	вид защиты	Лампы накаливания		газоразрядные лампы низкого давления	Лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ
		до 300 Вт	300 Вт		
Автоматические выключатели с любым расцепителем	От короткого замыкания	$I_y \geq 1,4I_p$		$I_y \geq I_p$	$I_y \geq 1,4I_p$
Предохранители с плавкими вставками		$I_y \geq I_p$	$I_y \geq 1,2I_p$	$I_y \geq I_p$	$I_y \geq 1,2I_p$

После выбора уставок защитных аппаратов проверяют сечения проводов на соответствие расчетному току уставки защитного аппарата:

$$I_{\text{доп}} \geq \beta I_B, \quad (8.9)$$

где β – коэффициент, учитывающий нормированное соотношение между длительно допустимым током проводников и номинальным током уставки защитного аппарата (см. табл. 8.8).

Если условие (8.9) не соблюдается, то сечение проводников необходимо увеличить. Порядок расчета электрических сетей изложен в примере.

Исходные данные:

1. По расчетной схеме электрической сети светотехнической установки:

- определить сечение проводников всех участков электрической сети при соблюдении условия минимальных затрат проводникового материала;

- проверить соответствие сечения проводов (кабелей) электрической сети требованиям к их механической прочности;

- определить расчетные токи участков сети и проверить принятые сечения по условиям нагрева;

- определить требуемые токи вставок защитных аппаратов и выбрать защитные аппараты;

- проверить принятые сечения проводников на соответствие токам вставок защитных аппаратов;

- определить потери напряжения в конце сети.

2. По итогам произведенных расчетов и проверок представить принципиальную схему электрической сети осветительной установки

Пример расчета:

Произвести расчет электрической сети осветительной установки, расчетная схема которой приведена на рис. 7.2.

Принимаем допустимые потери напряжения $\Delta U = 2,5 \%$ и коэффициент спроса $K_C = 0,85$ (табл. 8.3). Тогда расчетное значение сечения проводника на участке 0-1 (формула (8.1)):

$$S_{p0-1} = \frac{(P_1 + P_2 + \dots + P_{29})K_C J_{0-1} + \alpha_{2-4} [(P_1 + P_2)l_{1-2} + P_1 l_{2-3}] + C_4 \Delta U}{C_4 \Delta U}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{P_2 l_{2-4}(P_3 + P_4) l_{1-5} + P_3 l_{5-4} + P_4 l_{5-7} + (P_5 + P_6) l_{1-8} + P_5 l_{8-9}}{C_4 \Delta U} + \\
& + \frac{P_6 l_{8-10}(P_7 + P_8 + \dots + P_{12}) l_{1-11} + (P_7 + P_8 + P_9) l_{11-12} + P_9 l_{12-16}}{C_4 \Delta U} + \\
& + \frac{(P_7 + P_8) l_{12-13} + P_8 l_{13-15} + P_7 l_{13-14} + P_{10} l_{11-17} + (P_{11} + P_{12}) l_{11-12}}{C_4 \Delta U} + \\
& + \frac{P_{11} l_{18-19} + P_{12} l_{18-20}(P_{13} + P_{14} + \dots + P_{29}) l_{1-21} + (P_{13} + P_{14} + P_{15}) l_{21-22}}{C_4 \Delta U} + \\
& + \frac{(P_{13} + P_{14}) l_{22-23} + P_{13} l_{23-24} + (P_{16} + P_{17} + \dots + P_{21}) l_{21-25} + P_{16} l_{25-26}}{C_4 \Delta U} + \\
& + \frac{(P_{17} + P_{18} + \dots + P_{21}) l_{25-27} + (P_{18} + P_{19} + \dots + P_{21}) l_{27-28}}{C_4 \Delta U} + \\
& + \frac{(P_{18} + P_{19}) l_{28-29} + P_{19} l_{29-30} + (P_{20} + P_{21}) l_{29-31} + P_{21} l_{31-32}}{C_4 \Delta U} + \\
& + \frac{(P_{22} + P_{23} + \dots + P_{29}) l_{21-33} + (P_{23} + P_{24} + \dots + P_{29}) l_{33-34}}{C_4 \Delta U} + \\
& \quad + \frac{(P_{24} + P_{25} + \dots + P_{29}) l_{34-35}}{C_4 \Delta U} + \\
& + \frac{(P_{24} + P_{25}) l_{35-36} + P_{25} l_{36-37} + (P_{26} + P_{27} + P_{28} + P_{29}) l_{35-38}}{C_4 \Delta U} + \\
& + \frac{(P_{27} + P_{28} + P_{29}) l_{38-39} + (P_{27} + P_{28}) l_{39-41} + P_{27} l_{42-41} + P_{29} l_{39-40}}{C_4 \Delta U} = 1,05 \text{ (мм}^2\text{)}.
\end{aligned}$$

С учетом механической прочности (см. табл. 8.4) принимаем ближайшее стандартное большее сечение $S_{p0-1} = 2,5 \text{ мм}^2$.

Приняв для люминесцентных ламп одноламповых светильников $\cos \varphi_{л.л1} = 0,85$, для двухламповых $\cos \varphi_{л.л2} = 0,92$, для ламп светодиодных $\cos \varphi_{л.н} = 1,0$, определим по формуле (8.8) коэффициент мощности на участке 0-1:

$$\cos \varphi_{0-1} = \frac{48 \cdot 0,04 \cdot 0,85 + 0,04 \cdot 0,85 + 0,08 \cdot 0,92 + 1,305 \cdot 1}{48 \cdot 0,04 + 0,04 + 0,08 + 1,35} = 0,91.$$

Определяем расчетный ток на участке 0-1 по формуле (8.5), приняв коэффициент спроса для питающей сети, $K_c = 0,85$:

$$I_{p0-1} = \frac{3,315 \cdot 0,85}{1,73 \cdot 0,91} = 2,11 \text{ А.}$$

Проверяем принятое сечение на нагрев. Длительно допустимый ток для данного сечения (табл. 8.5) $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$. Тогда $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А} > I_p = 2,11 \text{ А}$. Условие (8.3) выполняется.

Определяем действительную потерю напряжения на участке 0-1:

$$\Delta U_{0-1} = \frac{M_{0-1}}{C_4 \cdot S_{0-1}} = \frac{3,315 \cdot 0,85 \cdot 3}{46 \cdot 2,5} = 0,07 \text{ \% .}$$

По расчетному току выбираем плавкую вставку защитного аппарата, установленного в распределительном щите. Принимаем для защиты плавкий предохранитель. Из табл. 8.7 выбираем $I_B > I_p = 2,11 \text{ А}$. Используя табл. 8.8, принимаем ближайший номинальный ток плавкой вставки $I_B = 6 \text{ А}$.

Таблица 8.8

Технические данные предохранителей ПР-2

Номинальный ток предохранителя, А	15	60	100	200	350	600	1000
Номинальный ток плавкой вставки, А	6,10 15	15,20, 25,35, 45,60	60, 80, 100	100, 125, 160, 200	200, 225, 260, 300, 350	350, 430, 500, 600	600, 700, 850, 1000

Проверяем выбранное сечение на соответствие вставке защитного аппарата по формуле (8.9). Из табл. 8.9 принимаем $\beta = 0,33$.

Тогда $I_{\text{доп}} = 27 \text{ A} > 0,33 \cdot 6,0 = 2,0 \text{ A}$. Условие (8.9) выполнено.
 Определяем сечение первой групповой линии:

$$S_{\text{p1-2}} = \frac{(P_1 + P_2)l_{1-2} + P_1l_{2-3} + P_2l_{2-4}}{C_2(\Delta U - \Delta U_{0-1})} =$$

$$= \frac{(0,35 + 0,35) \cdot 4 + 0,35 \cdot 21 + 0,35 \cdot 21}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} = 1,07 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Таблица 8.9

К определению коэффициента β

Проводники	Вид защиты сетей	Характеристика помещений, где требуется защита проводников	Нормируемое соотношение для аппаратов защиты, $\beta = \frac{I_{\text{доп}}}{I_B}$			
			Плавкие предохранители	Автоматическое выключение		
				с тепловым или комбинированным расцепителем	с электромагнитным расцепителем	
			нерегулируемый	регулируемый		
Проводники всех типов	От токов КЗ	Все помещения	0,33	1,0	0,66	0,22
Открыто проложенные изолированные провода с горючей оболочкой	От токов перегрузки	Производственные взрывоопасные помещения	1,0	1,0	1,0	1,0
		Все прочие помещения	1,25	1,0	1,0	1,25
Защищенные провода, кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией,		Помещения; торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий	1,0	1,0	1,0	1,0

провода в трубах						
------------------	--	--	--	--	--	--

Окончание таблицы 8.9

Проводники	Вид защиты сетей	Характеристика помещений, где требуется защита проводников	Нормируемое соотношение для аппаратов защиты, $\beta = \frac{I_{доп}}{I_B}$			
			Плавкие предохранители	Автоматическое выключение		
				с тепловым или комбинированным расцепителем		с электромагнитным расцепителем
				нерегулируемый	регулируемый	
Кабели с бумажной изоляцией		Общественные и жилые здания, взрывоопасные установки	1,25	1,0	1,0	1,25
		Помещения пожароопасные, торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий, общественные и жилые здания, взрывоопасные установки	1,0	1,0	0,8	1,0

С учетом механической прочности (см. табл. 8.4) принимаем ближайшее стандартное большее сечение $S_{1-2} = 2,5 \text{ мм}^2$.

Проверяем принятое сечение на нагрев. Длительно допустимый ток для данного сечения (см. табл. 8.5) $I_{доп} = 21 \text{ А}$. Коэффициент мощности на участке 1–2 (формула (8.8)) $\cos\varphi_{1-2} = 0,85$.

Расчетный ток на участке 1–2 (формула (8.7)):

$$I_{p1-2} = \frac{1000 \cdot 0,35 \cdot 2}{220 \cdot 0,85} = 3,74 \text{ А.}$$

$I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} > I_p = 3,74 \text{ А}$. Условие (8.3) выполнено.

По расчетному току выбираем уставку защитного аппарата в групповом щитке. Из табл. 8.7 принимаем $I_y \geq I_p = 3,74 \text{ А}$. В табл. 8.10 находим ближайший номинальный ток расцепителя автоматического выключателя $I_B = 6 \text{ А}$.

Таблица 8.10

Технические данные автоматических выключателей

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Число полюсов	Тип расцепителя	Номинальный ток расцепителя, А
ВА14-26-14	32	1	Тепловой, электромагнитный	6;8;10;16;20;25;32
ВА14-26-34	32	3	То же	6;8;10;16;20;25;32
ВА16-19	6,3	1	»	6
ВА16-21	10	1	»	10
ВА16-23	16	1	»	16
ВА16-24	20	1	»	20
ВА16-25-14	1	2	»	6,3;10;16;20;25
ВА51-31-1	31...100	1	»	6,3;8;10;12,5;16;20;25;31,5
ВА51-31-3	31...100	3	»	40;50;63;80;100
ВА57-31	100	3	»	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100

Проверяем выбранное сечение на соответствие уставке защитного аппарата (формула (8.9)). Из табл. 8.9 принимаем $\beta = 1,0$.

Тогда $I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} > 1,0 \cdot 6,0 = 6 \text{ А}$. Условие (8.9) выполняется.

Так как сечение на головном участке групповой линии менее $2,5 \text{ мм}^2$, то сечения последующих участков линии не рассчитываем, а принимаем по механической прочности (табл. 8.4) равными $2,5 \text{ мм}^2$.

Определяем действительную потерю напряжения на участке 1–2 и 2–3:

$$\Delta U_{1-2} = \frac{(P_1 + P_2)l_{1-2}}{C_2 \cdot S_{1-2}} = \frac{(0,35 + 0,35) \cdot 4}{7,7 \cdot 2,5} = 0,15 \text{ \%};$$

$$\Delta U_{2-3} = \frac{P l_{2-3}}{C_2 \cdot S_{2-3}} = \frac{0,35 \cdot 4}{7,7 \cdot 2,5} = 0,38 \text{ \%}.$$

Общая потеря напряжения в конце первой групповой линии

$$\Delta U_1 = \Delta U_{0-1} + \Delta U_{1-2} + \Delta U_{2-3} = 0,07 + 0,15 + 0,38 = 0,6 \text{ \%},$$

$$\Delta U_1 = 0,6 \text{ \%} < \Delta U = 2,5 \text{ \%}.$$

Сечение групповых линий Гр2 и Гр3 не рассчитываем, так как эти линии менее протяженны, чем групповая линия Гр1. Принимаем сечение этих линий равным $2,5 \text{ мм}^2$. Токи уставок расцепителей автоматических выключателей на этих линиях принимаем $I_B = 6 \text{ А}$.

Сечение четвертой групповой линии

$$S_{1-11} = \frac{0,05 \cdot 6 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 \cdot 3 + 0,05 \cdot 2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 27 + 0,05 \cdot 18}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} +$$

$$+ \frac{0,05 \cdot 3 + 0,05 \cdot 30 + 2 \cdot 0,05 \cdot 3 + 0,05 \cdot 15 + 0,05 \cdot 3}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} = 0,38 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

С учетом механической прочности (см. табл. 8.4) принимаем ближайшее стандартное большее сечение $S_{1-11} = 2,5 \text{ мм}^2$.

Проверяем принятое сечение на нагрев. Длительно допустимый ток для данного сечения (табл. 8.5) $I_{\text{доп}} = 21 \text{ А}$. Коэффициент мощности на участке 1–11 (формула (8.8)) $\cos \varphi_{1-11} = 0,85$.

Расчетный ток на участке 1–11 (формула (8.7))

$$I_{\text{р1-11}} = \frac{1000 \cdot 6 \cdot 0,05}{220 \cdot 0,85} = 1,6 \text{ А}.$$

Тогда $I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} > I_{\text{р}} = 1,6 \text{ А}$. Условие (8.3) выполнено.

Принимаем уставку расцепителя автоматического выключателя $I_B = 6 \text{ А}$.

Проверяем выбранное сечение на соответствие уставке защитного аппарата: $I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} > 1 \cdot 6 = 6 \text{ А}$. Условие (8.9) выполнено.

Так как сечение на головном участке данной групповой линии менее $2,5 \text{ мм}^2$, то сечения последующих участков линии не рассчитываем, а принимаем по механической прочности (см. табл. 8.4) равными $2,5 \text{ мм}^2$.

Сечение пятой групповой линии:

$$\begin{aligned}
 S_{1-21} = & \frac{(0,06 \cdot 5 + 0,015 \cdot 7 + 0,015 \cdot 2 + 0,05 + 0,10) \cdot 2}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} + \\
 & + \frac{0,06 \cdot 2 + (0,015 + 0,06) \cdot 3 + 0,06 \cdot 2 + (0,15 \cdot 2 + 0,06 \cdot 4) \cdot 1 + 0,15 \cdot 3}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} + \\
 & + \frac{(0,15 + 0,06 \cdot 4) \cdot 2 + (0,06 \cdot 4) \cdot 4 + 0,06 \cdot 2 \cdot 1 + 0,06 \cdot 3 +}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} + \\
 & \quad \quad \quad \frac{+ 0,06 \cdot 2 \cdot 5 + 0,06 \cdot 3}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} + \\
 & + \frac{(0,15 \cdot 5 + 0,05 + 0,10 + 0,06) + (0,015 \cdot 4 + 0,05 + 0,10 + 0,06) \cdot 3}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} + \\
 & + \frac{(0,015 \cdot 3 + 0,05 + 0,10 + 0,06) \cdot 2 + 0,06 \cdot 2 + (0,15 \cdot 2 + 0,05 + 0,10) \cdot 3}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} + \\
 & + \frac{(0,015 \cdot 2 + 0,05) \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,015 \cdot 2 \cdot 2 + 0,15 \cdot 3}{7,7 \cdot (2,5 - 0,07)} = 0,55 \text{ (мм}^2\text{)}.
 \end{aligned}$$

С учетом механической прочности (см. табл. 8.4) принимаем ближайшее стандартное большее сечение $S_{1-21} = 2,5 \text{ мм}^2$.

Коэффициент мощности на участке 1–21

$$\cos \varphi_{1-21} = \frac{0,92 \cdot 0,10 + 0,85 \cdot 0,05 + 1 \cdot (0,015 \cdot 7 + 0,06 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2)}{0,10 + 0,05 + 0,645} = 0,98.$$

Расчетный ток на участке 1–21 (формула (8.7))

$$I_{p1-21} = \frac{1000 \cdot 0,795}{220 \cdot 0,98} = 3,69 \text{ А}.$$

Проверяем принятое сечение на нагрев. Длительно допустимый ток для данного сечения (табл. 8.5) $I_{\text{доп}} = 21 \text{ А}$.

Тогда $I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} > I_p = 3,64 \text{ А}$. Условие (8.3) выполнено.

По расчетному току выбираем уставку защитного аппарата. Из табл. 8.7 $I_B \geq I_p = 3,96 \text{ А}$. Из табл. 8.10 принимаем ток расцепителя автоматического выключателя $I_B = 6 \text{ А}$.

Проверяем выбранное сечение на соответствие уставке защитного аппарата (формула (8.9)). Из табл. 8.9 принимаем $\beta = 1,0$.

Тогда $I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} > 1 \cdot 6 = 6 \text{ А}$. Условие (8.9) выполнено.

Так как сечение на головном участке данной групповой линии менее $2,5 \text{ мм}^2$, то сечения последующих участков линии не рассчитываем, а принимаем по механической прочности (табл. 8.4) равными $2,5 \text{ мм}^2$.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СН 2.04.03-2020 «Естественное и искусственное освещение» Строительные нормы Республики Беларусь. – Минск : Министерство архитектуры и строительства, 2020. – 63 с.
2. ОСН-АПК 2.10.24.001-04. Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений. – М. : ВИЭСХ, 2004 – 24 с.
3. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 526 с.
4. ТКП339-2011 Электроустановки на напряжение до 750 кВ (Введен взамен ПУЭ 6-е изд.)
5. Степанцов, В. П. Светотехника : учебное пособие / В. П. Степанцов, Р. И. Кустова. – Минск : БГАТУ, 2012. – 568 с.
6. Светотехника : учебное пособие / Е. М. Заяц, Р. И. Кустова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2020. – 231 с.
7. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич – 2-е изд. – Минск : Техноперспектива, 2008 – 271 с.
8. Николаенок, М. М. Светотехника: учебное пособие / М. М. Николаенок, Е. М. Заяц, Р. И. Кустова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 231 с.
9. Степанцов, В. П. Технологическое использование оптического излучения : учеб.-метод. пособие / В. П. Степанцов. – Минск : БГАТУ, 2012. – 208 с.
10. Степанцов, В. П. Светотехника и электротехнологии. Курсовое проектирование : учеб.-метод. пособие / В. П. Степанцов, Р. И. Кустова, О. В. Бондарчук. – Минск : БГАТУ, 2021. – 184 с.

Учебное издание

Кустова Раиса Ивановна,
Кривовязенко Денис Иванович

СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ. ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *А. М. Кравцов*
Редактор *Г. В. Анисимова*
Корректор *Г. В. Анисимова*
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*
Дизайн обложки *А. А. Покало*

Подписано в печать 06.04.2023. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 5,09. Тираж 99 экз. Заказ 12.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.