



УЧЕБНИКИ  
И УЧЕБНЫЕ  
ПОСОБИЯ  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

**В. И. БАЕВ**

# **ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРИ- ЧЕСКОМУ ОСВЕЩЕНИЮ И ОБЛУЧЕНИЮ**

Допущено Главным управлением высших учебных заведений при Государственной комиссии Совета Министров СССР по продовольствию и закупкам в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по специальности "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства"

МОСКВА ВО "АГРОПРОМИЗДАТ" 1991



ББК 40.7

Б15

УДК 621.32:631.371 (076.5)

Редактор *И. А. Кузина*

Рецензенты: *А. К. Лямцов* (Всесоюзный научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства), *В. А. Козинский* (Ижевский сельскохозяйственный институт)

**Баев В. И.**

**Б15** Практикум по электрическому освещению и облучению. — М.: Агропромиздат, 1991. — 175 с., ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

ISBN 5-10-001163-7

В практикуме приведены краткие методики и примеры расчета осветительных и облучательных установок различного сельскохозяйственного назначения, даны задачи для самостоятельного освоения и закрепления этих методик. Изложены общие указания и рекомендации по выполнению лабораторных работ. Описаны технические средства и методика измерений оптических величин, перечислены требования к оформлению отчетов по работам.

Рассмотрены методические указания к курсовому проектированию по дисциплине. Даны нормативные и справочные сведения.

Для студентов вузов по специальности "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства".

Б  $\frac{3703000000 - 115}{035(01) - 91}$  212-91

ББК 40.7

ISBN 5-10-001163-7

© В. И. Баев, 1991

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В ближайшие годы предусматривается дальнейший перевод сельского хозяйства нашей страны на индустриальную базу путем комплексной механизации, электрификации, автоматизации производства, мелиорации земель, широкого внедрения интенсивных технологий. В результате значительно повысится производительность труда.

Электрификация сельского хозяйства включает в себя использование электрической энергии как для привода рабочих машин, так и в процессах, в которых энергия преобразуется в другие виды.

Оптические излучения, лежащие в основе работы осветительных и облучательных установок, применяются не только для создания необходимых условий видения человеку, животным и птице, но и являются еще одним из факторов среды обитания живых организмов, в том числе растений, без которого невозможны их нормальные жизнедеятельность и рост. Это приобретает все большее значение в связи с развитием теплично-парниковых хозяйств, промышленного животноводства и птицеводства.

При эксплуатации современных систем освещения и облучения увеличивается производительность труда, повышается сохранность поголовья молодняка, продуктивность животных и птицы. Рациональное освещение снижает травматизм, потери корма при кормлении.

Научными исследованиями и практикой доказана высокая эффективность применения ИК-излучения для локального обогрева молодняка животных и птицы в начальный период выращивания, способствующего полному сохранению поголовья.

Для ликвидации у животных и птицы "солнечного голодания" в осенне-зимне-весенний период, а при промышленном производстве — круглогодично успешно используют искусственное ультрафиолетовое облучение. Оно особенно эффективно при безвыгульном содержании животных в современных промышленных комплексах. Одновременное

ИК- и УФ-облучение увеличивает их результативность на 10...30 %. Дополнительное облучение рассады в теплицах ускоряет выход овощей, повышает урожайность на 25...30 % и снижает их себестоимость на 15...20 %.

Дальнейший рост технологической и энергетической эффективности осветительных и облучательных установок связан с совершенствованием источников оптического излучения, светильников и облучателей и автоматизацией процессов освещения и облучения.

Для разработки и проектирования осветительных и облучательных установок, их монтажа, наладки и эксплуатации необходимы грамотные специалисты, в том числе и инженеры-электрики. Учебное пособие предназначено для подготовки таких специалистов, углубления и закрепления знаний по электрическому освещению и облучению, полученных студентами на лекциях и при самостоятельной проработке литературы.

Встречающиеся в практике расчеты сельскохозяйственных осветительных и облучательных установок связаны в основном с определением энергетических и эффективных показателей источников оптического излучения, выбором и размещением светильников и облучателей, формированием электрической части установок, выбором проводов и кабелей, аппаратов коммутации и защиты от аварийных режимов.

Приведенные в настоящей главе краткие теоретические сведения, формулы и отдельные методики расчетов, примеры их выполнения и задачи по основным разделам курса позволят студенту на практических занятиях и при самостоятельной работе освоить весь комплекс вопросов разработки и проектирования осветительных и облучательных установок.

## 1. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

### Расчетные формулы

Энергия, Дж, фотона – элементарной частицы излучения

$$\Sigma = h\nu = hc/\lambda, \quad (1)$$

где  $h$  – постоянная Планка, равная  $6,624 \cdot 10^{-34}$ , Дж·с;  $\nu$  – частота излучения,  $\text{с}^{-1}$ ;  $c$  – скорость света, равная  $3 \cdot 10^8$ , м/с;  $\lambda$  – длина волны (обычно в нм), м.

Закон взаимозаменяемости – связь выхода  $M_p$  фотохимических реакций с условиями облучения:

$$M_p = aE_e t, \quad (2)$$

где  $a$  – постоянная скорости реакций;  $E_e$  – облученность (мощность излучения на единицу площади облучаемой поверхности),  $\text{Вт/м}^2$ ;  $t$  – продолжительность облучения, с.

### Задачи

1. На поверхность приемника падает излучение частотой  $\nu = 3,75 \cdot 10^{14}$  Гц. Определить, к какой области электромагнитного спектра относится это излучение.

2. Определить энергию квантов излучения с длинами волн 200 нм, 380, 400 (фиолетового), 450 (синего), 500 (голубого), 530 (зеленого), 580 (желтого), 600 (оранжевого), 700 (красного), 760, 900, 1100,

1400 нм и построить график зависимости энергии кванта от длины волны. Дать анализ этой зависимости.

3. Определить отношение энергии квантов с длинами волн  $\lambda_1 = 200$  и  $\lambda_2 = 280$  нм,  $\lambda_3 = 380$  и  $\lambda_4 = 760$  нм,  $\lambda_5 = 760$  и  $\lambda_6 = 3000$  нм. К каким участкам спектра принадлежат эти кванты?

4. На поверхность приемника падает в секунду  $10^{14}$  фотонов монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda = 200$  нм. Определить время, в течение которого на поверхность излучается энергия в 1 Дж.

5. Монохроматический источник с  $\lambda = 496$  нм излучает поток фотонов  $\Phi_e = 10$  Вт. Вычислить число фотонов, излучаемых источником в 1 мин.

6. При облучении растений оптическим излучением энергия квантов, полностью преобразующаяся в процессе фотосинтеза в энергию органических веществ, равна  $2,92 \cdot 10^{-16}$  Дж. Найти длину волны излучения и назвать участок спектра, к которому оно относится.

7. Максимум эритемного действия ультрафиолетового излучения приходится на длину волны 297 нм. Определить энергию кванта такого излучения.

8. Если считать, что реакция приемника на оптическое излучение соответствует закону взаимозаменяемости, то как необходимо изменить облученность приемника для сокращения времени его облучения с 12 до 5 ч?

9. Электрическая мощность облучательной установки увеличена в 2 раза за счет размещения над приемником излучения второго облучателя. Каким должно быть время облучения приемника, чтобы его реакция осталась неизменной?

10. Каждый из двух фотонных потоков одинаковой интенсивности при длинах волн 254 и 297 нм облучает отдельный приемник. В каком соотношении должны быть продолжительности облучения, чтобы на приемники оказывались энергетически равные воздействия?

## 2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### Расчетные формулы

Лучистый поток излучения, Вт,

$$\Phi_e = dW/dt, \quad (3)$$

где  $dW$  – энергия излучения за время  $dt$ , в течение которого оно неизменно.

Спектральная плотность, Вт/нм, или спектральная интенсивность потока излучения

$$\varphi(\lambda) = d\Phi_\lambda/d\lambda, \quad (4)$$

где  $d\lambda$  – ширина полосы спектра, на которой измерен однородный поток  $d\Phi_\lambda$ .

Поток излучения, Вт, в диапазоне спектра от  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$

$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

или

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(\lambda)_i \Delta\lambda_i.$$

Сила излучения, Вт/ср,

$$I_e = d\Phi_e/d\omega; \quad I_e = \Phi_e/\omega, \quad (6)$$

где  $d\omega$ ,  $\omega$  – телесные углы, внутри которых равномерно распределяется поток.

Плотность излучения, Вт/м<sup>2</sup>,

$$E_{A_e} = R_e = d\Phi_e/dA_{и}; \quad E_{A_e} = R_e = \Phi_e/A_{и}, \quad (7)$$

где  $dA_{и}$ ,  $A_{и}$  – площади поверхностей излучающего тела, в пределах которых излучение можно считать равномерным.

Облученность, или плотность облучения, Вт/м<sup>2</sup>,

$$E_e = d\Phi_e/dA; \quad E_e = \Phi_e/A, \quad (8)$$

где  $dA$ ,  $A$  – площади облучаемых поверхностей, на которые падают потоки и по которым они равномерно распределяются.

Количество облучения, Вт·с/м<sup>2</sup>, или энергетическая экспозиция

$$H_e = \int_{t_1}^{t_2} E_{et} dt, \quad (9)$$

где  $t_1$ ,  $t_2$  – время начала и конца облучения;  $E_{et}$  – мгновенное значение облученности.

### Задачи

11. Вычислить среднюю силу  $I_e$  и плотность  $E_{A_e}$  излучения шаровой ртутной лампы сверхвысокого давления, если ее светящееся тело представляет собой шаровую поверхность диаметром 6 мм, а лучистый поток равен 50 Вт.

12. Поток излучения шаровой газоразрядной лампы в видимой и инфракрасной областях спектра равен 40 Вт. Найти отдельно потоки в видимой и инфракрасной областях спектра, а также среднюю силу излучения лампы, если известно, что в относительных единицах световой и инфракрасный потоки равны 10,5 и 183,6.

13. Суммарный поток излучения газополной лампы накаливания в видимой и инфракрасной областях спектра равен 100 Вт. Определить лучистые потоки лампы отдельно в видимой и инфракрасной областях, если площадь излучающей поверхности тела накала равна 0,28 см<sup>2</sup>, а распределение спектральной интенсивности плотности излучения на одном участке спектра представляет собой.

$\lambda$ , нм	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560
$R_{\text{е}}$	6	9,8	14,8	20,7	27	35	43,5	52,5	61,5	70,7
$\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot \text{мкм})$										

*Продолжение*

$\lambda$ , нм	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760
$R_{\text{е}}$	79,9	89	98,2	107,3	116,2	123,9	131	137,5	144,2	150
$\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot \text{мкм})$										

14. Две одинаковые по площади плоские поверхности облучаются равными лучистыми потоками. На одну поверхность поток падает по нормали, а на другую под углом  $45^\circ$ . Рассчитать отношение облученностей этих поверхностей.

15. Две равные по площади плоские поверхности находятся на пути лучистого потока. Одна поверхность расположена нормально потоку, а другая под углом  $45^\circ$ . Определить отношение облученностей этих поверхностей.

16. Спектральная плотность потока источника постоянна и равна  $10 \text{ Вт/мкм}$ . Найти поток источника на ультрафиолетовом участке спектра от 200 до 380 нм.

17. Спектральная интенсивность плотности излучения газополной лампы накаливания в видимой области дана в задаче 13. Площадь излучающей поверхности нити накала равна  $0,395 \text{ см}^2$ , лучистый поток лампы  $150 \text{ Вт}$ . Вычислить долю потока лампы в видимой области.

18. Солнце излучает в минуту  $20,95 \cdot 10^{24} \text{ кДж}$  энергии в оптическом диапазоне. Расстояние от Солнца до Земли равно  $1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$ . Приняв для атмосферы Земли коэффициенты отражения  $\rho = 0,34$  и поглощения  $\alpha = 0,18$ , определить облученность поверхности Земли, когда Солнце в зените.

19. Установить спектральную интенсивность излучения на длине волны  $555 \text{ нм}$ , если поток излучения равен  $5 \text{ Вт}$ .

20. Чему равен поток источника излучения в видимой области, если его средняя спектральная интенсивность  $\varphi(\lambda) = 0,1 \text{ Вт/нм}$ ?

### 3. СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ

#### Расчетные формулы

Интегральная чувствительность приемника

$$g = C_W W_{\text{эф}} / W, \quad (10)$$

где  $C_W$  — коэффициент, определяемый единицами измерения величины  $W_{\text{эф}}$ ;  $W_{\text{эф}}$  — энергия излучения, эффективно поглощенная приемником;  $W$  — вся энергия излучения, падающая на приемник.

Спектральная чувствительность приемника

$$g(\lambda) = C_W d\Phi_{\lambda\text{эф}} / d\Phi_{\lambda}, \quad (11)$$



где  $d\Phi_{\lambda_{эф}}$  – поток однородного излучения при длине волны  $\lambda$ , эффективно поглощенный приемником;  $d\Phi_{\lambda}$  – полный однородный поток излучения при той же длине волны  $\lambda$ , упавший на приемник.

Эффективный поток

$$\Phi_{эф} = F_{эф} = \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) g(\lambda) d\lambda = g(\lambda)_{\max} \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) K(\lambda) d\lambda, \quad (12)$$

где  $K(\lambda)$  – относительная спектральная чувствительность приемника.

Световой поток, лм,

$$\Phi_v = F = 683 \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) K(\lambda) d\lambda, \quad (13)$$

где 683 – световой эквивалент излучения.

Сила света, кд,

$$I_v = I = d\Phi_v / d\omega; \quad I_v = I = \Phi_v / \omega. \quad (14)$$

Освещенность, лк,

$$E_v = E = d\Phi_v / dA; \quad E_v = E = \Phi_v / A. \quad (15)$$

$$E_v = I_v \cos \beta / l^2, \quad (16)$$

где  $\beta$  – угол между направлением силы света и нормалью к освещаемой поверхности;  $l$  – расстояние от источника до освещаемой точки, м.

Яркость, кд/м<sup>2</sup>, в направлении  $\alpha$  от источника или части его поверхности

$$L_{\alpha} = \frac{dI_{\alpha}}{dA_n \cos \alpha}; \quad L_{\alpha} = I_{\alpha} / A_n \cos \alpha. \quad (17)$$

**Задачи**

21. Рассчитать световой поток в люменах источника монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda = 555$  нм, если его лучистый поток равен 7,3207 Вт.

22. Вычислить световой поток ртутной лампы высокого давления ДРТ400, имеющей следующее распределение лучистого потока в видимой области спектра:

$\lambda$ , нм	404,7	407,8	435,8	546,1	577	578	579,1
$\varphi(\lambda)$ , Вт/нм	3,61	0,77	6,96	7,92	9,23	9,23	9,23

23. Поток излучения ртутной лампы высокого давления в видимой области спектра равен 20 Вт. Найти световой поток лампы, если

$\lambda$ , нм	404,7	407,8	435,8	491,6	546,1	577	578	579,1	690
$\varphi(\lambda)$ , о.е.	52,5	11,0	100,0	2,6	130,0	160	160	160	4,0

24. Освещенности двух одинаковых белых поверхностей соответствуют условиям ночного зрения. Одна поверхность освещается излучением с длиной волны  $\lambda_1 = 500$  нм (зеленый цвет), а другая излучением с длиной волны  $\lambda_2 = 640$  нм (красный цвет). Определить отношение потоков указанных излучений, если обе поверхности имеют одинаковую яркость.

25. Показать, что размерности освещенности (отношение светового потока к площади освещаемой поверхности или отношение силы света к квадрату расстояния от источника света до освещаемой поверхности) одинаковы.

26. Расстояние от Солнца до Земли  $1,5 \cdot 10^8$  км, а диаметр Солнца  $1,38 \cdot 10^6$  км. Вычислить яркость Солнца, если при расположении в зените оно создает на поверхности Земли освещенность  $100 \cdot 10^3$  лк. При прохождении сквозь атмосферу световой поток уменьшается на 20 %.

27. При расположении над горизонтом под углом  $50^\circ$  полная Луна создает на поверхности земли освещенность 0,13 лк. Найти яркость полной Луны, если расстояние от нее до Земли составляет  $3,844 \cdot 10^5$  км, а ее диаметр 3476 км.

28. Точечная лампа, установленная в проекционный аппарат, излучает световой поток 6000 лм. Максимальная сила света аппарата 382 200 кд. Рассчитать коэффициент усиления оптической системы прибора.

29. Шаровой светильник радиусом 0,2 м имеет постоянную во всех направлениях яркость  $L_v = 3 \cdot 10^3$  кд/м<sup>2</sup>. Определить световой поток светильника в телесном углу 0,902 ср.

30. В шаровой светильник из молочного стекла диаметром 0,3 м установлена лампа накаливания со средней силой света 295 кд. Яркость поверхности светильника при этом равна  $3 \cdot 10^3$  кд/м<sup>2</sup>. Рассчитать коэффициент пропускания света молочным стеклом светильника.

31. Яркость черной бархатной поверхности одинакова во всех направлениях и равна 10 кд/м<sup>2</sup> при освещенности 12 550 лк. Найти коэффициент поглощения бархатной поверхности.

32. Определить яркость снега, коэффициент отражения которого 0,85 при природных освещенностях: 1/100 000 лк (безоблачный полдень); 2/20 000 (полдень, плотная облачность); 3/600 (заход Солнца); 4/20 (сумерки, момент появления звезд); 5/0,2 лк (полная Луна в ясную ночь). Необходимо учитывать, что у снега рассеянное отражение.

33. Активная площадь селенового фотоэлемента Ф55С составляет 30 см<sup>2</sup>, а его чувствительность 613 мкА/лм. Вычислить силу тока во внешней цепи фотоэлемента при освещенности 100 лк.

34. Селеновый фотоэлемент Ф55С площадью 30 см<sup>2</sup> и чувствительностью 613 мкА/лм подключен к гальванометру с чувствительностью  $1,84 \cdot 10^{-6}$  А. На сколько делений отклонится стрелка гальванометра, если фотоэлемент равномерно освещать эталонной лампой накаливания

с силой света 500 кд, расположенной на расстоянии 3 м? К поверхности фотозлемента световой поток направлен по нормали.

35. Определить показания люксметра Ю-16 при измерении освещенности лампы накаливания, естественного света и люминесцентного типа ЛБ, если показания образцового люксметра, чувствительность фотозлемента которого откорректирована под спектральную чувствительность глаза человека, во всех трех случаях одинаковы и равны 100 лк.

#### 4. ЭРИТЕМНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ

##### Расчетные формулы

Иногда благоприятное действие ультрафиолетового излучения на живые организмы оценивается не эритемными, а витальными величинами. Здесь же весь материал изложен по эритемной системе величин, так как в литературе основная масса справочной информации по практическому использованию полезного действия ультрафиолетовых лучей дана по этой системе.

Эритемный поток, эр,

$$\Phi_{\text{э}} = F_{\text{э}} = \int_{260 \text{ нм}}^{330 \text{ нм}} \varphi(\lambda) K(\lambda)_{\text{э}} d\lambda, \quad (18)$$

где  $K(\lambda)_{\text{э}}$  – относительная спектральная эритемная эффективность излучения.

Сила эритемного излучения, эр/ср,

$$I_{\text{э}} = d\Phi_{\text{э}}/d\omega; \quad I_{\text{э}} = \Phi_{\text{э}}/\omega. \quad (19)$$

Эритемная облученность, эр/м<sup>2</sup>,

$$E_{\text{э}} = d\Phi_{\text{э}}/dA; \quad E_{\text{э}} = \Phi_{\text{э}}/A \quad \text{и} \quad E_{\text{э}} = I_{\text{э}\alpha} \cos\beta / l^2. \quad (20)$$

Количество эритемного облучения, эр·ч/м<sup>2</sup>, или эритемная экспозиция

$$H_{\text{э}} = \int_{t_1}^{t_2} E_{\text{э}} dt. \quad (21)$$

Эритемная яркость, эр/(ср·м<sup>2</sup>),

$$L_{\text{э}\alpha} = dI_{\text{э}\alpha}/(dA \cos\alpha); \quad L_{\text{э}\alpha} = I_{\text{э}\alpha}/(A \cos\alpha). \quad (22)$$

##### Задачи

36. Лампа накаливания Г215-225-1000 создает на освещаемой поверхности следующие спектральные значения облученности:

$\lambda, \text{ нм}$	315	325	335	345	355	365	375	385	395
$E_{\lambda\phi}, \text{ мкВт/м}^2$	0,08	0,27	0,5	0,73	1,0	1,3	1,65	2,04	2,5

Определить эритемные облученность и поток, падающий от лампы на поверхность, если ее площадь 10 м<sup>2</sup>.

37. В безоблачный летний полдень на высоте 100 м над уровнем моря ( $45^\circ$  северной широты) спектральная ультрафиолетовая облученность поверхности участками спектра  $\Delta\lambda = 10$  нм имеет следующие значения:

$\lambda$ , нм	295	305	315	325	335	345	355	365	375	385
$E_{\lambda e} 10^4$ , мкВт/м <sup>2</sup>	4,4	40	162	340	440	520	600	660	660	800

Найти эритемный поток, падающий на тело загорающего лежа на земле человека. Принять, что площадь всего кожного покрова  $2 \text{ м}^2$ .

38. Лампа типа ДРТ400 имеет следующее распределение потока излучения в ультрафиолетовой области спектра:

$\lambda$ , нм	248	254	265	270	275	280	289	292	297	302	334	365
$E_{\lambda e}$ , Вт	1,6	3,8	3,4	0,75	0,6	1,6	1,2	2	4	9	1	14,4

Вычислить эритемный поток лампы.

39. Лампа типа ДРТ1000 излучает эритемный поток  $\Phi_{\text{эр}} = 16,5$  эр. Рассчитать эритемную облученность в точках  $A$  и  $B$  горизонтальной плоскости, если длина излучающей части колбы лампы  $l = 0,318$  м,  $h = 2$  и  $b = 1$  м (рис. 1).

40. Лампа типа ДРТ400, излучающая эритемный поток  $\Phi_{\text{эр}} = 4,75$  эр, расположена над облучаемой поверхностью, как показано на рисунке 2. Определить горизонтальные и максимальные эритемные облученности в точках  $A$  и  $B$  горизонтальной плоскости, если  $l = 0,1$  м,  $h = b = 0,5$  м.

41. Найти силу эритемного излучения газоразрядной лампы типа ЛЭ30 в середине колбы в плоскости, перпендикулярной оси лампы.

42. Лампа ЛЭ15, подвешенная на высоте 1 м от спины животных, создает эритемную облученность  $20 \text{ мэр/м}^2$  при дозе облучения  $40 \text{ мэр} \cdot \text{ч/м}^2$ . Как необходимо изменить продолжительность облучения животных, если высоту подвеса лампы увеличить до 2 м?

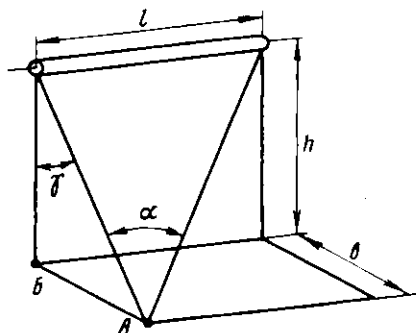


Рис. 1. К задаче 39. Определение облученностей в точках  $A$  и  $B$

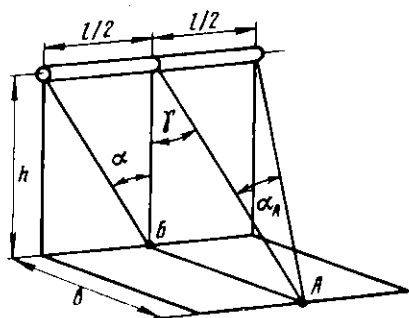


Рис. 2. К задаче 40. Определение горизонтальных и максимальных облученностей

43. Расчетный эритемный поток лампы ДРТ400 равен 4,75 эр, поток же новой лампы 10,4 эр. Как должны отличаться продолжительности облучения приемников в начале и в конце срока эксплуатации лампы?

44. Эритемная плотность облучения лампы типа ЛЭР40 равна  $1,13 \text{ мэр/см}^2$ . Колба лампы имеет светящие длину  $l_{\text{св}} = 1184 \text{ мм}$  и диаметр  $d_{\text{св}} = 38 \text{ мм}$ . Рассчитать эритемную отдачу лампы.

45. Вычислить и сравнить эритемные отдачи ламп ЛЭ15, ЛЭ30, ЛЭР40, ДРТ400, ДРТ1000 (см. приложения).

## 5. БАКТЕРИЦИДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### Расчетные формулы

Бактерицидный поток, бк,

$$\Phi_6 = F_6 = \int_{200 \text{ нм}}^{320 \text{ нм}} \varphi(\lambda) K(\lambda)_{\text{б}} d\lambda, \quad (23)$$

где  $K(\lambda)_{\text{б}}$  - относительная бактерицидная эффективность излучения.

Сила бактерицидного излучения, бк/ср,

$$I_6 = d\Phi_6/d\omega; \quad I_6 = \Phi_6/\omega. \quad (24)$$

Бактерицидная облученность, бк/м<sup>2</sup>,

$$E_6 = d\Phi_6/dA; \quad E_6 = \Phi_6/A \text{ и } E_6 = I_{6\alpha} \cos \beta / l^2. \quad (25)$$

Количество бактерицидного облучения, бк·ч/м<sup>2</sup>, или бактерицидная экспозиция

$$H_6 = \int_{t_1}^{t_2} E_{6t} dt. \quad (26)$$

Бактерицидная яркость, бк/(ср·м<sup>2</sup>),

$$L_{6\alpha} = dI_{6\alpha}/(dA \cos \alpha); \quad L_{6\alpha} = I_{6\alpha}/(A \cos \alpha). \quad (27)$$

### Задачи

46. В безоблачный летний полдень при 45° северной широты на высоте 100 м над уровнем моря спектральная ультрафиолетовая облученность поверхности земли участками спектра  $\Delta\lambda = 10 \text{ нм}$  имеет следующие значения:

$\lambda, \text{ нм}$	295	305	315	325	335	345	355	365	375	385
$E_{\lambda 0} 10^4, \text{ мкВт/м}^2$	4,4	40	162	340	440	520	600	660	660	800

Определить бактерицидный поток, падающий на тело загорающего лежа на земле человека. Принять, что площадь кожного покрова 2 м<sup>2</sup>.

47. Лампа типа ДРТ400 имеет следующее распределение потока излучения в ультрафиолетовой области спектра:

$\lambda$ , нм	248	254	265	270	275	280	289	292	297	302	334	365
$E_{\lambda_0}$ , Вт	1,6	3,8	3,4	0,75	0,6	1,6	1,2	2	4	9	1	14,4

Найти бактерицидный поток лампы.

48. Лампа типа ДРТ1000 излучает бактерицидный поток  $\Phi_b = 39,5$  б. Для тех же условий, что и в задаче 39, рассчитать бактерицидную облученность в точках А и Б.

49. Лампа типа ДРТ400 излучает бактерицидный поток  $\Phi_b = 10,5$  б. Для тех же условий, что и в задаче 40, вычислить горизонтальные и максимальные бактерицидные облученности в точках А и Б горизонтальной плоскости.

50. Бактерицидная яркость небосвода в летний полдень  $L_b = 0,37 \cdot 10^{-2}$  б/(ср · м<sup>2</sup>). Считая небосвод равнорядким, определить бактерицидные облученности на поверхности земли в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

51. Бактерицидная установка обеспечивает на обеззараживаемой поверхности необходимую дозу облучения. Через 1000 ч ее работы бактерицидный поток источника излучения уменьшился на 20 %. Как должен быть изменен режим работы обеззараживающей установки?

52. Средняя бактерицидная облученность, создаваемая ультрафиолетовой обеззараживающей установкой,  $E_b = 0,5$  мкб/см<sup>2</sup>. Какое количество облучения обеспечивает установка за 8 ч работы?

53. При работе бактерицидной обеззараживающей установки одна из трех ламп ДРТ1000, включенных на трехфазную систему напряжений, вышла из строя. Как можно обеспечить выполнение технологического процесса обеззараживания установкой с оставшимися двумя лампами?

54. Найти среднюю силу бактерицидного излучения лампы типа ДРТ400, имеющей длину излучающей части колбы 100 мм и диаметр 20 мм, приняв ее за равнорядный источник.

55. Определить максимальную силу бактерицидного излучения лампы ДРТ400.

## 6. ВЕЛИЧИНЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### Расчетные формулы

Фитопоток, фит,

$$\Phi_{\Phi} = F_{\Phi} = 0,95 \int_{300 \text{ нм}}^{750 \text{ нм}} \varphi(\lambda) K(\lambda)_{\Phi} d\lambda, \quad (28)$$

где  $K(\lambda)_{\Phi}$  — относительная фотосинтезная эффективность излучения или относительная спектральная чувствительность растений к оптическому излучению.

Пространственная плотность фито потока, или сила фитоизлучения, фит/ср,

$$I_{\Phi} = d\Phi_{\Phi}/d\omega; \quad I_{\Phi} = \Phi_{\Phi}/\omega. \quad (29)$$

Фитооблученность, фит/м<sup>2</sup>,

$$E_{\Phi} = d\Phi_{\Phi}/dA; \quad E_{\Phi} = \Phi_{\Phi}/A \quad \text{и} \quad E_{\Phi} = I_{\Phi} \cos \beta / l^2. \quad (30)$$

Количество фитооблучения, или фитоэкспозиция, фит·ч/м<sup>2</sup>,

$$H_{\Phi} = \int_{t_1}^{t_2} E_{\Phi} dt. \quad (31)$$

### Задачи

56. Относительная спектральная интенсивность излучения фитоламп низкого давления ЛФ40-2:

$\lambda$ , нм	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470
$\varphi(\lambda)$ , о.е.	0,53	0,54	0,55	0,9	0,43	0,46	2,04	0,58	0,6	0,63

*Продолжение*

$\lambda$ , нм	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570
$\varphi(\lambda)$ , о.е.	0,64	0,66	0,65	0,63	0,62	0,62	0,63	1,43	0,73	0,78

*Продолжение*

$\lambda$ , нм	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670
$\varphi(\lambda)$ , о.е.	1,07	0,93	0,97	1,0	0,99	0,95	0,9	0,80	0,70	0,62

*Продолжение*

$\lambda$ , нм	680	690	700	710	720	730	740	750	760
$\varphi(\lambda)$ , о.е.	0,54	0,47	0,40	0,35	0,29	0,23	0,19	0,16	0,14

Во сколько раз применение лампы ЛФ40-2 для выращивания растений в теплицах эффективнее по сравнению с осветительной лампой ЛБ40, относительный фито поток которой равен 98,8?

57. Газоразрядная лампа излучает световой поток 12,8 клм, а ее фито поток 17,6 фит. Определить фитоотдачу лампы, если ее светоотдача  $\eta_v = 32$  лм/Вт.

58. В нижней полусфере у симметричного облучателя равномерное светораспределение. Найти фито поток, падающий от облучателя в радиусе 1 м, если высота его подвеса 0,5 м. Общий фито поток от облучателя 14,92 фит.

59. Для условия предыдущей задачи рассчитать коэффициент минимальной облученности растений. Допустима ли такая неравномерность облучения?

60. Горизонтальная облученность растений равна 3,3 фит/м<sup>2</sup>. Источник излучения расположен на высоте 0,6 м над растениями и на расстоянии 0,6 м от них в горизонтальной плоскости. Вычислить силу фитоизлучения источника в направлении рассматриваемой точки.

61. Определить количество облучения в безоблачные майские сутки, получаемое растениями в открытом грунте, если в течение суток облученность растений изменяется следующим образом:

Часы суток	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Облученность, % от $E_{\text{с max}}$	0	0,03	0,21	0,54	0,85	1,0	0,91	0,7	0,38	0,12	0,03	0

Максимальная облученность при этом равна  $510 \text{ Вт/м}^2$ .

62. Естественная облученность видимым излучением земной поверхности в горизонтальной плоскости по часам январского дня:

Часы суток	9	10	11	12	13	14	15
Облученность, $\text{Вт/м}^2$	0	13,3	31	35	30	13	0

Проникающее в теплицу естественное излучение равно  $\frac{1}{3}$  наружного. Какую долю составляет количество облучения растений естественным светом в течение зимнего дня от количества, ежесуточно необходимого растениям для нормального роста и развития и равного  $530 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2$ ?

63. Для светолюбивых растений при определенных внешних условиях насыщающая освещенность равна 40 000 лк. Переведите это значение в фитооблученность для трех вариантов облучения растений монохроматическими потоками с  $\lambda_1 = 680 \text{ нм}$ ,  $\lambda_2 = 610$ ,  $\lambda_3 = 555 \text{ нм}$  и сравните их.

64. Пользуясь пространственным распределением потока лампы ДРЛФ400 (рис. 3), постройте кривую фитооблученности горизонтальной поверхности под лампой при высоте ее подвеса 1 м.

65. Лампа высокого давления типа ДРФ1000 имеет следующую относительную спектральную интенсивность излучения ( $\Delta\lambda = 10 \text{ нм}$ ):

$\lambda, \text{ нм}$	380	390	400	410	420	430	440	450
$\varphi(\lambda), \text{ о.е.}$	0,05	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03

*Продолжение*

$\lambda, \text{ нм}$	460	470	480	490	500	510	520	530	540
$\varphi(\lambda), \text{ о.е.}$	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02

*Продолжение*

$\lambda, \text{ нм}$	550	560	570	580	590	600	610	620	630
$\varphi(\lambda), \text{ о.е.}$	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03

*Продолжение*

$\lambda, \text{ нм}$	640	650	660	670	680	690	700	710	720
$\varphi(\lambda), \text{ о.е.}$	0,04	0,05	0,09	0,1	0,1	0,08	0,04	0,03	0,03



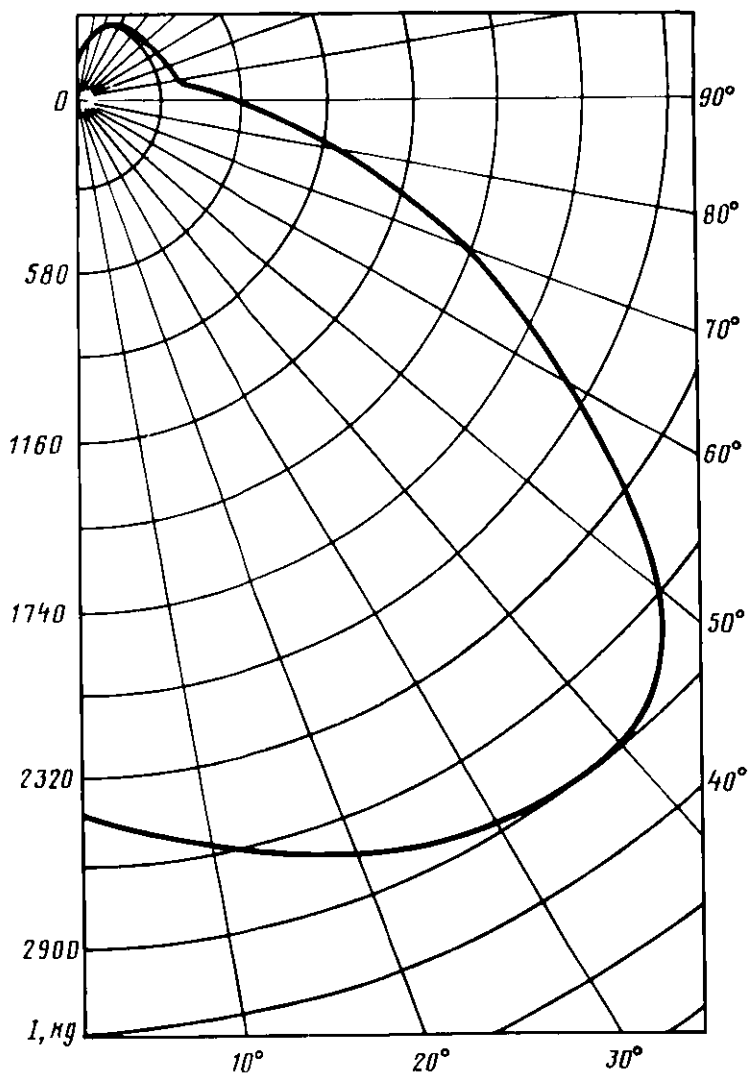


Рис. 3. Продольная кривая светораспределения лампы ДРЛФ400

Кроме того, в спектре излучения лампы имеются отдельные линии:

$\lambda$ , нм	405	408	436	460	546	577	578	579	588	608	680
$\varphi$ ( $\lambda$ ), о.е.	0,07	0,16	0,3	1,0	0,09	0,06	0,06	0,06	0,19	0,3	1,0

Определить фитопоток лампы, если поток излучения лампы на длине волны 680 нм равен 11,5 Вт.

## 7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

### Расчетные формулы

Эффективная отдача потока

$$\eta_{\text{эф}} = \Phi_{\text{эф}}/\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda) K(\lambda) d\lambda / \left[ \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda \right], \quad (32)$$

где  $\Phi_{\text{эф}}$  – эффективный поток, Вт;  $\Phi$  – полный поток излучения, Вт.

Эффективная отдача источника излучения, лм/Вт, эр/Вт, бк/Вт, фит/Вт,

$$\eta = \Phi_{\text{эф}}/P. \quad (33)$$

Закон Стефана – Больцмана:

$$M_{\text{ес}} = R_T = \sigma T^4, \quad (34)$$

где  $R_T$  – плотность излучения абсолютно черного тела, Вт/м<sup>2</sup>;  $\sigma$  – постоянная, равная  $5,672 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·град<sup>4</sup>);  $T$  – абсолютная температура, К.

Закон смещения Вина:

$$\lambda_{\text{max}} T = 2896, \quad (35)$$

где  $\lambda_{\text{max}}$  – длина волны, соответствующая максимуму кривой спектральной плотности потока излучения, мкм.

Спектральная плотность излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup>·мкм),

$$m_{\text{ес}}(\lambda, T) = R_{\lambda T} = C_1 / [\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)], \quad (36)$$

где  $C_1$  – постоянная, равная  $3,74 \cdot 10^8$  Вт·м<sup>-2</sup>·мкм<sup>4</sup>;  $C_2$  – постоянная, равная  $1,43 \cdot 10^4$  мкм·град.

Максимум спектральной плотности потока излучения Вт/(м<sup>2</sup>·мкм),

$$(m_{\text{ес}})_{\text{max}} = (R_{\lambda T})_{\text{max}} = C_B T^5, \quad (37)$$

где  $C_B$  – постоянная, равная  $1,041 \cdot 10^{-11}$  Вт/(м<sup>2</sup>·мкм·град<sup>5</sup>).

Для реальных тел

$$M_{\text{е}}(T) = R_T = \epsilon(T) \sigma T^4, \quad (38)$$

где  $\epsilon(T)$  – интегральный коэффициент излучения, зависящий от температуры и материала излучателя.

$$m_{\text{е}}(\lambda, T) = R_{\lambda T} = \epsilon(\lambda, T) C_1 / [\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)]$$

$$\text{и } (R_{\lambda T})_{\text{max}} = \epsilon_{\lambda T} C_B T^5, \quad (39)$$

где  $\epsilon(\lambda, T)$  – спектральный коэффициент излучения, зависящий от температуры и материала излучателя.

Значения интегральных и спектральных коэффициентов излучения берут в справочной литературе (например, для вольфрама в [1]).

Зависимости характеристик ламп накаливания от величины напряжения питания (от 0,9 до  $1,1U_n$ ):

$$\begin{aligned} \text{ток ламп } I_n/I_{n,n} &= (U/U_n)^{0,53}; \\ \text{мощность ламп } P/P_n &= (U/U_n)^{1,53}; \\ \text{световая отдача } \eta_v/\eta_{v,n} &= (U/U_n)^{2,14}; \\ \text{световой поток } \Phi_v/\Phi_{v,n} &= (U/U_n)^{3,67}; \\ \text{срок службы } t_{\text{сл}}/t_{\text{сл},n} &= (U/U_n)^{-13,8}, \end{aligned} \quad (40)$$

где  $I_{n,n}$ ,  $P_n$ ,  $\Phi_{v,n}$  – номинальные значения параметров.

Значения параметров ламп накаливания при изменении напряжения питания от 0,5 до  $1,35U_n$  приведены в приложении 6.

Зависимости характеристик люминесцентных ламп от величины напряжения питания (от 0,9 до  $1,1U_n$ ):

$$\begin{aligned} \text{ток ламп } \Delta I_n/I_{n,n} &= 2,2(U/U_n); \\ \text{мощность ламп } \Delta P/P_n &= 2(U/U_n); \\ \text{световой поток } \Delta \Phi_v/\Phi_{v,n} &= 1,5(U/U_n), \end{aligned} \quad (41)$$

где  $\Delta I_n$ ,  $\Delta P$ ,  $\Delta \Phi_v$  – отклонения значений параметров от номинальных.

Мощность, Вт, люминесцентной лампы

$$P \cong 0,9 I_n U_n, \quad (42)$$

где  $U_n$  – напряжение лампы, В.

Световой поток, лм, люминесцентной лампы

$$\Phi \cong 9,25 I_{\text{пер}}, \quad (43)$$

где  $I_{\text{пер}}$  – сила света люминесцентной лампы в направлении, перпендикулярном ее оси, кд.

Продольная кривая силы света люминесцентной лампы

$$I_\alpha = I_\perp \sin \alpha, \quad (44)$$

где  $\alpha$  – угол, отсчитываемый от продольной оси лампы, град.

Освещенность, лк, от люминесцентной лампы

$$E = I_\alpha \cos \beta / l^2 = I_\alpha \cos^3 \alpha / h^2, \quad (45)$$

где  $\beta$  – угол между направлением силы света и нормалью к освещаемой поверхности, град.;  $l$  – расстояние от середины люминесцентной лампы до освещаемой точки, м;  $h$  – расстояние от середины лампы до плоскости, на которой находится освещаемая точка, м.

Освещенность от светящейся линии можно рассчитать по формулам решения задачи 39.

Средняя яркость, кд/м<sup>2</sup>, люминесцентной лампы

$$L_{\text{ср}} = F_{\text{л}} 10^4 / (9,25 k d l), \quad (46)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение яркости по длине лампы (для ламп мощностью до 15 Вт включительно  $k = 0,87$ , для ламп большей мощности  $k = 0,92$ );  $d$  и  $l$  – внутренний диаметр и длина светящейся части колбы лампы, см.

“Красное отношение” источника света – отношение светового потока источника в красной части спектра к его общему световому потоку:

$$n = \frac{\int_{610 \text{ нм}}^{770 \text{ нм}} \varphi(\lambda) K(\lambda) d\lambda}{\int_{380 \text{ нм}}^{770 \text{ нм}} \varphi(\lambda) K(\lambda) d\lambda}. \quad (47)$$

#### Задачи

66. Абсолютно черное тело излучает в минуту 1,89 Дж энергии с 1 см<sup>2</sup> поверхности. Определить плотность излучения и температуру этого тела.

67. Как изменится поток излучения абсолютно черного тела при повышении его температуры с 1500 до 3000 К?

68. Как изменится максимальная спектральная плотность излучения абсолютно черного тела при повышении его температуры с 1500 до 3000 К?

69. При колебаниях напряжения в питающей сети температура вольфрамовой нити лампы накаливания изменяется на  $\pm 100$  К. Как изменяется при этом поток излучения нити, если при номинальном напряжении ее температура равна 2400 К? Интегральный коэффициент излучения вольфрама равен 0,295 при 2300 К, 0,304 при 2400 К и 0,312 при 2500 К.

70. Как изменится световой поток лампы накаливания Б215-225-150 при снижении напряжения на 10 %?

71. Световой поток лампы накаливания Г125-135-500 равен 8700 лм. При каком напряжении сети световой поток лампы будет 6696 лм?

72. Как следует изменить напряжение на зажимах лампы накаливания Г125-135-150, чтобы срок ее службы возрос в 2 раза по сравнению с номинальным?

73. При резко неравномерной нагрузке фаз трехфазной осветительной сети произошло нарушение контакта нулевого провода сети с нулевым выводом питающего трансформатора. Напряжение на лампах мало-загруженных фаз возросло практически до линейного напряжения 380 В. Оценить, как изменится при этом поток излучения ламп накаливания и каков будет их максимальный срок службы.

74. Световой поток люминесцентной лампы ЛБ40 равен 3000 лм. Диаметр цилиндрической светящейся части лампы 3,8 см, а длина 118,4 см. Определить среднюю поверхностную плотность светового потока, силу

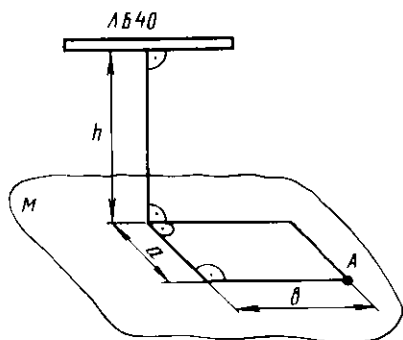


Рис. 4. К задаче 75. Расположение источника света над горизонтальной поверхностью

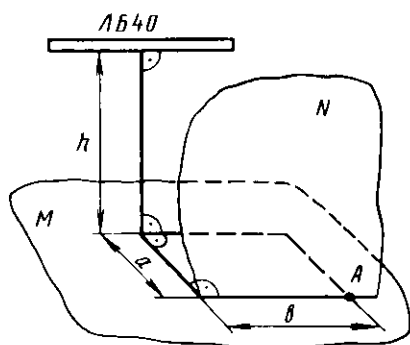


Рис. 5. К задаче 76. Расположение источника света и вертикальной поверхности

света в направлении, перпендикулярном оси лампы, и яркость ее излучающей поверхности.

75. Световой поток люминесцентной лампы ЛБ40 равен 3000 лм. Приняв лампу за равнояркий источник, найти освещенность в точке  $A$  горизонтальной плоскости  $M$  (рис. 4). Положение точки  $A$  относительно лампы задано размерами  $h = 3$  м,  $a = b = 2$  м.

76. По условию задачи 75 рассчитать освещенность в точке  $A$  вертикальной плоскости  $N$  (рис. 5).

77. Люминесцентная лампа ЛЕЦ65 со световым потоком 3400 лм расположена вертикально, как показано на рисунке 6. Приняв лампу за равнояркий источник, вычислить освещенность в точке  $A$  на горизонтальной плоскости  $M$ . Взаимное расположение точки и лампы определено размерами  $h = 3$  м и  $a = b = 2$  м.

78. По условию задачи 77 найти освещенность в точке  $A$  вертикальной плоскости  $N$ .

79. Определить световую отдачу, %, источников света по их параметрам: лампа накаливания Г215-225-1000 при напряжении питания 220 В излучает световой поток 18 600 лм; натриевая лампа ДНаТ400—47 000 лм; кварцевая галогенная лампа КГ220-1000—22 000 лм; световая отдача лам-

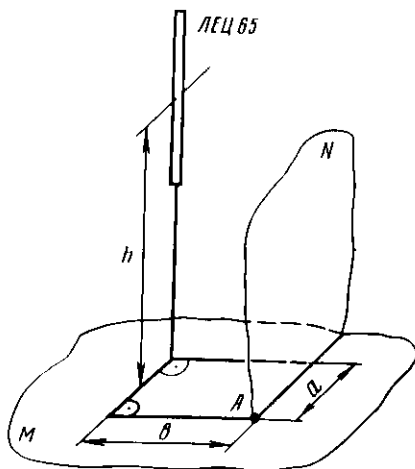


Рис. 6. К задаче 77. Вертикальное расположение люминесцентной лампы и освещаемой поверхности

пы накаливания Б215-225-100 при напряжении питания 220 В равна 13,5 лм/Вт, лампы накаливания Б125-135-100 при напряжении питания 130 В — 15,4 лм/Вт, люминесцентной лампы 60 лм/Вт; ксеноновая лампа ДКсТ10000 дает световой поток 250 клк. Сравните между собой найденные значения световых отдач различных источников.

80. Ксеноновая лампа мощностью 50 кВт излучает световой поток  $2,23 \cdot 10^6$  лм. Цилиндрическое светящее тело лампы имеет длину 2100 мм и диаметр 38 мм. Найти световую отдачу (лм/Вт, %) и среднюю яркость лампы (кд/м<sup>2</sup>).

## 8. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

### Расчетные формулы и примеры

Расчетные формулы и методика проектирования осветительных установок приведены в методических указаниях по курсовому проектированию (см. гл. III). Со ссылкой на эти формулы и справочный материал приложений и рекомендуемой литературы здесь рассмотрены примеры решения задач по расчету осветительных установок точечным методом, методом коэффициента использования светового потока и методом удельной мощности.

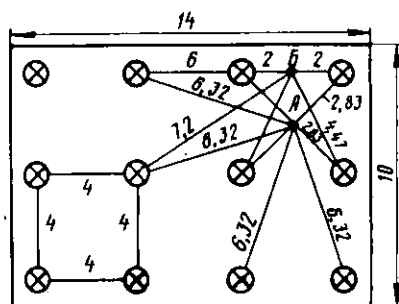
**Пример 1.** Рассчитать точечным методом освещение помещения (рис. 7) с рабочими поверхностями у стен светильниками УПД при следующих условиях: расчетная высота  $h_p = 4$  м, нормированная освещенность  $E_{\text{нп}} = 75$  лк, коэффициент запаса  $k = 1,5$  и коэффициент добавочной освещенности  $\mu = 1,2$ .

**Решение.** Поскольку в светильнике УПД глубокое светораспределение [9, 10], то для него  $\lambda = 1$  [2].

Расстояние между светильниками берем  $L = h_p \lambda = 4 \cdot 1 = 4$  м и размещаем их по вершинам квадратов  $4 \times 4$  м<sup>2</sup>. Расстояние от крайних светильников до стен равно  $0,25L = 1$  м (см. рис. 6).

На плане помещения намечаем контрольные точки А и Б, в которых освещенность может оказаться наименьшей. Рассчитываем расстояния  $d$  от этих точек до проекций ближайших светильников.

По кривым изолюкс для светильника УПД находим условные освещенности в контрольных точках от каждого ближайшего (учитываемого) светильника. Результаты для удобства представляем в виде таблицы 1.



За расчетную принимаем точку Б как точку с меньшей освещенностью. Значение  $\Sigma e$  для точки Б подставляем в формулу (гл. III, подраздел 2) расчета потока источника точечным методом и получаем необходимый световой поток лампы

$$F_v = 1000 \cdot 75 \cdot 1,5 / (1,2 \cdot 34,1) = 2749 \text{ лм.}$$

Рис. 7. К примеру 1. Осветительная установка

Таблица 1

Число светильников	Расстояние $d$ , м	Условная освещенность $e$ , лк	Число светильников	Расстояние $d$ , м	Условная освещенность $e$ , лк
Для точки А			Для точки В		
4	2,83	30,0	2	2,00	24,0
2	6,32	2,4	2	4,47	8,0
2	6,32	2,4	1	6,00	1,5
1	8,50	0,3	1	7,20	0,6
$\Sigma e = 35,1$			$\Sigma e = 34,1$		

По приложению 5 выбираем ближайшую стандартную лампу Г215-235-200. Ее световой поток  $F_{\text{вл}} = 2920$  лм отличается от расчетного на  $\Delta F = (2920 - 2749)100/2749 = 6,2\%$ , что укладывается в пределы допустимых отклонений (от  $-10$  до  $+20\%$ ).

**Пример 2.** В помещении с малым выделением пыли, размерами  $a = 21$  м,  $b = 12$ ,  $h = 4,2$ ,  $h_{\text{р.п}} = 0,8$  м и коэффициентами отражения потолка  $\rho_{\text{п}} = 50\%$ , стен  $\rho_{\text{с}} = 30\%$ , расчетной поверхности  $\rho_{\text{р.п}} = 10\%$  определить методом коэффициента использования светового потока освещение светильниками "Астра" с лампами накаливания для создания освещенности  $E_{\text{в}} = 50$  лк.

**Решение.** В помещении с малым выделением пыли осветительную установку с лампами накаливания рассчитывают при коэффициенте запаса  $k = 1,3$  [2, 9].

В светильнике "Астра" косинусное светораспределение [9, 10]. Поэтому оптимальное относительное расстояние между светильниками следует взять  $\lambda = 1,6$  [2].

Приняв высоту свеса светильников  $h_{\text{с}} = 0,5$  м, получим расчетную высоту  $h_{\text{р}} = 4,2 - 0,8 - 0,5 = 2,9$  м и расстояние между светильниками

$$L = 2,9 \cdot 1,6 = 4,64 \text{ м.}$$

Число рядов светильников в помещении

$$n'_b = b/L = 12/4,64 = 2,58.$$

Число светильников в ряду

$$n'_a = a/L = 21/4,64 = 4,56.$$

Округляем эти числа до ближайших больших  $n_a = 5$  и  $n_b = 3$ .

Общее число светильников

$$N = n_a n_b = 5 \cdot 3 = 15.$$

Размещаем окончательно светильники. По ширине помещения расстояние между рядами  $L_b = 4,6$  м, а расстояние от крайнего ряда до стены чуть больше  $0,3L$ , а именно  $1,4$  м. В каждом ряду расстояние между светильниками примем также  $L_a = 4,6$  м, а расстояние от крайнего светильника до стены будет  $(21 - 4,64)/2 = 2,63 = 1,3$  м. Это составляет  $0,28L$ .

Индекс помещения

$$i = 21 \cdot 12 / [2,9(21 + 12)] = 252 / (2,9 \cdot 33) = 2,63.$$

Интерполяцией справочных данных [9] определяем коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,6$ .

Так как расстояние между светильниками практически равно оптимальному, то принимаем коэффициент минимальной освещенности  $z = 1,15$  [2].

Определяем необходимый световой поток лампы

$$F_v = 50 \cdot 1,15 \cdot 252 \cdot 1,3 / (15 \cdot 0,6) = 2093 \text{ лм.}$$

Выбираем по приложению 5 ближайшую стандартную лампу Г215-225-150, имеющую поток  $F_{\text{вл}} = 2090$  лм, что меньше расчетного значения на  $\Delta F = (2090 - 2093) 100/2093 = -0,14 \%$ .

**Пример 3.** Рассчитать методом удельной мощности освещение помещения для кормления поросят в возрасте 4...6 мес. Размеры помещения  $20 \times 12 \times 3 \text{ м}^3$ . В качестве источника света взять лампу накаливания со светильником типа ППД. Принять коэффициент запаса  $k = 1,3$ .

**Р е ш е н и е.** В светильнике ППД косинусное светораспределение. Оптимальное относительное расстояние между светильниками  $\lambda = 1,6$  (см. табл. 12.1 [2]).

Примем высоту свеса светильников  $h_c = 0,4$  м. Расчетная высота подвеса при  $h_{p,п} = 0$  будет

$$h_p = 3 - 0,4 = 2,6 \text{ м.}$$

Оптимальное относительное расстояние между светильниками

$$L' = 2,6 \cdot 1,6 = 4,16 \text{ м.}$$

С отклонением от этого значения на 4 % примем  $L = 4$  м, что существенно облегчит выполнение установки.

Число рядов светильников

$$n_{12} = 12/4 = 3.$$

Число светильников в ряду

$$n_{20} = 20/4 = 5.$$

Общее число светильников в помещении

$$N = 3 \cdot 5 = 15.$$

Расстояние между светильниками 4 м, расстояние от светильников до стен 2 м.

Нормированная освещенность [2] в помещении  $E_{\text{min}} = 30$  лк.

По таблице 5.31 [9] для светильников ППД находим удельную мощность  $p_{\text{уд}} = 6,1 \text{ Вт/м}^2$ .

Расчетная электрическая мощность всей осветительной установки

$$P = p_{\text{уд}} A = 6,1 \cdot 20 \cdot 12 = 1464 \text{ Вт.}$$

Мощность одной лампы

$$P_{\text{л}} = 1464/15 = 97,6 \text{ Вт.}$$

По приложению 5 выбираем ближайшую стандартную лампу, например Б220-230-100, мощность которой превышает расчетную на  $\Delta P = (100 - 97,6) \times 100/97,6 = 2,5 \%$ , что меньше допустимых +20 %.

Мощность всей установки окончательно

$$P = 100 \cdot 15 = 1500 \text{ Вт.}$$

**Пример 4.** В помещении с малым выделением пыли и размерами  $a = 21$  м,  $b = 12$  м,  $h = 4,2$  м,  $h_{p,п} = 0,8$  м создать освещенность  $E_v = 300$  лк люминесцентными лампами типа ЛБ в светильниках ЛДОР. Коэффициенты отражения в помещении  $\rho_{\text{п}} = 50 \%$ ,  $\rho_c = 30 \%$ ,  $\rho_{p,п} = 10 \%$ , коэффициент запаса принять  $k = 1,3$ .

**Р е ш е н и е.** Рекомендуемый светильник имеет в поперечной плоскости



кривую светораспределения типа Д, т. е. косинусное распределение [9, 10]. В этом случае  $\lambda = 1,4$ .

Высота свеса светильников ЛДОР с подвесами  $h_c = 0,4$  м.

Расчетная высота

$$h_p = 4,2 - 0,8 - 0,4 = 3 \text{ м.}$$

Расстояние между рядами светильников

$$L = 3 \cdot 1,4 = 4,2 \text{ м.}$$

Число рядов светильников

$$n' = 12/4,2 = 2,86.$$

Принимаем  $n = 3$ . Определяем расстояние от крайнего ряда светильников до стены (рис. 8):  $12 - 4,2 \cdot 2/2 = 1,8$  м.

Индекс помещения

$$i = 21 \cdot 12 / \{3(21 + 12)\} = 252 / (3 \cdot 33) = 2,545 \approx 2,55.$$

По этому значению интерполированием находим коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,532$  [3]. Принимаем коэффициент минимальной освещенности  $z = 1,15$  [2].

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов светильников

$$F_v = 300 \cdot 1,15 \cdot 252 \cdot 1,3 / (3 \cdot 0,532) = 70\,815 \text{ лм.}$$

Промышленность выпускает светильники типа ЛДОР с лампами 40 и 80 Вт [9].

Если взять светильники с двумя лампами по 40 Вт и потоком по 3000 лм (см. приложения), то необходимое число светильников в ряду

$$N_1 = 70\,815 / 6000 = 11,8 \approx 12.$$

При длине одного светильника 1,24 м [9] общая длина составит 14,88 м. Расстояния между светильниками в ряду 0,5 м и от крайних светильников до стен 0,25 м.

Общая мощность ламп осветительной установки

$$P_1 = 3 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 40 = 2880 \text{ Вт.}$$

Если взять светильники с двумя лампами по 80 Вт, поток которых 5220 лм, то требуемое число светильников в ряду будет  $N_2 = 70\,815 / 10\,440 = 6,78 \approx 7$ . Длина одного светильника 1,54 м [9]. Общая длина светильников в ряду  $1,54 \cdot 7 = 10,78$  м. Расстояния между светильниками в ряду 1,47 м и от крайних светильников до стен 0,74 м.

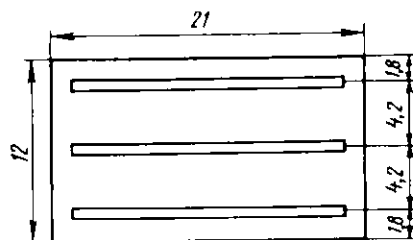


Рис. 8. К примеру 4. Осветительная установка

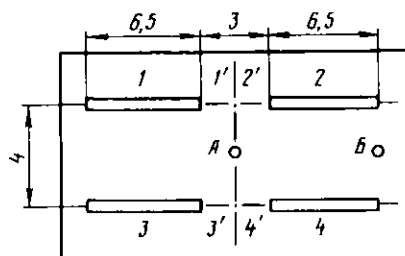


Рис. 9. К примеру 5. Осветительная установка

Общая мощность ламп осветительной установки

$$P_2 = 3 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 80 = 3360 \text{ Вт.}$$

Установка с лампами по 40 Вт предпочтительнее из-за меньшей электрической мощности и более равномерного распределения потока по освещаемой поверхности.

**Пример 5.** Рассчитать осветительную установку, показанную на рисунке 9. Оборудование размещено в середине потолка и поэтому между светильниками сделаны разрывы.

Расчетная высота  $h_p = 3$  м, нормированная освещенность  $E_{\min} = 300$  лк, коэффициент запаса  $k = 1,5$  м, светильники типа ЛДР с лампами ЛБ.

**Р е ш е н и е.** Каждый из четырех полурядов светильников имеет длину, значительно превосходящую  $0,5h_p = 1,5$  м. Принять эти полуряды за точечные источники уже нельзя из-за большой погрешности результатов расчета. Поэтому расчет следует проводить по линейным изолюксам.

На плане помещения намечаем контрольные точки *А* и *Б*, в каждой из них находим условные освещенности.

Точка *А* освещается четырьмя одинаковыми полурядами светильников от 1 до 4.

Каждый из этих полурядов дополняем отрезком от 1' до 4' длиной по 1,5 м до перпендикуляра, проведенного из точки *А*. Для каждого дополненного полуряда при  $p' = 0,67$  и  $L' = 2,67$  по линейным изолюксам для светильника ЛДР находим  $\epsilon_1 = 110$  лк [3, 9]. Из этого значения вычитаем освещенность  $\epsilon_2 = 60$  лк от добавленных несуществующих отрезков светильников при  $p' = 0,67$  и  $L' = 0,5$ .

Значения  $p$ ,  $L$ ,  $p'$ ,  $L'$  и найденные по линейным изолюксам величины освещенности  $\epsilon$  для наглядности представляем таблицей 2.

Т а б л и ц а 2

Полуряд	$p$ , м	$L$ , м	$p'$ , о.е.	$L'$ , о.е.	$\epsilon$ , лк
1, 2, 3, 4	2	8,0	0,67	2,67	110·4
1', 2', 3', 4'	2	1,5	0,67	0,50	60·4

Суммарная условная освещенность в точке *А*

$$\Sigma \epsilon_A = 110 \cdot 4 - 60 \cdot 4 = 200 \text{ лк.}$$

Точка *Б* освещается четырьмя одинаковыми полурядами 1, 3 и 2, 4. Расчет проводим аналогично расчету в точке *А*. Результаты сведем в таблицу 3.

Т а б л и ц а 3

Полуряд	$p$ , м	$L$ , м	$p'$ , о.е.	$L'$ , о.е.	$\epsilon$ , лк
2 и 4	2	6,5	0,67	2,17	110·2
(1 + 1' + 2' + 2) и	2	16,0	0,67	5,33	115·2
(3 + 3' + 4' + 4)					
(1' + 2' + 2) и	2	9,5	0,67	3,17	112·2
(3' + 4' + 4)					

Суммарная условная освещенность в точке *Б*

$$\Sigma \epsilon_B = 110 \cdot 2 + 115 \cdot 2 - 112 \cdot 2 = 226 \text{ лк.}$$

За расчетную берем точку *А* с меньшей освещенностью. Приняв коэффициент добавочной освещенности  $\mu = 1,1$ , подставляем в формулу светового потока единицы длины светящей линии (гл. III, подраздел 2) значения величин и получаем

$$F'_v = 1000 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 3 / (1,1 \cdot 200) = 6136 \text{ лм/м.}$$

Световой поток одного полуярда

$$F_v = F'_v L = 6136 \cdot 6,5 = 39886 \text{ лм.}$$

Примем светильник с лампами ЛБ40 и определим число светильников

$$N' = 39886/6000 = 6,65 \approx 7.$$

Проверим возможность установки светильников в ряд. Длина всех светильников будет [9]

$$L = 1,24 \cdot 7 = 8,68 \text{ м.}$$

Светильники не размещаются в ряд, так как их длина больше 6,5 м.

Примем светильник с лампами ЛБ80. Световой поток одной лампы 5220 лм (приложение 10). Поэтому число светильников (см. гл. III, подраздел 2)

$$N' = 39886/10440 = 3,82 \approx 4.$$

Длина четырех светильников [9]

$$L = 1,54 \cdot 4 = 6,16 \text{ м.}$$

Между светильниками небольшие разрывы:  $(6,5 - 6,16)/3 = 0,113 \text{ м} \approx 0,11 \text{ м.}$

Окончательно принимаем для каждого полуярда четыре светильника ЛДР с лампами ЛБ80, установленными с разрывами 0,11 м.

**Пример 6.** Рассчитать прожекторное освещение колхозного хозяйственного двора размерами  $50 \times 20 \text{ м}^2$ .

**Решение.** По справочным таблицам находим нормированную освещенность хозяйственной площадки  $E_{\min} = 2 \text{ лк}$  [6].

Определяем предварительное приближенное значение мощности прожекторной установки, приняв в качестве источника света лампу накаливания:

$$P = 0,25 \cdot 1,3 \cdot 2 (50 \cdot 20) = 650 \text{ Вт.}$$

Для прожекторов с лампами накаливания  $m = 0,25$ ; коэффициент запаса для наружных осветительных установок  $k = 1,3$  [9].

Из справочника [9] можно выбрать ближайшие по мощности или один прожектор типа ПЗС-45 с лампой Г220-1000, или два прожектора типа ПЗС-35 с лампой Г220-500. По конструктивным соображениям предпочтительнее прожектор ПЗС-45. Наименьшая высота установки прожектора  $h = 21 \text{ м.}$

Определяем показатель

$$eh^2 = 1,3 \cdot 2 \cdot 21^2 = 1146,6 \text{ лм.}$$

Из справочника [9] по величине найденного показателя выбираем наивыгоднейший угол наклона оси прожектора к горизонту:  $\theta = 21^\circ$ .

Рассчитываем и строим изолюксы на освещаемой территории. Результаты промежуточных и конечных вычислений сводим в таблицу 4.

Последовательность расчета покажем на примере одной строки таблицы.

Задаемся значением отношения  $x/h$ , кратным числу 0,5. Например,  $x/h = 2$ . Из справочника [9] при  $\theta = 21^\circ$  и  $x/h = 2$  находим  $\xi = 0,1$ ;  $\rho = 2,2$  и  $\rho^3 = 11$ .

Вычисляем освещенность, создаваемую прожектором на условной плоскости

$$e_m = 2 \cdot 11 \cdot 21 \cdot 21 = 9702 \text{ лк} = 9,7 \text{ клк.}$$

На условной плоскости по изолюксам [9] для прожектора ПЗС-45 с лампой 1000 Вт и по величинам ординат  $\xi$  и  $e_m$  находим абсциссу  $\eta = 0,25$ .

Определяем координату  $y$  на рассчитываемой поверхности

$$y = 0,25 \cdot 2,2 \cdot 21 = 11,55 \text{ м.}$$

Таблица 4

$x/h$	$x, \text{ м}$	$\xi$	$\rho$	$\rho^3$	$e_m, \text{ клк}$	$\eta$	$y, \text{ м}$
1,0	21,0	0,745	1,29	2,15	1,896	0	0
1,5	31,5	0,23	1,8	5,45	4,807	0,21	8,3
2,0	42,0	0,1	2,2	11,0	9,702	0,25	11,55
2,5	52,5	0,025	2,7	19,0	16,76	0,23	13,04
3,0	63,0	0,045	3,2	31,5	27,78	0,21	14,11
3,5	73,5	0,09	3,6	48,0	42,34	0,13	9,83
1,25	26,3	0,32	1,55	3,72	3,28	0,21	6,8
3,6	75,6	0,1	3,7	50,65	44,67	0,11	8,61
3,75	78,8	0,11	3,85	57,07	50,34	0,05	3,99

Таким образом, координаты двух точек будут  $x = 42 \text{ м}$  и  $y = \pm 11,55 \text{ м}$ . Аналогично рассчитывают все строки таблицы.

Найденных шесть строк (сверху таблицы 4) оказалось недостаточно для надежного построения кривой изолюкс на реальной поверхности. Поэтому намечаем дополнительные значения  $x$  и  $x/h$ , которых в справочнике [9] нет. По этим данным строим графики зависимостей  $\xi$  и  $\rho$  от отношения  $x/h$  (рис. 10) и находим промежуточные их значения еще для трех величин отношения: 1,25; 3,6 и 3,75.

По рассчитанным значениям  $x$  и  $y$  строим кривую изолюкс (рис. 11). На рисунке наносим контуры хозяйственного двора так, чтобы его территория как можно больше оказалась "накрытой" кривой изолюкс. Из рисунка видим, что опора прожектора должна быть установлена на расстоянии 27 м от малой стороны контура хоздвора.

### Задачи

81. Рассчитать освещение площадки размерами  $6 \times 2,5 \text{ м}^2$  перед входом в коровник.

82. Быки-производители содержатся в помещении площадью  $18 \times 9 \text{ м}^2$  и высотой 3 м. Найти освещение помещения, если кормушки для животных расположены по оси помещения.

83. Длина помещения для стрижки овец составляет 12, ширина 6 и высота 3,5 м. Столы для стрижки высотой 0,8 м расположены в два ряда посередине помещения так, что их общая ширина составляет 2,8 м. Определить освещение этого стригального пункта.

84. Для отела коров в родильном отделении предназначено помещение площадью  $65 \times 21 \text{ м}^2$  и высотой 2,8 м. Вычислить освещение этого помещения, учитывая, что его потолки и стены покрыты побелкой.

85. В помещении площадью  $40 \times 12 \text{ м}^2$  и высотой 2,9 м для содержания откормочного поголовья свиней некрашеный бетонный потолок и бетонные стены с окнами. Рассчитать осветительную установку для этого помещения.

86. Найти освещение помещения для напольного содержания кур промышленного стада. Размеры помещения, м: длина 60, ширина 12, высота 2,5. Потолок и стены покрыты побелкой.

87. Методом удельной мощности рассчитать освещение помещения для доращивания молодняка крупного рогатого скота. Потолки и стены

Рис. 10. Графики зависимостей  $\xi$  и  $\rho$  от отношения  $x/h$

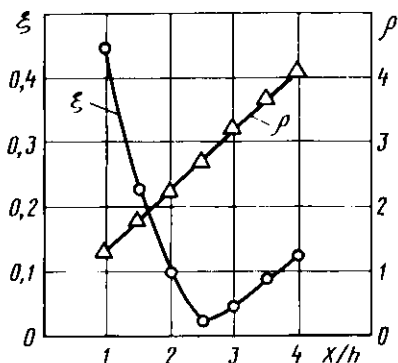
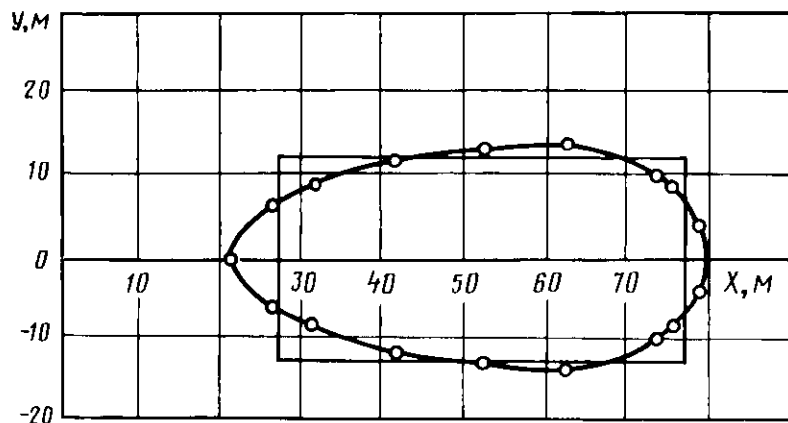


Рис. 11. К примеру 6. Расчетная изолюкса прожектора ПЗС-45



некрашенные бетонные, размеры помещения, м: длина 60, ширина 18, высота 3. Коэффициент запаса принимают  $k = 1,3$ , коэффициент минимальной освещенности  $z = 1,15$ .

88. Определить установленную мощность освещения помещения для содержания рабочих лошадей, имеющего размеры  $40 \times 10,5$  м<sup>2</sup> и высоту 3 м. В помещении светлый деревянный потолок и бетонные стены. По выделяемому количеству пыли коэффициент запаса следует принять  $k = 1,5$ . Неравномерность освещения не должна превышать  $z = 1,15$ .

89. В помещении для приема и хранения кормов площадью  $9 \times 6$  м<sup>2</sup> и высотой потолка 3 м имеет коэффициенты отражения потолка  $\rho_{\text{п}} = 50\%$ ; стен  $\rho_{\text{с}} = 30\%$  и расчетной поверхности  $\rho_{\text{р.л}} = 10\%$ . Определить освещение помещения методом удельной мощности, приняв  $k = 1,5$  и  $z = 1,15$ .

90. Вычислить люминесцентное освещение школьного класса длиной 8, шириной 6 и высотой 3,4 м с побеленными потолками и стенами. Коэффициент минимальной освещенности принять  $z = 1,15$ .

91. В помещении буфета площадью  $6 \times 5 \text{ м}^2$  высота потолка 3,5 м. Методом коэффициента использования светового потока рассчитать освещение люминесцентными лампами при  $z = 1,2$ .

92. Методом удельной мощности определить освещение лампами типа ЛБ комнаты, размеры которой  $10 \times 4 \times 3,3 \text{ м}^3$ . Принять  $z = 1,1$  и  $k = 1,5$ .

93. Размеры помещения для вычесывания козьего пуха, м: длина 6, ширина 4 и высота 3,3. Методом удельной мощности найти люминесцентное освещение помещения, приняв  $k = 1,5$  и  $z = 1,1$ .

94. В доильном зале длиной 12, шириной 6 и высотой 2,8 м зона работы дояра шириной 1,5 м расположена по оси зала. Рассчитать люминесцентное освещение зала при  $k = 1,5$  и  $\mu = 1,1$ .

95. Над рабочими местами вдоль стола длиной 12 и шириной 2 м на высоте 2 м установлен ряд светильников ЛДР с лампами типа ЛБ. Вычислить осветительную установку для создания на рабочих местах освещенности 400 лк при  $k = 1,5$  и  $\mu = 1$ .

96. Определить расстояние между светильниками "Астра-1" с лампой накаливания 100 Вт при расчетной высоте 3 м в системе аварийного освещения для обеспечения в проходах освещенности не менее 0,5 лк. Принять коэффициент запаса  $k = 1,5$  и коэффициент добавочной освещенности  $\mu = 1$ .

97. Для освещения проезжей части дороги шириной 12 м по ее оси на высоте 8 м в один ряд на тросах установлены светильники СПО-200. Определить расстояние между светильниками, при котором освещенность проезжей части будет не менее 1 лк. Коэффициент запаса принять  $k = 1,3$ .

98. Найти освещенность в точке с координатами  $x = 45 \text{ м}$ ,  $y = 10 \text{ м}$  от прожектора ПЗС-35 с лампой 500 Вт, размещенного на высоте  $h = 15 \text{ м}$  при  $\theta = 18^\circ$ .

99. Рассчитать, на какой высоте должен быть установлен прожектор ПЗС-45 с лампой 1000 Вт, если он расположен к горизонту под углом  $\theta = 22^\circ$ . При этом освещенность в центре данной поверхности  $E_v = 13 \text{ лк}$ .

100. Определить мощность прожекторной установки с галогенными лампами накаливания для освещения физкультурной площадки размерами  $150 \times 55 \text{ м}^2$ , выбрать тип и число прожекторов.

## 9. РАСЧЕТ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

### Расчетные формулы и примеры расчета

Стационарные ультрафиолетовые облучательные установки. Эритемную облученность,  $\text{эр/м}^2$ , определяем по следующим формулам:

$$E_3 = \frac{\mu}{1000k} \frac{\rho_3}{\rho_v} \Phi_3 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{I_{ai} \cos^3 \alpha_i}{h^2} \quad (48)$$

или

$$E_3 = \Phi_3 \frac{\Sigma e}{1000} \frac{\mu \rho_3}{k \rho_v}; \quad t = A_3 / E_{3, \max},$$

где  $\mu$  – коэффициент добавочной освещенности (облученности);  $k$  – коэффициент запаса;  $\rho_v, \rho_3$  – коэффициенты отражения материала облучателя для светового и эритемного потоков;  $\Phi_3$  – эритемный поток источника, эр;  $I_{\alpha t}$  – сила света облучателя (светильника) в направлении  $\alpha$ ;  $\alpha$  – угол между вертикалью и направлением силы излучения от облучателя в расчетную точку, град.;  $h$  – высота подвеса облучателя над объектом облучения, м;  $\Sigma e$  – сумма условных освещенностей в расчетной точке от ближайших светильников (облучателей);  $t$  – продолжительность работы облучательной установки, ч;  $A_3$  – доза облучения, эр·ч/м<sup>2</sup> или мэр·ч/м<sup>2</sup>.

Установки для одновременного освещения помещений и ультрафиолетового облучения животных и птицы рассчитывают по коэффициенту  $k_3$  соотношения светового и эритемного потоков. По нормированным значениям освещенности  $E_v$  и облученности  $E_3$  находим коэффициент

$$k_3 = E_3 \eta_v / (E_v \eta_3), \quad (49)$$

где  $\eta_v, \eta_3$  – коэффициенты использования светового и эритемного потоков и светильника.

После расчета осветительной части по световому потоку выбранной лампы определяем эритемный поток источника

$$\Phi_3 = k_3 \Phi_v. \quad (50)$$

По каталогу выбираем ближайший УФ-источник. При расчете эритемных установок относительное расстояние между облучателями с косинусным светораспределением следует принимать  $\lambda = 1,59$ .

Параметры комплектных осветительно-облучательных установок, например со светильниками-облучателями ОЭСП02-2Х40, определяют в следующем порядке.

Вначале рассчитывают обычными методами осветительную часть, исходя из нормированной освещенности и известного значения светового потока установленных в светильниках ламп, и находят расстояние между светильниками-облучателями. Затем по принятому расположению светильников-облучателей рассчитывают эритемную облученность  $E_3$  и по формуле (48) вычисляют продолжительность работы облучательной установки.

Подвижные ультрафиолетовые облучательные установки. При расчете установок необходимо учитывать, что характер распределения потока излучения, мэр/ср, облучателей косинусный:

$$I_{3\alpha} = I_{3,0} \cos \alpha, \quad (51)$$

где  $I_{3\alpha}$  и  $I_{3,0}$  – сила излучения облучателя под углом  $\alpha$  и по оси.

Для таких установок требуется определить высоту  $h$  подвеса облучателей над объектами. Скорость движения при этом постоянна и задана конструкцией механизма передвижения облучателей. Наиболее часто встречающиеся формы тел облучаемых объектов — плоскость, сфера и цилиндр. Для каждой формы тела определим среднюю облученность объекта, мэр/м<sup>2</sup>:

*для плоского объекта*

$$E_{\text{пл}} = I_{\alpha} \cos^3 \alpha; \quad h = [0,5 I_{\alpha} k_{\alpha} (\alpha_{\kappa} \pi/90 + \sin 2\alpha_{\kappa})] n / (A_{\alpha} v); \quad (52)$$

*для сферического объекта*

$$E_{\text{сф}} = 0,5 I_{\alpha} \cos^2 \alpha / h^2; \quad (53)$$

$$h = (I_{\alpha} k_{\alpha} \sin \alpha_{\kappa}) \frac{n}{A_{\alpha} v};$$

*для цилиндрического объекта, ось которого горизонтальна и находится в одной плоскости с источником излучения,*

$$E_{\text{ц1}} = 0,64 I_{\alpha} \cos^3 \alpha / h^2; \quad (54)$$

$$h = [0,28 I_{\alpha} k_{\alpha} (\frac{\pi \alpha_{\kappa}}{90} + \sin 2\alpha_{\kappa})] \frac{n}{A_{\alpha} v};$$

*для цилиндрического объекта, ось которого перпендикулярна направлению силы излучения,*

$$E_{\text{ц2}} = 0,64 I_{\alpha} \cos^2 \alpha / h^2; \quad (55)$$

$$h = (1,28 I_{\alpha} k_{\alpha} \sin \alpha_{\kappa}) \frac{n}{A_{\alpha} v},$$

где  $h$  — высота прохода облучателей над объектами, м;  $k_{\alpha}$  — коэффициент запаса, зависящий от срока службы источника излучения (см. приложение 16);  $\alpha_{\kappa}$  — наибольшее значение угла между направлением потока от источника на объект облучения и вертикалью в процессе облучения, зависящий от геометрических размеров ограждения стойла животного или защитного угла облучателя;  $n$  — число проходов облучателей над объектом;  $A_{\alpha}$  — доза облучения объекта (берут из приложения 15), мэр·ч/м<sup>2</sup>;  $v$  — скорость перемещения облучателей, м/ч.

Пояснения к расчетным соотношениям даны на рисунках 12 и 13.

Длина хода передвижной установки, м,

$$L = a/N - 0,58h, \quad (56)$$

где  $a$  — длина помещения, м;  $N$  — число облучателей в одном ряду вдоль помещения.

Высота подвеса облучателей над полом, м,

$$h_{\text{п}} = h + 1,5h_0,$$

где  $h_0$  — высота центра туловища животного над полом помещения, м.



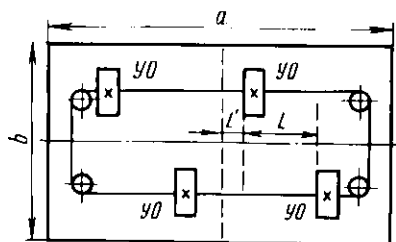


Рис. 12. Размещение облучательной установки УО-4

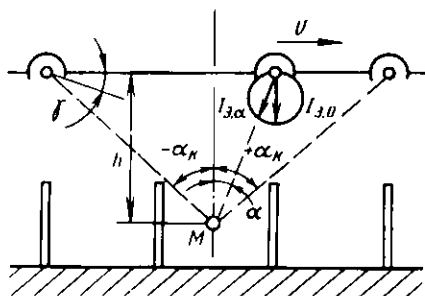


Рис. 13. К расчету подвижной облучательной установки

Средняя облученность,  $\text{мэр/м}^2$ , для объектов тех же четырех видов

$$\begin{aligned} E_{\text{пл.ср}} &= 2I_{3.0} \cos \alpha_K / (k_3 h \sqrt{l^2 + 4h^2}); \quad E_{\text{сф.ср}} = \\ &= I_{3.0} / (k_3 h \sqrt{l^2 + 4h^2}); \\ E_{\text{ц1.ср}} &= 1,28 I_{3.0} \cos \alpha_K / (k_3 h \sqrt{l^2 + 4h^2}); \quad E_{\text{ц2.ср}} = \\ &= 1,28 I_{3.0} / (k_3 h \sqrt{l^2 + 4h^2}), \end{aligned} \quad (57)$$

где  $l = 2htg \alpha_K$ .

Эту облученность сравнивают с допустимыми значениями для конкретного объекта (приложение 15).

При этом должно выполняться соотношение

$$k_3 = zE_{\text{ср}} \leq E_{\text{доп}}, \quad (58)$$

где  $z$  — коэффициент минимальной облученности.

Продолжительность облучения в конце срока службы источника эритемного излучения, ч,

$$t = A_3 / E_{\text{ср}} + bt_{\text{раз}}, \quad (59)$$

где  $b$  — коэффициент, учитывающий отличие эффективного потока лампы в процессе разгорания от потока разгоревшейся лампы (для нормального включения лампы  $b = 0,7$ , для ускоренного  $b = 0,35$ ;  $t_{\text{раз}}$  — время полного разгорания лампы (например, для лампы типа ДРТ400 оно равно 5...10 мин в зависимости от условий окружающей среды), ч.

Продолжительность, ч, облучения новыми лампами

$$t_n = A_3 / 2E_{\text{ср}} + bt_{\text{раз}}.$$

Время работы, ч, облучательной установки в течение суток

$$t = t_1 n = Ln/v,$$

где  $t_1$  — время одного полного прохода облучательной

Для использования приведенных выражений высоты и облученности необходимо знать силу эритемного излучения облучателя по направлению его оси. Пространственное распределение потока излучения большинства облучателей с газоразрядными источниками с достаточной точностью принимают косинусным. При этом поток источника и сила излучения облучателя по его оси связаны выражением

$$\Phi_{\text{ист}} = \sqrt{45\alpha_k} \pi I_{3,0} / [(90 - \gamma) + (90 + \gamma)\rho], \quad (60)$$

где  $\gamma$  — защитный угол облучателя;  $\rho$  — коэффициент отражения поверхности облучателя.

Значения  $\Phi_{\text{ист}}$  приведены в приложении 12. Защитный угол для каждого облучателя может быть определен или по паспортным данным, или по кривым светораспределения. Коэффициент отражения рабочей поверхности облучателя находят по справочным таблицам в зависимости от вида материала отражателя (см. приложение 17).

При расчетах необходимо иметь в виду, что  $\alpha_k + \gamma = 90^\circ$ . В реальных условиях из-за наличия ограждения животного может оказаться либо  $\alpha_k < 90 - \gamma$ , либо  $\alpha_k > 90 - \gamma$ . В первом случае в расчетную формулу подставляют не фактическое значение защитного угла, а  $\gamma = 90 - \alpha_k$ . Во втором случае берут фактическое значение защитного угла и  $\alpha_k = 90 - \gamma$ .

Для наиболее широко применяющихся источников эритемного излучения ниже приведены силы эритемного потока ( $\rho_3 = 0,4$ ).

Тип источника излучения	ДРТ1000	ДРТ400	ДРТ230	ЛЭ30-1	ЛЭ15
$I_{3,0}$ , эр/ср	3,0	0,95	0,56	0,06	0,03

**Пример 7.** Рассчитать облучательную установку для коровника на 200 голов привязно-выгульного содержания. Коровы содержатся в стойлах площадью  $1,2 \times 2 \text{ м}^2$ . Коровник четырехрядный с двумя кормовыми и четырьмя навозными проходами. Размеры помещения для коров  $24 \times 62 \text{ м}^2$ , высота по оси 5 м, высота стен 3 м.

**Решение.** При стойловом содержании применяют подвижную облучательную установку типа УО-4. Поскольку для одной такой установки наибольшая длина обслуживаемого помещения равна 90 м [2], то в коровнике следует использовать две установки, каждая из которых будет облучать два соседних ряда коров в стойлах по всей длине помещения.

Допускаем, что пространственное распределение эритемного потока под облучателем косинусное в пределах угла  $\alpha_k = 90 - \gamma$ . Для облучателей установки УО-4 защитный угол  $\gamma = 25...30^\circ$ . Примем  $\alpha_k = 60^\circ$ .

Коэффициент запаса в соответствии со сроком службы лампы ДРТ400 (см. приложения), которой укомплектованы облучатели установки УО-4, берем из приложения 16:  $k_3 = 2,26$ .

Доза облучения коров  $A_3 = 270 \text{ мэрс/ч/м}^2$  (см. приложения). Скорость перемещения облучателей над животными берем из паспортных данных установки [2]. Она равна 18 м/ч. Число проходов облучателей над животными принимаем минимальное четное  $n = 2$ .

По приложению 12 находим эритемный поток лампы ДРТ400  $\Phi_3 = 4750 \text{ мэрс}$ . Используя формулу (60), вычислим силу излучения облучателя при  $\rho = 0,4$

$$I_{\Sigma,0} = \frac{4,75[(90-30) + (90+30)0,4]}{3,14^2 \sqrt{45 \cdot 60}} = 1 \text{ эр/ср.}$$

По формуле (55) определим высоту подвеса облучателей над объектом

$$h = 1,28 \cdot 1,226 \cdot 0,866 \cdot 2 / (0,27 \cdot 18) = 1,03 \text{ м.}$$

Это значение входит в рекомендуемый диапазон [4].

Высота подвеса облучателей над полом с учетом роста коров ( $1,5h_0 = 1,35 \text{ м}$ ) будет  $h_{\Pi} = 1,03 + 1,35 = 2,38 \text{ м}$ .

Длину хода облучателей находим по формуле (56)

$$L = 62/2 \cdot 0,58 \cdot 1,03 = 30,4 \text{ м.}$$

Среднюю облученность коров определяем по формуле (57)

$$E_{\text{ср}} = (1,28 \cdot 1) / (2,26 \cdot 1,03 \sqrt{3,57^2 + 4 \cdot 1,03^2}) = 0,1335 \text{ эр/м}^2 = 133,5 \text{ мэр/м}^2.$$

Сравниваем это значение с допустимой облученностью по соотношению (58), приняв  $z = 1,34$  по приложению 15:  $2,26 \cdot 1,34 \cdot 133,5 = 404,3 < E_{\text{доп}} = 930 \text{ мэр/м}^2$ . Неравенство выполняется. Следовательно, рассчитанные параметры установки приемлемы.

Продолжительность облучения одного животного в конце срока службы источника излучения определяем по формуле (59)

$$t = 270/301,5 + 0,7 \cdot 0,1 = 0,96 \text{ ч.}$$

Время работы облучательной установки за сутки

$$t_{\text{сут}} = (30,4 \cdot 2) / 18 = 3,4 \text{ ч.}$$

Установки для обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением. Цель расчета бактерицидных установок для обеззараживания воды:

нахождение бактерицидного потока, необходимого для обеззараживания заданного расхода воды, с последующим вычислением основных конструктивных параметров, т. е. проектирование обеззараживающей установки для конкретных условий водоснабжения при заданном расходе воды;

определение расхода воды, который может обеспечить установка при известных характеристиках источника водоснабжения.

*Первый вариант расчетов.* Необходимый бактерицидный поток в баках находят по формуле

$$\Phi_{\text{б}} = -Q\alpha k_{\text{б}} \lg(B/B_0) / (1563,4\eta_{\text{и}}\eta_{\text{в}}), \quad (61)$$

где  $Q$  – количество воды, облучаемой в единицу времени,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $\alpha$  – коэффициент поглощения воды, выбираемый (см. приложение 18) в зависимости от источника водоснабжения,  $1/\text{см}$ ;  $k_{\text{б}}$  – коэффициент сопротивляемости бактерий, находящихся в воде (за расчетную принята сопротивляемость кишечной палочки Коли  $k_{\text{б}} = 2400 \dots 2540$ ),  $\text{мкб} \cdot \text{с}/\text{см}^2$ ;  $B$  – допустимое после обеззараживания количество бактерий в 1 л воды (ГОСТ 2874–82 допускает  $B = 3$ , но для повышения надежности в расчетах следует брать  $B = 1$ );  $B_0$  – количество бактерий в 1 л воды перед началом обработки (ГОСТ допускает  $B_0 \leq 1000$ );  $\eta_{\text{и}}$  – коэффициент использования потока ламп;  $\eta_{\text{в}}$  – коэффициент ослабления бактерицидного потока в слое воды толщиной  $h$ .

### Коэффициент использования потока лампы

$$\eta_{\text{и}} = \alpha_{\text{отр}} + \rho_6 (360 - \alpha_{\text{отр}}) / 360, \quad (62)$$

где  $\alpha_{\text{отр}}$  — центральный угол в градусах между прямыми, соединяющими источник и ближайшие края отражателя (для обеззараживающей установки с одной лампой значение этого угла от 120 до 150°. В установках с несколькими лампами  $\alpha_{\text{отр}} > 180^\circ$ );  $\rho_6$  — коэффициент отражения бактерицидного потока поверхностью отражателя установки (приложение 17).

### Коэффициент ослабления бактерицидного потока в слое воды

$$\eta_{\text{в}} = 1 - e^{-\alpha h}, \quad (63)$$

где  $\alpha$  — коэффициент поглощения воды, 1/см;  $h$  — толщина слоя воды, см.

Глубина потока (толщина слоя), см, воды

$$h = -\lg(1 - \eta_{\text{в}}) / \alpha_{\text{лгв}}. \quad (64)$$

Глубину потока принимают такой, чтобы значение  $\eta_{\text{в}} = 0,9$ .

*Второй вариант расчетов.* Выполняют по тем же формулам. По известному значению бактерицидного потока ламп установки с непогружными источниками излучения определяют расход воды, м<sup>3</sup>/ч,

$$Q = 1563,4 \Phi_6 \eta_{\text{и}} \eta_{\text{в}} / [\alpha k_6 \lg(B/B_0)]. \quad (65)$$

Расчет установок с погружными источниками бактерицидного излучения ведут по тем же формулам. При этом коэффициент ослабления бактерицидного потока в слое воды будет

$$\eta_{\text{в}} = 1 - e^{-\alpha(R-r)}, \quad (66)$$

где  $R$  — радиус внутренней поверхности цилиндра установки, см;  $r$  — радиус наружной поверхности кварцевого чехла, в котором помещен источник излучения, см.

Значение коэффициента использования бактерицидного потока из-за потерь в кварцевом чехле принимают равным 0,9.

**Пример 8.** Рассчитать установку с непогружными источниками бактерицидного излучения для обеззараживания воды из поверхностного источника при расходе  $Q = 15$  м<sup>3</sup>/см. Максимальное содержание бактерий в 1 л воды равно 1000. Для отражателя используют листовой алюминий с обработанной поверхностью.

**Решение.** Принимаем с некоторым запасом  $B = 1$ , а коэффициент сопротивления бактерий  $k = 2500$  мкб·с/см<sup>2</sup>.

По приложению 18 находим  $\alpha = 0,2$  1/см. Коэффициент ослабления потока в воде возьмем  $\eta_{\text{в}} = 0,9$ .

В качестве источника излучения выберем (см. приложение 12) лампу ДБ15, имеющую бактерицидный поток  $\Phi_{6, \text{л}} = 2,5$  б.

Лампы разместим в отражателях с коэффициентом  $\rho_6 = 0,6$  (приложение 17) и углом  $\alpha_{\text{отр}} = 180^\circ$ .

Коэффициент использования бактерицидного потока ламп вычисляем по формуле (62):

$$\eta_{\text{и}} = [180 + 0,6(360 - 180)] / 360 = 0,8.$$

Необходимый бактерицидный поток источников излучения находим по выражению (61):

$$\Phi_6 = 15 \cdot 0,2 \cdot 2500 \lg 0,001 (1563,4 \cdot 0,8 \cdot 0,9) = 20 \text{ б.}$$

Потребное число ламп ДБ15

$$N = \Phi_6 / \Phi_{6, \text{л}} = 20 / 2,5 = 8.$$

Толщину обеззараживаемого слоя воды рассчитываем по уравнению (64):

$$h = -\lg(1 - 0,9) / (0,2 \cdot 0,433) = 11,5 \text{ см.}$$

Общую ширину лотков примем близкой к длине ламп ДБ15  $b_0 = 45 \text{ см.}$  Скорость движения воды в лотках, необходимая для хорошего перемешивания, должна быть не меньше 0,2 м/с. Принимаем  $v = 0,25 \text{ м/с.}$

Ширину одного лотка найдем из соотношения

$$b_1 = Q_{\text{расч}} / (3600 h v) = 15 / (3600 \cdot 0,115 \cdot 0,25) = 0,145 \text{ м.}$$

Число лотков в установке

$$n_{\text{лот}} = b_0 / b_1 = 0,45 / 0,145 = 3,1.$$

Принимаем  $n_{\text{лот}} = 3$ , т. е. вся ширина установки будет разделена двумя перегородками.

Окончательно ширина одного лотка  $b_1 = 0,15 \text{ м}$  и скорость воды

$$v = 15 / (0,115 \cdot 0,15 \cdot 3600) = 0,242 \text{ м/с.}$$

Из конструктивных соображений лампы устанавливают на расстоянии  $l_{\text{л}} = 12 \text{ см}$  одна от другой. Поэтому общая длина корпуса установки будет

$$L = N l_{\text{л}} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ см.}$$

Основные элементы рассчитанной установки показаны на рисунке 14. Путь воды в лотках показан стрелками. Пускорегулирующая аппаратура размещена над отражателями на верхней стороне крышки.

**Пример 9.** Установка с погружными источниками излучения для обеззараживания воды содержит 6 ламп типа ДБ60. Определить необходимое число таких установок для обеззараживания воды из открытого водоема, содержащей 1000 микробных тел в 1 л, при расходе 17 л/с.

**Решение.** Вычислим по формуле (65) производительность установки и найдем входящие в нее величины.

С определенным запасом примем  $B = 1$ , а коэффициент сопротивляемости бактерий  $k_6 = 2500 \text{ мкб} \cdot \text{с/см}^2$ .

По приложению 18 примем  $\alpha = 0,25 \text{ 1/см.}$

Коэффициент ослабления потока в воде возьмем  $\eta_{\text{в}} = 0,9$ .

Значение коэффициента использования бактерицидного потока ламп примем 0,9.

По приложению 12 находим бактерицидный поток одной лампы  $\Phi_{6, \text{л}} = 8 \text{ б.}$

Тогда производительность установки будет

$$Q_1 = (-1563,4 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,9) / (0,25 \cdot 2500 \lg 0,001) = 32,42 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Определим необходимое число установок

$$n = Q / Q_1 = 17 \cdot 3600 / (32,42 \cdot 10^3) = 1,89.$$

Примем две установки.

**Установки для облучения растений.** Цель расчета установок для облучения растений — определение потока и мощности

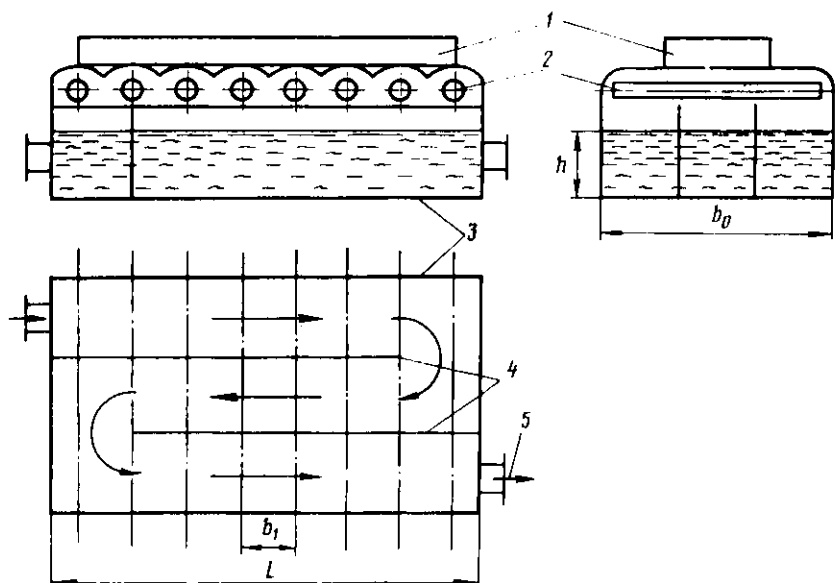


Рис. 14. К примеру 8. Эскиз установки для обеззараживания воды с непогружными источниками бактерицидного излучения:

1 – пускорегулирующая аппаратура ламп; 2 – бактерицидные лампы; 3 – корпус установки; 4 – перегородки; 5 – направление движения воды

источников излучения, их числа и размещения. Различают установки с точечными и линейными источниками излучения. Методики расчета таких установок различны.

*Облучательные установки с точечными источниками излучения.* Для стационарных установок с точечными источниками излучения высоту подвеса облучателей над растениями принимают  $h \geq 0,5$  м [2].

Установки рассчитывают по минимальной облученности. При этом коэффициент минимальной облученности

$$z = \frac{E_{\phi.\min}}{E_{\phi.\max}} > 0,8, \quad (67)$$

где  $E_{\phi.\min}$ ,  $E_{\phi.\max}$  – минимальная и максимальная фитооблученности, фит/м<sup>2</sup> или мфит/м<sup>2</sup>.

$$E_{\phi} = I_{\alpha} \cos^3 \alpha k_{\phi} / h^2, \quad (68)$$

где  $I_{\alpha}$  – сила света облучателя в направлении расчетной точки, кд;  $k_{\phi}$  – коэффициент перевода светового потока источника в фитопоток (см. приложение 14).

Общая облученность точки равна сумме облученностей от всех близкорасположенных источников.

*Облучательные установки с линейными источниками излучения.* Линейные источники излучения располагают над облучаемой поверхностью на небольшом расстоянии — 0,05...0,25 м [2].

Установки рассчитывают по средней облученности площадки под рядом (блоком) люминесцентных ламп. Обычно берут площадку шириной 1 м и длиной, равной длине люминесцентных ламп.

Фитооблученность, мфит/м<sup>2</sup>, вычисляют по выражению

$$E_{\Phi} = F_{\text{в.л}} k_{\Phi} \eta_{\text{б.л}} (n - 1) / (Ll), \quad (69)$$

где  $F_{\text{в.л}}$  — световой поток одной лампы, лм;  $\eta_{\text{б.л}}$  — КПД блока ламп;  $n$  — число ламп в блоке;  $L$  — длина люминесцентной лампы, м;  $l$  — ширина блока ламп, равная 1 м.

В формулу вводят обозначения

$$\mu_{\Phi} = F_{\text{в.л}} k_{\Phi} / (Ll) \quad (70)$$

и

$$e_{\Phi} = \eta_{\text{б.л}} (n - 1).$$

Блок люминесцентных ламп рассчитывают в такой последовательности: выбирают их тип и мощность; вычисляют значение  $\mu_{\Phi}$ ; исходя из требуемой облученности, определяют относительную облученность

$$e_{\Phi} = E_{\Phi} / \mu_{\Phi}. \quad (71)$$

По графическим зависимостям [2] относительной облученности от числа люминесцентных ламп на 1 м ширины блока при различных высотах его расположения над облучаемой поверхностью находят число люминесцентных ламп в блоке

$$N = n_1 l,$$

где  $n_1$  — число ламп на 1 м ширины блока.

Все необходимые дальнейшие расчеты установок выполняют на основе логических построений или уже известных соотношений величин.

**Пример 10.** Разместить облучатели стационарной установки с лампами ДРЛФ над тепличной рассадной грядкой шириной 1,35 м и длиной 5,45 м для создания фитооблученности  $E_{\Phi} > 11\,000$  мфит/м<sup>2</sup>.

**Решение.** Лампы ДРЛФ можно считать точечными источниками. Примем высоту подвеса облучателей  $h = 0,5$  м.

Используем продольную кривую светораспределения лампы ДРЛФ400 (см. рис. 3) для построения зависимости фитооблученности от расстояния при постоянной  $h = 0,5$  м. Для этого последовательно задаемся значениями расстояния по радиусу (например,  $r = 0,2$  м) от проекции лампы на облучаемую плоскость и вычисляем облученность.

Определяем угол  $\alpha$  между осью облучателя и направлением на точку

$$\alpha = \arctg r / h = \arctg 0,2 / 0,5 = 21,8^\circ.$$

По этому углу из кривой светораспределения лампы ДРЛФ находим силу света  $I_{\alpha} = 2800$  кд, которую пересчитываем на фитоизлучение (см. приложение 14):

$$I_{\phi\alpha} = I_{\alpha} k_{\phi} = 1,375 \cdot 10^{-3} \cdot 2800 = 3850 \text{ мфит/ср.}$$

Фитооблученность вычисляем по формуле (68):

$$E_{\phi} = 3850 \cdot 0,93^3 / 0,5^2 = 12\,320 \text{ мфит/м}^2.$$

Точно так же рассчитываем облученность при всех других значениях  $r$ . Результаты расчетов сводим в таблицу 5.

Т а б л и ц а 5

Параметры	Расчетные значения параметров					
$r, \text{ м}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\text{tg } \alpha$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\alpha$	0	11,3	21,8	31,0	38,7	45,0
$\cos \varphi$	1	0,98	0,93	0,86	0,78	0,71
$\cos^3 \alpha$	1	0,94	0,8	0,64	0,47	0,35
$I_{\alpha}, \text{ кд}$	2500	2640	2800	2870	2900	2800
$F_{\phi}, \text{ лк}$	10 000	9930	8960	7350	5450	3920
$E_{\phi}, \text{ мфит/м}^2$	13 750	13 650	12 320	10 100	7500	5390

Продолжение

Параметры	Расчетные значения параметров						
$r, \text{ м}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
$\text{tg } \alpha$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
$\alpha$	50,2	54,5	58,0	61,0	63,0	65,5	67,3
$\cos \varphi$	0,64	0,58	0,53	0,49	0,45	0,41	0,38
$\cos^3 \alpha$	0,26	0,2	0,15	0,12	0,1	0,07	0,06
$I_{\alpha}, \text{ кд}$	2600	2310	1990	1870	1790	1650	1600
$F_{\phi}, \text{ лк}$	2700	1850	1194	900	720	460	360
$E_{\phi}, \text{ мфит/м}^2$	3720	2540	1640	1240	985	635	500

По таблице 5 строим зависимость  $E_{\phi} = f(r)$  (рис. 15). В масштабе вычерчиваем план грядки и ориентировочно размещаем на нем облучатели по вершинам квадратов (рис. 16). На плане намечаем несколько точек  $A, B$  и  $C$ , в которых облученность может быть наименьшей. Считаем, что облученность в точке  $A$  создается ближайшим источником. По минимальной облученности из графика (см. рис. 15) находим  $r_A = 0,26$  м.

Облученность в точке  $B$  создается в основном двумя ближайшими источниками. Поэтому из того же графика по облученности от одной лампы  $E_{\min}/2 = 5500$  мфит/м<sup>2</sup> определяем  $r_B = 0,49$  м.

Облученность в точке  $C$  создается четырьмя лампами. Поэтому из графика по облученности от одной лампы  $E_{\min}/4 = 2750$  мфит/м<sup>2</sup> находим  $r_C = 0,68$  м.

По полученным трем значениям окончательно принимаем: расстояние от ламп до края грядки  $r_A = 0,26$  м; расстояние между лампами, равное меньшему из расстояний, определенных по  $r_B$  и  $r_C$ :

$$L_B = 2\sqrt{r_B^2 - r_A^2} = 2\sqrt{0,49^2 - 0,26^2} = 0,82 \text{ м};$$



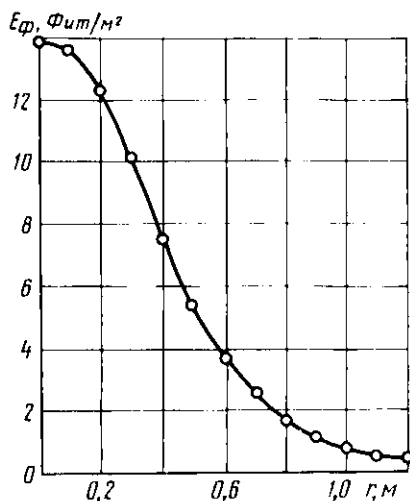


Рис. 15. К примеру 10. Фитооблученность под лампой ДРПФ400 при  $h = 0,5$  м

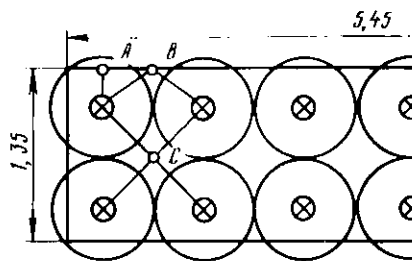


Рис. 16. К примеру 10. Размещение облучателей над рядкой

$$L_C = \sqrt{2r_C} = 1,41 \cdot 0,68 = 0,96 \text{ м, т.е. } L = L_B = 0,82 \text{ м.}$$

По этим расстояниям размещаем более точно лампы. Они располагаются в два ряда по семь ламп в каждом ряду.

Теперь на плане рядки необходимо наметить точки с возможными наибольшей и наименьшей облученностями. Точки с наименьшей облученностью примем те же (А, В и С). Точки с возможной наибольшей облученностью – это точки непосредственно под лампами. По взаимному расположению ламп и намеченных точек из графика  $E_\Phi = f(r)$  находим суммарные облученности в каждой из этих точек и выбираем точки с наибольшей и наименьшей облученностями.

Вычисляем  $z = E_{\min}/E_{\max}$ . Если  $z \geq 0,8$  по формуле (67), то расчет на этом заканчиваем. Если  $z < 0,8$ , то изменяем  $h$  и расчет выполняем снова.

**Пример 11.** Рассчитать параметры блока люминесцентных ламп типа ЛБ40 и определить число таких блоков в облучательной установке, предназначенной для создания растениям фитооблученности  $10 \text{ фит/м}^2$  на площадке размером  $7,8 \times 2,5$  м. Размер одного блока  $1,2 \times 1,5 \text{ м}^2$ . Расстояние от ламп до облучаемой поверхности  $0,15$  см. Вычислить удельную мощность облучательной установки.

**Решение.** По формуле (70) находим

$$\mu_\Phi = 3,75/(1,5 \cdot 1,2) = 2,08.$$

По формуле (71) определяем необходимую относительную облученность растений под блоком

$$e_\Phi = 10/2,08 = 4,8.$$

По графической зависимости относительной облученности от числа ламп [2] находим удельное число люминесцентных ламп в блоке шириной  $1$  м

$$n_1 = 16 \text{ ламп/м.}$$

Число ламп в блоке облучательной установки

$$N = 16 \cdot 1,5 = 24.$$

Расстояние между лампами в блоке

$$l/(N-1) = 1,5/(24-1) = 0,065 \text{ м.}$$

Из приложения 10 видим, что длина лампы ЛБ40 со штырьками 1214 мм, диаметр колбы 40 мм. Поэтому расстояние между колбами соседних ламп в блоке будет равно 25 мм.

Размер поверхности, облучаемой одним блоком:

по ширине  $1,5 + 0,065 = 1,565 \text{ м;}$

по длине  $1,2 + 0,025 = 1,225 \text{ м.}$

Размещаем блоки ламп над облучаемой поверхностью в два ряда торцами одна к другой, т. е. число рядов будет  $2,5/1,225 = 2,04$ .

В каждом ряду необходимо установить  $7,8/1,565 = 4,98$  блоков.

Принимаем два ряда по пять блоков в каждом и всего над облучаемой площадью устанавливаем десять блоков ламп.

Число ламп во всей облучательной установке

$$N = 24 \cdot 10 = 240.$$

Общая мощность ламп установки

$$\Sigma P_{\text{л}} = 40 \cdot 240 = 9600 \text{ Вт.}$$

С учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре потребляемая установкой из сети мощность

$$P = 1,25 \cdot 9600 = 12\,000 \text{ Вт.}$$

Удельная мощность облучательной установки

$$P_{\text{уд}} = 12\,000/(2,5 \cdot 7,8) = 615,4 \text{ Вт/м}^2.$$

**Инфракрасные облучательные установки для обогрева животных и птицы.** Основные расчетные параметры инфракрасных облучательных установок: мощность источников излучения; высота подвеса — источников над приемниками; число ламп в облучателе; взаимное расположение ламп; напряжение на лампах.

Определяющим, исходным для расчетов параметром считают инфракрасную облученность  $E$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Приблизительно облученность находят, используя понятие "ощущаемая температура"  $t_o$ , °C, из выражения

$$t_o = t_n + 0,04 k_{\text{в}} E, \quad (72)$$

где  $t_n$  — температура помещения при комбинированном обогреве, °C;  $k_{\text{в}}$  — коэффициент "восприятия" инфракрасного излучения организмом животного.

Оптимальную "ощущаемую температуру" для животных и птицы разных видов выбирают по приложению 19. Температуру в помещении определяют как средневзвешенную температуры  $t_{\text{в}}$  воздуха и средней радиационной температуры  $t_{\text{р}}$  поверхности ограждений:

$$t_{\text{п}} = m t_{\text{р}} + (1 - m) t_{\text{в}}, \quad (73)$$

где  $m$  — опытный коэффициент, зависящий от вида помещений (для коровников 0,3, для свинарников 0,42, для жилых зданий и других построек 0,5).

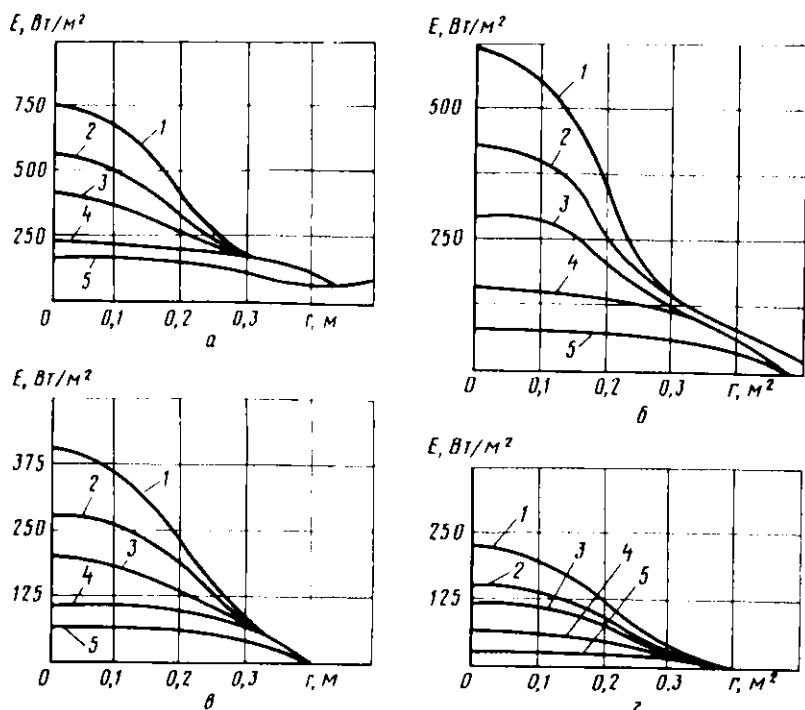


Рис. 17. Эпюры облученностей под лампой типа ИКЗК220-250 при напряжении питания 220 В (а), 180 В (б), 140 В (в), 100 В (г) и при различных высотах подвеса: 1 -  $h = 0,4$  м; 2 -  $h = 0,5$  м; 3 -  $h = 0,6$  м; 4 -  $h = 0,8$  м; 5 -  $h = 1,0$  м

Коэффициент "восприятия"  $k_v$  зависит от коэффициента поглощения кожно-шерстного покрова живого организма, состояния системы терморегуляции и скорости движения воздуха. При инфракрасном обогреве цыплят различных возрастов  $k_v \cong 1$ . При облучении поросят, телят серийной установкой типа ИКУФ  $k_v = 1$ .

По найденному значению необходимой облученности, используя эпюры для ламп типа ИКЗК220-250 (рис. 17, а, б, в, г), определяют высоту подвеса ламп, напряжение питания и радиус зоны, в которой облученность не меньше расчетной. По радиусу рассчитывают число ламп.

Если в качестве источников ИК-излучения применяют не только лампы типа ИКЗК, но и лампы накаливания других типов, то для приближенного определения необходимой облученности молодняка сельскохозяйственных животных и птицы используют выражение

$$E_x = A_q - \alpha_r t, \quad (74)$$

где  $A_q$  – постоянная потеря теплоты, зависящая от вида животного и способа его содержания, Вт/м<sup>2</sup>;  $\alpha_T$  – коэффициент теплоотдачи телом животного, зависящий от влажности воздуха, его движения внутри помещения, влажности пола, вида и возраста животного, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $t$  – температура окружающей среды, °C.

Для расчетов значения  $A_q$  и  $\alpha_T$  берут из таблицы 6.

Т а б л и ц а 6

Вид животного (птицы)	$A_q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\alpha_T$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Поросята:		
на глубокой подстилке	188	9,5
без подстилки	215	9,5
Телята	215	9,5
Ягнята	150	9,5
Птица	290	9,5

По графическим зависимостям (рис. 18) между площадью облучения  $A$ , высотой подвеса  $h$  и облученностью  $E_{100}$  (от лампы мощностью 100 Вт) определяют условную облученность, а уже по ней потребную мощность лампы

$$P_{\text{л}} = 100E_x / (E_{100} \eta_{\text{л}} \eta_{\text{сф}}), \quad (75)$$

где  $\eta_{\text{л}}$  – доля мощности, преобразованной в лучистый поток (для ламп накаливания  $\eta_{\text{л}} = 0,8 \dots 0,9$ );  $\eta_{\text{сф}}$  – доля излучения через колбу лампы или внешний светофильтр (для прозрачной колбы  $\eta_{\text{сф}} = 1$ , для колбы ламп типа ИКЗС  $\eta_{\text{сф}} = 0,84$ , для колбы ламп ИКЗК  $\eta_{\text{сф}} = 0,76$ ).

По расчетной мощности из каталогов выбирают стандартную лампу. При этом можно предусмотреть включение ламп на напряжение, отличное от номинального, используя значения параметров из приложения 6.

**Пример 12.** Рассчитать установку на лампах типа ИКЗК для обогрева суточных цыплят, содержащихся на полу на площадке 4 м<sup>2</sup>, если в помещении температуры  $t_{\text{в}} = 22^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{р}} = 18^\circ\text{C}$ .

**Решение.** Из приложения 20 выбираем температуру, при которой содержатся цыплята:  $t_0 = 34^\circ\text{C}$ .

Температуру помещений определяем по формуле (73):

$$t_{\text{п}} = 0,5t_{\text{в}} + 0,5t_{\text{р}} = 11 + 9 = 20^\circ\text{C}.$$

Необходимую облученность для цыплят находим по формуле (72):

$$E = (t_0 - t_{\text{п}}) / 0,04k_{\text{в}} = (34 - 20) / 0,04 = 350 \text{ Вт/м}^2.$$

Из рисунка 19 видно, что при отсутствии регулирования напряжения лампы следует подвешивать на высоте  $h = 0,6$  м и включать на напряжение 210 В. Следовательно, в установке можно применять лампы типа ИКЗК220-250 на напряжение  $U_{\text{н}} = 220$  В (см. приложение 8). Используя эпюры облученности (см. рис. 17), определяем расстояние между лампами при их размещении по вершинам квадратов аналогично тепличной грядке (см. рис. 16).

На рисунке 20 вокруг каждой лампы очерчен круг, внутри которого облученность выше 350 Вт/м<sup>2</sup>. Радиус этого круга  $r = 0,15$  м. Положение угловой лампы

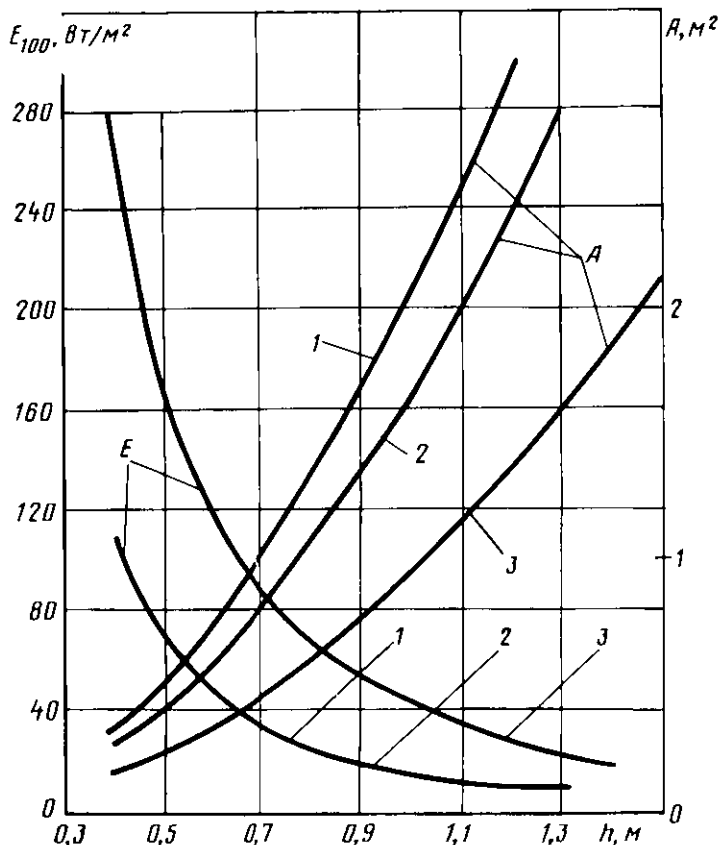


Рис. 18. График зависимостей между высотой подвеса  $h$ , площадью облучения  $A$  и облученностью  $E_{100}$  при неравномерности облучения  $z = 1,5$ :

1 – для открытого облучателя; 2 – для светильников косинусного светораспределения; 3 – для светильников глубокого светораспределения

определяем размером  $d = r\sqrt{2} = 0,11$  м. На плане намечаем точки  $A$  и  $B$ , в которых облученность может быть наименьшей по всей облучаемой площадке. В этих точках суммарная облученность также должна быть не меньше  $350 \text{ Вт/м}^2$ . В точке  $A$  облученность от одной лампы будет равна  $175 \text{ Вт/м}^2$ . По эюграм (см. рис. 17) находим, что в этом случае  $r_A = 0,29$  м.

Тогда расстояние между лампами должно быть

$$L_A = 2\sqrt{r_A^2 - d^2} = 2\sqrt{0,29^2 - 0,15^2} = 0,54 \text{ м.}$$

В точке  $B$  облученность от одной лампы будет  $E/4 = 87,5 \text{ Вт/м}^2$ . По эюграм находим, что  $r_B = 0,38$  м. Отсюда  $L_B = \sqrt{2}r_B = 1,41 \cdot 0,38 = 0,54$  м. Из двух рассчитанных расстояний между облучателями принимаем  $L = 0,54$  м.

Площадь, облучаемая одной лампой,

$$A_1 = \pi L^2/4 = 3,14 \cdot 0,54^2/4 = 0,23 \text{ м}^2.$$

Для обеспечения запаса на старение и запыление источников по этой площади следует определять общее число ламп в облучательной установке

$$N = A/A_1 = 4/0,23 = 17,4.$$

Учитывая потери потока крайних ламп за границей облучаемой площадки, округляем результат до большего целого числа. Это также обеспечивает равномерную нагрузку по фазам сети от облучательной установки. Поэтому принимаем  $N = 18$ .

Общая мощность облучательной установки

$$P = P_{\text{л}} N = 0,25 \cdot 18 = 4,5 \text{ кВт.}$$

Суточный расход энергии облучательной установки при непрерывном режиме работы

$$W = 24P = 24 \cdot 4,5 = 108 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

**Пример 13.** Рассчитать мощность, выбрать лампу накаливания и определить высоту подвеса светильника "Астра-12" с этой лампой для обогрева гнезда поросят начиная с суточного возраста при температуре воздуха в помещении маточника  $t_{\text{в}} = 12^\circ \text{C}$ .

**Решение.** Необходимую облученность поросят в первые дни жизни определяем по формуле (74), используя таблицу 6.

$$E_{\text{х}} = 215 - 9,5 \cdot 12 = 101 \text{ Вт/м}^2.$$

По приложению 20 находим размеры обогреваемой зоны. Ее площадь  $A = 0,5 \text{ м}^2$ .

По кривым (см. рис. 18) для  $A = 0,5 \text{ м}^2$  определяем облученность от светильника "Астра-12" с лампой 100 Вт и высоту его подвеса:  $E_{100} = 50 \text{ Вт/м}^2$  и  $h = 0,56 \text{ м}$ .

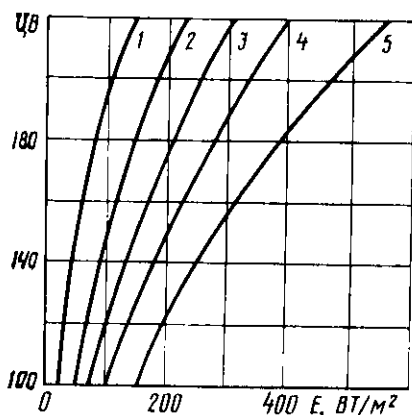


Рис. 19. Зависимость напряжения питания ламп типа ИКЗК от необходимой облученности при высоте подвеса:

1 — 1 м; 2 — 0,8 м; 3 — 0,7 м; 4 — 0,6 м;  
5 — 0,5 м

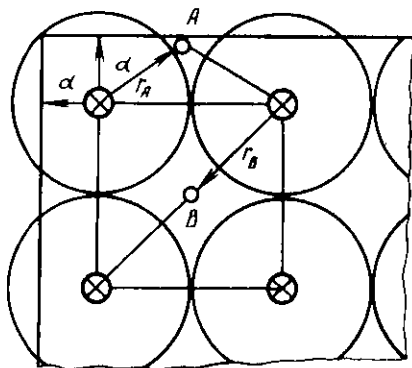


Рис. 20. К примеру 12. Размещение ламп типа ИКЗК над облучаемой площадкой

Потребная мощность лампы

$$P_{\text{л}} = \frac{100E_{\text{x}}}{E_{100}\eta_{\text{л}}\eta_{\text{сф}}} = \frac{100 \cdot 101}{50 \cdot 0,9 \cdot 1,0} = 224 \text{ Вт.}$$

Так как нижняя часть колбы лампы прозрачная, то  $\eta_{\text{сф}} = 1$ . По каталогу выбираем ближайшую по мощности лампу ИК3220-250.

Отклонение мощности от расчетной

$$\Delta P = (250 - 224)100/224 = 11,6 \%,$$

что меньше допустимых 20 % для источников оптического излучения.

Суточный расход энергии одной лампой

$$W = 24P_{\text{л}} = 24 \cdot 0,25 = 6 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

При стоимости электроэнергии 1 коп. за 1 кВт·ч стоимость всего расхода энергии  $\mathcal{E} = 6$  коп./сутки.

Возможен другой вариант выбора лампы.

Принимаем схему последовательного включения двух ламп на напряжение 380 В и каждую лампу со светильником устанавливаем над отдельным гнездом поросят. Одна лампа при напряжении 190 В (т. е. при  $0,864U_{\text{н}}$ ) потребляет 224 Вт, или  $0,8P_{\text{л}}$  (см. приложение 6). При номинальном напряжении  $U_{\text{н}} = 220$  В ее мощность будет

$$P'_{\text{л}} \approx 224/0,8 = 280 \text{ Вт.}$$

По приложению 5 выбираем лампу типа Г220-300.

Отклонение мощности лампы от расчетной

$$\Delta P = (300 - 280)100/280 = 7,15 \%,$$

Мощность, которую потребляет лампа, включенная на напряжение 190 В, можно выбрать по приложению 6 или определить по формуле (40):

$$P_{\text{л}} \approx 300(190/220)^{1,53} = 238 \text{ Вт,}$$

что превышает расчетную мощность на 8 %.

При этом срок службы ламп возрастет до

$$t_{\text{сл}} \approx t_{\text{сл.н}}(U/U_{\text{н}})^{1,38} = 100(190/220) \approx 7560 \text{ ч.}$$

где  $t_{\text{сл.н}}$  — средний срок службы лампы при  $U_{\text{н}} = 220$  В.

Суточный расход энергии

$$\mathcal{Q} = 24P'_{\text{л}} \approx 24 \cdot 0,238 = 5,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Стоимость энергии  $\mathcal{E} = 5,7$  коп.

Учитывая меньшую стоимость газополной лампы по сравнению с лампой ИК3 и существенно больший срок ее службы в рассматриваемом режиме работы, следует отдать предпочтение второму варианту облучательной установки.

### Задачи

101. Рассчитать стационарную ультрафиолетовую облучательную установку на лампах ЛЭ30-1 для помещения, где находятся поросята-отъемыши на откорме. Площадь помещения  $10 \times 25 \text{ м}^2$ , высота 3 м.

102. Найти необходимый эритемный поток и выбрать источник эритемного излучения для облучения цыплят, содержащихся на полу в помещении площадью  $5 \times 10 \text{ м}^2$  и высотой 2,8 м.

103. Определить расстояния между облучателями ЭО-1 или ЭО1-30М в помещении (площадь  $12 \times 24 \text{ м}^2$ , высота 2,7 м) телятника и продолжительность ежесуточного облучения телят в возрасте 8 мес.

104. Выбрать установку для одновременного освещения и ультрафиолетового облучения телок в помещении площадью  $12 \times 36 \text{ м}^2$  и высотой 2,8 м.

105. Определить высоту подвеса облучателей и продолжительность ежесуточной работы подвижной установки УО-24 для облучения коров в помещении площадью  $12 \times 60 \text{ м}^2$  и высотой 3 м.

106. Свины на откорме содержатся в помещении площадью  $8 \times 40 \text{ м}^2$  и высотой 1,8 м нетиповой постройки. Выбрать механизированную установку УО-4 для облучения свиней.

107. Перед поением животных на отгонном пастбище из открытого водоема необходимо осуществлять ультрафиолетовое обеззараживание воды. Исходные данные: в 1 л воды источника содержится до 1000 микробных тел, производительность установки 6 л/с, коэффициент  $\alpha$  поглощения водой УФ-излучения равен  $0,25 \text{ см}^{-1}$ . Рассчитать бактерицидный поток и выбрать по нему источники излучения. Определить удельный расход электроэнергии на обеззараживание воды.

108. Ультрафиолетовая бактерицидная установка с непогружными источниками излучения для обеззараживания воды содержит десять ламп ДБ30. Найти производительность установки при обеззараживании воды из шахтного колодца, если исходная концентрация микробных тел в 1 л достигает 800.

109. Рассчитать производительность установки ОВ-1П с одним погружным источником бактерицидного излучения — лампой ДБ60 при обеззараживании воды из скважины, если в 1 л воды содержится 400 микробных тел.

110. Установка типа ОВУ-6П с погружными источниками излучения для обеззараживания воды УФ-излучением состоит из шести секций, в каждой из которых установлена одна лампа ДБ60. Вычислить производительность установки и удельную стоимость обеззараживания воды, если в 1 л воды содержится 1500 микробных тел и тариф на электроэнергию составляет 1 коп. за 1 кВт·ч.

111. Рассчитать число тепличных облучателей серий "Фотос", необходимых для выращивания растений на участке площадью  $6 \times 9 \text{ м}^2$  защищенного грунта при средней горизонтальной освещенности 7500 лк. Облучатель "Фотос" снабжен источником света ДРИ1000. Его КПД равен 0,75.

112. Определить максимальную и минимальную освещенности растений в вегетационном боксе площадью  $4 \text{ м}^2$ , создаваемые установкой "Светотрон", в которую входит лампа ДРИ2000. Коэффициент использования светового потока равен 0,7, а отношение минимальной освещенности к максимальной 0,8.

113. Тепличные облучатели ОТ-400 размещены в три ряда на высоте 0,6 м над растениями и на расстоянии 1,2 м один от другого. Рассчитать и построить кривые фитооблученности растений в двух вертикальных плоскостях, проведенных поперек рядов облучателей через лампы посе-



редине между ними. Из построенных зависимостей найти отношение минимальной облученности к максимальной и сравнить его с допустимым значением.

114. Определить параметры блока люминесцентных ламп типа ЛФ40-2 для создания фитооблученности  $E_{\Phi} = 18,5$  фит/м<sup>2</sup> на поверхности грядки длиной 2 м и шириной 1,2 м. Блок расположен на расстоянии 0,15 м от облучаемой поверхности.

115. Рассчитать и сравнить два блока люминесцентных ламп типа ЛБ40 и ЛФ40-1 для создания фитооблученности 17,5 фит/м<sup>2</sup> на поверхности площадью 1,66X1,2 м<sup>2</sup> при расположении блока на расстоянии 0,1 м от поверхности.

116. В блок площадью 2X1,5 м<sup>2</sup> входят шестнадцать люминесцентных ламп ЛБ80. Вычислить облученность растений под этим блоком, расположенным от них на расстоянии 0,2 м.

117. Найти мощность, выбрать лампу накаливания и определить высоту подвеса облучателя ССП05-250 с этой лампой для обогрева теленка до двухнедельного возраста при одиночном содержании в клетке. Температура воздуха в помещении  $t_{\text{в}} = 12^{\circ}\text{C}$ .

118. Определить параметры ИК-облучательной установки для обогрева группы телят в возрасте 20 дней при температуре воздуха в помещении  $t_{\text{в}} = 10^{\circ}\text{C}$ .

119. Вычислить параметры и выбрать облучательную установку для обогрева гнезда поросят старше двух недель, содержащихся в помещении при температуре воздуха  $8^{\circ}\text{C}$ .

120. Рассчитать установку для ИК-обогрева суточных ягнят при групповом содержании. Температура в помещении кошары  $t_{\text{в}} = 10^{\circ}\text{C}$ .

121. Крольчата недельного возраста содержатся в помещении при температуре воздуха  $10^{\circ}\text{C}$ . Найти параметры облучательной установки для их обогрева.

122. Цыплята в возрасте до пяти дней содержатся на участке пола площадью 2 м<sup>2</sup> в помещении при температуре воздуха  $18^{\circ}\text{C}$ . Рассчитать установку с облучателями ОРИ-1 для обогрева цыплят.

123. Определить параметры установки с лампами типа ИКЗК для обогрева группы суточных ягнят, содержащихся на площадке площадью 15 м<sup>2</sup> в помещении кошары при температуре  $t_{\text{в}} = t_{\text{р}} = 10^{\circ}\text{C}$ .

124. Поросята месячного возраста содержатся в помещении при температуре  $t_{\text{в}} = 13^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{р}} = 10^{\circ}\text{C}$ . Определить параметры ИК-установки с лампами ИКЗК для обогрева поросят на площадке площадью 1,5 м<sup>2</sup>.

125. Рассчитать и сравнить между собой установки с лампами ИКЗК и осветительными лампами накаливания для облучения телят суточного возраста, содержащихся в телятнике при температуре  $t_{\text{в}} = 15^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{р}} = 11^{\circ}\text{C}$ .

## 10. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ И ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Методика расчета и выбора элементов электрической части осветительных и облучательных установок подробно изложена в главе III.

### Примеры расчета

**Пример 14.** По допустимой потере напряжения  $\Delta U = 3\%$  рассчитать площадь сечения проводов внутренней открыто проложенной (неподвижная прокладка) осветительной сети на напряжение 380/220 В, схема которой показана на рисунке 21.

Отдельными лампами на схеме изображены центры нагрузок каждой группы.

**Решение.** Определяем моменты нагрузок на всех участках:  $M_1 = P_1 L_1 = 9,9 \cdot 50 = 495 \text{ кВт} \cdot \text{м}$ ;  $M_2 = P_2 L_2 = 6 \cdot 30 = 180 \text{ кВт} \cdot \text{м}$ ;  $m_3 = P_3 L_3 = 2 \cdot 20 = 40 \text{ кВт} \cdot \text{м}$ ;  $M_4 = 156 \text{ кВт} \cdot \text{м}$ ;  $m_5 = 13 \text{ кВт} \cdot \text{м}$ .

Вычисляем площадь сечения первого участка

$$s'_1 = \frac{M_1 + M_2 + M_4 + \alpha_4 - 2m_3 + \alpha_4 - 2m_5}{\Delta U C} = \frac{495 + 180 + 156 + 1,85 \cdot (40 + 13)}{3,44} = \frac{1125,15}{3,44} = 8,52 \text{ мм}^2.$$

Для трехфазной сети напряжением 380/220 В, выполненной алюминиевыми проводами,  $C = 44$ . Коэффициенты приведения моментов берем из справочников [9] или [11].

Принимаем ближайшие значения стандартной площади сечения на первом участке  $s_1 = 10 \text{ мм}^2$ . Это сечение проверяем на нагрев по длительно допустимому току:

$$I_1 = P_1 / (3 U_\phi) = 9900 / (3 \cdot 220) = 15 \text{ А}.$$

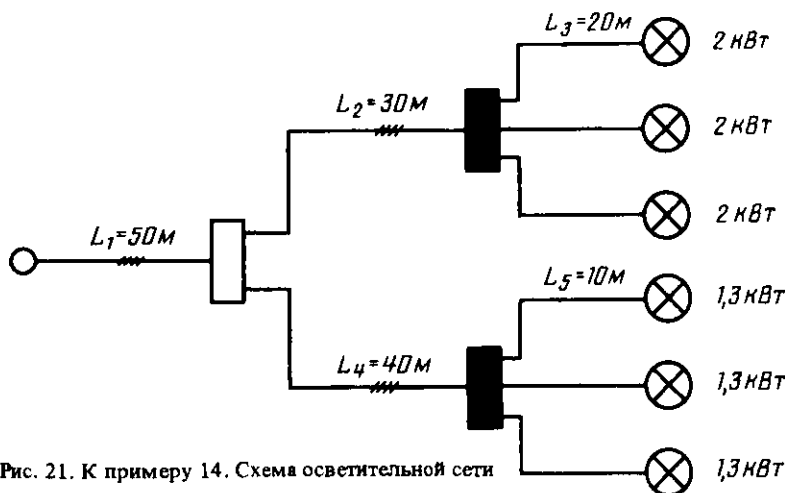


Рис. 21. К примеру 14. Схема осветительной сети

Для выбранного сечения  $I_{\text{доп.1}} = 38 \text{ А}$ , т. е.  $I_1 < I_{\text{доп.1}}$ . Минимальная площадь сечения по механической прочности равна  $2,5 \text{ мм}^2$ . Следовательно, сечение проводов  $s_1 = 10 \text{ мм}^2$  удовлетворяет всем условиям выбора.

Фактическая потеря напряжения на первом участке

$$\Delta U_1 = 495 / (10 \cdot 44) = 1,13 \%$$

Допустимая потеря напряжения для оставшейся сети

$$\Delta U'_2 = \Delta U'_4 = \Delta U - \Delta U_1 = 1,87 \%$$

Площадь сечения проводов на втором участке

$$s'_2 = \frac{M_2 + \alpha_4 - 23m_3}{\Delta U'_2 C} = \frac{180 + 1,85 \cdot 3 \cdot 40}{1,87 \cdot 44} = 4,9 \text{ мм}^2.$$

Принимаем стандартное сечение  $s_2 = 6 \text{ мм}^2$ ,  $I_2 = 6000 / (3 \cdot 220) = 9,1 \text{ А}$ , а  $I_{\text{доп.2}} = 29 \text{ А}$ , т. е. условие соблюдается и выбранное сечение проходит по всем условиям.

Потеря напряжения на втором участке

$$\Delta U_2 = 180 / (6 \cdot 44) = 0,68 \%$$

Допустимая потеря напряжения для третьего участка

$$\Delta U'_3 = 1,87 - 0,68 = 1,19 \%$$

Площадь сечения проводов на третьем участке

$$s'_3 = m_3 / (\Delta U'_3 C) = 40 / (1,19 \cdot 7,4) = 4,54 \text{ мм}^2.$$

Принимаем  $s_3 = 6 \text{ мм}^2$ ,  $I_3 = 2000 / 220 = 9,1 \text{ А}$ , а  $I_{\text{доп.3}} = 29 \text{ А}$ , т. е. сечение удовлетворяет условиям выбора.

Потеря напряжения на третьем участке

$$\Delta U_3 = 40 / (6 \cdot 7,4) = 0,9 \%$$

Площадь сечения проводов на четвертом участке

$$s'_4 = \frac{M_4 + \alpha_4 - 23m_5}{\Delta U'_4 C} = \frac{156 + 1,85 \cdot 3 \cdot 13}{1,87 \cdot 44} = 2,77 \text{ мм}^2.$$

Принимаем  $s_4 = 4 \text{ мм}^2$ ,  $I_4 = 3900 / (3 \cdot 220) = 5,9 \text{ А}$ , а  $I_{\text{доп.4}} = 24 \text{ А}$  и  $I_4 < I_{\text{доп.4}}$ , т. е. сечение удовлетворяет условиям выбора.

Потеря напряжения на четвертом участке

$$\Delta U_4 = 156 / (4 \cdot 44) = 0,89 \%$$

Допустимая потеря напряжения на пятом участке

$$\Delta U_5 = 1,87 - 0,89 = 0,98 \%$$

Площадь сечения проводов на пятом участке

$$s'_5 = m_5 / (\Delta U'_5 C) = 13 / (0,98 \cdot 7,4) = 1,77 \text{ мм}^2.$$

Принимаем  $s_5 = 2,5 \text{ мм}^2$ ,  $I_5 = 1300 / 220 = 5,9 \text{ А}$ , а  $I_{\text{доп.5}} = 17 \text{ А}$ , т. е.  $I_5 < I_{\text{доп.5}}$ .

Потеря напряжения на пятом участке

$$\Delta U_5 = 13 / (2,5 \cdot 7,4) = 0,7 \%$$

Общие потери напряжения от начала линии

$$\Delta U_{1-2-3} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = 1,13 + 0,68 + 0,9 = 2,71 \%;$$

$$\Delta U_{1-4-5} = \Delta U_1 + \Delta U_4 + \Delta U_5 = 1,13 + 0,89 + 0,7 = 2,72 \%.$$

Принятые сечения участков сети в целом удовлетворяют условию выбора по потере напряжения.

**Пример 15.** Выбрать предохранитель и его плавкую вставку для защиты однофазной группы осветительной сети, содержащей лампы накаливания общей мощностью 1,5 кВт. Напряжение сети 220 В.

**Решение.** Рабочий ток группы

$$I = 1500/220 = 6,82 \text{ А.}$$

Выбираем плавкую вставку предохранителя на ближайшее большее значение тока  $I_{\text{в}} = 10 \text{ А}$ . Она подходит как к предохранителю ПР-2 на 15 А, так и к НПН-15.

**Пример 16.** Трехфазная осветительная сеть включает в себя газоразрядные источники света низкого давления общей мощностью 6,4 кВт. Коэффициенты мощности сети 0,9. Напряжение сети 380/220 В. Выбрать автоматический выключатель и определить его ток срабатывания для защиты сети.

**Решение.** С учетом потерь мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА) люминесцентных ламп рабочий ток сети будет

$$I_{\text{р}} = 1,2P/(\sqrt{3}U\cos\varphi) = 6400 \cdot 1,2/(1,73 \cdot 380 \cdot 0,9) = 13 \text{ А.}$$

Принимаем для установки автоматический выключатель типа А3714Б с  $I_{\text{н.авт}} = 40 \text{ А}$ ,  $I_{\text{н.расч.т}} = 20 \text{ А} > I_{\text{р}} = 13 \text{ А}$  и  $I_{\text{сраб.расч.з}} = 1600 \text{ А} > 1,25I_{\text{р}} = 16,25 \text{ А}$ .

### Задачи

126. Рассчитать площадь сечения алюминиевых проводов групповой осветительной сети напряжением 220 В, схема которой приведена на рисунке 22. Все лампы накаливания имеют одинаковую мощность  $P = 200 \text{ Вт}$ , допустимая потеря напряжения  $\Delta U = 2,5 \%$ .

127. Осветительная установка коридора содержит 20 светильников типа ПВЛП с двумя лампами ЛБ40 в каждом. Определить площадь сечения провода АПВ, необходимого для питания светильников, если расстояние между крайними светильниками равно 40 м, расстояние от группового щитка до первого светильника 7,5 м, а допустимая потеря напряжения  $\Delta U = 2,5 \%$ .

128. Два блока по 16 люминесцентных ламп типа ЛБ80 для облучения рассады подключены к групповому щитку кабелем НРГ 2 X 1,5 длиной 18 м. Найти напряжение на лампах при номинальном напряжении на зажимах щита.

129. Установка типа ОВУ-6П с лампами ДБ60 для обеззараживания воды расположена на расстоянии 50 м от питающего щитка. Рассчитать и выбрать кабель для подключения установки к сети, если допустимая потеря напряжения  $\Delta U = 1 \%$ .

130. В свинарнике-маточнике над каждым отсеком для поросят установлен облучатель с лампой ИКЗК220-250. Все лампы объединены в три группы. Расстояния от группового щитка до центра нагрузки каждой группы и схема всей электрической сети облучательной установки показаны на рисунке 23.

Выбрать марку проводов, способ их прокладки и площадь сечения жил, если допустимая потеря напряжения составляет 3,5 %, а помещение маточника выполнено из кирпича и бетонных блоков.

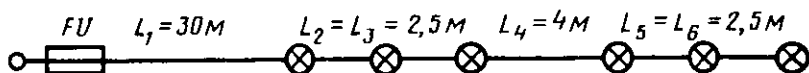


Рис. 22. К задаче 126. Схема осветительной сети

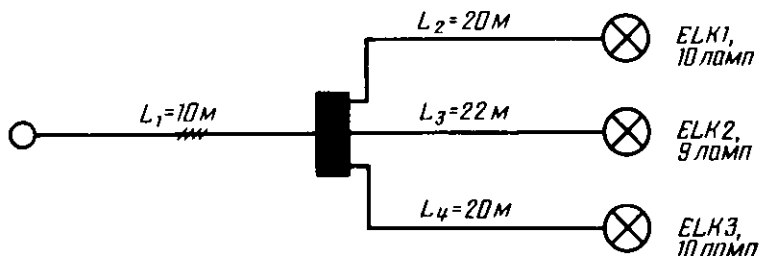


Рис. 23. К задаче 130. Схема электрической сети ИК-облучательной установки

131. Проекторная установка с двумя лампами ПЗС-45 общей мощностью 2 кВт расположена на мачте высотой 23 м. Рассчитать площадь сечения жил питающего кабеля марки АСРГ при допустимой потере напряжения 1,6 %.

132. Выбрать предохранитель и найти ток плавкой вставки для защиты осветительной сети, описанной в задаче 126.

133. Осветительную сеть коридора с люминесцентными лампами, рассмотренную в задаче 127, защитить от коротких замыканий предохранителями, если  $\cos \varphi = 0,92$ .

134. Определить параметры и выбрать уставку автоматического выключателя для защиты двух блоков люминесцентных ламп тепличной облучательной установки, рассмотренных в задаче 128. Принять, что компенсация реактивной мощности в схеме ламп отсутствует и  $\cos \varphi = 0,5$ .

135. Выбрать автоматические воздушные выключатели и определить их токи срабатывания для защиты ИК-облучательной установки из задачи 130.

## 11. ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ К ЗАДАЧАМ

### Получение и преобразование оптического излучения

1.  $\lambda = 800$  нм, инфракрасное излучение.

2.  $\epsilon(200) = 9,93 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(380) = 5,23 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(400) = 4,965 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(450) = 2,22 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(500) = 3,97 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(530) = 3,74 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(580) = 3,42 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(600) =$

$= 3,31 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(700) = 2,84 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(760) = 2,61 \cdot 10^{-19}$  Дж;  
 $\epsilon(900) = 2,21 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(1100) = 1,8 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $\epsilon(1400) =$   
 $= 1,42 \cdot 10^{-19}$  Дж.

3.  $\epsilon_1/\epsilon_2 = 1,9$  – ультрафиолетовые излучения;  $\epsilon_3/\epsilon_4 = 2$  – границы  
 видимых излучений;  $\epsilon_5/\epsilon_6 = 3,95$  – инфракрасные излучения.

4.  $t = 2,8$  ч.

5.  $15 \cdot 10^{20}$  фотонов.

6.  $\lambda = 680$  нм, оранжево-красные лучи.

7.  $\epsilon = 0,668 \cdot 10^{-20}$  Дж.

8. Облученность необходимо увеличить в 2,4 раза.

9. Продолжительность облучения должна быть уменьшена в 2 раза.

10. Облучение на длине волны 297 нм в 1,17 раза продолжительнее.

### Энергетические величины

11.  $I_e = 3,98$  Вт/ср;  $E_e = 44,4$  Вт/см<sup>2</sup>. 12.  $\Phi_{\text{вид}} = 2,2$  Вт;  $\Phi_{\text{ИК}} =$   
 $= 37,8$  Вт;  $I_e = 3,18$  Вт/ср. 13.  $\Phi_{\text{вид}} = 8,5$  Вт;  $\Phi_{\text{ИК}} = 91,5$  Вт. 14.  $E_{e1}/E_{e2} =$   
 $= 1$ . 15.  $E_{e1}/E_{e2} = 1,41$ . 16.  $\Phi_{\text{уф}} = 1,8$  Вт. 17.  $\Phi_{\text{вид}} = 8$  %. 18.  $E_e =$   
 $= 590$  Вт/м<sup>2</sup>. 19.  $\varphi(\lambda) = 5$  Вт/нм. 20.  $\Phi_{\text{вид}} = 38$  Вт.

### Световые величины

21.  $F = 5000$  лм. 22.  $F = 22\,200$  лм. 23.  $F = 9760$  лм. 24.  $F_1/F_2 = 156,5$ .  
 26.  $L_v = 1,88 \cdot 10^3$  кд/м<sup>2</sup>. 27.  $L_v = 2644$  кд/м<sup>2</sup>. 28.  $k = 800$ . 29.  $F = 340$  лм.  
 30.  $\tau = 0,72$ . 31.  $\alpha = 0,995$ . 32.  $L_{v1} = 13,54 \cdot 10^3$  кд/м<sup>2</sup>;  $L_{v2} = 2,71 \cdot 10^3$  кд/м<sup>2</sup>;  
 $L_{v3} = 81,2$  кд/м<sup>2</sup>;  $L_{v4} = 2,71$  кд/м<sup>2</sup>;  $L_{v5} = 0,027$  кд/м<sup>2</sup>. 33.  $i_{\text{фз}} = 183,9$  мкА.  
 34.  $n = 55,5$  деления. 35.  $E_{\text{л.н}} = 100$  лк;  $E_{\text{ест}} = 125$  лк;  $E_{\text{л.б}} = 87$  лк.

### Эритемные величины

36.  $E_3 = 0,1343$  мкэр/м<sup>2</sup>;  $\Phi_3 = 1,343$  мкэр. 37. По приложению 2 находим  
 соответствующие значения относительной спектральной эритемной эффективности  
 излучения  $K(\lambda)_3$ . Умножив спектральные значения облученности  $E_{\lambda e}$ , выраженной  
 в мкВт/м<sup>2</sup>, на соответствующие значения  $K(\lambda)_3$ , получим спектральные облучен-  
 ности, выраженные уже в мкэр/м<sup>2</sup>. Расчет представим в такой форме:

$\lambda, \text{нм}$	295	305	315	325	335
$E_{\lambda e} \cdot 10^4$	4,4	40	162	340	440
мкВт/м <sup>2</sup>					
$K(\lambda)_3$	0,98	0,33	0,018	0,007	0,004
$E_{\lambda e} \cdot 10^4$	4,32	13,2	2,92	2,38	1,76
мкэр/м <sup>2</sup>					

Продолжение

$\lambda, \text{нм}$	345	355	365	375	385
$E_{\lambda e} \cdot 10^4$	520	600	660	660	800
мкВт/м <sup>2</sup>					
$K(\lambda)_3$	0,0025	0,0017	0,0013	0,0009	0,0005
$E_{\lambda e} \cdot 10^4$	1,3	1,02	0,86	0,59	0,4
мкэр/м <sup>2</sup>					

Суммарная эритемная облученность

$$E_3 = \sum_{\lambda 1}^{\lambda 10} E_{\lambda 3} = 28,75 \cdot 10^4 \text{ мкэр/м}^2 = 28,75 \cdot 10^4 \cdot 10^6 = 0,2875 \text{ эр/м}^2.$$

Эритемный поток будет

$$\Phi_3 \approx E_3 \cdot 0,5 A_{\text{цел}} = 0,2875 \text{ эр.}$$

$$38. \Phi_3 = 10,4 \text{ эр.}$$

39. Принимая лампу за равнояркий цилиндр для эритемного потока, вычисляем облученность в точке  $A$  по выражению

$$E_{3A} = \frac{I_{3\gamma} \cos^2 \gamma}{2h} \left( \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right),$$

где  $I_{3\gamma}$  — сила эритемного излучения лампы длиной 1 м в перпендикулярном направлении;  $I_{3\gamma} = \Phi_3 / \pi l$ .

Тогда

$$E_{3A} = \frac{\Phi_3 \cos^2 \gamma}{\pi^2 l 2h} \left( \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) = \frac{16,5 \cdot 0,797}{3,14^2 \cdot 0,318 \cdot 2 \cdot 2} \left( 0,14 + \frac{0,28}{2} \right) = 0,3 \text{ эр/м}^2.$$

Облученность в точке  $B$  определяем по тому же выражению, приняв  $b = 0$  и  $\gamma = 0$ :

$$E_{3B} = \frac{\Phi_3}{\pi^2 l 2h} \left( \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) = \frac{16,5}{3,14^2 \cdot 0,318 \cdot 2 \cdot 2} \left( 0,158 + \frac{0,316}{2} \right) = \frac{16,5 \cdot 0,316}{3,14^2 \cdot 0,318 \cdot 4} = 0,46 \text{ эр/м}^2.$$

$$40. E_{A\text{гор}} = 0,69 \text{ эр/м}^2; E_{A\text{max}} = 0,97 \text{ эр/м}^2; E_{B\text{гор}} = E_{B\text{max}} = 1,93 \text{ эр/м}^2.$$

$$41. I_3 = 10,3 \text{ мэр/ср.}$$

42. Продолжительность облучения животных необходимо повысить с 2 до 8 ч.

43. К концу срока эксплуатации ламп продолжительность облучения приемников должна увеличиться в 2,2 раза.

$$44. \eta_3 = 40 \text{ мэр/Вт.}$$

$$45. \eta_{15} = 20 \text{ мэр/Вт; } \eta_{30} = 25 \text{ мэр/Вт; } \eta_{40} = 40 \text{ мэр/Вт; } \eta_{400} = 11,9 \text{ мэр/Вт;}$$

$$\eta_{1000} = 16,5 \text{ мэр/Вт.}$$

### Бактерицидные величины

$$46. \Phi_6 = 0,053 \text{ б; } 47. \Phi_6 = 10,8 \text{ б; } 48. E_{6A} = 0,71 \text{ б/м}^2; E_{6B} = 1,11 \text{ б/м}^2; \\ 49. E_{A\text{гор}} = 1,5 \text{ б/м}^2; E_{A\text{max}} = 2,12 \text{ б/м}^2; E_{B\text{max}} = E_{B\text{гор}} = 4,22 \text{ б/м}^2; \\ 50. E_{6.\text{гор}} = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ б/м}^2; E_{6.\text{верт}} = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ б/м}^2.$$

51. Длительность облучения обеззараживаемых объектов должна быть увеличена в 1,25 раза.

$$52. H_6 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ б} \cdot \text{ч/м}^2.$$

53. Продолжительность процесса облучения приемников излучения необходимо повысить в 1,5 раза.

54. Поскольку с концов колбы лампы излучения нет, то значение телесного угла, внутри которого излучается поток, будет

$$\omega = 4\pi - 2 \frac{\pi D^2}{4} (2/l)^2 = 4\pi - 2\pi (D/l)^2 = 4\pi - 2\pi (20/100)^2 = 3,92\pi.$$

Средняя сила излучения  $I_{\text{б.ср}} = \Phi_{\text{б}}/\omega = 10,8/(3,92\pi) = 0,877 \text{ бк/ср.}$

55.  $I_{\text{б.мах}} = F_{\text{б}}/\pi^2 = 10,8/9,86 = 1,1 \text{ бк/ср.}$

### Величины оптического излучения в растениеводстве

56. Лампа ЛФ40-2 эффективнее лампы ЛБ40 в 1,4 раза.

57.  $\eta_{\text{ф}} = 44 \text{ мфит/Вт.}$

58. Элементарный поток, падающий на площадь кольца вокруг облучателя с радиусами  $R$  и  $R + \Delta R$ , будет

$$\Delta \Phi = 2\pi R \Delta R E.$$

Облученность в любой точке расчетной площадки

$$E = I \cos^3 \alpha / h^2.$$

Если

$$\cos \alpha = h / \sqrt{h^2 + R^2}, \text{ то } E = I h / (\sqrt{h^2 + R^2})^3.$$

Теперь

$$\Phi = \int_0^R \frac{2\pi R I h}{(\sqrt{h^2 + R^2})^3} dR = 2\pi I h \left( \frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{h^2 + R^2}} \right).$$

Величина  $\Phi = \Phi_{\text{ф}}/2\pi$  и

$$\Phi = \Phi_{\text{ф}} h \left( \frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{h^2 + R^2}} \right) = 14,92 \cdot 0,5 \frac{1}{0,5} - \frac{1}{\sqrt{0,5^2 + 1}} = 8,25 \text{ фит.}$$

59.  $Z = 0,09$ . Недопустима.

60.  $I_{\text{ф}} = 3,36 \text{ фит/ср.}$

61.  $H_{\text{е}} = 4,865 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2 = 17\,515 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2.$

62.  $\Delta H_{\text{е}} = 28 \%$ .

63. Освещенность и фитооблученность

$$E = F_{\text{в}}/A = 683 \Phi K(\lambda)/A; E_{\text{ф}} = \Phi_{\text{ф}}/A = \Phi K(\lambda)_{\text{ф}}/A.$$

Из первого выражения  $\Phi = EA/[683K(\lambda)]$  подставим во второе и получим

$$E_{\text{ф}} = EK(\lambda)_{\text{ф}}/[683K(\lambda)].$$

По приложениям 1 и 4 находим значения спектральных чувствительностей глаза человека  $K(\lambda)$  и среднего листа растения  $K(\lambda)_{\text{ф}}$  для каждого из указанных монохроматических излучений.

$$E_{\text{ф.680}} = 40\,000/(683 \cdot 0,017) = 3445 \text{ фит/м}^2.$$

Аналогично  $E_{\text{ф.610}} = 48,6 \text{ фит/м}^2$  и  $E_{\text{ф.555}} = 20,2 \text{ фит/м}^2.$

65.  $\Phi_{\text{ф}} = 120,75 \text{ фит.}$

### Электрические источники оптического излучения

66.  $M_{\text{еS}} = 315 \text{ Вт/м}^2; T = 273 \text{ К.}$

67. Поток возрастет в 16 раз.

68. Максимальная спектральная плотность увеличится в 32 раза.

69. При повышении напряжения поток нити возрастет на 20 %, при снижении уменьшится на 18,4 %.

70. Световой поток уменьшится на 32,2 %.

71.  $U = 118 \text{ В.}$



72. Напряжение снизится на 6 В.

73. Поток излучения возрастет примерно в 7,5 раза, а срок службы будет менее 0,3 ч.

74.  $M_0 = 22,4 \cdot 10^3$  лм/м<sup>2</sup>;  $I_{\text{пер}} = 324,3$  кд;  $L_0 = 7835$  кд/м<sup>2</sup>.

75.  $E_A = 12,2$  лк.

76.  $E_A = 8,1$  лк.

77.  $E_{AM} = 10,8$  лк.

78.  $E_{AN} = 7,2$  лк.

79. 2,72 %; 1,98 %; 2,25 %; 8,78 %; 17,2 %; 3,22 %; 3,66 %.

80.  $\eta_0 = 44,6$  лм/Вт;  $\eta = 6,53$  %;  $L_0 = 3,021 \cdot 10^6$  кд/м<sup>2</sup>.

### Осветительные установки

96. По приложению 5 для лампы светильника находим  $F_{\text{вл}} = 1450$  лм. Очевидно, что светильники должны быть размещены над проходом в один ряд. Поэтому контрольную точку намечаем посередине между светильниками. Точечным методом определяем суммарную условную освещенность в этой точке

$$\Sigma e = 1000 \cdot 0,5 \cdot 1,5 / 1450 = 0,52 \text{ лк.}$$

1

Очевидно, что  $\mu = 1$ .

Условная освещенность от одного светильника

$$e = \Sigma e / 2 = 0,52 / 2 = 0,26 \text{ лк.}$$

По кривым изолюкс [9] находим, что расстояние от светильника до контрольной точки  $d = 9,75$  м, а между светильниками  $L = 2d = 19,5$  м.

97. Считаем, что светильник укомплектован лампой оптимальной мощности  $P_{\text{л}} = 200$  Вт со световым потоком  $F_{\text{вл}} = 2800$  лм (приложение 5). Определяем сумму относительных освещенностей

$$\Sigma e = 1000 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 64 / 2800 = 29,7 \text{ лк.}$$

Принимаем, что точка с наименьшей освещенностью расположена на краю дороги посередине между светильниками. Освещенность этой точки создается двумя ближайшими светильниками. Следовательно, относительная освещенность от каждого светильника  $e = 14,85$  лк при  $h/d = 0,57$ . Расстояние от светильников до контрольной точки будет  $d = 8/0,57 = 14$  м, а между светильниками  $L = 2\sqrt{d^2 - (b/2)^2} = 2\sqrt{14^2 - 6^2} = 25,3$  м.

98. Определяем отношение  $x/h = 45/15 = 3$ . По значениям  $\theta$  и  $x/h$  [9] находим  $\xi = 0,01$ ;  $\rho = 3,2$  и  $\rho^3 = 32$ . Вычисляем координату  $\eta = 10/(3,2 \cdot 15) = 0,208$  и из кривых справочных изолюкс [9] по значениям  $\xi$  и  $\eta$  определяем  $e_m = 16,5$  клк. Тогда  $E_0 = 16500/(32 \cdot 225) = 2,3$  лк.

99. Очевидно, что  $x/h = 1/\text{tg}\theta = 2,5$ . По значениям  $\theta$  и  $x/h$  [9] находим  $\xi = 0,01$ ;  $\rho = 2,7$  и  $\rho^3 = 19$ . Так как речь идет о центре поля освещения, то  $y = 0$  и  $\eta = 0$ , а величину  $e_m$  можно рассчитать по максимальной силе света прожектора  $I_{\text{max}} = 130$  ккд [9]:

$$e_m = I_{\text{max}} / l^2 = 130 / 1 = 130 \text{ клк.}$$

Определяем искомую высоту

$$h = \sqrt{130 \cdot 0000 / (13 \cdot 19)} = 22,94 \approx 23 \text{ м.}$$

100.  $P = 15$  кВт. Десять прожекторов ПКН-1500 или восемь прожекторов ПКН-2000.

## Электрическая часть установок

126.  $s = 2,5 \text{ мм}^2$ .  
127.  $s = 4 \text{ мм}^2$ .  
128.  $U = 213,2 \text{ В}$ .  
129. Для кабеля с алюминиевыми жилами площадь сечения  $s = 4 \text{ мм}^2$ .  
130. Площадь сечения алюминиевых проводов всех участков сети равна  $2,5 \text{ мм}^2$ . Способ прокладки выбираем с учетом строительных конструкций.  
131.  $s = 4 \text{ мм}^2$ .  
132.  $I_{\text{в}} = 6 \text{ А}$ . Предохранитель типа НПН-15.  
133.  $I_{\text{в}} = 10 \text{ А}$ . Предохранитель типа НПН-15 или ПР-2.  
134. Автоматический воздушный выключатель типа АЗ7715Б с  $I_{\text{н.авт}} = 160 \text{ А}$ ;  $I_{\text{н.расц.т}} = 32 \text{ А}$ ;  $I_{\text{сраб.р.э}} = 630 \text{ А}$ .  
135. Для защиты групповых линий 2, 3 и 4 можно выбрать автоматический выключатель типа АЗ715 с  $I_{\text{н.авт}} = 160 \text{ А}$ ;  $I_{\text{н.расц.т}} = 16 \text{ А}$ ;  $I_{\text{сраб.р.э}} = 630 \text{ А}$ .  
Для защиты линии 1 можно выбрать выключатель типа АЗ716Б с  $I_{\text{н.авт}} = 160 \text{ А}$ ;  $I_{\text{н.расц.т}} = 40 \text{ А}$ ;  $I_{\text{сраб.р.э}} = 630 \text{ А}$ .

Лабораторные занятия, как и практические, способствуют глубокому усвоению студентами теоретического материала путем его экспериментальной проверки. Одновременно они предназначены для выработки у обучающихся навыков работы с действующими источниками оптического излучения, проведения исследования, обработки экспериментальных данных и анализа полученных результатов.

Приведенные описания лабораторных занятий служат методическими пособиями, учитывающими технические и организационные возможности учебного заведения и конкретные условия для выполнения этих работ.

### 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

На первом занятии в лаборатории студенты проходят инструктаж по технике безопасности, содержание которого определяется инструкцией, разработанной для конкретного помещения. Как правило, инструктаж проводит преподаватель, который в специальном журнале указывает дату, содержание инструктажа, фамилии студентов и свою с подписями.

Перед лабораторной работой студент должен детально ознакомиться с ее содержанием и методикой, получить общее представление об ожидаемых результатах опытов. Для этого необходимо изучить теоретический материал по лекциям и рекомендуемой литературе.

К каждому лабораторному занятию студент должен подготовить таблицы для записи результатов измерений, вычертить требуемые электрические схемы.

Непосредственно перед выполнением работы преподаватель проверяет готовность каждого студента по теме занятия и только затем допускает их к работе.

Допущенные к работе студенты бригадой из трех-четырех человек готовят лабораторный стенд или установку к проведению опытов и включают ее в работу только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Во время лабораторных работ каждый студент должен соблюдать правила техники безопасности.

Результаты опытов студенты представляют преподавателю для проверки. Последующие опыты выполняют только после полного завершения предыдущих с разрешения преподавателя.

После проведения экспериментов лабораторная установка должна быть выключена.

По полученным результатам студент оформляет отчет, который должен содержать название, цель и программу работы, эскиз конструкций исследуемых источников излучения, светильников, облучателей, экспериментальные электрические схемы и паспортные данные использованного оборудования и измерительных приборов, опытные и расчетные результаты, расчетные формулы и примеры расчета по ним, а также краткие выводы по отдельным пунктам программы и по работе в целом.

Отчет пишется чернилами (шариковой ручкой) на писчей бумаге формата А4(11), электрические схемы, таблицы и графики вычерчиваются карандашом.

Графические зависимости следует вычерчивать на миллиметровой бумаге цветными карандашами или фломастерами с четким обозначением экспериментальных точек (например, точки на рисунках 9 и 10). Все оформление отчета должно отвечать требованиям ЕСКД.

Ряды значений рассчитываемых величин заносят в таблицы, как правило, предусмотренные методическими указаниями. Однако по каждой такой величине в отчете должен быть приведен пример расчета одного ее значения, что необходимо для контроля и быстрого поиска возможных ошибок и более глубокого понимания студентом изучаемого материала.

Оформленный отчет представляется преподавателю для защиты. Неаккуратно оформленный отчет к защите не допускается.

При защите отчета студент должен давать исчерпывающие ответы на вопросы преподавателя по всему материалу лабораторной работы.

## **2. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

В цепях с газоразрядными источниками оптического излучения кривые мгновенных значений напряжений и токов несинусоидальны. Поэтому для снижения погрешностей измерения этих параметров в цепях газоразрядных ламп следует применять приборы электродинамической системы.

Все лабораторные работы выполняют при помощи реальных источников оптического излучения с использованием промышленных светильников, облучателей и облучательных установок. Поэтому и для измерения оптических величин рекомендуют специальные приборы, применяемые в практике электрического освещения и облучения.

Приборы для измерения оптических излучений состоят из двух частей: приемника излучения (датчика) и блока, включающего сам

прибор, коммутационные и регулирующие элементы и устройство питания.

### 3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОВЫХ ВЕЛИЧИН

Практически все световые величины, которые необходимо экспериментально определять при выполнении лабораторных работ, измеряют косвенным путем по освещенности. Поэтому на практике определяют освещенность, а по ней уже рассчитывают остальные световые параметры.

Для измерения освещенности используют специальные приборы, показывающие величину непосредственно в люксах и называемые люксметрами. Самое широкое распространение получили переносные люксметры, состоящие из селенового фотоэлемента и чувствительного электроизмерительного прибора.

Селеновый фотоэлемент — это полупроводниковый прибор с запирающим слоем. Принцип его действия основан на фотоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что под действием света возникает электрический ток. Сила электрического тока, проходящего по фотоэлементу, прямо пропорциональна его освещенности.

Селеновый фотоэлемент обладает кривой спектральной чувствительности, которая приближается к кривой чувствительности глаза [2]. Благодаря этому при помощи специальных цветных светофильтров удастся получить спектральную чувствительность селенового фотоэлемента, очень близкую к спектральной чувствительности глаза. Применение такого светофильтра снижает чувствительность фотоэлемента.

Так как селеновый фотоэлемент — не вполне устойчивый измерительный прибор и его показания подвержены колебаниям из-за изменения температуры, длительности освещения и т. д., то для получения более точных результатов надо измерять освещенность несколько раз и усреднять данные.

При измерении освещенности необходимо следить за тем, чтобы на приемную часть фотоэлемента не падали случайные тени от человека или оборудования. Положение гальванометра должно быть горизонтальным. Учитывая влияние напряжения питания на поток источников света, его следует каждый раз контролировать.

Промышленность выпускает люксметры типа Ю116 и Ю117. Снятый с производства люксметр типа Ю16 еще довольно широко распространен в практике.

Люксметры всех трех типов содержат селеновые фотоэлементы, вмонтированные в оправу с ручкой, и микроамперметр, шкала которого проградуирована в люксах.

Люксметр Ю116 имеет два основных диапазона измерений — от 5 до 30 и от 20 до 100 лк. Шесть дополнительных диапазонов получают

из основных за счет применения трех нейтральных светофильтров КМ, КР и КТ с коэффициентами ослабления потока соответственно 10, 100 и 1000.

Принципиальная электрическая схема люксметра приведена на рисунке 24.

Стрелочный прибор магнитоэлектрической системы М2027 смонтирован в одном корпусе с переключателем диапазонов измерений и с вилкой для подключения селенового фотоэлемента. Площадь светочувствительной поверхности фотоэлемента около 30 см<sup>2</sup>. Его подключают к измерительному прибору при помощи шнура длиной 1,5 м с розеткой.

Люксметр проградуирован по лампе накаливания в основных диапазонах без светофильтров и дает погрешность измерений  $\pm 10\%$ . При переходе на дополнительные диапазоны измерений погрешность возрастает не более чем на  $\pm 5\%$ . Время остановки стрелки показывающего прибора менее 4 с.

Для снижения косинусной погрешности измерений для фотоэлемента применяют специальную полусферическую насадку из белой светорассеивающей пластмассы. Насадку используют только с нейтральными светофильтрами.

Селеновый фотоэлемент необходимо оберегать от избыточной освещенности, не соответствующей выбранным насадкам. В противном случае прибор перегружается, возрастает погрешность измерений и сам фотоэлемент быстро стареет.

При проведении точных измерений надо учитывать, что приемная светочувствительная поверхность фотоэлемента и с насадками, и без насадок расположена на расстоянии 15 мм от основания его корпуса.

Люксметр Ю117 по конструктивному исполнению аналогичен люксметру Ю116, отличается только тем, что имеет один основной (от 2 до 10 лк) и три неосновных (0,1...0,2; 0,2...1; 0,5...3,9 лк) диапазона

измерения. Поэтому в корпус люксметра вмонтирован усилитель на одной микросхеме, а двухклавишный переключатель заменен на восьмиклавишный.

Погрешность измерения люксметра в основных диапазонах составляет  $\pm 10\%$  от значения измеряемой освещенности, кроме диапазона 0,1...0,2 лк, в котором погрешность  $\pm 30\%$ .

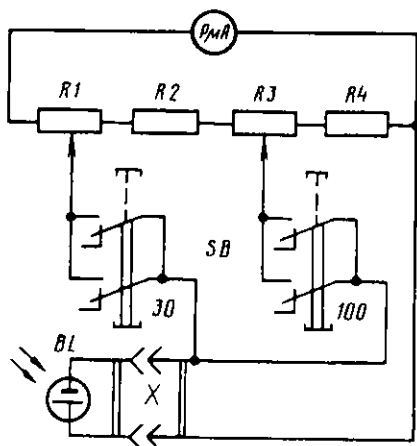


Рис. 24. Принципиальная электрическая схема люксметра Ю116

#### 4. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В практике сельскохозяйственного производства ультрафиолетовое излучение принято оценивать количественно по получаемому эффекту. Для этого приемник измерительного прибора должен иметь спектральную чувствительность, близкую к спектральной чувствительности объекта облучения или спектру действия ультрафиолетового излучения. За критерий его оценки принимают эритемное, витальное, антирахитное действия. Однако наиболее распространенным считается первое понятие. Имеющаяся справочная информация и выпускающиеся измерительные приборы основаны именно на понятии эритемного действия.

**Эрметр УМФ-71** предназначен для измерения средней сферической эритемной облученности от искусственных источников ультрафиолетового излучения.

**Эрметр УБФ** используют для измерения эритемной облученности отдельно в области А (315...380 нм) и в области В (280...315 нм).

**Бактметр УФБ-1А** служит для измерения бактерицидной облученности в диапазоне длин волн 240...275 нм.

Названные три прибора описаны в учебной литературе [2].

#### 5. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В измерительных приемниках инфракрасное излучение преобразуется в энергию других видов: тепловую, электрическую, механическую. Наиболее широкое применение для измерения инфракрасного излучения в облучательных установках находят термоэлектрические приемники, в которых инфракрасное излучение нагревает термопары, а на их выводах возникает термо-ЭДС, пропорциональная энергии излучения.

На основе этих приемников разработаны и выпускаются промышленностью пиранометры Ю. Д. Янишевского, Б. П. Козырева, специальный прибор ИКМ-71 для измерения инфракрасного излучения и др.

Для примера рассмотрим методику измерений и вычислений инфракрасной облученности пиранометром с подключенным к нему гальванометром ГСА-1.

Электрические инфракрасные источники излучают основную долю энергии на участке спектра 0,8...2 мкм. Поэтому измерение облученности пиранометром со светофильтром КС-19 в диапазоне длин волн 710...2500 нм дает погрешность менее 10 % [4].

Термобатарею со светофильтром помещают в точку измерения, выдерживают не менее 40 с и снимают показания гальванометра в делениях  $n_d$ . По паспортным данным гальванометра находят цену деления

$i_d$ , А/дел, внутреннее сопротивление прибора  $r_{пр}$ , Ом. Из паспортных параметров пиранометра берут его чувствительность  $E_{чв}$ , В/Вт, приемную площадь  $s_{тб}$ , м<sup>2</sup>, и сопротивление  $r_{тб}$ , Ом, термобатареи.

Очевидно, что при отклонении стрелки гальванометра на  $n_d$  делений через него протекает ток  $i = i_d n_d$ , А. Это означает, что пиранометр развивает термо-ЭДС:  $e_{пир} = e_{тб} \equiv i(r_{тб} + r_{пр})$ , В. Термо-ЭДС, отнесенную к единице приемной площади, В/м<sup>2</sup>, термобатареи, определяют из выражения

$$e = e_{тб}/s_{тб} = i(r_{тб} + r_{пр})/s_{тб}.$$

Теперь облученность, Вт/м<sup>2</sup>, будет

$$E_{ИК} = e/E_{чв}.$$

Если в предыдущее выражение подставить паспортные значения, то получим

$$E_{ИК} = \frac{i_d n_d (r_{тб} + r_{пр})}{s_{тб} E_{чв}} = \frac{i_d (r_{тб} + r_{пр})}{s_{тб} E_{чв}} n_d = E_d n_d.$$

Здесь дробь является постоянным числом, значение которого зависит от паспортных параметров термобатареи и гальванометра, и представляет собой цену деления гальванометра, Вт/м<sup>2</sup>.

Для расширения пределов измерений в цепь термобатареи включают добавочные сопротивления, внутреннее добавочное сопротивление гальванометра или какое-то внешнее сопротивление. В этом случае в приведенных выражениях значение добавочного сопротивления прибавляется к сумме сопротивлений термобатареи и прибора, а выражение облученности принимает вид

$$E_{ИК} = \frac{i_d (r_{тб} + r_{пр} + r_{доб})}{s_{тб} E_{чв}}.$$

## 6. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ФИТОВЕЛИЧИН ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Органические вещества образуются из неорганических только при поглощении растениями энергии оптического излучения. Энергетическое воздействие оптического излучения оценивают либо по потоку фотосинтетически активного, потенциально доступного растению излучения, либо конкретно по его способности обеспечить процесс фотосинтеза.

В первом случае для измерений используют систему энергетических величин и приборы с неселективными приемниками теплового действия; во втором — систему фитовеличин и специальные приборы, спектральная чувствительность которых близка к спектральной чувствительности "среднего" листа растений [2].



**Пиранометр Янишевского** в сочетании со светофильтрами ЖС-11 и КС-19 позволяет измерять облученность в энергетических единицах ( $\text{Вт/м}^2$ ) в трех диапазонах оптического излучения: 300...2750, 400...2750 и 710...2750 нм. Это значит, что пиранометром можно измерять общую облученность во всем диапазоне в ультрафиолетовом диапазоне 300...400 нм (разность показаний прибора без светофильтров и со светофильтром ЖС-11), в инфракрасном (со светофильтром КС-19) и фитооблученность (разность измерений со светофильтрами ЖС-11 и КС-19).

**Фитофотометры ФИТОМ-70 и ФФМ-71** предназначены для измерения фитооблученности в единицах системы фитовеличин ( $\text{фит/м}^2$ ) от любого источника оптического излучения [2].

**Радиометр РОИ-82** применяют для измерения энергетической освещенности в диапазоне от 0,01 до 500  $\text{Вт/м}^2$ , создаваемой искусственными источниками излучения. Спектральный диапазон измерений: 220...270 нм, 280...320, 320...400, 280...400, 380...710 нм. Относительная погрешность измерения меньше 15 %.

**Автоматический дозиметр ДАУ-81** используют для измерения энергетической освещенности в диапазоне 0,1...500  $\text{Вт/м}^2$  и дозы облучения от 10 до  $1,5 \cdot 10^7$   $\text{Дж/м}^2$  в точно таких же спектральных диапазонах, что и прибор РОИ-82. Дозиметр может контролировать процесс облучения и отключать источник оптического излучения при получении объектом заданной дозы.

**Полосовой спектро радиометр СРП-86** обеспечивает измерение облученности в диапазоне от 0,01 до 2000  $\text{Вт/м}^2$ , создаваемой различными источниками оптического излучения в спектральных поддиапазонах 220...280 нм, 280...320, 320...400, 400...720, 720...2700, 1700...3300, 3300...6300, 6000...10 000, 1100...10 000 нм. Погрешность измерения меньше 10 %.

## **7. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

При выполнении лабораторных работ точность измерений определяет качество и достоверность получаемых результатов и возможность на их основе сделать правильные выводы. Поэтому измерения следует проводить как можно внимательнее и точнее. Однако точность при этом должна соответствовать точности измерительных приборов. Например, если прибор позволяет измерить величину с известной погрешностью (по классу прибора) до десятых долей, то нет смысла проводить измерения до сотых долей.

Следовательно, перед началом любых измерений необходимо определить исходя из погрешности используемых приборов разумную достижимую точность этих измерений и только затем выполнять саму работу.

В тех случаях, когда на результаты измерений могут оказать влияние какие-либо случайные факторы (например, при измерении освещен-

ности и облученности влияние излучений посторонних источников, колебания напряжения в сети и т. д.), то измерения следует проводить не менее чем в трехкратной повторности.

Полученные при измерениях данные необходимо внимательно просмотреть, проанализировать ход исследуемых зависимостей. При резких отличиях отдельных результатов измерений их надо отбросить как грубые ошибки, возникшие из-за нарушения основных условий измерения, или ошибки экспериментатора (например, проведение отсчета не по нужной шкале прибора), или недосмотра экспериментатора (например, при плохом освещении вместо "5" записано "6"). Сами же измерения необходимо повторить, если это возможно.

Определяемые на основе измерений результаты ограничивают числом значащих цифр, соответствующим относительной погрешности, несмотря на большие возможности вычислительной техники. При этом числа округляют по существующим правилам.

В тех случаях, когда значения от измерения к измерению не повторяются, величину измеряют несколько раз.

Для величин, измеренных с повторностью  $n$ , необходимо определить как наиболее достоверное среднеарифметическое значение измерений

$$x = x_{\text{ср}} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)/n.$$

Это значение надо охарактеризовать погрешностью, допущенной при измерениях. Прежде всего находят абсолютную ошибку, представляющую алгебраическую разность между данными конкретного измерения и среднеарифметическим значением измеряемой величины,

$$\Delta x_i = x_i - x_{\text{ср}}.$$

Такая ошибка характеризует только точность отдельного измерения. Для оценки точности измерений одной и той же величины при повторных измерениях, т. е. точности среднеарифметического значения, определяют среднюю абсолютную ошибку

$$\Delta x_{\text{ср}} = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i|.$$

Поскольку размерности средней абсолютной ошибки и среднеарифметического значения одинаковы, то окончательный результат измерения величины  $x$  с учетом ошибок записывают в виде

$$x = x_{\text{ср}} \pm \Delta x_{\text{ср}}.$$

Иногда точность измерений характеризуют средней относительной ошибкой

$$\delta x_{\text{ср}} = \Delta x_{\text{ср}} 100/x_{\text{ср}}.$$

Все результаты измерений и вычислений величин представляют самыми наглядными формами — таблицами и графиками.

Таблицы имеют такие достоинства, как простота, возможность сравнения различных значений, сохранение всех результатов измерений. При выполнении лабораторных работ в таблицу следует включать одну независимую и группу зависимых величин, как это и сделано в методических указаниях по работам. Для каждой величины должен быть выделен отдельный столбец с названием, символом и единицей измерения. При заполнении таблиц числовые значения должны быть расположены так, чтобы запятые, отделяющие десятичные знаки от целой части чисел, располагались в столбце на одной вертикали. На месте отсутствующего числа в таблице ставят прочерк.

По табличным данным легко перейти к их графической форме представления, достоинства которой — наглядность, легкость сравнения величин, фиксации внимания читателя, простота нахождения необходимых сведений и др.

Графики должны быть построены на миллиметровой бумаге. По оси абсцисс принято откладывать независимую переменную. Масштабы по осям должны быть такими, чтобы кривые занимали все поле графика. При этом шкалы осей могут начинаться и не с нуля. Кривые должны быть хорошо отличимы одна от другой на всех участках.

В тех случаях, когда зависимость может быть получена расчетным путем, следует построить одновременно расчетные и опытные графики изменения параметра и сравнить их между собой.

### **Работа 1. Исследование электрических и световых характеристик ламп накаливания**

**Цель работы.** Изучить устройство и исследовать электрические и световые характеристики ламп накаливания.

**Программа работы.** 1. Изучить конструкцию лампы накаливания.

2. Экспериментальным путем снять и построить зависимости тока, мощности, освещенности и температуры тела накала лампы от напряжения питания.

3. Рассчитать и построить зависимости сопротивления, температуры тела накала, светового потока, светоотдачи и срока службы лампы от напряжения.

4. Определить значения и построить кривые зависимостей светового и лучистого КПД, а также длины волны, при которой кривая Вина имеет максимум, от значений напряжения питания 0,5; 0,7; 0,85; 1; 1,1 номинального напряжения лампы.

5. Провести наблюдение переходного процесса включения лампы накаливания в сеть.

6. Выяснить зависимости световой отдачи ламп от номинальных значений мощности и напряжения сети.

7. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** Изучить устройство ламп накаливания [2, 9, 10] и составить эскиз конструкций с описанием исследуемых ламп, записать их паспортные параметры.

По рисунку 25 собрать схему для снятия характеристик ламп накаливания.

Изменяя напряжение на зажимах лампы при помощи автотрансформатора, по показаниям приборов снять зависимости тока, мощности, освещенности и температуры нити от напряжения. Интервалы изменения напряжения 20 В. Диапазон изменения напряжения от 0 до 240 В. Во время измерения освещенности следует брать разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе. Температуру нити накала можно измерить или прибором ТЭРА-50, представляющим собой оптическую систему, в фокусе которой расположена батарея термоэлементов, или оптическим пирометром с исчезающей нитью, состоящим из оптической системы, источника питания, лампы сравнения и амперметра. Во втором случае диапазон измерения температуры будет уже диапазона ее изменения в опытах. Но для сравнения с расчетными значениями этого достаточно. При отсутствии приборов для измерения температуры можно ограничиться только расчетной зависимостью от напряжения.

Результаты измерений занести в таблицу 7.

По полученным результатам вычислить следующие значения: сопротивление, Ом, лампы при работе

$$r_{EL} = U_{EL}/I_{EL}; \quad (76)$$

световой поток (приблизенно), лм,

$$F_{EL} \cong 3,4\pi l^2 E, \quad (77)$$

где  $l$  — расстояние от тела накала до фотозлемента, м;

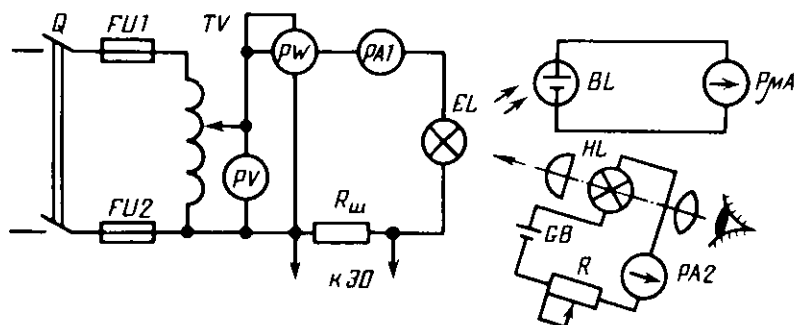


Рис. 25. Схема для снятия характеристик ламп накаливания:

$Q$  — рубильник;  $FU1, FU2$  — предохранители;  $TV$  — автотрансформатор;  $PV$  — вольтметр;  $PW$  — ваттметр;  $PA1$  — амперметр;  $EL$  — лампа накаливания;  $R_{ш}$  — токовый шунт;  $BL, PMA$  — люксметры;  $HL, PA2, R, GB$  — оптические пирометры

Таблица 7

Замерено								Вычислено							
$U_{EL}$		$I_{EL}$		$P_{EL}$		$E$	$T$	$r_{EL}$		$T$		$F_{EL}$		$\eta_v$	
В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.	лк	К	Ом	о.е.	К	о.е.	лм	о.е.	лм/Вт	о.е.
20															
220	1		1		1				1		1		1		1
240															

световую отдачу, лм/Вт,

$$\eta_v = E_{EL}/P_{EL}; \quad (78)$$

температуру, К, тела накала

$$T = \frac{r_{EL}}{\alpha_1 r_0} r_0 + 273, \quad (79)$$

где  $r_0$  - сопротивление нити при  $0^\circ\text{C}$ , которое можно определить, подставив в формулу (79) значения температуры окружающей среды и сопротивления нити накала при этой температуре;  $\alpha_1$  - температурный коэффициент сопротивления (для вольфрама  $\alpha_1 = 0,0052 \text{ град}^{-1}$ ).

Сопротивление нити накала при температуре окружающей среды, т. е. до включения лампы в сеть, необходимо измерить любым прибором с погрешностью не более 5 %. Результаты расчетов занести в таблицу 7.

Световой КПД лампы при номинальном напряжении находят по формуле

$$\eta = F_{EL}/(683\eta_c P_{EL}) = F_{EL}/(683 \cdot 0,9 P_{EL}), \quad (80)$$

где  $\eta_c$  - коэффициент преобразования мощности лампы в лучистый поток, т. е. лучистый КПД. Для лампы накаливания общего назначения при  $U = U_n$  коэффициент  $\eta_c = 0,9$ .

При любом напряжении на лампе коэффициент преобразования мощности лампы в лучистый поток определяют из выражения

$$\eta_c = \epsilon_T \sigma (T/100)^4 (s_{T,n}/P_{EL}), \quad (81)$$

где  $\epsilon_T$  - интегральный коэффициент излучения (табл. 8);  $\sigma$  - постоянная Больцмана, равная  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-4}$ ;  $s_{T,n}$  - площадь поверхности тела накала (например, для лампы типа Г22-200  $s_{T,n} = 1,06 \text{ см}^2$ ).

Исходя из номинального режима, для любой лампы можно определить  $s_{T,n}$ . При любом напряжении по измеренной мощности лампы и рас-

Таблица 8

Параметры	Значения параметров					
$T, K$	1000	1200	1400	1600	1800	2000
$\epsilon_T$	0,1	0,14	0,176	0,21	0,24	0,264

Продолжение

Параметры	Значения параметров						
$T, K$	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400
$\epsilon_T$	0,285	0,304	0,32	0,334	0,347	0,356	0,368

считанной температуре тела накала, найдя из таблицы 8 значение  $\epsilon_T$ , можно вычислить лучистый  $\eta_e$ , а затем световой  $\eta$  КПД. Результаты расчетов по формулам (80) и (81) записать в таблицу 9.

Таблица 9

Параметры	Значения параметров					
$U_{EL}/U_H, \text{ о.е.}$	0,5	0,7	0,85	1,0	1,1	
$T, K$						
$\eta_e, \text{ о.е.}$						
$\eta, \text{ о.е.}$						
$\lambda_{\max}, \text{ нм}$						

Длину волны, мкм, соответствующую максимуму кривой спектральной интенсивности потока излучения, можно определить по уравнению Вина

$$\lambda_{\max} = 2896/T. \quad (82)$$

Результаты расчета свести в таблицу 9.

Срок службы лампы в зависимости от напряжения в диапазоне (0,9...1,2)  $U_H$  можно рассчитать по формуле

$$t_{\text{сл}} = t_{\text{сл.н}} (U/U_H)^{-13,8},$$

где  $t_{\text{сл.н}}$  — срок службы лампы при  $U_{EL} = U_H$ .

Результаты расчета свести в таблицу 10.

Таблица 10

Параметры	Значения параметров						
$U_{EL}/U_H$	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2
$t_{\text{сл}}/t_{\text{сл.н}}$							

Для удобства проведения анализа результатов работы измеренные и вычисленные величины необходимо представить в относительных единицах, т. е. в долях их номинальных значений при  $U_{EL} = U_n$ . Результаты расчета относительных значений занести в таблицу 7. По данным таблиц 7 и 10 на миллиметровой бумаге в относительных единицах построить зависимости тока, мощности, температуры нити накала, сопротивления, светового потока, светоотдачи и срока службы от напряжения на лампе  $U_{EL}$ . По данным таблицы 9 построить зависимости  $\eta_c$ ,  $\eta = f(U_{EL}/U_n)$ ,  $\lambda_{max} = f(T)$  и  $\lambda_{max} = f(U_{EL}/U_n)$ . Проанализировать полученные результаты и сделать краткие выводы.

Для наблюдения переходного процесса включения лампы накаливания в сеть необходимо воспользоваться любым электронным импульсным осциллографом с запоминающей трубкой, например типа С8-7А.

К вертикальному входу осциллографа ЭО подключить проводники шунтирующего резистора  $R_{ш}$  (см. рис. 25). Осциллограф переключить на работу в ждущем режиме. Требуемые коэффициент усиления вертикального входа и длительность развертки можно установить, включая лампу несколько раз. Сразу после каждого включения лампы следует отключать, чтобы ее элементы нагревались как можно меньше. На экране настроенного осциллографа должно размещаться изображение кривой тока включения лампы, аналогичное приведенному на рисунке 26. Затем лампу отключают до полного остывания и после этого включают на номинальное напряжение сети. Осциллограмму тока с экрана перерисовывают на полупрозрачную бумагу и помещают в отчете. Масштаб изображения по времени определяют по положению переключателя длительности развертки осциллографа, масштаб тока – по его изображению и показанию амперметра в установившемся режиме. Затем по осциллограмме находят кратность пускового тока лампы  $k_i = I_n/I_{уст}$  и продолжительность  $t_n$  переходного процесса включения лампы.

По изложенной методике включить поочередно в сеть несколько разных по мощности ламп. Для каждой из них определить  $k_i$  и  $t_n$ , сравнить эти значения и сделать выводы.

Из приложения 5 для ламп шкалы мощностей от 15 до 1000 Вт на одинаковое номинальное напряжение рассчитать световые отдачи. Результаты занести в таблицу 11.

Таблица 11

№ п/п	Тип лампы	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт

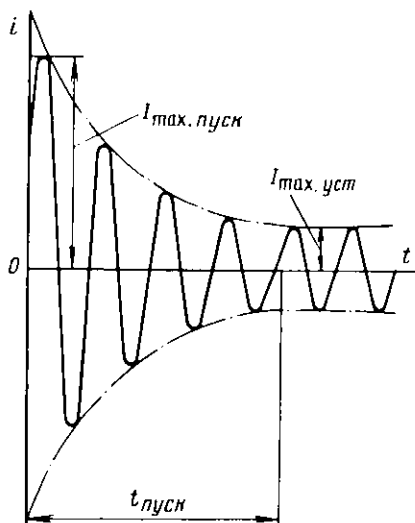


Рис. 26. Осциллограмма тока при включении лампы накаливания

По данным приложения 5 для ламп, одинаковых по типу и мощности, но разных по номинальному напряжению, например от 130 до 240 В, рассчитать световые отдачи. Результаты занести в таблицу 11.

Для получения более надежных выводов в эту таблицу следует добавить лампы той же мощности, но на напряжение, например, 36 и 12 В, взяв их параметры из справочной литературы [9, 10].

По таблице 11 построить зависимости световой отдачи от номинальной мощности ламп и от номинального напряжения, проанализировать их и сделать выводы.

**Теоретические пояснения к результатам работы.** С ростом напряжения на зажимах лампы накаливания значение тока в цепи растет, но не прямо пропорционально напряжению, а несколько медленнее, так как с увеличением тока по закону Джоуля–Ленца повышается выделение теплоты и, следовательно, температура нити накала, а это увеличивает сопротивление нити и уменьшает силу тока.

Мощность лампы как произведение квадрата тока и сопротивления нити растет при увеличении напряжения питания, так как и ток, и сопротивление при этом повышаются.

С ростом температуры нити в соответствии с законом Стефана–Больцмана плотность излучения увеличивается пропорционально абсолютной температуре в четвертой степени и согласно закону Вина максимум излучения нити смещается в сторону более коротких длин волн, т. е. в сторону видимого излучения, а это значит, что световой поток лампы растет с увеличением напряжения. Совершенно очевидно, что световой поток растет быстрее, так как лучистый поток пропорционален температуре в четвертой степени. По той же причине увеличение светового потока происходит быстрее повышения мощности лампы. А это значит, что световая отдача лампы будет расти при увеличении напряжения. Срок службы лампы с повышением напряжения снижается из-за увеличения скорости испарения частиц вольфрама.

Точные зависимости основных параметров лампы от напряжения определяют экспериментально. В диапазоне изменения напряжения от



0,9 до  $1,1U_H$  эти зависимости описываются аналитическими выражениями (40).

При включении в электрическую сеть лампа накаливания светится. Это можно объяснить следующим образом. До включения лампы под напряжение все ее элементы, и нить накаливания в том числе, находятся при температуре окружающей среды, например  $20^\circ\text{C}$ . При такой температуре нить излучает в окружающее пространство энергию в оптическом диапазоне (по закону Стефана–Больцмана), но это излучение приходится на инфракрасные лучи, которые глаз человека не видит.

После включения лампы под напряжение протекающий по цепи ток в соответствии с законом Джоуля–Ленца нагревает нить и все токоведущие части. Самое большое сопротивление в цепи имеет нить, и поэтому она нагревается значительно сильнее, чем, например, подводящие провода. Температура нити повышается до  $2880\ldots 2950\text{ K}$ , т. е. возрастает примерно в 10 раз. Согласно закону Стефана–Больцмана плотность излучения нити при этом возрастает в  $10^4$  раз.

Кроме того, в соответствии с законом Вина максимум излучения нити смещается в сторону более коротких длин волн, т. е. по инфракрасной области ближе к видимым лучам, а само излучение уже захватывает видимую область спектра (рис. 27).

Нить излучает теперь вместе с ИК-лучами и видимые. Подводящие же провода при этом не светятся, так как их температура повышается всего на несколько, иногда на десятки, градусов.

Наличие переходного процесса при включении лампы накаливания в сеть объясняется следующими причинами.

Перед включением лампы на напряжение сети температура нити накала равна температуре окружающего воздуха  $20^\circ\text{C}$ .

Сопротивление нити определяют из выражения

$$r_t = r_0 (1 + \alpha_1 t).$$

В момент включения лампы по цепи потечет ток

$$I_{\text{п}} = U_H / r_t = U_H / r_{\text{хол}}.$$

Протекающий по лампе ток нагревает нить до  $T \cong 3000\text{ K}$ . Ее сопротивление возрастает пропорционально температуре до значения

$$r_{\text{гор}} = r_0 (1 + \alpha_1 t_{\text{гор}})$$

и ток теперь уменьшается до

$$I_{\text{уст}} = I_{\text{гор}} = U_H / r_{\text{гор}}.$$

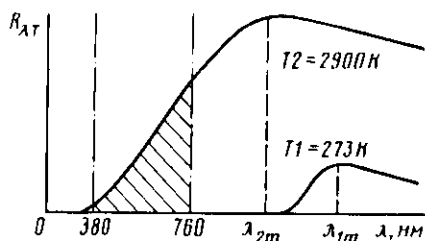


Рис. 27. Спектральная плотность излучения тела при различных температурах

Сопротивление нагретой нити накала примерно на порядок выше сопротивления холодной нити, и, следовательно, ток включения лампы на столько же больше номинального тока. Этим и объясняется наличие переходного процесса включения в сеть активного сопротивления лампы накаливания. Продолжительность переходного процесса составляет несколько десятых долей секунды в зависимости от мощности лампы и напряжения питания. Изменение тока включения лампы во времени схематично показано на рисунке 26.

### *Контрольные вопросы и задания*

1. Поясните устройство лампы накаливания. 2. Почему к концу срока службы лампы накаливания ее световой поток снижается? 3. Каким образом можно уменьшить распыление нити накала? 4. Почему вольт-амперная характеристика нити накала нелинейна? 5. Дайте физическое объяснение зависимостей, полученных при выполнении работы. 6. Почему лампы накаливания с биспиралью имеют более высокую световую отдачу? 7. Дайте сравнительный анализ различных газовых наполнителей ламп. 8. Почему с увеличением напряжения питания срок службы ламп сокращается? 9. Как определить пусковой ток ламп? 10. Почему отсутствует стробоскопический эффект при питании ламп накаливания переменным током? 11. Сформулируйте законы теплового излучения. 12. Что называется освещенностью? 13. Что называется силой света? 14. Почему при включении лампы накаливания на напряжение она излучает световой поток? 15. Почему световая отдача ламп накаливания зависит от номинальных мощности и напряжения?

## **Работа 2. Исследование характеристик источников инфракрасного излучения**

**Цель работы.** Исследовать электрические и оптические характеристики наиболее часто применяемых источников ИК-лучей.

**Программа работы.** 1. Изучить устройство и принцип действия источников ИК-лучей: лампы накаливания типа Г215-225-300; лампы типа ИКЗК220-250; лампы накаливания с галогенным циклом типа КГТ220-1000.

2. Определить номинальные температуры тела накала всех трех ламп и сравнить их.

3. Определить плотности излучения указанных источников, построить зависимости от напряжения в сети и сравнить их.

4. Для всех трех источников экспериментально снять необходимые данные, рассчитать и построить зависимости лучистого, светового и инфракрасного потоков от напряжения питания.

5. Построить зависимости КПД излучения источников для светового, инфракрасного потоков от напряжения питания и температуры тел накала.

6. Рассчитать и построить зависимости эффективных отдач всех источников по световому и инфракрасному потокам от напряжения питания.

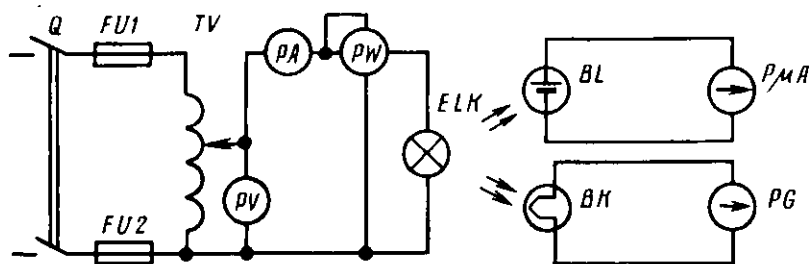


Рис. 28. Электрическая схема для исследования источников инфракрасного излучения:

*ELK* – лампа накаливания как источник ИК-лучей; *BK* – термобатарея; *PG* – гальванометр

7. Провести сравнительный анализ зависимостей КПД и эффективных отдач ламп от напряжения сети, сделать краткие выводы об их достоинствах и недостатках как источников света и как источников ИК-лучей.

8. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** Конструкции и принцип действия исследуемых ламп накаливания можно изучить по литературе [1, 2, 10] и настоящему пособию (работа 1, приложения 5, 7 и 8).

Работу начинают с измерения сопротивлений тел накала источников при температуре окружающей среды любым прибором класса точности не ниже 2,5. Температуру окружающей среды измеряют обычным термометром.

По рисунку 28 собирают схему для снятия характеристик источников излучения.

Изменяя напряжение на зажимах лампы (опыт проводят поочередно с каждой лампой) при помощи автотрансформатора, по показаниям приборов снять зависимости тока, мощности, освещенности и облученности ИК-потокотом от напряжения. Интервалы изменения напряжения 10...20 В. Диапазон изменения напряжения от 150 до 250 В (семь или восемь точек).

Освещенность следует измерять люксметром по методике, изложенной выше, инфракрасную облученность – пиранометрами Козырева и Янишевского или другими приборами. Светофильтр КС-19 имеет коэффициент пропускания в инфракрасной области  $\tau \cong 0,95$ , поэтому все результаты измерений необходимо разделить на это значение.

При измерениях освещенности и облученности следует брать разность показаний люксметра и гальванометра ГСА-1 при включенной и выключенной лампе. Фотоэлемент люксметра и термобатарею пиранометра надо помещать в одну и ту же точку под источником. Результаты измерений для лампы накаливания типа Г220-300 заносят в таблицу 12.

Результаты опытов														
$U_{EL}$		$I_{EL}$		$P_{EL}$		$E$		$E_{ИК}$			$r_{EL}$		$T$	
В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.	лк	о.е.	дел	Вт/м <sup>2</sup>	о.е.	Ом	о.е.	К	о.е.

154  
170  
190  
210  
220  
230  
240

Примечание. Для исследуемой лампы каждого типа должна быть запол

Соппротивление нити накала вычисляют по формуле (76), температуру нити — по выражению (79).

Плотность излучения источников, Вт/м<sup>2</sup>, находят по формуле закона Стефана—Больцмана для реальных тел:  $R_T = \epsilon_T \sigma T^4$ .

Значения интегрального коэффициента излучения  $\epsilon_T$  вольфрама берут из таблицы 8.

По плотности излучения и площади излучающей поверхности тела накала вычисляют лучистый поток, Вт, источника

$$\Phi_e = R_T s_{T.H.} \quad (83)$$

Для исследуемых источников эффективные площади, см<sup>2</sup>, излучающих поверхностей тел накала следующие: Г220-300 —  $s_{эф} = 1,75$ ; ИКЗК220-250 —  $s_{эф} = 3,45$ ; КГТ220-1000 —  $s_{эф} = 9,5$ .

Для определения светового и инфракрасного потоков источников излучения необходимо экспериментально снять продольные кривые распределения потоков в пространстве при номинальном напряжении питания.

Для получения требуемых зависимостей достаточно найти номинальный световой поток  $\Phi_{вн}$  исследуемой лампы и измерить в одной и той же точке под лампой освещенность  $E_n$  и инфракрасную облученность  $E_{ИК.н}$  при номинальном напряжении.

Номинальный инфракрасный поток рассчитывают по соотношению

$$\Phi_{ИК.н} = \Phi_{вн} e_{ИК.н} / E_n \quad (84)$$

При значениях напряжений, отличных от номинального, потоки (лм, Вт) определяют, умножая номинальные потоки на относительное значение освещенности или облученности при расчетном напряжении:

$$\Phi_v = E \Phi_{вн} / E_n; \quad \Phi_{ИК} = E_{ИК} \Phi_{ИК.н} / E_{ИК.н} \quad (85)$$

Расчетные значения													
$R_T$		$\Phi_e$		$\Phi_v$		$\Phi_{ИК}$		$\eta$	$\eta_{ИК}$	$\eta_v$		$H_{ИК}$	
Вт/м <sup>2</sup>	о.е.	Вт	о.е.	лм	о.е.	Вт	о.е.	%	%	лм/Вт	о.е.	Вт/Вт	о.е.

нена отдельная аналогичная таблица.

Такая методика основана на допущении, что изменение напряжения влияет на плотность излучения и его спектральный состав, характер же распределения потоков в пространстве остается прежним.

Методика расчета потоков лампы КГТ несколько иная. Она аналогична методике определения светового потока светящей линии, изложенной в работе по исследованию люминесцентных ламп.

КПД, %, излучения источников для любого потока представляет собой отношение соответствующего потока к лучистому

$$\eta = 100\Phi_v / (683\Phi_e); \eta_{ИК} = 100\Phi_{ИК} / \Phi_e.$$

Эффективные отдачи источников по световому, лм/Вт, и инфракрасному, Вт/Вт, потокам вычисляют как отношение соответствующего потока к электрической мощности источника:

$$\eta_v = \Phi_v / P_{EL}; H_{ИК} = \Phi_{ИК} / P_{EL}.$$

При расчете относительных величин исследуемых характеристик за базовые необходимо брать их номинальные значения.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Как устроены лампы типа ИКЗ, ИКЭС и ИКЗК? 2. Перечислите отличия инфракрасных зеркальных ламп от ламп накаливания общего назначения. 3. Поясните устройство и принцип действия лампы накаливания с галогенным циклом. 4. Назовите достоинства и недостатки ламп накаливания с галогенным циклом. 5. Как и почему изменяются световой поток, световая отдача и световой КПД ламп накаливания при увеличении напряжения питания? 6. Как и почему изменяются инфракрасный поток, инфракрасный КПД ламп накаливания при повышении напряжения питания? 7. Что называется световой отдачей и световым КПД источника оптического излучения? 8. Что можно назвать инфракрасной отдачей и инфракрасным КПД лампы накаливания?.

### Работа 3. Исследование электрических и световых характеристик люминесцентных ламп

**Цель работы.** Изучить конструкцию, схемы включения и принцип действия люминесцентных ламп. Исследовать их электрические и световые характеристики.

**Программа работы.** 1. Изучить конструкцию лампы, устройство и назначение пускорегулирующей аппаратуры, а также электрическую схему и ее работу при включении. Начертить осциллограмму тока включения люминесцентных ламп на номинальное напряжение сети.

2. Опытным путем снять данные для построения вольт-амперных характеристик (ВАХ) лампы и балластного сопротивления.

3. Снять зависимости тока, мощности, напряжения на лампе и создаваемой ею освещенности на вспомогательной плоскости от напряжения питания.

4. Определить поток, светотдачу, коэффициент искажения и зависимость их от напряжения сети.

5. Для номинального режима работы лампы ( $U_n = 220$  В) рассчитать емкость конденсатора, необходимого для повышения коэффициента мощности схемы до значения, близкого к единице ( $\cos \varphi = 0,9 \dots 0,95$ ), включить емкость в схему и снять данные для проверки результатов.

6. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** Для изучения конструкции лампы и пускорегулирующей аппаратуры можно воспользоваться материалом [1, 2, 9, 10].

Основные зависимости для люминесцентной лампы снимают на опытной установке, схема которой приведена на рисунке 29.

Для построения схематической токовой осциллограммы включения лампы необходимо измерить ток стартера при тлеющем разряде в нем, ток разогрева электродов лампы, ее номинальный рабочий ток. Измерения проводят следующим образом.

Включают рубильник, при помощи автотрансформатора устанавливают напряжение 220 В на зажимах схемы. Лампа при этом будет гореть, а амперметр показывать ее номинальный ток. Не изменяя напряжения, отключают рубильник и дают лампе остыть в течение нескольких минут. Затем проводником закорачивают стартер и включают рубильник. Амперметр показывает значение тока разогрева электродов. Ток тлеющего разряда стартера имеет значение порядка 10 мА. Измерить его в лабораторных условиях трудно, изобразить в масштабе с другими токами сложно. Поэтому при построении осциллограммы можно принять его равным, например,  $0,1 I_n$ .

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) лампы и балласта снимают

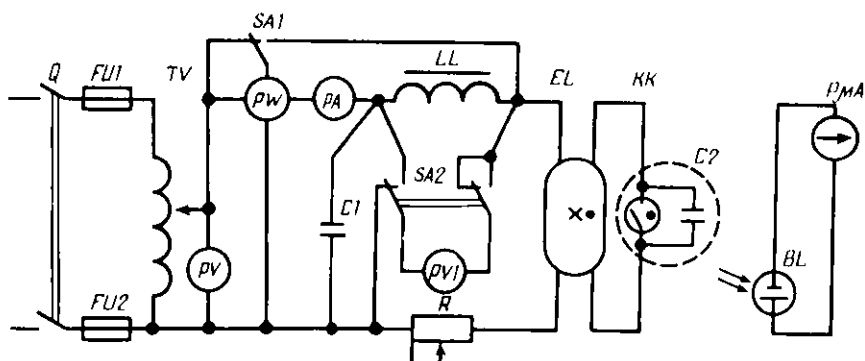


Рис. 29. Электрическая схема для исследования люминесцентной лампы:

$LL$  – индуктивное балластное сопротивление (дрессель);  $KK$  – стартер (зажигатель) с конденсатором  $C2$ ;  $C1$  – конденсатор, повышающий коэффициент мощности схемы;  $SA1, SA2$  – ключи;  $R$  – активное сопротивление

также по схеме (см. рис. 29) при изменении сопротивления  $R$  и поддержании автотрансформатором постоянного напряжения на зажимах схемы. При этом по амперметру устанавливают ток, а затем снимают показания вольтметров на зажимах элементов схемы. Ток лампы можно изменять в диапазоне от 0,2 А (для лампы любого типа) до  $(1,3...1,5)I_n$ . Результаты измерений записывают в таблицу 13.

Таблица 13

$U_{\text{сети}}, \text{В}$	$I_{EL}, \text{А}$	$U_{EL}, \text{В}$	$U_{LL}, \text{В}$	$Z_{EL}, \text{Ом}$	$Z_{LL}, \text{Ом}$	$Z_{\text{сх}}, \text{Ом}$

По данным таблицы 13 строят ВАХ люминесцентной лампы и балластного сопротивления – дресселя.

Зависимости тока, мощностей лампы и схемы, напряжения на лампе и освещенности от напряжения питания схемы получают, изменяя это напряжение при помощи автотрансформатора. Интервал замеров 10 В. Измерения удобно начинать с максимального значения напряжения, равного 250 В. Освещенность от лампы в точке на вспомогательной плоскости определяют как разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе. Результаты замеров заносят в таблицу 14.

Таблица 14

Номер измерения	Опытные данные											
	$U$ (питания)		$I_{EL}$		$U_{EL}$		$P_{сх}$		$P_{EL}$		$E$	
	В	о.е.	А	о.е.	В	о.е.	Вт	о.е.	Вт	о.е.	лк	о.е.

Продолжение

Номер измерения	Расчетные данные							
	$F_{EL}$		$\eta_{EL}$		$\eta_{сх}$		$\cos\varphi$	$k_{иск}$
	лм	о.е.	лм/Вт	о.е.	лм/Вт	о.е.	о.е.	о.е.

Для каждого значения напряжения по полученным данным вычисляют следующие величины:

световой поток по формуле для определения освещенности от светящей линии (рис. 30)

$$F_v = 2\pi^2 l h E_A / [(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}) \cos^2 \gamma], \quad (86)$$

где для упрощения расчетов точку  $A$  следует брать так, чтобы угол  $\gamma = 0$ ;

светоотдачу лампы по формуле

$$\eta_{EL} = F_{EL} / P_{EL};$$

светоотдачу всей схемы

$$\eta_{сх} = F_{EL} / P_{сх};$$

коэффициент мощности схемы

$$\cos\varphi = P_{сх} / (U_{сх} I_{EL}); \quad (87)$$

коэффициент искажения

$$k_{иск} = P_{EL} / (U_{EL} I_{EL}).$$

Замеренные и вычисленные величины для удобства можно представить в относительных единицах, т. е. в долях от номинальных значений при  $U = U_n = 220$  В. Результаты заносят также в таблицу 14.

По данным этой таблицы на миллиметровой бумаге в относительных единицах строят графики тока лампы  $I_{EL}$ , мощности лампы  $P_{EL}$ , мощности схемы  $P_{сх}$ , светового потока, светоотдачу лампы  $\eta_{EL}$  и схемы



$\eta_{сх}$ , коэффициента мощности  $\cos\varphi$ , коэффициента искажения  $k_{иск}$  в зависимости от напряжения на зажимах схемы.

Схема люминесцентной лампы имеет  $\cos\varphi = 0,6...0,5$ . Для повышения коэффициента мощности до  $0,90...0,95$  параллельно с лампой и дросселем включают конденсатор (как показано включение конденсатора  $CI$  на рисунке 29). При полной компенсации индуктивности схемы емкость этого конденсатора рассчитывают по формуле

$$C = 1/\omega X_C = 1/(\omega Z_{сх} \sin\varphi).$$

При определении емкости конденсаторов, предназначенных для повышения коэффициента мощности установки от  $\cos\varphi_1$  до  $\cos\varphi_2$ , используют формулу

$$C = P_{сх} (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) / (\omega U_C^2). \quad (88)$$

Результаты измерений и расчетов параметров схемы в двух вариантах (без компенсации, когда  $CI=0$ , и при включенной расчетной компенсирующей емкости) заносят в таблицу 15 и сравнивают между собой.

Таблица 15

$U_{сстг}$ , В	$I_{EL}$ , А	$P_{сх}$ , Вт	$P_{EL}$ , Вт	$U_{EL}$ , В	$E$ , лк	$CI$ , Ф	$\cos\varphi$ , о.е.
-------------------	-----------------	------------------	------------------	-----------------	-------------	-------------	-------------------------

220  
220

Теоретические пояснения к результатам работы. Колебания напряжения на зажимах люминесцентной лампы приводят к изменению электрических и световых характеристик. С ростом напряжения ток в цепи увеличивается. Напряжение на лампе падает в соответствии с ее ВАХ. Мощность лампы возрастает, так как напряжение на лампе снижается

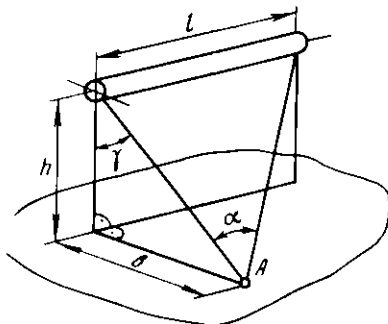


Рис. 30. Эскиз для определения освещенности точки от люминесцентной лампы

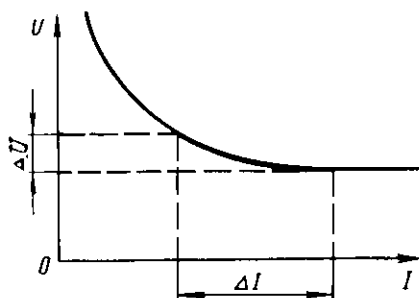


Рис. 31. Статическая вольт-амперная характеристика газоразрядной лампы

медленнее, чем повышается ток в рабочей части ВАХ, т. е. сопротивление лампы уменьшается значительно быстрее нарастания тока (рис. 31). Мощность равна произведению тока и напряжения. Если один из сомножителей увеличивается быстрее, чем уменьшается другой, то их произведение возрастает.

Следовательно, мощность лампы повышается с ростом напряжения на зажимах схемы.

Световой поток лампы с увеличением напряжения также возрастает, но медленнее, чем мощность. Это объясняется насыщением люминофорного покрытия. Все частицы люминофора участвуют в процессе преобразования ультрафиолетового излучения разрядного промежутка в видимые лучи уже при номинальном напряжении. Поэтому повышение мощности разряда увеличивает ультрафиолетовый поток, но видимый поток возрастает медленнее мощности.

Световая отдача лампы, исходя из зависимостей мощности и светового потока лампы от напряжения питания, будет уменьшаться с ростом напряжения.

Наибольший срок службы лампы будет при работе на номинальном напряжении. При напряжении, меньшем номинального, пуск ее в работу становится ненадежным. Для зажигания лампы требуется тем большее число срабатываний стартера, чем меньше напряжение в сети. Каждое срабатывание стартера вызывает импульсное воздействие тока на оксидное покрытие электродов лампы, разрушающее это покрытие и снижающее срок его службы. Следовательно, срок службы уменьшается при напряжении ниже номинального. При сверхноминальном напряжении ток лампы и его плотность на поверхности электродов возрастают, что приводит к быстрому разрушению оксидного покрытия. Поэтому при напряжении больше номинального срок службы люминесцентной лампы меньше.

### *Контрольные вопросы и задания*

1. Расскажите об устройстве люминесцентной лампы, элементов схемы включения и принципе ее действия. 2. Перечислите преимущества и недостатки люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания. 3. Когда экономически выгодно применять люминесцентное освещение? 4. В чем заключается способ увеличения коэффициента мощности установки с люминесцентными лампами? 5. Что такое коэффициент искажения? 6. Каково давление газа в осветительных люминесцентных лампах в холодном состоянии и как оно меняется после включения их в работу? 7. Как изменяются основные световые характеристики люминесцентных ламп при изменении напряжения питания? 8. Поясните работу стартера с тлеющим разрядом. 9. Почему люминесцентные лампы работают только с балластным сопротивлением? 10. Назовите основную функцию балластного сопротивления в схеме люминесцентных ламп. 11. Перечислите функции индуктивного балластного сопротивления в схеме люминесцентных ламп. 12. Какие внешние условия необходимы для нормальной работы установки с люминесцентными лампами? 13. Возможна ли газоразрядная лампа, работающая без балластного сопротивления?

#### Работа 4. Исследование люминесцентной лампы с балластными сопротивлениями различных видов

**Цель работы.** Изучить условия пуска и работы люминесцентных ламп в схемах с различными балластами. Исследовать электрические и световые характеристики люминесцентных ламп при работе с различными балластными сопротивлениями.

**Программа работы.** 1. Ознакомиться с методами пуска и работы люминесцентной лампы в схемах с активным, индуктивным и емкостным балластными сопротивлениями.

2. Дать экспериментальную оценку работы лампы с различными балластами. Снять зависимости тока, мощности, напряжения на лампе и создаваемой ею освещенности на вспомогательной плоскости от напряжения питания в схемах с активным, индуктивным и емкостным балластами.

3. Определить зависимости потока и светотдачи люминесцентной лампы от напряжения питания в схемах с различными балластными сопротивлениями.

4. При работе в номинальном режиме с каждым балластом снять осциллограммы тока и напряжения на лампе, напряжения на дросселе и пульсации светового потока.

5. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** При подготовке к работе необходимо изучить материалы [1, 2, 10].

В качестве балласта к люминесцентным лампам можно применять индуктивное, емкостное и активное сопротивления. Схема для исследования люминесцентной лампы с такими балластами представлена на рисунке 32.

Для люминесцентных ламп, например мощностью 40 Вт, в качестве индуктивного балласта используют стандартный дроссель 1УБИ-40/220, емкостного сопротивления — конденсатор на 3,5 мкФ, активного сопротивления — лампу накаливания Б127-40.

Исследование пуска люминесцентной лампы с различными балластами (см. рис. 32) сводится к следующему:

в схеме с индуктивным балластом (замкнут только ключ  $SA1$ ) определяют напряжение зажигания газового разряда стартера  $U_{\text{зж}}$ , поднимая автотрансформатором напряжение на зажимах схемы. Затем убеждаются в том, что при номинальном режиме лампа загорается не более чем при трех-четырех срабатываниях стартера;

в схеме с емкостным балластом (замкнут ключ  $SA2$ ) находят те же параметры. Здесь не следует допускать работу лампы более 10 с во избежание быстрого разрушения электродов;

при работе с активным балластом (замкнут ключ  $SA3$ ) снимают те же показания.

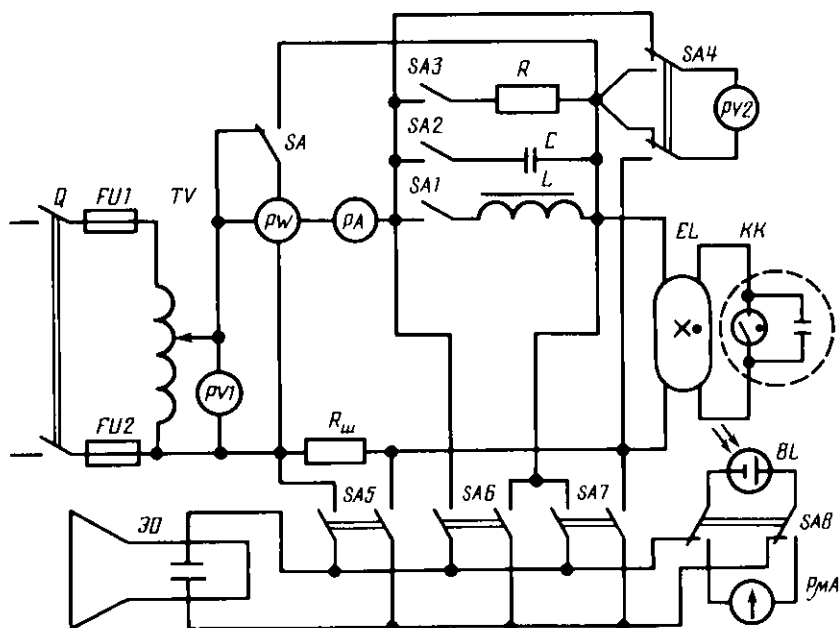


Рис. 32. Электрическая схема для исследования люминесцентной лампы с балластными сопротивлениями различных видов:  
 $L$ ,  $C$ ,  $R$  – индуктивное, емкостное и активное балластные сопротивления; ЭО – электронный осциллограф

Поскольку с активным и особенно с емкостным балластными сопротивлениями люминесцентная лампа пускается в работу тяжело, то при последующих включениях надо потереть поверхность колбы лампы шерстяной тканью или резко повысить напряжение на схеме при помощи автотрансформатора.

Основные параметры люминесцентной лампы при ее работе с различными балластами снимают, изменяя при помощи автотрансформатора напряжение на зажимах схемы с 240 В и до погасания лампы. Показания приборов записывают в таблицу 16.

Из-за неустойчивой работы лампы диапазон возможного изменения напряжения на зажимах схемы до погасания лампы с активным и емкостным балластами меньше, чем с индуктивным. Поэтому число измерений в таблице 16 для каждого балласта будет своим.

Световой поток  $F_{\text{ух}}$  во всех случаях определяют по соотношению

$$F_{\text{ух}} = F_{\text{ун}} \frac{E_{\text{x}}}{E_{\text{n}}},$$

Таблица 16

Вид балластного сопротивления	Опытные данные					
	$U_{сх}, В$	$I_{EL}, А$	$P_{сх}, Вт$	$P_{EL}, Вт$	$U_{EL}, В$	$E, лк$

Активное  
Индуктивное  
Емкостное

Продолжение

Вид балластного сопротивления	Расчетные данные				
	$F_{EL}, лм$	$\eta_{сх}, лм/Вт$	$\eta_{EL}, лм/Вт$	$\cos \varphi, о.е.$	$k_{иск}, о.е.$

Активное  
Индуктивное  
Емкостное

где  $F_{лн}$  – номинальный световой поток исследуемой лампы, взятый из приложения 10, лм;  $E_H$  – освещенность в какой-то точке вспомогательной плоскости при номинальном режиме лампы, лк;  $E_X$  – освещенность в той же точке при любом режиме лампы, отличном от номинального, лк.

Результаты расчетов заносят в таблицу 16. По этой таблице строят зависимости от напряжения тока, мощности лампы и схемы, светового потока и световой отдачи для балласта каждого вида. Если все будет выполняться в относительных единицах, то за единицу следует принять значения при номинальном напряжении на схеме с индуктивным балластом.

Осциллограммы кривых тока, напряжения на лампе и балласте, пульсаций светового потока копируют с экрана осциллографа на любую полупрозрачную бумагу. В отчете необходимо дать сравнительный анализ пуска и работы с различными балластами по таблице 16, графикам и осциллограммам, сделать соответствующие выводы. Осциллограммы для каждого балластного сопротивления должны быть приведены на отдельных рисунках, а кривые для каждого рисунка увязаны между собой по времени.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Дайте сравнительный анализ схем включения люминесцентных ламп с балластами различных видов. 2. Какие достоинства и недостатки индуктивного балласта вы знаете? 3. Какие достоинства и недостатки активного балласта вы знаете? 4. Перечислите достоинства и недостатки емкостного балласта. 5. Дайте характеристику полученных зависимостей параметров лампы от напряжения и от вида балласта.

## **Работа 5. Исследование пульсаций светового потока при различных схемах включения люминесцентных ламп**

**Цель работы.** Провести сравнительный анализ различных схем включения люминесцентных ламп для снижения пульсации светового потока.

**Программа работы.** 1. Изучить необходимость и способы снижения пульсаций светового потока люминесцентных ламп.

2. Измерить электрические и световые параметры люминесцентной лампы при стандартной схеме включения с индуктивным балластом и определить коэффициент пульсации светового потока лампы.

3. Изучить двухламповую схему включения люминесцентных ламп и назначение ее отдельных элементов.

4. Измерить электрические и световые параметры емкостной и индуктивной цепей, а также всей двухламповой схемы: напряжение на лампе, мощности ламп и схем отдельно и в целом, освещенность на вспомогательной плоскости.

5. Рассчитать электрические и световые параметры емкостной, индуктивной и совмещенной схем: коэффициент искажения, световой поток и коэффициент пульсации.

6. Измерить и рассчитать такие же электрические и световые параметры двухламповой схемы при двухфазном включении ламп.

7. Определить коэффициент пульсации светового потока трехламповой схемы при трехфазном включении ламп.

8. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** Необходимость и способы снижения пульсации светового потока люминесцентных ламп можно изучить по материалам [1, 2, 3, 9, 10].

По результатам предыдущей работы определить коэффициенты пульсации для балластного сопротивления каждого вида и сравнить их между собой.

Один из способов снижения пульсации светового потока люминесцентных ламп — применение схемы двухлампового пускорегулирующего устройства с расщепленной фазой. Такая схема уменьшает пульсации светового потока и обеспечивает высокий коэффициент мощности установки. В ней одна лампа включается по обычной схеме с индуктивным балластом, другая питается через индуктивно-емкостный балласт. Коэффициент мощности схемы близок к единице (0,90...0,92). Двухламповая схема включения люминесцентных ламп представлена на рисунке 33.

В схеме емкостное балластное сопротивление следует брать несколько больше требуемого. Точную настройку схемы на минимум пульсации светового потока выполняют при помощи переменного сопротивления  $R$ . Сущность такого способа можно пояснить векторной диаграммой токов (рис. 34) двухламповой схемы.

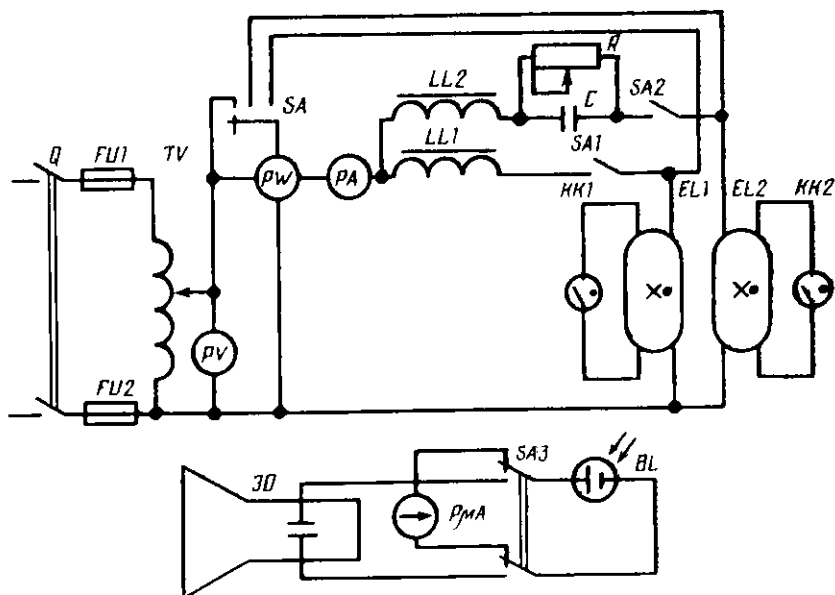


Рис. 33. Двухламповая схема включения люминесцентных ламп:  
 $LL1, LL2$  – дроссели лампы;  $C, R$  – фазосдвигающие элементы

После включения обеих ламп по осциллограмме светового потока при помощи сопротивления пульсации потока можно плавно понижать до минимума. По показаниям измерительных приборов определяют электрические параметры каждой лампы в отдельности и обеих ламп вместе. Все измерения проводят при номинальных напряжениях и токах ламп одинаковой мощности. Показания приборов и результаты расчетов заносят в таблицу 17.

Коэффициент пульсации светового потока находят по формуле

$$a = (F_{\max} - F_{\min}) 100 / 2F_{\text{ср}} \quad (89)$$

или

$$a = (E_{\max} - E_{\min}) 100 / 2E_{\text{ср}}.$$

Если использовать осциллограмму светового потока или освещенности (рис. 35), то

$$a = \Delta E 100 / (2E_{\text{ср}}).$$

По снятой осциллограмме необходимо измерить максимальное и минимальное значения освещенностей (мм) и по ним определить коэффициент пульсации. Если же осциллограф не позволяет измерять постоян-

Таблица 17

Цепь	Параметры								
	$P_{сх},$ Вт	$P_{EL},$ Вт	$U_{сх},$ В	$I_{EL},$ А	$E,$ лк	$F_{EL},$ лм	$a,$ %	$\cos\varphi,$ о.е.	$k_{иск},$ о.е.

Отстающая

(EL1)

Опережающая

(EL2)

Схема в целом

ную составляющую (в нашем случае  $E_{\min}$ ), то вычисляют, во сколько раз коэффициент пульсации  $a_2$  двухламповой схемы с расщепленной фазой меньше коэффициента  $a_1$  одноламповой:

$$a = a_1/a_2 = \frac{\Delta E_1}{2E_{ср.1}} \frac{2E_{ср.2}}{\Delta E_2} = \frac{\Delta E_1 E_{ср.2}}{\Delta E_2 E_{ср.1}}. \quad (90)$$

Для этого при одинаковом коэффициенте усиления осциллографа, т. е. одинаковом положении ручек управления, по осциллограммам освещенности следует измерить  $\Delta E_1$  для одноламповой и  $\Delta E_2$  для двухламповой схем. Средние значения освещенностей можно заменить показаниями люксметра, т. е. действующими значениями освещенности, допустив при этом погрешность результата в несколько процентов. В этом случае в таблице 17 в первой и второй строках следует записать коэффициент пульсации  $a_1$ , а в третьей — произведение  $a_1$  и числового значения  $1/a$ .

Далее необходимо собрать схему трехфазного включения трех одинаковых люминесцентных ламп со стандартными индуктивными балластными сопротивлениями. Кроме общего управления лампами, в схе-

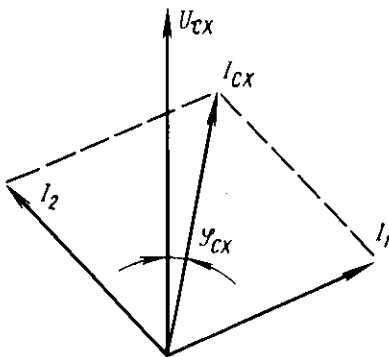


Рис. 34. Векторная диаграмма токов двухламповой схемы

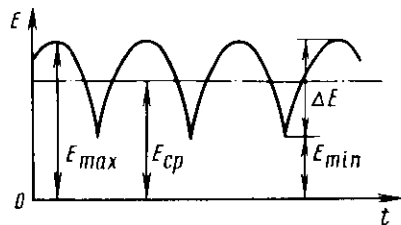


Рис. 35. Осциллограмма освещенности под люминесцентной лампой



ме должно быть предусмотрено дополнительно отдельное управление одной из ламп.

Включив схему под напряжение, измеряют освещенность на вспомогательной плоскости от всех трех ламп и с экрана осциллографа снимают осциллограмму светового потока. Затем одну лампу отключают и проводят те же измерения. Результаты измерений заносят в таблицу 18.

Т а б л и ц а 18

Схема включения ламп	Освещенность вспомогатель- ной плоскости, лк	Коэффициент пульсации, %
Одноламповая		
Двухламповая двухфазная		
Трехламповая трехфазная		

В эту же таблицу в первую строку записывают значения освещенности и коэффициента пульсации из предыдущей таблицы для отстающей цепи. По освещенности и осциллограммам определяют коэффициент пульсации для двух- и трехфазного включений ламп.

Провести анализ полученных результатов для четырех вариантов схем: одноламповой, двухламповой с расщепленной фазой, двухламповой двухфазной и трехламповой трехфазной.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Что такое пульсация светового потока? 2. Чем и как оценивают пульсацию светового потока? 3. Поясните, в чем заключается стробоскопический эффект. 4. Назовите методы снижения пульсации светового потока. 5. Как зависит коэффициент пульсации светового потока от типа люминесцентных ламп? 6. Перечислите достоинства и недостатки схемы с расщепленной фазой. 7. Назовите достоинства и недостатки двух- и трехфазного включения люминесцентных ламп для снижения пульсации светового потока. 8. Как зависит пульсация светового потока от вида балластного сопротивления лампы? 9. Изменяется ли пульсация светового потока вдоль колбы люминесцентной лампы?

#### **Р а б о т а 6. Исследование дуговой ртутной люминесцентной лампы высокого давления типа ДРЛ**

**Цель работы.** Изучить устройство лампы типа ДРЛ, электрическую схему и аппаратуру для включения ее в сеть. Исследовать процессы зажигания и принцип действия лампы.

**Программа работы.** 1. Изучить устройство, принцип действия и основные характеристики ламп ДРЛ, аппаратуры для включения их в сеть и работу электрических схем.

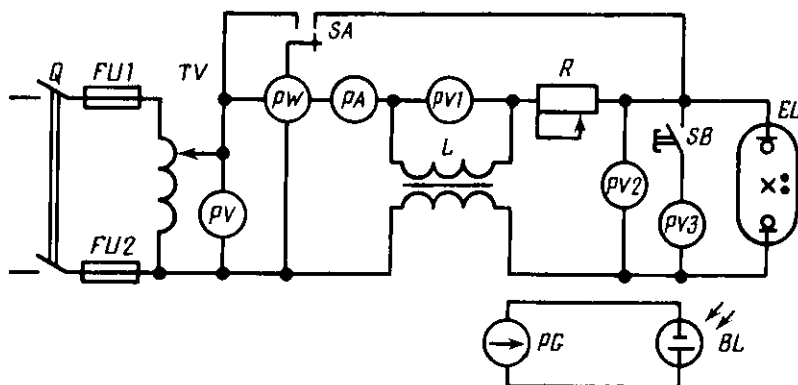


Рис. 36. Электрическая схема исследования лампы типа ДРЛ

2. Исследовать процесс разгорания лампы ДРЛ.
3. Снять вольт-амперную характеристику лампы.
4. Установить зависимости основных параметров лампы от напряжения питания.
5. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** Устройство, принцип действия и основные характеристики ламп ДРЛ, их пускорегулирующей аппаратуры и схем включения можно изучить по литературе [1, 2].

Ознакомиться с лабораторным стендом для исследования ламп типа ДРЛ и по рисунку 36 собрать электрическую схему для проведения опытов.

По этой схеме записать технические данные входящих в нее приборов и аппаратуры. Включить схему на номинальное напряжение сети. Лампа начнет разгораться. Через каждые 30 с и до установившегося режима, характеризующегося установившимися значениями, прежде всего тока и напряжения на лампе, необходимо измерять ток лампы  $I_{EL}$ , мощность схемы  $P_{сх}$  и мощность лампы  $P_{EL}$ , напряжение на лампе  $U_{EL}$ , напряжение на балласте  $U_L$  и освещенность  $E$ . Освещенность измеряют люксметром в точке, лежащей на перпендикуляре к оси лампы, проведенном через ее центр. Расстояние точки от лампы должно быть 1 м. Освещенность определяют как разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе.

Поскольку напряжение на лампе при разгорании изменяется от 15...20 до 120...130 В, то для повышения точности измерений этого напряжения в схеме следует использовать два вольтметра: один постоянно подключенный на напряжение 250 В, другой – на напряжение 60 В с ключом или кнопкой  $SB$  для включения его на момент измерений. Результаты занести в таблицу 19.

Таблица 19

Но- мер изме- ре- ния	Опытные данные							Расчетные данные			
	$t, c$	$I_{EL}, A$	$P_{cx}, Bt$	$P_{EL}, Bt$	$U_L, B$	$U_{EL}, B$	$E, лк$	$F_{EL}, лм$	$S, B \cdot A$	$Q, вар$	$\cos \varphi, о.е.$

По данным таблицы рассчитывают световой поток лампы  $F_{EL}$ , полную  $S$  и реактивную  $Q$  мощности и коэффициент мощности схемы  $\cos \varphi$ . Значения светового потока лампы определяют по соотношению (85). Номинальный поток  $F_n$  исследуемой лампы можно брать из приложения 11.

Все приведенные в таблице значения необходимо пересчитать в относительные единицы.

По таблице 19 построить графики изменения параметров  $I_{EL}$ ,  $P_{EL}$ ,  $U_{EL}$ ,  $F_{EL}$ ,  $S$ ,  $\cos \varphi$  лампы за время ее разгорания.

Для снятия ВАХ необходимо снижать реостатом ток лампы от максимально возможного в лабораторной схеме для исследуемой лампы до ее погасания. Измерения следует проводить через 0,2 или 0,1 А. Показания амперметра и вольтметров занести в таблицу 20.

Таблица 20

Параметры схемы	Значения параметров
-----------------	---------------------

 $I_{EL}, A$  $U_{EL}, B$  $U_L, B$ 

По данным таблицы 20 построить статические ВАХ лампы и балластного сопротивления и дать объяснение вида этих зависимостей.

После повторного разгорания лампы, снижая напряжения на зажимах схемы от 250 В ступенями по 10 В, снять зависимости параметров лампы от напряжения питания. Результаты измерений и последующих вычислений записать в таблицу 21.

Таблица 21

Номер измерения	$U_{cx}$		$I_{EL}$		$P_{cx}$		$P_{EL}$	
	В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.	Вт	о.е.

Номер измерения	$U_{EL}$		$U_L$		$E$		$F_{EL}$	
	В	о.е.	В	о.е.	лк	о.е.	лм	о.е.

По таблице 21 построить зависимости параметров лампы от напряжения на зажимах схемы и дать объяснение их изменений.

### Контрольные вопросы и задания

1. Как устроена лампа типа ДРЛ? 2. Расскажите о назначении, устройстве и основных параметрах аппаратуры для включения ламп типа ДРЛ. 3. Какие схемы включения ламп типа ДРЛ наиболее распространены? 4. Что называется "красным отношением"? 5. Назовите области применения ламп типа ДРЛ. 6. Перечислите достоинства и недостатки ламп ДРЛ в сравнении с другими источниками оптического излучения. 7. Дайте характеристики существующим лампам ДРЛ. 8. Оцените возможности регулирования светового потока ламп ДРЛ. 9. Объясните характер изменения параметров ламп ДРЛ при разгорании. 10. Какой вид имеют статические ВАХ лампы ДРЛ и ее балласта?

### Р а б о т а 7. Исследование электрических характеристик лампы высокого давления типа ДРТ

**Цель работы.** Изучить конструкцию, схему включения и принцип действия дуговой ртутной трубчатой лампы высокого давления (ДРТ). Исследовать электротехнические характеристики лампы типа ДРТ.

**Программа работы.** 1. Изучить конструкцию, схему включения, ее работу и область применения лампы типа ДРТ.

2. Исследовать электрические характеристики лампы типа ДРТ (опытным путем снять зависимости, построить их в относительных единицах и дать анализ):

изменение во времени мощности всей схемы  $P_{сх}$ , мощности лампы  $P_{EL}$ , напряжения на лампе  $U_{EL}$ , напряжения на дросселе  $U_L$ , тока лампы  $I_{EL}$  и коэффициента мощности  $\cos\varphi$  при разгорании лампы;

зависимости тех же величин от напряжения сети;

вольт-амперную характеристику лампы на переменном токе в процессе разгорания и для разгоревшейся лампы;

вольт-амперную характеристику лампы на постоянном токе;

объяснить различие вольт-амперных характеристик лампы на переменном и постоянном токе;

снять динамическую вольт-амперную характеристику для установившегося режима работы лампы;

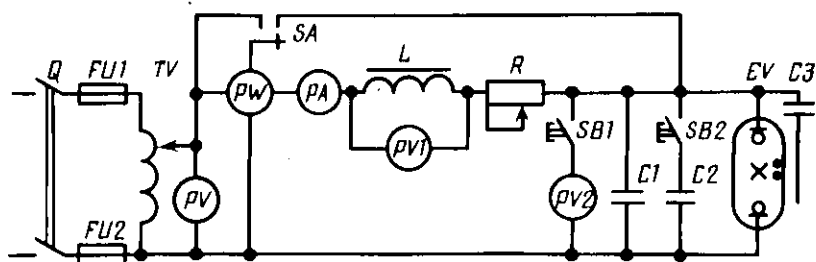


Рис. 37. Электрическая схема для снятия характеристик лампы типа ДРТ:

EV – газоразрядная лампа высокого давления – источник ультрафиолетового излучения; C1 – конденсатор для снижения радиопомех; C2 – конденсатор с кнопкой для получения зажигающего импульса высокого напряжения; C3 – емкость металлической полосы или напыления, снижающая напряжение зажигания

через оптический фильтр проследить за возникновением разряда в лампе.

3. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** Конструкцию, схемы включения, принцип действия и область применения лампы типа ДРТ можно изучить по литературе [1, 2, 10].

Для исследования электрических характеристик лампы типа ДРТ собрать схему по рисунку 37.

Подать напряжение на схему, осуществить зажигание лампы нажатием кнопки SB2. Через каждую минуту необходимо записывать показания приборов до установившегося режима работы лампы. Результаты измерений свести в таблицу 22.

По данным таблицы построить графики зависимостей  $P_{сх}$ ,  $P_{EL}$ ,  $U_{EL}$ ,  $U_L$ ,  $I_{EL}$ ,  $\cos\varphi = f(t)$  и по ним определить время разгорания лампы, т. е. время установления нормального рабочего режима лампы. Всем полученным кривым необходимо дать физическое объяснение.

Снижая напряжение на зажимах схемы от 250 В ступенями по 10 В и записывая показания приборов в таблицу 23, снять зависимости электротехнических характеристик лампы от напряжения питания.

Таблица 22

Но- мер изме- ре- ния	Время от момента включе- ния $t$ , мин	$U_{сх}$ , В	$I_{EL}$		$P_{сх}$		$P_{EL}$		$U_{EL}$		$U_L$	
			А	о.е.	Вт	о.е.	Вт	о.е.	В	о.е.	В	о.е.

Т а б л и ц а 23

Но- мер из- ме- ре- ния	$U_{сх}$		$I_{EL}$		$P_{сх}$		$P_{EL}$		$U_{EL}$		$U_L$		Приме- чание
	В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.	Вт	о.е.	В	о.е.	В	о.е.	

По данным таблицы 23 построить графики зависимостей всех измеряемых величин и дать объяснение характеру их изменений.

После последующих повторных разгораний лампы снять ее ВАХ на переменном и постоянном токах. Для этого на переменном токе необходимо снижать реостатом ток лампы от 5 А до ее погасания. Измерения проводить через 0,2 или 0,1 А. Показания амперметра и вольтметров занести в таблицу 24.

Т а б л и ц а 24

Параметры схемы	Значения параметров
-----------------	---------------------

 $I_{EL}$ , А $U_{EL}$ , В $U_L$ , В

На постоянном токе ВАХ лампы можно снять, используя ту же схему, но исключив из нее автотрансформатор и полностью введя сопротивление реостата. При этом методика снятия ВАХ совершенно аналогична методике на переменном токе. Результаты измерений занести в таблицу 25.

Т а б л и ц а 25

Параметры схемы	Значения параметров
-----------------	---------------------

 $I_{EL}$ , А $U_{EL}$ , В $U_L$ , В

По данным таблиц 24 и 25 на одном рисунке построить статические ВАХ лампы, балластного сопротивления и схемы в целом.

Сравнить ВАХ на переменном и постоянном токе и дать объяснение их различиям. На одном графике построить ВАХ в процессе разгорания и для разгоревшейся лампы. Проанализировать эти кривые.

Динамические ВАХ лампы можно снять непосредственно с экрана

электронного осциллографа. На горизонтальный вход осциллографа следует подать напряжение, пропорциональное току лампы (например, напряжение на зажимах реостата), а на вертикальный вход — напряжение на лампе. ВАХ необходимо счертить с экрана на кальку. Затем, не меняя положения ручек управления осциллографом, определить масштабы осциллограмм по горизонтали и вертикали. Для этого следует воспользоваться автотрансформатором и аstaticеским вольтметром. Подав на вход осциллографа синусоидальное напряжение, действующее значение которого измерено вольтметром, по отклонению луча на экране определить масштаб. Сопротивление реостата можно установить по показаниям амперметра и дополнительного вольтметра, подключенного к зажимам, или после отключения схемы измерить каким-либо прибором достаточного класса точности.

Техника безопасности при работе с лампой типа ДРТ. При использовании любых аппаратов с лампой типа ДРТ из-за ее характерных особенностей следует обращать повышенное внимание на обеспечение безопасности находящихся вблизи людей.

Необходимо предусмотреть защиту работающего персонала от осколков колб и паров ртути при возможном разрыве лампы. Поэтому в учебных установках нельзя применять лампу высокого и сверхвысокого давления без какого-либо защитного кожуха. Эта мера нужна также и потому, что ртутная лампа излучает больше половины энергии в диапазоне коротко- и средневолновых УФ-лучей, вызывающих ожоги глаз и кожи.

Во избежание ожога глаз запрещается смотреть на работающую лампу, открытую или прикрытую светофильтром, пропускающим средне- и коротковолновые УФ-лучи. Вредное действие на глаза оказывает также и большая яркость работающей открытой лампы высокого и сверхвысокого давления. При работе с лампой такого типа надо надевать легкую маску из плотной материи и очки со стеклами марки ТФ, не пропускающими лучи областей В и С. Если эти стекла отсутствуют, их можно заменить обычными стеклами толщиной 6...8 мм.

При работе с газоразрядной лампой высокого давления необходимо проветривать помещения, так как образуются озон и окислы азота из-за усиленной ионизации воздуха помещения ультрафиолетовым излучением.

В случае разрыва колбы лампы (по любой причине) помещения следует проветривать, так как образующиеся при этом пары ртути вызывают отравление человеческого организма.

Теоретические пояснения к результатам работы. После включения в работу лампа типа ДРТ начинает разгораться. Сущность процесса разгорания заключается в следующем.

Сразу после включения протекающий ток будет иметь наибольшее значение, так как в холодной лампе ртуть находится в жидком состоянии, давление в колбе будет минимальным, а сопротивление лампы

наименьшим. С течением времени лампа нагревается, ртуть переходит в газообразное состояние, давление в колбе возрастает, сопротивление газоразрядного промежутка как участка электрической цепи увеличивается и ток лампы снижается. Параметры лампы и температура всех элементов колбы стабилизируются при полном испарении ртути.

Так как ВАХ газоразрядной лампы падающая, то с уменьшением тока напряжение возрастает. Это можно объяснить следующим образом. Понижение тока уменьшает падение напряжения на последовательно включенном с лампой постоянном балластном сопротивлении. Так как напряжение на зажимах схемы не изменяется, то напряжение на лампе возрастает.

Мощность лампы, равная произведению тока и напряжения, должна оставаться без изменения, так как ток уменьшается, а напряжение возрастает. Но рассмотрим процесс изменения величин более внимательно.

Из-за испарения ртути сопротивление лампы возрастает, а ток падает. Если бы эти параметры изменялись с одинаковой скоростью, то их произведение, т. е. падение напряжения на сопротивлении лампы, оставалось бы постоянным. Но оно возрастает. Поэтому скорость увеличения сопротивления лампы выше скорости уменьшения тока.

Напряжение на лампе увеличивается намного быстрее, чем снижается ток, поскольку давление в лампе непрерывно возрастает. Каждому значению давления соответствует своя ВАХ (рис. 38). Чем больше давление, тем выше располагается ВАХ ( $p_1, p_2, p_3, p_4$ ). При разгорании лампы рабочая точка не только движется по одной ВАХ влево, но и переходит с одной ВАХ на более высокую ВАХ (в соответствии с ростом давления), т. е. ВАХ разгорания представляет собой линию  $ab$ . Как видно из рисунка, напряжение на лампе растет быстрее, чем уменьшается ток в цепи.

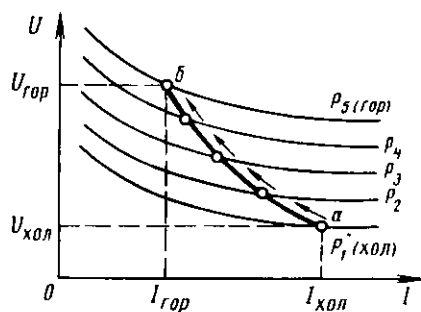


Рис. 38. Вольт-амперная характеристика разгорания газоразрядной лампы высокого давления

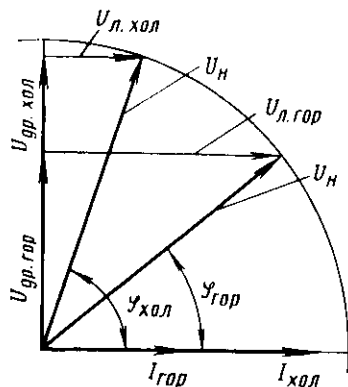


Рис. 39. Векторная диаграмма токов и напряжений при разгорании лампы



Например, по экспериментальным данным, для лампы типа ДРТ мощностью 230 Вт при уменьшении тока в 1,7 раза напряжение возрастает в 5,2 раза, т. е. ток снижается в 3 раза медленнее, чем повышается напряжение. Такое увеличение напряжения можно проследить и на векторной диаграмме токов и напряжений (рис. 39). Следовательно, мощность лампы в процессе разгорания должна возрастать.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Расскажите об устройстве и принципе действия лампы типа ДРТ. 2. Нарисуйте схему включения лампы в сеть и дайте характеристику элементам схемы. 3. Назовите примерное распределение потока излучения лампы типа ДРТ по оптической области спектра. 4. Где применяют лампы типа ДРТ? 5. Дайте физическое объяснение расчетным и экспериментальным зависимостям, полученным при выполнении работы. 6. Объясните возможность повторного пуска лампы только после ее охлаждения. 7. Нарисуйте статическую и динамическую ВАХ лампы и элементов ее электрической цепи. 8. Какие меры безопасности необходимо соблюдать при эксплуатации ртутных газоразрядных ламп?

### **Работа 8. Электрические источники света как источники фитопотока**

**Цель работы.** Исследовать электрические источники оптического излучения как источники фитопотока.

**Программа работы.** 1. Исследовать лампу накаливания:  
снять и построить кривую светораспределения;  
снять и построить кривую распределения фитопотока;  
сопоставить по характеру и численным значениям кривые светораспределения и распределения фитопотока и определить численные значения фитопотока;  
снять зависимость фитопотока от напряжения питания.  
2. Исследовать люминесцентную лампу:  
определить фитопоток лампы в номинальном режиме работы;  
снять зависимость фитопотока лампы от напряжения питания.  
3. Исследовать лампы типа ДРЛ и ДРЛФ:  
снять и построить кривые распределения светового потока и фитопотока ламп;  
сопоставить эти кривые и найти численные значения светового потока и фитопотока;  
снять зависимости фитопотока ламп от напряжения питания.  
4. Рассчитать и построить на одном графике зависимости фитопотока и фитоотдачи исследуемых источников от напряжения питания и сделать выводы о достоинствах и недостатках ламп как источников фитопотока.  
5. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** Вопросы воздействия оптического излучения на растения можно изучить, воспользовавшись материалами [2, 10].

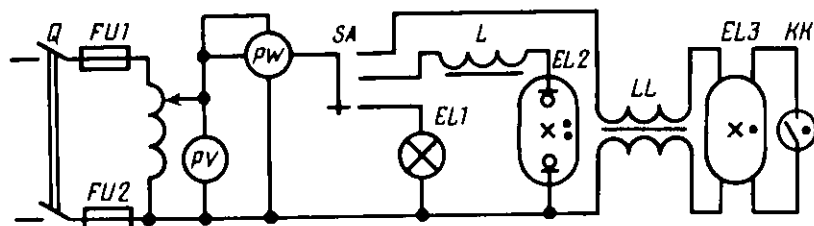


Рис. 40. Электрическая схема для исследования источников фитоизлучения:

*EL1* — лампа накаливания; *EL2* — лампа высокого давления (ДРЛФ или ДРЛ);  
*EL3* — люминесцентная лампа

Для исследования ламп накаливания, люминесцентной и типа ДРЛ собрать схему по рисунку 40.

Значения сил света и фитоизлучения, светового потока и фитопотока источников излучения определяют по измеряемым освещенности и фитооблученности в какой-либо расчетной точке под источником. Освещенность в этой точке измеряют люксметром, фитооблученность — фитофотометром ФФМ-71, автоматическим дозиметром ДАУ-81 или полосовым спектро радиометром СРП-86.

Для снятия кривых светораспределения и распределения фитопотока лампы накаливания и лампы типа ДРЛ, ДРЛФ необходимо при номинальном напряжении измерить освещенность и фитооблученность в направлении радиуса сферы через каждые  $15^\circ$ , т. е.  $0; 15; 30; 45^\circ$  и т. д. от оси симметрии источника. Расстояние от нити накала или центра лампы до точки замера освещенности (радиус сферы) обозначают  $l$ . Для упрощения расчетов обычно принимают  $l = 1$  м.

При исследовании распределения сил света и фитоизлучения влияние постороннего излучения учитывают, вычитая показания люксметра и фитофотометра с включенным и выключенным источником.

Порядок определения силы излучения и потоков для каждого источника следующий:

собирают схему измерительной установки по рисунку 40;

кронштейном, на котором укреплен фотоэлемент люксметра или фитофотометра, устанавливают заданный угол  $\alpha$  для нахождения силы излучения;

для каждого угла измеряют освещенность и фитооблученность и полученные результаты записывают в таблицу 26;

вычисляют силу света и силу фитоизлучения

$$I_\alpha = E_\alpha l^2 / \cos \beta,$$

где  $E_\alpha$  — освещенность или фитооблученность плоскости, перпендикулярной рассматриваемому направлению  $\alpha$ , лк или фит/м<sup>2</sup>;  $l$  — расстояние от источника до точки замера, м;  $\beta$  — угол падения потока на фотоэлемент (в работе этот угол принимают равным  $0^\circ$ );

Таблица 26

Тип источника излучения	Мощность, Вт	Номер измерения	Опытные результаты			Расчетные результаты			
			направление силы излучения $\alpha$	освещенность $E$ , лк	фитооблученность $E_{\text{ф}}$ , фит/м <sup>2</sup>	сила света $I$ , кд	сила фитоизлучения $I_{\text{ф}}$ , фит/ср	световой поток $F$ , лм	фитопоток $F_{\text{ф}}$ , фит

световой поток лампы можно найти методом зональных углов или взять из паспортных данных (см. приложения 5, 10, 11 и 13);

номинальный фотосинтезный поток, фит, определяют по соотношению, аналогичному формуле (84),

$$F_{\text{ф.н}} = F_{\text{н}} E_{\text{ф.н}} / E_{\text{н}}, \quad (91)$$

где  $F_{\text{н}}$  – световой поток источника при номинальном напряжении, лм;  $E_{\text{н}}$ ,  $E_{\text{ф.н}}$  – освещенность и фитооблученность при номинальном напряжении, измеренные в одном направлении, например  $\alpha = 0$ , при снятии кривых распределения потоков, лк и фит/м<sup>2</sup>.

Для лампы ДРЛФ400 из приложения 13 можно взять значения номинальных светового и фотосинтезного потоков.

Результаты расчетов также занести в таблицу 26. По данным таблицы вычертить в полярных координатах продольные кривые распределения светового потока и фитопотока лампы.

Для каждого источника определить значение коэффициента перевода светового потока в фитопоток и сравнить его со справочным (см. приложение 14). Световой поток и фитопоток люминесцентной лампы рассчитывают по формуле (86).

Зависимости светового потока  $F$ , фитопотока  $F_{\text{ф.н}}$  источников от напряжения питания находят, изменяя это напряжение при помощи автотрансформатора. Интервал замеров 10 В. Измеряют в диапазоне напряжений от 190 до 250 В. При этом необходимо измерить мощность лампы, освещенность и фитооблученность в контрольной точке. Результаты занести в таблицу 27.

Значения измеренных мощности и фитооблученности выразить в относительных единицах. Поскольку в относительных единицах эти значения при одном и том же напряжении будут равны, то для определения фитоотдачи в относительных единицах достаточно взять отношение  $E_{\text{н}}/E_{\text{ф.н}}$ . Абсолютные значения фитоотдачи при любом напряжении питания можно рассчитать по относительным и абсолютным значениям

Таблица 27

Но- мер изме- ре- ния	$U_{сх}$		Лампа накаливания						Люминесцентная лампа					
			$P_{EL1}$		$E_{ф1}$		$\eta_{ф1}$		$P_{EL3}$		$E_{ф3}$		$\eta_{ф3}$	
	В	о.е.	Вт	о.е.	$\frac{\text{фит}}{\text{м}^2}$	о.е.	$\frac{\text{фит}}{\text{Вт}}$	о.е.	Вт	о.е.	$\frac{\text{фит}}{\text{м}^2}$	о.е.	$\frac{\text{фит}}{\text{Вт}}$	о.е.

Примечание. Для ламп типа ДРЛ и ДРЛФ форма таблиц такая же.

при номинальном напряжении, которое легко рассчитать по номинальному фитопотоку из таблицы 26.

По расчетным данным таблицы 27 построить зависимости фитопотока (о.е.) и фитоотдачи (фит/Вт) исследуемых ламп от напряжения питания.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое электрический источник света? 2. Что такое световой поток? 3. Что называется освещенностью? 4. Что называется фитооблученностью? 5. Что такое фитопоток? 6. Дайте определение спектральной чувствительности приемника оптического излучения. 7. Какова спектральная чувствительность "среднего листа среднего растения"? 8. В чем измеряют фитопоток и фитооблученность? 9. В чем различие систем световых величин и фитооблученности? 10. Назовите достоинства и недостатки как источников фитопотока электрических ламп накаливания, люминесцентных, типа ДРЛ и ДРЛФ, ксеноновых, типа ДРИ и ДНаТ.

#### Работа 9. Экспериментальное определение основных характеристик светильников и облучателей

**Цель работы.** Изучить конструкцию, световые характеристики и область применения светильников с лампами накаливания.

**Программа работы.** 1. Изучить конструкцию и область применения наиболее распространенных светильников с лампами накаливания.

2. Опытным путем определить продольную кривую светораспределения нескольких светильников и лампы накаливания без светильника.

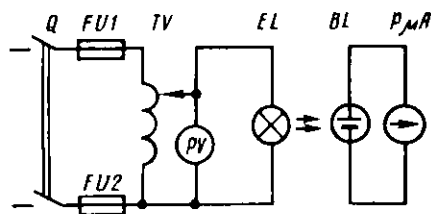
3. По опытным данным для каждого светильника и лампы построить кривую светораспределения, найти световой поток, КПД светильника и его защитный угол.

4. Снять и построить освещенности горизонтальной плоскости под каждым из светильников и лампой без светильника в зависимости от расстояния до источника света.

5. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** При изучении конструкции светильников и области их применения можно пользоваться имеющимися в ла-

Рис. 41. Электрическая схема для снятия кривых светораспределения светильников



боратории светильниками, а также рекомендуемой литературой [2, 9, 10]. В отчете по работе для светильника каждого типа вычертить эскиз, кривую его светораспределения и указать защитный угол.

Для снятия кривой светораспределения необходима специальная установка, позволяющая измерять освещенности в разных направлениях радиуса сферы вокруг светильника, например через каждые  $15^\circ$ , т. е. под углами  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  и т. д., от оси симметрии. Расстояние от нити накала или центра лампы до точки замера освещенности (радиус сферы) тщательно измеряют.

При исследовании распределения силы света влияние постороннего излучения учитывают, вычитая показания люксметра с включенным и выключенным источником.

Порядок определения светового потока, КПД, силы света для каждого светильника следующий:

собирают схему измерительной установки по рисунку 41;

при помощи подвижного кронштейна с фотоэлементом устанавливают необходимый угол для вычисления силы света;

для каждого угла люксметром измеряют освещенность в выбранном направлении;

находят силу света, кд,

$$I_\alpha = E_\alpha l^2 / \cos \beta,$$

где  $E_\alpha$  — освещенность плоскости, перпендикулярной рассматриваемому направлению, измеренная люксметром, лк;  $l$  — расстояние от источника до места замера, м;  $\beta$  — угол падения светового потока на фотоэлемент люксметра, в данном случае угол равен  $0^\circ$ ;

полный световой поток, создаваемый лампой накаливания или светильником, определяют методом зональных потоков.

Сущность этого метода заключается в вычислении световых потоков, сосредоточенных в зональных телесных углах всего пространства, с последующим суммированием их для расчета полного светового потока светильника.

Световой поток, заключенный в пределах достаточно малых зональных телесных углов, можно найти, умножая зональный телесный угол на среднюю силу света в этой зоне:

$$F_{\alpha_i - \alpha_j} = \Delta \omega_{\alpha_i - \alpha_j} I_{\text{ср}}.$$

В пределах малой зоны кривую распределения силы света светиль-

ника изменяют плавно. Поэтому с достаточной точностью за среднюю в зоне можно принять силу света в направлении, определяемом углом  $\alpha_{\text{ср}}$ , численно равным среднему арифметическому значению граничных углов  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$  зоны,

$$\alpha_{\text{ср}} = (\alpha_i + \alpha_j)/2.$$

Например, если зона пространства характеризуется граничными углами  $\alpha_i = 10^\circ$  и  $\alpha_j = 20^\circ$ , то среднюю силу света вычисляют по кривой силы света при  $\alpha_{\text{ср}} = 15^\circ$ . Если  $\alpha_i = 20^\circ$  и  $\alpha_j = 30^\circ$ , то  $\alpha_{\text{ср}} = 25^\circ$ . В данном случае среднюю силу света находят по направлениям, отличающимся одно от другого на  $15^\circ$ , поэтому граничные углы зон будут  $7,5; 22,5; 37,5; 52,5^\circ$  и т. д. Подставляя в уравнение для потока значение зонального угла

$$\Delta\omega_{\alpha_i - \alpha_j} = 2\pi(\cos\alpha_i - \cos\alpha_j),$$

получаем окончательное выражение зонального светового потока

$$F_{\alpha_i - \alpha_j} = 2\pi(\cos\alpha_i - \cos\alpha_j)I_{\text{ср}}. \quad (92)$$

Полный поток светильника определяют, суммируя зональные потоки. В общем случае суммирование выполняют в пределах всего пространства от  $\alpha_i = 0^\circ$  до  $\alpha_j = 180^\circ$ :

$$F = \sum_{\alpha_i}^{\alpha_j} F_{\text{зон}} = \sum_{\alpha_i}^{\alpha_j} 2\pi(\cos\alpha_i - \cos\alpha_j)I_{\text{ср}}. \quad (93)$$

Поток светильника, излучающего только в пределах нижней полушеры, следует выбирать от  $\alpha_i = 0^\circ$  до  $\alpha_j = 90^\circ$ .

Для быстрого подсчета светового потока можно пользоваться приближенной эмпирической формулой

$$F \cong \frac{\pi}{2}(I_{30} + 2I_{60} + I_{80} + I_{100} + 2I_{120} + I_{150}). \quad (94)$$

Здесь  $I_{30}, I_{60}$  — сила света под углами  $30$  и  $60^\circ$ .

Погрешность по этой формуле может быть  $10\%$  и более.

Полученные данные распределения силы света приводят к источнику с условным световым потоком  $1000$  лм по формуле

$$I_{\alpha}^{1000} = 1000I_{\alpha}/F. \quad (95)$$

Результаты опытов и расчетов, а также справочные данные свести в таблицу 28. По опытным и справочным данным вычертить в полярных координатах кривые светораспределения для светильника каждого типа.

Защитный угол светильника легко найти по резкому изменению освещенности при снятии кривой светораспределения. КПД светильника — это отношение светового потока светильника к световому по-

Таблица 28

Наименование и тип светильника	Опытные данные			Расчетные данные							
	номер измерения	угол $\alpha$ направления силы, град	освещенность $E$ , лк	сила света $I$ , кд	пределы зоны $\alpha_1 - \alpha_2$ , град	направленность средней силы света $\alpha_{ср}$ , град	средняя сила света $I_{ср}$ , кд	зональный телесный угол $\omega_{\alpha_1 - \alpha_2}$ , град	зональный световой поток $F_{\alpha_1 - \alpha_2}$ , лм	КПД светильника $\eta$ , о.е.	защитный угол свечения $\gamma$ , град

Примечания: 1. В выполняемой работе исследуют несколько светильников и лампу без светильника. Отдельно для светильника и лампы должна быть составлена такая же таблица.

2. Для каждого светильника чисто измерений будет различным в зависимости от его защитного угла.

току источника света. Значения светового потока лампы, КПД и защитного угла светильников, полученные опытным путем, сравнить со справочными данными.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Что называется осветительным прибором? 2. Какой прибор называется светильником? 3. Что такое сила света? 4. Что такое освещенность? 5. Что называется защитным углом светильника? 6. Как определить опытным путем КПД светильника? 7. Как повысить КПД светильника? 8. Что называется продольной кривой светораспределения светильника? 9. Дайте классификацию светильников по виду кривых светораспределения. 10. Как определяют высоту подвеса светильников? 11. Как классифицируют светильники по исполнению? 12. Какие требования предъявляют к материалам, из которых изготавливают светильники? 13. Назовите признаки, по которым классифицируют светильники. 14. Перечислите основные световые характеристики светильников.

### **Работа 10. Определение освещенности помещения опытным и расчетным путем**

**Цель работы.** Освоить различные методы световых расчетов освещения помещений. Оценить точность и применимость каждого метода, сопоставляя результаты расчета по ним со значениями измеренной фактической освещенности. Приобрести навыки измерений люксметром освещенностей рабочих поверхностей.

**Программа работы.** 1. Изучить методы расчета освещения.

2. Найти приближенно значения коэффициентов отражения стен, потолка и рабочей поверхности.

3. Определить освещенность рабочей поверхности следующими методами: точечным, коэффициента использования светового потока, удельной мощности.

4. Измерить освещенность помещения в контрольных точках и сравнить ее с расчетными значениями.

5. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** Способы расчета осветительных установок можно изучить, воспользовавшись литературой [2, 3, 9, 10] и методическими указаниями по курсовому проектированию, изложенными ниже.

Значения коэффициента отражения различных поверхностей получают опытным путем.

Коэффициентом отражения светового потока поверхности называют отношение светового потока  $F_\rho$ , отраженного поверхностью, к световому потоку  $F$ , падающему на поверхность:

$$\rho = F_\rho / F.$$

Значение падающего потока легко найти по освещенности и площади освещаемой поверхности по формуле (15). Определить отраженный по-



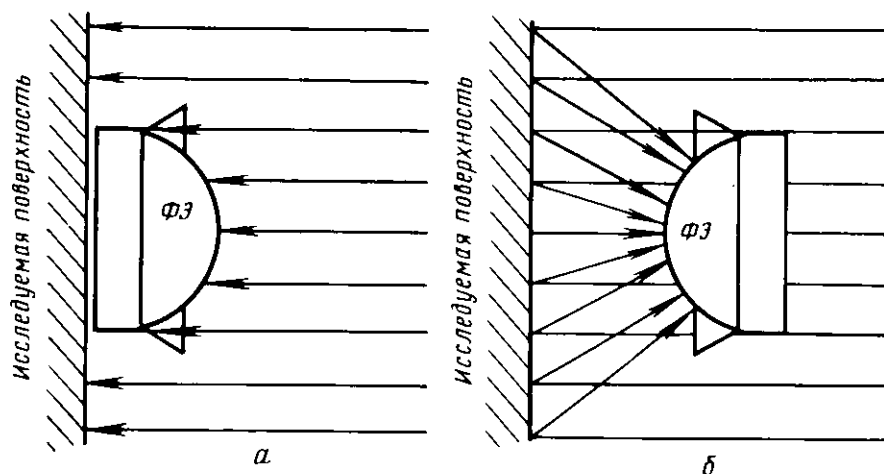


Рис. 42. Расположение фотоэлемента люксметра при определении коэффициента отражения поверхности:

*а* – измерение освещенности от падающего потока; *б* – измерение освещенности от отраженного потока

ток, не применяя специальные устройства и приборы, практически нельзя. Поэтому здесь рассмотрена упрощенная методика определения коэффициента отражения при помощи люксметра, позволяющая получить результат с погрешностью  $\pm 10\%$ . Сущность методики состоит в следующем.

При нахождении коэффициента отражения отношение световых потоков можно заменить отношением освещенности  $E_p$ , которую создает отраженный поверхностью поток в непосредственной от нее близости, к освещенности  $E$  поверхности, создаваемой падающим на нее потоком:

$$\rho = E_p / E. \quad (96)$$

Такая методика возможна, если площадь исследуемой поверхности значительно превышает площадь фотоэлемента люксметра, равномерно освещена и есть рассеянное отражение. В этом случае, расположив фотоэлемент на исследуемой поверхности, измеряют ее освещенность (рис. 42), которая может создаваться как естественными, так и искусственными, как однотипными, так и разнотипными источниками.

Затем фотоэлемент обращают светочувствительным слоем к поверхности и располагают его на расстоянии 20...30 см от нее в параллельной плоскости. Плавнo удаляя и приближая фотоэлемент к поверхности, фиксируют наибольшее показание люксметра. Это и будет освещенность  $E_p$ , создаваемая отраженным потоком. Отношение измеренных освещен-

ностей и есть коэффициент отражения. Очевидно, что точность такого определения  $\rho$  будет возрастать с уменьшением площади фотоэлемента.

Исследуемая поверхность должна представлять собой круг диаметром не менее 0,5 м. Результаты измерений с трехкратной повторностью вычислений заносят в таблицу 29.

Т а б л и ц а 29

Исследуемая поверхность	Характеристика поверхности, цвет, покрытие	$E_{\rho}$ , лк	$E$ , лк	$\rho$ , о.е.
Потолок				
Стена				
Рабочая				

Далее работу следует выполнять в такой последовательности:

снять план помещения, вычертить его в масштабе с указанием размещения светильников;

при помощи люксметра найти на рабочей поверхности точку с наименьшей освещенностью  $E_{\min}$ . Эта точка в дальнейшем будет расчетной  $M$ . Одновременно найти точку  $B$  с наибольшей освещенностью  $E_{\max}$ . Значения освещенностей записать;

точку  $M$  нанести на плане и определить расстояние от нее до светильников;

при известных параметрах источников света и светильников рассчитать создаваемую ими освещенность и сравнить ее с фактической.

Возможен другой вариант работы. Зная характеристику помещения, расположение светильников и их тип, рассчитать тремя методами мощность ламп накаливания. Измерить создаваемую ими освещенность и сравнить ее с расчетной. Существуют три метода светотехнического расчета.

**Точечный метод.** Исходная формула

$$E = E_{\text{пр}} + E_{\text{отр}}, \quad (97)$$

где  $E_{\text{пр}}$  — сумма прямых составляющих освещенности;  $E_{\text{отр}}$  — отраженная составляющая освещенности.

Следует помнить, что необходимая для расчетов сила света  $I$  в справочной литературе дается для условной лампы со световым потоком в 1000 лм и что истинное ее значение при известном потоке  $F$  реальной лампы следует находить из формулы (95).

Отраженную составляющую освещенности можно получить опытным или расчетным путем.

О п ы т н ы м п у т е м отраженную составляющую находят в контрольной точке при помощи открытого фотоэлемента. Затем, надев тубус

на фотоэлемент, направляют его ось на каждый из светильников и определяют прямые составляющие от этих светильников  $E_{\text{пр}1}$ ,  $E_{\text{пр}2}$  и т. д. Отраженную составляющую освещенности для  $j$ -го светильника вычисляют по формуле

$$E_{\text{пр}j} = E_{\text{т}j} \cos \alpha_j,$$

где  $E_{\text{т}j}$  - показания люксметра с тубусом для  $j$ -го светильника.

Отраженная составляющая освещенности при  $N$  светильниках

$$E_{\text{отр}} = E - \sum_1^N E_{\text{пр}j}.$$

Тубус фотоэлемента должен быть выполнен из непрозрачного материала, высотой не менее 150 мм. Сечение тубуса по форме и площади должно быть одинаковым со светочувствительной поверхностью фотоэлемента.

Расчетным путем отраженную составляющую определяют по соотношению

$$E_{\text{отр}} = \left( \frac{I}{I_0} - 1 \right) E_{\text{пр}}, \quad (98)$$

где  $I$ ,  $I_0$  - коэффициенты использования светового потока при нормальных условиях и при  $\rho = 0$ , взятые из справочной литературы [9, 10].

Результаты расчетов и опытов занести в таблицу 30.

Т а б л и ц а 30

Номер измерения	Прямые составляющие освещенности $E_{\text{пр}}$ , лк	Отраженная составляющая освещенности $E_{\text{отр}}$ , лк	Полная освещенность в контрольной точке $E$ , лк

**Метод коэффициента использования светового потока.** Расчетная величина в этом случае - коэффициент использования светового потока осветительной установки, определяемый типом светильника, размером помещения, коэффициентами отражения стен, потолка и пола помещения и представляющий собой отношение потока, падающего на рабочую поверхность, к потоку всех ламп.

Для расчета освещенности этим методом используют формулу

$$E = F_{\text{н}} NI / (Azk),$$

где  $F_{\text{н}}$  - табличное значение потока для лампы, установленной в светильнике, лм;  $z$  - коэффициент неравномерности освещения, вычисляемый по формуле

$$z = (E_{\text{min}} + E_{\text{max}}) / 2E_{\text{min}} = E_{\text{cp}} / E_{\text{min}}$$

или выбираемый по справочным таблицам [2, 3, 4] как коэффициент минимальной освещенности.

Полученные значения заносят в таблицу 31.

Т а б л и ц а 31

Световой поток лампы $F_n$ , лм	Площадь помещения $A$ , м <sup>2</sup>	Число светильников $N$	Индекс помещения $i$	Коэффициент использования $И$	Коэффициент минимальной освещенности $z$	$E_{расч}$ , лк

**Метод удельной мощности.** Его применяют для определения осветительной нагрузки при расчетах электрических линий и источников электроснабжения. В световом отношении этот метод неточен. Однако при приближенных расчетах им успешно можно пользоваться.

В данном случае удельную мощность рассчитывают по формуле

$$P_{уд} = P_n N / A.$$

По найденному значению  $P_{уд}$  в таблицах [9, 10] для известных параметров светильника, расчетной высоты, площади помещения  $A$ , коэффициентов отражения потолка, стен и рабочей поверхности путем интерполирования между двумя соседними значениями определяют освещенность.

Результаты расчетов освещенности тремя методами и замеренную минимальную освещенность записывают в таблицу 32 и сравнивают данные.

Т а б л и ц а 32

Методы расчета	Измеренная освещенность $E_{мин}$ , лк	Рассчитанная освещенность $E_{расч}$ , лк	Абсолютная ошибка $\Delta E$	Относительная ошибка $\Delta E$ , %
----------------	----------------------------------------	-------------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------

Точечный  
Коэффициента использования  
Удельной мощности

Абсолютную ошибку каждого метода определяют по формуле

$$\Delta E = E_{расч} - E_{мин}.$$

Относительная ошибка, %,

$$\Delta E = \frac{\Delta E}{E_{мин}} 100.$$

По результатам работы сделать выводы по точности расчетов освещенности различными методами и применимости изученных методов для практического проектирования осветительных установок.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Перечислите методы расчета электрического освещения и области их применения. 2. Поясните сущность методов расчета освещения: точечного, коэффициента использования светового потока и удельной мощности. 3. Что такое освещенность? 4. Что такое условная освещенность, сила света? 5. Что называется коэффициентом использования светового потока, коэффициентом добавочной освещенности, коэффициентом минимальной освещенности? 6. Что такое удельная мощность? 7. В каких случаях применяют все три метода расчета освещения?

### **Работа 11. Исследование облучательных установок типа ИКУФ-1 и "Луч"**

**Цель работы.** Изучить конструкцию и исследовать электротехнические и оптические характеристики облучательных установок типа ИКУФ-1, "Луч".

**Программа работы.** 1. Изучить конструкции облучателей и обеих комбинированных установок типа ИКУФ-1, "Луч".

2. Изучить электрические схемы облучательных установок типа ИКУФ-1, "Луч".

3. Исследовать электротехнические и оптические параметры облучателя ИКУФ-1:

определить номинальные параметры (мощность, потребляемую из сети отдельными лампами и всем облучателем, напряжение на лампах, токи ламп и коэффициент мощности);

изменение тех же величин в зависимости от напряжения питания;

при номинальном напряжении для постоянной высоты подвеса опытным путем измерить облученности горизонтальной поверхности по продольной и поперечной осям облучателя, отдельно в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах излучения в зависимости от расстояния до центра проекции облучателя на горизонтальную поверхность;

по полученным опытным данным построить зависимости облученностей от расстояния;

по этим же опытным данным построить приближенные кривые равных облученностей горизонтальной поверхности под облучателем отдельно для ИК- и УФ-лучей.

5. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** По литературе [2, 4, 5, 12] ознакомиться с назначением, областью применения и конструкцией установок типа ИКУФ-1, "Луч" для одновременного инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения живых организмов. Изучить электрические схемы и принципы действия обеих установок.

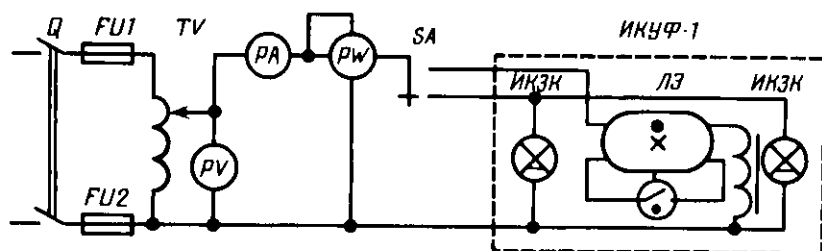


Рис. 43. Электрическая схема для исследования облучателя ИКУФ-1

По рисунку 43 собрать электрическую схему для исследования электротехнических и оптических характеристик облучателя.

Изменяя автотрансформатором напряжение на зажимах ламп от 190 до 250 В (для ламп ИКЗК) и от 110 до 145 В (для ламп ЛЗ), снять зависимости токов, мощностей, коэффициента мощности и потоков (облученностей) от напряжения. Интервалы изменения напряжения взять не более 10 В. Высоту подвеса облучателя следует брать 0,5...1 м. При измерениях потоков (облученностей) необходимо учитывать только излучения исследуемых источников.

Оптические измерительные приемники должны поочередно помещаться в одной и той же точке под источником. Результаты измерений записать в таблицы 33 и 34.

Таблица 33

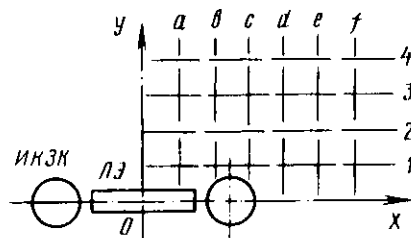
Номер измерения	Напряжение питания $U_{сх}$		Ток лампы $I_{ИК}$		Мощность лампы $P_{ИК}$		Освещенность $E$		Инфракрасная облученность $E_{ИК}$	
	В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.	лк	о.е.	Вт/м <sup>2</sup>	о.е.

Таблица 34

Номер измерения	Напряжение питания $U_{сх}$		Ток эритемной лампы $I_{эл}$		Мощность эритемной лампы $P_{эл}$		$\cos \varphi$	Освещенность $E$		Ультрафиолетовая облученность $E_{уф}$	
	В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.		лк	о.е.	Вт/м <sup>2</sup>	о.е.

При этом вместо потоков источников излучения измеряют освещенность и облученность в одной точке под источником.

Рис. 44. Координатная сетка для размещения измерительных приемников оптического излучения под облучателем ИКУФ



Очевидно, что в относительных единицах и характер, и численные значения зависимостей потоков и создаваемых ими облученностей от напряжения питания будут одинаковыми.

При необходимости зависимости потоков от напряжения в абсолютных единицах легко рассчитать по паспортному номинальному потоку источника и облученности в относительных единицах.

По данным таблиц 33 и 34 построить в относительных единицах кривые изменения электротехнических и оптических параметров облучателя от напряжения питания.

Измерить облученности горизонтальной поверхности под облучателем, установленным на высоте 0,5...1 м, по его продольной и поперечной осям. Облученности определять отдельно для видимых УФ- и ИК-лучей. Измерения проводить только в одной четверти облучаемой поверхности (рис. 44), полагая, что распределение потоков симметрично относительно обеих осей  $X$  и  $Y$ . Результаты записать в таблицу 35.

Таблица 35

Номер измерения	Координаты точки измерения	$E$ , лк	Облученность в точке			
			$E_{ИК}$		$E_{УФ}$	
			дел.	Вт/м <sup>2</sup>	дел.	Вт/м <sup>2</sup>

Координаты точек измерений можно определить точкой пересечения взаимно перпендикулярных вспомогательных линий, например  $xу(0)$ ,  $ax$ , ...,  $4a$ ,  $5c$  и т. д. Расстояния между вспомогательными линиями должны быть не более 10 см.

По данным таблицы 35 построить кривые изменения ИК- и УФ-облученностей ( $E_{ИК}$  и  $E_{УФ}$ ) по осям  $X$  и  $Y$  по всей длине и ширине поверхности под облучателем. На основании табличных данных построить отдельно кривые равных облученностей  $E_{ИК}$  и  $E_{УФ}$  под облучателем. Для этого на миллиметровой бумаге вычертить в масштабе облучатель (тонкими линиями) и координатную сетку на два квадранта. Во всех

узлах координатной сетки разноцветными карандашами отметить значения  $E_{ИК}$  и  $E_{УФ}$ . Затем по этим значениям как можно точнее провести разными цветами кривые равных облученностей для ИК- и УФ-лучей.

Для повышения точности построения кривых расстояние между взаимно перпендикулярными линиями  $a, b, c \dots$  и  $1, 2, 3 \dots$  координатной сетки можно уменьшить.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Какое влияние оказывают ультрафиолетовые лучи на живые организмы? 2. Каково воздействие инфракрасных лучей на живые организмы? 3. Что называется продольной кривой светораспределения светильника или облучателя? 4. В чем сущность понятия фотореактивации? 5. Назовите преимущества совместного ультрафиолетового и инфракрасного облучения животных. 6. Поясните сущность закона взаимозаменяемости. 7. Объясните принцип действия тепловых и фотоэлектрических приемников оптического излучения. 8. Расскажите о принципе действия ламп типа ЛЭ и ИКЗК.

### **Р а б о т а 12. Автотрансформаторный и тиристорный способы регулирования светового потока ламп**

**Цель работы.** Опытным путем получить основные характеристики ламп накаливания и люминесцентной при автотрансформаторном и тиристорном регулировании напряжения питания. Провести сравнительный анализ полученных характеристик и сделать оценочные выводы по способам регулирования.

**Программа работы.** 1. Экспериментально определить диапазон возможного регулирования вниз от номинального напряжения на лампах накаливания и люминесцентной.

2. Для ламп накаливания и люминесцентной снять зависимости светового потока  $F_v$ , мощности  $P$ , световой отдачи  $\eta_v$ , коэффициента пульсации  $a$ , коэффициента амплитуды  $k_a$  от питающего напряжения при автотрансформаторном регулировании.

3. Снять зависимости по предыдущему пункту при тиристорном регулировании.

4. Построить графические зависимости светового потока, мощности, световой отдачи, коэффициента пульсации, коэффициента формы и срока службы отдельно для лампы накаливания и люминесцентной лампы при автотрансформаторном и тиристорном регулировании.

5. Провести сравнительный анализ полученных зависимостей для автотрансформаторного и тиристорного способов регулирования и сформулировать достоинства и недостатки каждого из них.

6. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** По наглядным пособиям в лаборатории, справочной литературе [2] уяснить сущность регулирования светового потока источников света при помощи автотрансформатора и тиристорного регулятора напряжения.



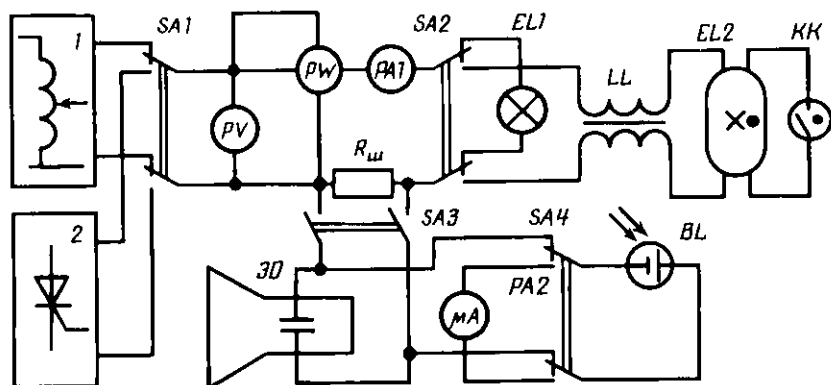


Рис. 45. Электрическая схема исследования автотрансформаторного и тиристорного регулирования светового потока ламп

По рисунку 45 собирают схемы для снятия характеристик источников света. Каждую лампу поочередно подключают к одному из регуляторов напряжения и, плавно снижая напряжение от номинального до значения  $U_0$ , при котором световой поток лампы накаливания становится близким нулю, а люминесцентная гаснет, определяют диапазон возможного регулирования напряжения от  $U_0$  до  $U_H$ .

Изменяя напряжение на выходе регуляторов через интервал 10...20 В, снимают показания приборов  $PV$ ,  $PW$ ,  $PA$  и люксметра и записывают их в таблицу 36. Всего заполняют четыре таких таблицы: для каждого регулятора ламп накаливания и люминесцентных. Одновременно с показаниями приборов при помощи электронного осциллографа ЭО снимают осциллограммы тока лампы и кривую светового потока.

Все измеренные значения переводят в относительные единицы, приняв номинальное напряжение 220 В.

Для известных типа и мощности ламп из приложений 5 и 10 принимают номинальные значения потоков исследуемых ламп и записывают их в таблицу 36 в строке номинального напряжения. Все значения световых потоков  $F_x$  при напряжениях, отличных от номинального, вычисляют по соотношению

$$F_x = F_H E_x / E_H.$$

Световую отдачу определяют как отношение светового потока к мощности источника.

Коэффициент пульсации находят по формуле (89). Для этого при измерениях каждого значения освещенности фотозлемент люксметра отключают от гальванометра и подключают на вход электронного осциллографа (см. рис. 45).

Таблица 36

Номер измерения	Опытные данные							
	напряжение $U_{сх}$		ток $I_{EL}$		мощность $P$		освещенность $E$	
	В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.	лк	о.е.

Продолжение

Номер измерения	Расчетные данные							
	световой поток $F$		световая отдача $\eta_D$		коэффициент пульсации $a$ , %	коэффициент амплитуды $k_a$ , о.е.	срок службы $t_{сл}$	
	лм	о.е.	лм/Вт	о.е.			ч	о.е.

По осциллограмме светового потока определяют минимальное, максимальное и среднее значения потока. При всех измерениях фотоэлемент располагают в одном и том же месте по отношению к исследуемой лампе.

Коэффициент  $k_a$  вычисляют как отношение амплитуды к действующему значению тока лампы. Эту величину измеряют амперметром, включенным в цепь лампы (см. рис. 45). Для получения амплитуды тока одновременно с измерением действующего значения на вход электронного осциллографа подают падение напряжения на известном сопротивлении шунта  $R_{ш}$ . При помощи калибратора напряжения электронного осциллографа находят амплитуду падения напряжения и амплитуду тока.

Срок службы лампы накаливания при номинальном напряжении принимают за единицу. Значение его при этом равно 1000 ч. При других напряжениях питания относительное значение срока службы принимают по приложению 6 и, умножая его на 1000, определяют срок службы в часах.

Срок службы люминесцентной лампы зависит от коэффициента формы тока (табл. 37). Из этой таблицы по ранее вычисленному  $k_a$  находят в долях номинального срока службы  $t_{сл.н}$  фактический срок  $t_{сл}$ . Взяв из приложения 10 значение  $t_{сл.н}$ , определяют фактический срок в часах.

Таблица 37

Параметры	Значения параметров						
$k_a$	1,41	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	
$t_{сл}/t_{сл.н}$	1,00	0,88	0,73	0,56	0,36	0,16	

По таблицам в относительных единицах строят графики зависимостей характеристик ламп от напряжения, подводимого от регулятора к лампе. У светового потока, мощности, световой отдачи, коэффициента пульсации и срока службы масштабы графиков и координатная ось одинаковые. Для коэффициента амплитуды берут отдельную координатную ось.

Построенные графики необходимо проанализировать и сделать выводы о достоинствах и недостатках каждого способа регулирования.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Поясните сущность регулирования светового потока ламп при изменении амплитуды и действующего значения напряжения питания. 2. В чем различие характеристик ламп накаливания и люминесцентной при автотрансформаторном и тиристорном способах регулирования? 3. Назовите достоинства и недостатки автотрансформаторного и тиристорного способов регулирования светового потока ламп. 4. Что такое коэффициент амплитуды тока? 5. Почему срок службы люминесцентных ламп существенно уменьшается при тиристорном регулировании напряжения питания?

### **Работа 13. Автоматическое управление осветительными и облучательными установками**

**Цель работы.** Изучить принципы построения систем и технические средства автоматического управления осветительными и облучательными установками. Приобрести навыки разработки и построения схем управления такими установками.

**Программа работы.** 1. Изучить назначение и принципы построения систем автоматического управления осветительными и облучательными установками.

2. Ознакомиться с техническими средствами для автоматизации осветительных и облучательных установок.

3. Ознакомиться и опробовать в работе предложенную схему автоматического управления осветительной установкой.

4. Разработать принципиальные схемы автоматического управления осветительными и облучательными установками (по заданию преподавателя) или следующие их виды:

погруппового управления источниками света в три ступени;

управления освещением тремя ступенями с включением ламп на сетевое напряжение через активные сопротивления;

плавного регулирования светового потока ламп при помощи автотрансформатора.

5. Оформить отчет о работе.

**Методика выполнения работы.** По методическому указанию, имеющимся в лаборатории наглядным пособиям и рекомендуемому материалу [2] изучить назначение, применение и принципы построения систем

автоматического управления осветительными и облучательными установками. Ознакомиться с конструкциями и принципами действия технических средств автоматизации осветительных и облучательных установок: программных устройств 2РВМ и ПРУС-1, автотрансформаторов, магнитных усилителей, тиристорных регуляторов и др.

Изучить принцип работы приведенных в методическом указании схем автоматического управления осветительными установками. Предложенные схемы автоматизации опробовать под напряжением и внимательно проследить за работой каждого из элементов системы. Разработать несколько принципиальных электрических схем автоматического управления осветительными установками. При выполнении работы следует использовать изложенный ниже материал.

Любая система управления осветительными и облучательными установками должна отвечать следующим требованиям: обеспечивать световой режим или режим облучения, необходимый для нормального протекания технологического процесса; способствовать улучшению условий труда людей и экономии электрической энергии; быть надежной в работе и электробезопасной.

Управление освещением или облучением может быть местным и централизованным, неавтоматическим и автоматическим. Осветительными и облучательными установками управляют неавтоматическими коммутационными техническими средствами (выключатели и переключатели). Автоматическое управление осуществляется или по заранее установленной программе, или в зависимости от естественной освещенности. Устройства для автоматического управления освещением состоят из фотореле и блока коммутации.

Как только естественная освещенность снизится до заранее установленного уровня, фотореле, контролирующее освещенность, сработает и подаст управляющее воздействие на коммутационный аппарат, который включит осветительную установку. При возрастании естественной освещенности до заданного уровня фотореле даст сигнал коммутационному аппарату на отключение осветительной установки. Таков принцип работы рассматриваемой системы.

В настоящее время используют большое число фотореле различных конструкций, например ФР-2, ФРМ-62А, ФРП-1, фотореле на транзисторах, микросхемах и др. Наиболее широкое распространение получила схема управления уличным освещением населенного пункта. В схеме применено фотореле ФР-2, расположенное в питающей комплектной трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ.

Управление освещением или облучением по заданной программе, как правило, связано со ступенчатым, скачкообразным или плавным изменением потока источников оптического излучения, падающего на рабочие поверхности.

Одноступенчатое изменение потока — самый простой способ автоматического управления оптической установкой. Он осуществляется

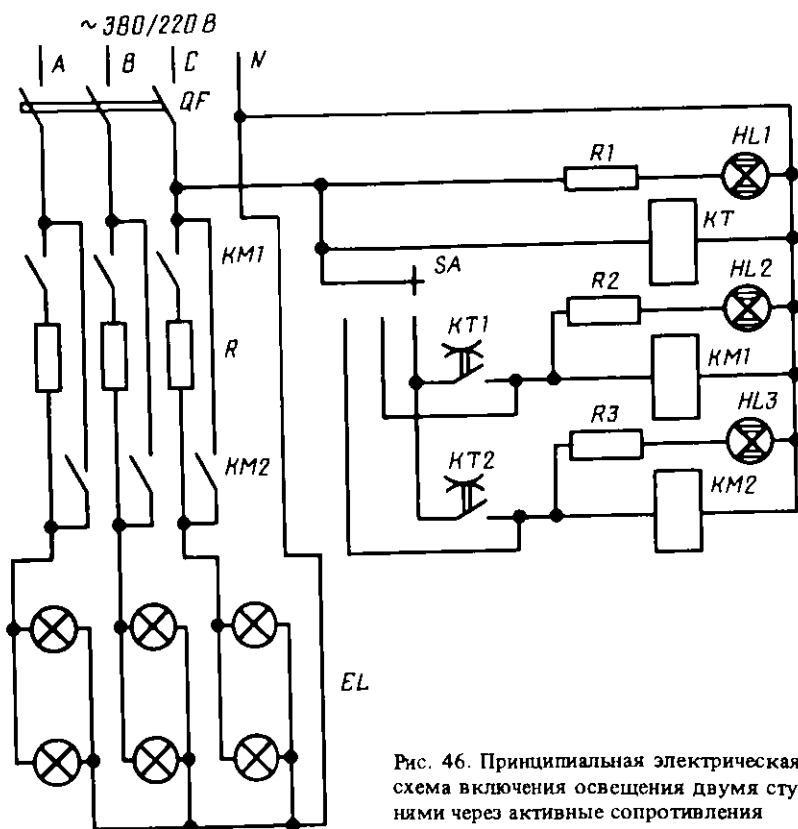


Рис. 46. Принципиальная электрическая схема включения освещения двумя ступенями через активные сопротивления

по принципу включено — отключено при помощи времязадающего аппарата (реле времени, часовой механизм).

Многоступенчатое изменение потока установки — это способ регулирования потока при помощи погруппового включения или отключения светильников, равномерно размещенных над освещаемой поверхностью. Для реализации такого управления необходимы многоцепные программные аппараты, которыми можно осуществить имитацию "рассвета" или "заката". У системы управления освещением два существенных недостатка: неравномерность освещенности по рабочей поверхности и сложность, большую металлоемкость и высокую стоимость осветительной сети.

Более совершенным считают регулирование потока, падающего на рабочую поверхность, изменением напряжения питания источников излучения, которое в свою очередь может быть ступенчатым или плавным.

Ступенчатое изменение напряжения осуществляют, включая в групповую сеть светильники с постоянными сопротивлениями. За счет падения напряжения на них изменяется напряжение, подводимое к лампам (рис. 46). Включение и отключение шунтированием резисторов выполняют при помощи контактов магнитных пускателей, контакторов или других коммутационных аппаратов. Недостатки этого способа регулирования — неплавное изменение освещенности или облученности и большие потери энергии в сопротивлениях. Такие потери отсутствуют в схеме изменения напряжения на лампах в две ступени при переключении ламп с последовательного на параллельное соединение (рис. 47).

Есть два способа плавного изменения напряжения на зажимах источников излучения: при изменении амплитуды напряжения и изменении действующего значения напряжения.

Амплитуду напряжения изменяют при помощи автотрансформаторов, трансформаторов с насыщением, магнитных усилителей или управляемых реакторов. Однако все эти устройства металлоемки и массивны, имеют большие габаритные размеры и высокую стоимость, что ограничивает их практическое применение в сельскохозяйственном производстве. Промышленность выпускает регулятор напряжения

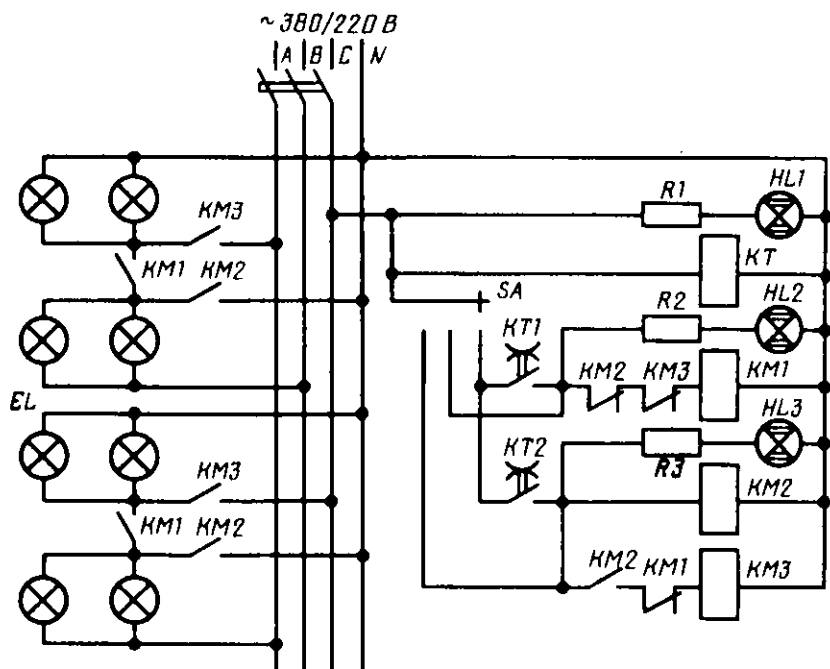


Рис. 47. Принципиальная электрическая схема включения освещения двумя ступенями переключением ламп с последовательного на параллельное соединение

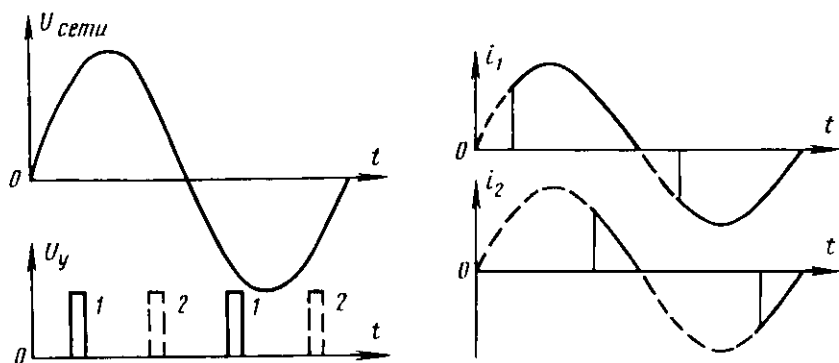


Рис. 48. Импульсно-фазовое управление:

1 — импульс управления с фазой, соответствующей току  $i_1$ ; 2 — то же, для тока  $i_2$

РНП-5-250 на магнитном усилителе в качестве силового блока регуляторов освещения типа "Старт-1", "Старт-2" и "Свет".

Действующее значение напряжения изменяют при помощи полупроводниковых диодов, тринисторов и симисторов, работающих в ключевом режиме, подключая лампы к источнику питания на регулируемое время в пределах каждого полупериода синусоидального напряжения. Для этого на управляющий электрод вентиля подают импульсы с частотой сети. Сдвигая момент подачи этих импульсов во времени относительно синусоидального анодного напряжения, регулируют угол отпирания вентилей, а следовательно, и ток, проходящий через ventиль. Наиболее распространен фазово-импульсный метод, при котором на управляющий электрод подают прямоугольные импульсы напряжения. Угол отпирания вентилей при этом может изменяться в диапазоне  $0...180^\circ$  (рис. 48).

Для автоматизации управления различными электроустановками, в том числе управления световыми режимами и режимами облучения в животноводческих и птицеводческих помещениях, промышленность выпускает различные командные приборы и устройства. Из них наиболее широко применяют реле времени 2РВМ, программное реле управления светом ПРУС-1 и ПРУС-2, программный многоценный аппарат МКП-212 и др. Общее представление об устройстве приборов 2РВМ и ПРУС-1 можно получить из справочной литературы [2].

Приведенными выше схемами проиллюстрированы принципы управления осветительными установками. Схемные же их реализации могут быть отличными от рассмотренных. В отчете о работе студенты должны предложить собственные варианты схем управления.

### *Контрольные вопросы и задания*

1. Какие требования предъявляют к системам управления осветительными и облучательными установками? 2. Назовите основные принципы автоматического управления осветительными и облучательными установками. 3. Как работает фотореле ФР-2? 4. Перечислите варианты программного управления осветительными установками. 5. Поясните принципы программного управления освещением ступенчатым и плавным изменением напряжения на зажимах источников света. 6. Как изменяют амплитуду и действующее значение напряжения питания при плавном регулировании потока источников излучения? 7. Как устроены программные реле времени 2РВМ и реле управления светом ПРУС-1? 8. Как работает схема погруппового управления источниками света для изменения освещенности на рабочих поверхностях? 9. Поясните принцип работы схемы освещения двумя ступенями с включением ламп через активное сопротивление. 10. Объясните принцип работы схемы включения освещения при переключении ламп с последовательного на параллельное соединение.



### Глава III. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Завершающий этап изучения дисциплины "Электрическое освещение и облучение" – курсовое проектирование, цель которого систематизировать, расширить, углубить и закрепить теоретические знания студента. В процессе этой работы обучающийся приобретает навыки и опыт самостоятельного проектирования осветительных установок. Каждый студент получает от преподавателя индивидуальное задание и в соответствии с приведенными здесь методическими указаниями разрабатывает проект установки.

Задание на проектирование включает название объекта, для которого должна быть разработана осветительная установка, характеристику строительной части и краткое описание технологических процессов в отдельных помещениях.

При проектировании студенту следует, кроме рекомендуемой здесь литературы, использовать справочный, нормативный, специальный периодический материал, а также типовые проекты.

#### 1. СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа по электрическому освещению состоит из двух частей: светотехнической и электротехнической.

**Светотехническая часть** содержит: выбор источников света, нормированной освещенности, вида и системы освещения, типа светильников, коэффициентов запаса и добавочной освещенности; расчет размещения светильников (определение высоты и места подвеса, расстояния от стен и между светильниками, числа светильников), светового потока лампы (можно брать из каталога).

Световой поток ламп определяют следующими методами: точечным, коэффициента использования светового потока и удельной мощности. В пояснительной записке приводят подробный расчет одного помещения тремя методами, результаты расчетов по остальным помещениям (любым методом) – в светотехнической ведомости. Кроме этого, в расчетно-пояснительной записке проекта должно быть по одному примеру проверочного расчета каждым методом.

**Электрическая часть** проекта содержит: выбор мест расположения магистральных и групповых щитков, трассы сети и составление схемы

питания и управления освещением, вида проводки и способа прокладки; расчет осветительной сети по допустимой потере напряжения с последующей проверкой сечения по длительно допустимому току и по механической прочности, защиты осветительной сети; рекомендации по монтажу осветительной установки; меры защиты от поражения электрическим током.

Решения отдельных вопросов светотехнической и электротехнической частей тесно взаимосвязаны и выполняются одновременно.

Проект включает в себя расчетно-пояснительную записку и графическую часть.

**Расчетно-пояснительная записка** содержит задание на проектирование и краткую характеристику объекта, проектные решения и их обоснования по светотехнической части и светотехническую ведомость, проектные решения и их обоснования по электротехнической части, список использованной литературы.

Объем расчетно-пояснительной записки 20...30 с. на листах 11 основного формата (А4).

**Графическая часть** проекта содержит чертеж на одном листе 24 основного формата (А1), на котором должны быть изображены план и разрез объекта (рекомендуемые масштабы 1:200, 1:100 и реже 1:50) с указанием его основных размеров, контуров технологического оборудования, определяющего размещение светильников, и с нанесением светильников, розеток, выключателей, понижающих трансформаторов, осветительной сети рабочего, дежурного и аварийного освещения, питающих и групповых щитков и ввода в помещение. Кроме того, на плане должны быть сделаны следующие надписи и обозначения:

номера отдельных помещений;

значения нормированной освещенности в каждом помещении;

тип светильников и рядом дробь, в числителе которой указывают мощность лампы в светильнике и число светильников, а в знаменателе высоту их подвеса над полом. Каждая группа сети должна быть снабжена надписью, содержащей номер группы, марку провода, площадь его сечения и способ прокладки. У всех групповых и питающих щитков также

должны быть соответствующие надписи вида  $1 \frac{7,5}{0,2}$  ОЩВ-6, в которой 1 —

номер щитка по плану; 7,5 — установленная мощность осветительной установки, кВт; 0,2 — потеря напряжения до щитка, %; ОЩВ-6 — тип щитка и число отходящих от него групповых линий;

экспликация помещений объекта;

расчетная схема осветительной сети;

условные обозначения и надписи;

спецификация на оборудование и материалы.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ РАБОТЫ**

Работу над проектом следует начать с вычерчивания плана и, если требуется, разреза объекта в необходимом масштабе. Недостающие размеры помещений находят по масштабу исходного чертежа и указанным на нем данным. При проектировании осветительной установки реального объекта размеры определяют непосредственными измерениями.

Затем выполняют отдельные разделы проекта в последовательности, приведенной выше в материале о составе проекта.

### **Светотехническая часть проекта**

**Выбор источника света.** Из всего многообразия выпускаемых промышленностью источников света для освещения помещений наиболее приемлемы лампы накаливания и люминесцентные. Высокая световая отдача, значительный срок службы, более благоприятный спектральный состав излучения люминесцентных ламп позволяют проектировщикам уверенно отдавать им предпочтение.

В спектре люминесцентных ламп преобладают сине-фиолетовые и желтые излучения. Красные излучения очень искажают цветопередачу. С этим же связан еще один большой недостаток люминесцентных ламп (а также и ламп типа ДРЛ), заключающийся в существенном повышении нижней границы зоны зрительного комфорта (когда освещение воспринимается как вполне достаточное). Так, если для установки с лампами накаливания эта граница находится на уровне освещенности 30...50 лк, то для установки с люминесцентными лампами белого света 150...200 лк, а с лампами дневного света 300...500 лк. Это явление, получившее название "сумеречного эффекта", указывает на нецелесообразность применения люминесцентных ламп и ламп типа ДРЛ для создания низких уровней освещенности — менее 50 лк. При более высоких уровнях освещенности предпочтение отдают люминесцентным лампам.

Наружное освещение следует выполнять при помощи ламп накаливания или типа ДРЛ. В ряде случаев для освещения высоких помещений можно использовать одновременно лампы накаливания и лампы типа ДРЛ, что существенно улучшает цветопередачу.

**Выбор вида и системы освещения.** В электрических осветительных установках различают следующие виды освещения: рабочее, дежурное, аварийное, охранное, архитектурное, декоративное и т. д. В сельскохозяйственном производстве широко применяют в основном освещение первых четырех видов.

Рабочее освещение предназначено для создания во всех точках рабочих поверхностей нормальных условий видения при выполнении некоторых работ. При этом освещенность во всех точках должна быть не

ниже нормированной, а пульсация светового потока не должна превышать ее допустимого значения.

Дежурное освещение служит для создания определенных условий видения при периодическом контроле состояния животных, птицы, работающего в автоматическом режиме оборудования, а также в проходах, коридорах, при входах в помещения и т. д. В соответствии с рекомендациями оно должно создавать 10...20 % нормированной рабочей освещенности, но не менее 0,5 лк в главных проходах и 2 лк в тамбурах и на входных площадках. Его следует предусматривать во всех животноводческих помещениях [6]. Для этого из числа светильников общего освещения в помещениях для содержания животных должно быть выделено 10 % и в родильных отделениях 15 %. Светильники дежурного освещения следует размещать равномерно над проходами животноводческого помещения [6].

Аварийное освещение применяют для обеспечения нормального ритма работы при внезапном отключении рабочего освещения. Аварийное освещение прокладывают в тех случаях, когда внезапное отключение рабочего освещения может привести к длительному нарушению технологического процесса, пожару, отравлению людей или их травматизму, невозможности нормального обслуживания больных в операционных и кабинетах неотложной помощи, перерывам в работе электростанций, связи, диспетчерских пунктов, пунктов управления водоснабжением, канализацией, теплофикацией, вентиляцией и кондиционированием воздуха.

В сельском хозяйстве аварийное освещение выполняют на электрических станциях и подстанциях, инкубаторных станциях, ветеринарных пунктах, зернотоках, различных сушильных установках. При этом наименьшая освещенность рабочих поверхностей должна быть не ниже 5 % нормированной освещенности, но не менее 2 лк внутри помещения и 1 лк на наружных площадках [8].

Эвакуационное аварийное освещение монтируют в производственных помещениях с числом одновременно работающих 50 и более человек, в общественных помещениях с числом одновременно находящихся свыше 100 человек, на лестничных клетках многоэтажных жилых домов. Эвакуационное освещение при этом должно создавать необходимые условия видения не только в самих помещениях, но и во всех опасных и основных проходах, на лестницах. Освещенность на полу (на земле) проходов и на ступенях лестниц должна быть не менее 0,5 лк в помещениях и 0,2 лк на открытых территориях [9].

В соответствии с правилами устройства электроустановок аварийное освещение должно выполняться лампами накаливания. Допускается использование люминесцентных ламп в помещениях с температурой выше 5 °С, если при этом напряжение в сети не менее 0,9 номинального.

Питание аварийного освещения осуществляется от автономного ис-

точника или от сети, которая не зависит от рабочего освещения. На светильниках должны быть специальные знаки или надписи.

В осветительных установках различают системы общего и комбинированного освещения. Система общего освещения может быть равномерной и локализованной. Использование в помещениях одной системы местного освещения не допускается.

**Общее освещение** применяют во всех сельскохозяйственных, общественных и культурно-бытовых помещениях, где нормированная освещенность не более 50 лк в установке с лампами накаливания и 150 лк с люминесцентными лампами. Если освещенность превышает указанные значения, то применяют систему комбинированного освещения. Эта система обеспечивает одновременное действие общего и местного освещения на рабочих поверхностях, а на остальных площадях помещения — только общего освещения. На рабочих поверхностях общее освещение должно создавать 10 % нормированной освещенности, но не менее 50 лк при лампах накаливания и не ниже 150 лк при люминесцентных. В помещениях без естественного освещения общее освещение в системе комбинированного должно создавать 20 % всей нормы освещенности.

**Выбор нормированной освещенности.** Нормированная освещенность — это наименьшая допустимая освещенность в "наихудших" точках рабочей поверхности перед очередной чисткой светильников. Значение этой освещенности устанавливают в зависимости от характера зрительной работы, размеров объекта различия, фона и контраста объекта с ним, вида и системы освещения, типа источника света. Все нормы освещенности приведены в отраслевых нормативах, справочной литературе [2, 6, 9], СНиП [8] и инструктивных материалах. Нормы освещенности сельскохозяйственных объектов также даны в специальной литературе [2, 6]. При выборе нормированной освещенности необходимо иметь в виду, что при освещенности внутри помещений до 50 лк в качестве источников света следует использовать лампы накаливания, а выше 50 лк — люминесцентные. При этом нормы освещенности для люминесцентного освещения в несколько раз превышают нормы для ламп накаливания (см. приложение 30).

**Выбор коэффициента запаса и добавочной освещенности.** Снижение светового потока осветительной установки из-за загрязнения светильников и источников света (даже при регулярной чистке) и их старения при расчетах учитывают коэффициентом запаса, представляющим собой отношение светового потока нового светильника с новой лампой к световому потоку того же светильника в конце срока службы лампы. Коэффициент запаса выбирают в зависимости от характеристики помещения и типа источника света по отраслевым нормам освещения, специальной справочной литературе [2, 9]. При расчете освещенности в любой точке учитывают световые потоки только ближайших светильников. Для учета действия удаленных светильников и отраженных потоков в

расчетной формуле используют коэффициент добавочной освещенности. Его значение зависит от коэффициентов отражения стен и потолка помещения и от светораспределения светильников, т. е. от их типа. Значения коэффициента добавочной освещенности даны в справочной литературе [2, 9].

**Выбор типа светильников.** От правильного подбора светильников зависят надежность работы осветительной установки, ее эффективность и экономичность. Поэтому необходимо учитывать условия окружающей среды; светораспределение светильников, необходимое для проектируемой осветительной установки; экономическую целесообразность применения; эстетические требования к конструктивному исполнению светильников (в общественных и культурно-бытовых помещениях).

Для сухих отапливаемых помещений тип светильника выбирают по светотехническим характеристикам, а для помещений со сложными условиями работы еще и по исполнению. При этом следует иметь в виду, что нельзя применять лампы большей мощности, чем допустимо для данного светильника. В противном случае светильник перегреется и изоляция вводных проводов выйдет из строя. Использование ламп меньшей мощности неэкономично. Тип светильников также можно выбирать по справочной литературе [9, 5] и по приложениям 31...33 к настоящему пособию.

**Размещение светильников в помещении.** Основная задача проектирования осветительной установки — это обеспечение заданного уровня освещенности и необходимого качества освещения при наименьшем суммарном световом потоке источников, т. е. при наименьшей установленной мощности. Решение задачи зависит от светораспределения применяемых светильников и их размещения на плане помещения, что определяется следующими размерами, м:  $h$  — высотой помещения,  $h_c$  — расстоянием от перекрытия до светильника ("свес"),  $h_{p,п}$  — высотой расчетной поверхности над полом,  $h_p$  — расчетной высотой:

$$h_p = h - h_c - h_{p,п}; \quad (99)$$

$L$  — расстоянием между соседними светильниками или рядами люминесцентных светильников. Если по длине и ширине помещения расстояния между светильниками различны, то их обозначают  $L_a$  и  $L_b$ ;  $l$  — расстоянием от крайних светильников или рядов светильников до стены.

Для подвесных светильников  $h_c = 0,3...0,5$  м, а для плафонов и встроенных светильников  $h_c = 0,2$  м. Высота свеса может быть и больше 0,5 м, но в этом случае светильники необходимо устанавливать на жестких подвесках, не допускающих их раскачивания.

Практика проектирования показывает, что при равномерном освещении светильники следует размещать по вершинам квадрата или ромба. Если их разместить по вершинам квадрата не удастся, то располагают по вершинам прямоугольника. При этом желательно, чтобы отношение большей стороны к меньшей не превышало 1,5.

Для каждого типа светильника определено оптимальное относительное расстояние между светильниками, равное отношению расстояния между ними к высоте подвеса над рабочей поверхностью:

$$\lambda = L/h_p. \quad (100)$$

Эти расстояния приводятся в справочной литературе [3, 5]. При проектировании выдержать точно такие расстояния не всегда удается, но необходимо стремиться к тому, чтобы они не выходили за рамки допустимых значений.

Расстояние между стеной и крайними светильниками рекомендуют брать  $0,5L$ . Число светильников в ряду  $N_a$  и число рядов светильников  $N_b$  определяют по формулам

$$N_a = a/L \text{ и } N_b = b/L, \quad (101)$$

где  $a$  и  $b$  – длина и ширина помещения, м.

Дробные значения  $N_a$  и  $N_b$  округляют до целого большего числа. Если рабочие поверхности расположены у стен, то расстояние между стеной и крайним рядом светильников рекомендуют брать  $0,3L$ .

Размещение светильников определяют при любом методе расчета освещения.

**Расчет и выбор мощности источников света.** Задача светотехнического расчета – определить требуемую мощность источников света для обеспечения нормированной освещенности. В результате расчета находят световой поток источника света, устанавливаемого в светильнике. По этому потоку выбирают стандартную лампу. Отклонение светового потока выбранной лампы от расчетного значения допускается в пределах  $-10 \dots +20 \%$ . Если расхождение больше, то необходимо изменить число светильников, их размещение, тип и выполнить перерасчет, чтобы это расхождение укладывалось в указанные допустимые пределы. Так проводят прямой расчет осветительной установки. При проектировании делают поверочный расчет, цель которого – определить фактическую освещенность в расчетных точках рабочих поверхностей по светильникам известных типов и световым потокам установленных в них ламп. Расчеты обоих видов выполняют на основе одних и тех же методов.

В практике светотехнических расчетов наиболее широко применяют точечный метод, метод коэффициента использования светового потока и метод удельной мощности.

**Точечный метод.** Используют для расчета неравномерного освещения: общего локализованного, местного, наклонных поверхностей, наружного. Необходимый световой поток осветительной установки определяют исходя из условия, что в любой точке освещаемой поверхности освещенность должна быть не меньше нормированной, даже в конце срока службы источника света.

Освещенность в контрольной точке рабочей поверхности рассчитывают по формуле

$$E_v = \frac{F_{\text{вл}}}{1000} \frac{\mu}{k} \sum_{i=1}^{i=n} e_i, \quad (102)$$

где  $F_{\text{вл}}$  – фактический световой поток лампы, лм;  $\mu$  – коэффициент добавочной освещенности [2, 9];  $k$  – коэффициент запаса [2, 9];  $\sum_{i=1}^{i=n} e_i$  – суммарная условная освещенность расчетной точки, создаваемая  $n$  светильниками, в каждом из которых установлена условная лампа со световым потоком 1000 лм, лк.

Суммарная условная освещенность в рассчитываемой точке может быть определена как сумма освещенностей от ближайших светильников или по справочным кривым пространственного светораспределения выбранных светильников, или по кривым пространственных изолюкс.

По кривым светораспределения

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_i = \frac{I_{\alpha 1} \cos^3 \alpha_1}{h_{p1}^2} + \frac{I_{\alpha 2} \cos^3 \alpha_2}{h_{p2}^2} + \dots + \frac{I_{\alpha n} \cos^3 \alpha_n}{h_{pn}^2}, \quad (103)$$

где  $\alpha$  – угол между осью светильника и расчетной точкой;  $I_{\alpha}$  – сила света любого светильника, определяемая по кривым светораспределения, кд;  $h_p$  – расчетная высота светильника, м.

Более рациональный способ – нахождение условной освещенности по кривым изолюкс. В этом случае освещенность от каждого светильника в расчетной точке поверхности зависит непосредственно от его высоты  $h_p$  и от расстояния  $d$  между точкой и проекцией светильника на рабочую поверхность. Так находят освещенность точки при проверочных расчетах.

Для прямого расчета по формуле (102) определяют поток лампы, приравняв освещенность  $E_v$  к нормированному значению,

$$F_{\text{вл}} = 1000 E_{\text{нп}} k / \left( \mu \sum_{i=1}^{i=n} e_i \right). \quad (104)$$

Последовательность расчета осветительной установки точечным методом: находят минимальную нормированную освещенность; выбирают типы источника света и светильника, рассчитывают размещение светильников по помещению; на плане помещения с указанными светильниками намечают контрольные точки, в которых освещенность может оказаться наименьшей; вычисляют условную освещенность в каждой контрольной точке и точку с наименьшей условной освещенностью принимают за расчетную; по справочным таблицам устанавливают коэффициенты запаса и добавочной освещенности; по формуле (103) находят световой поток лампы; по световому потоку из приложений 5, 7, 10, 11 и справочных таблиц [2, 9, 10] выбирают ближайшую стандартную лампу, световой поток которой отличается от расчетного не более чем на  $-10$  или  $+20$  %, и определяют ее мощность; подсчитывают электрическую мощность всей осветительной установки.



В суммарную условную освещенность включают освещенности от ближайших светильников. Удаленными светильниками считают такие, которые создают в расчетной точке освещенность меньше 5 % освещенности от ближайших светильников [3].

Практика показывает, что если относительное расстояние между светильниками не ниже наивыгоднейшего, то достаточно учитывать освещенность лишь от светильников, расположенных в вершинах рассматриваемого и смежных с ним полей. Если расстояние между светильниками меньше наивыгоднейшего, то число учитываемых при расчете суммарной условной освещенности светильников увеличивают и определяют по их относительной освещенности.

Очень важно при вычислении светового потока ламп правильно выбрать расчетную точку. В качестве нее на освещаемой поверхности, в пределах которой должна быть обеспечена нормированная освещенность, берут точку с минимальной освещенностью. Такую точку следует брать в центре поля или посередине одной стороны крайнего поля — пространства, ограниченного четырьмя ближайшими светильниками. При этом не рекомендуют выбирать точки у стен и в углах помещения. Если в этих точках есть рабочие места, то освещенность в них можно довести до нормы, увеличивая мощность ближайших светильников или устанавливая дополнительные.

Освещенность наклонных и вертикальных поверхностей рассчитывают по формулам (102) и (104), заменив освещенность  $E_v$  горизонтальной поверхности на освещенность  $E_{nv}$  наклонной поверхности. Между собой эти освещенности связаны соотношением

$$E_{nv} = \psi E_v,$$

где  $\psi = \cos \theta + \frac{p}{h} \sin \theta$  поправочный коэффициент, зависящий от угла  $\theta$ , образованного горизонтальной плоскостью и неосвещенной поверхностью наклонной плоскости, от расстояния  $p$  светильника до пересечения наклонной и горизонтальной плоскостей на плане и от высоты  $h$  светильника над горизонтальной поверхностью.

**Метод коэффициента использования светового потока.** Метод применяют для нахождения равномерного освещения. Для расчета локализованного освещения, освещения наклонных и вертикальных поверхностей использовать его нельзя из-за большой погрешности получаемых результатов.

Основная расчетная формула

$$E_v = F_{v,л} N \eta / (z A k), \quad (105)$$

где  $F_{v,л}$  — световой поток лампы, установленной в светильнике, лм;  $N$  — число светильников над освещаемой поверхностью;  $\eta$  — коэффициент использования светового потока;  $z$  — коэффициент минимальной освещенности;  $A$  — площадь освещаемой поверхности, м<sup>2</sup>;  $k$  — коэффициент запаса.

Это выражение используют для определения освещенности при проверочных расчетах. При прямом расчете из формулы (105) находят световой поток лампы, которую необходимо установить в светильник, чтобы на расчетной поверхности была создана освещенность не ниже нормированной  $E_{\min}$ :

$$F_{\text{ул}} = E_{\min} A z k / (N \eta). \quad (106)$$

Входящий в формулу коэффициент использования светового потока выбирают по справочным таблицам [3, 9, 10] в зависимости от типа светильника, его КПД и характера светораспределения, коэффициентов отражения потолка, стен и рабочей поверхности и от размеров и формы помещения, которые учитывают индексом

$$i = a b / [h_p (a + b)], \quad (107)$$

где  $h_p$  — расчетная высота, м;  $a, b$  — длина и ширина помещения, м.

Приближенные значения коэффициентов отражения для различных помещений приведены в справочных таблицах [2, 9].

Последовательность расчета осветительной установки методом коэффициента использования светового потока: находят нормированную освещенность; выбирают тип и число светильников, место их размещения на плане; определяют коэффициенты отражения элементов помещения, индекс помещения, по справочным таблицам — коэффициент использования светового потока, коэффициенты запаса и минимальной освещенности; по формуле (106) рассчитывают световой поток лампы; по справочным таблицам подбирают ближайшую стандартную лампу, световой поток которой отличается от расчетного не более чем на  $-10...+20\%$ , и вычисляют ее мощность; подсчитывают электрическую мощность всей осветительной установки.

**Метод удельной мощности.** Применяют для расчета мощности осветительных установок при общем равномерном освещении горизонтальных поверхностей. Под удельной мощностью понимают отношение суммарной мощности источников света к площади освещаемой поверхности. Этот способ разработан на основе метода коэффициента использования светового потока, дает более простое решение задачи, но и менее точное. В его основе лежит формула

$$P_{\text{л}} = p_{\text{уд}} A / N, \quad (108)$$

где  $P_{\text{л}}$  — мощность лампы, Вт;  $p_{\text{уд}}$  — удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>;  $A$  — площадь помещения, м<sup>2</sup>;  $N$  — число ламп в осветительной установке.

Удельная мощность осветительной установки служит функцией переменных: нормированной освещенности, коэффициента использования светового потока, типа источника света, типа и размещения светильников, размеров помещения, коэффициентов отражения его поверхностей. В справочной литературе [9] даны таблицы удельных мощ-

ностей, составленные для ламп накаливания при коэффициенте запаса  $k = 1,3$  и для люминесцентных ламп при  $k = 1,5$ . При этом напряжение питания равно 220 В. Если напряжение осветительной установки 127 В, то табличные значения удельной мощности необходимо умножить на 0,86. Удельная мощность прямо пропорциональна коэффициенту запаса. Поэтому при значениях этого коэффициента, отличных от тех, для которых составлены таблицы, табличные значения удельной мощности должны быть пропорционально пересчитаны.

Для газоразрядных источников света таблицы удельных мощностей составлены только для одного значения освещенности 100 лк, поскольку между освещенностью и удельной мощностью существует прямая пропорциональная зависимость.

Метод удельной мощности по сравнению с методом коэффициента использования светового потока дает погрешность расчета  $\pm 20\%$ , что допустимо при определении мощности осветительной установки.

Последовательность расчета осветительной установки методом удельной мощности: выбирают источник света, тип светильников и размещают их на плане помещения; определяют нормированную освещенность, по справочным таблицам — удельную мощность; находят мощность осветительной установки, при необходимости по формуле (108) — мощность лампы; по справочным таблицам подбирают ближайшую стандартную лампу и по ее мощности окончательно рассчитывают мощность всей осветительной установки.

Расчет осветительных установок с люминесцентными лампами. Для расчета таких установок применяют все три метода. Если длина лампы меньше половины расчетной высоты, то линейные источники принимают за точечные. Если же длина лампы или линии из ламп превышает половину расчетной высоты, то лампы рассматривают как светящиеся линии [3] и осветительную установку рассчитывают по формуле определения светового потока для единицы длины светящейся линии

$$F'_{\nu} = 1000 E_{\min} k h_p / \left( \mu \sum_{i=1}^{i=n} \epsilon_i \right), \quad (109)$$

где  $\sum_{i=1}^{i=n} \epsilon_i$  — сумма условных относительных освещенностей в расчетной точке,

определяемых по графикам линейных изолукс [2, 9, 10].

Линейные изолуксы строят исходя из следующих условий: принимают, что 1 м длины люминесцентной лампы дает световой поток в 1000 лм; высота подвеса люминесцентной лампы над рабочей поверхностью равна 1 м; длину  $L$  светящейся линии от люминесцентных ламп заменяют относительной длиной  $L' = L/h_p$ ; расстояние  $p$  от расчетной точки до линии проекции ламп на рабочую поверхность заменяют относительным расстоянием  $p' = p/h_p$ ; расчетную точку намечают на линии, проходящей через конец проекции люминесцентной лампы на рабочую поверхность и перпендикулярной к этой проекции.

Когда точка находится напротив светящей части ламп, то линию разбивают на две части так, чтобы точка была напротив конца обеих частей. Освещенность в точке определяют как сумму освещенностей от обеих частей линии. Когда точка находится за пределами светящей линии, то линию продолжают так, чтобы точка оказалась напротив ее конца. Условную освещенность в точке находят как разность освещенностей от линии с добавленным участком и от добавленного участка.

Если расстояние между светильниками в ряду меньше половины расчетной высоты, то ряд следует рассматривать как непрерывный, т. е. поток рассчитывают без учета разрывов. При больших разрывах освещенность в контрольной точке вычисляют как сумму всех непрерывных участков светильников.

Полный световой поток светящей линии, необходимый для создания в контрольной точке нормированной освещенности  $E_{\min}$ , определяют как  $F_v = F'_v L$ , а число ламп в светящей линии

$$N = F_v / F_{\text{вл}}, \quad (110)$$

где  $F_{\text{вл}}$  — световой поток принятой лампы, лм.

Дробное число округляют до большего целого.

**Расчет наружного освещения.** Наружное освещение устанавливают для создания необходимых условий видения перед входами в здания, на дорогах, на площадках и охраняемых участках. Освещение входов в здания рассчитывают точечным методом по контрольной точке на углу входной площадки. Если размеры этой площадки не заданы, то их принимают равными 2 X 3 м. Минимальная освещенность на площадке должна быть не ниже 0,5 лк [9].

Освещение дорог, строительных и других площадок и охраняемых территорий рассчитывают по формуле

$$F_v = 1000 E_{\min} k h^2 / \left( \sum_{i=1}^n \epsilon_i \right), \quad (111)$$

где  $\sum_{i=1}^n \epsilon_i$  — сумма относительных условных освещенностей от ближайших светильников, лк.

Условные относительные освещенности при этом определяют по кривым, построенным для лампы с потоком 1000 лм и для высоты 1 м в функции отношения расстояния от проекции светильника до расчетной точки к расчетной высоте [9], если светильник крутосимметричен. Для некрутосимметричных светильников относительную освещенность находят по условным изолюксам [9].

Рассчитанный по формуле (111) поток в общем случае не совпадает с потоком стандартной лампы. Поэтому при расчете вычисляют не поток лампы, а расстояние между светильниками. Задают оптимальную для светильника выбранного типа мощность лампы и по формуле (111) оп-

ределяют  $\sum_{i=1}^{i=n} \epsilon_i$ . По значению  $\sum \epsilon_i$  из кривых относительной освещенности находят расстояние между светильниками. При этом считают, что светильники установлены на стандартных опорах высотой 6...10 м.

Наружное освещение прожекторами рекомендуют для выгульных площадок и дворов животноводческих объектов, зерновых токов, строительных площадок, открытых спортивных сооружений, а также для охраняемых территорий.

Прожекторное освещение рассчитывают методом компоновки изолюкс в следующей последовательности.

Выбирают нормированную освещенность. Определяют предварительное приближенное значение мощности прожекторной установки по формуле

$$P = p_{\text{уд}} A = m k E_{\text{min}} A, \quad (112)$$

где  $p_{\text{уд}}$  – удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>;  $A$  – площадь освещаемого объекта, м<sup>2</sup>;  $m$  – коэффициент пропорциональности, который для прожекторов с лампами накаливания равен 0,2...0,25, с лампами ДРЛ и галогенными лампами накаливания 0,12...0,16;  $k$  – коэффициент запаса;  $E_{\text{min}}$  – нормированная освещенность объекта, лк.

По справочным таблицам находят тип прожекторов, их число. При этом суммарная мощность должна соответствовать рассчитанной приближенной мощности. Выбирают высоту  $h$  мачт, а также намечают их расположение относительно объекта. Для прожектора данного типа определяют оптимальный угол наклона  $\theta$  его оси к горизонтالي. Рассчитывают и строят или берут из справочной литературы готовые кривые изолюкс для оптимального и нескольких смежных значений  $\theta$ .

План освещаемого объекта вычерчивают в том же масштабе, что и изолюксы. Вырезанные изолюксы накладывают на объект и компонуют их так, чтобы они не перекрывали одна другую (или мало перекрывали) и закрывали план объекта при наименьшем числе прожекторов. Подбранное расположение прожекторов фиксируют и окончательно определяют расстояние от мачты каждого прожектора до объекта, углы наклона прожекторов и высоту их установки.

При небольших размерах объекта может оказаться достаточно одного прожектора. В этом случае подбирают такое положение его изолюксы, при котором объект "не выглядит" или как можно меньше "выглядывает" из-под нее.

Наивыгоднейший угол наклона  $\theta$  оси прожектора к горизонту для некоторых прожекторов определяют по показателю

$$eh^2 = kEh^2. \quad (113)$$

При отсутствии готовых изолюкс их рассчитывают по справочным изолюксам [9] для условной плоскости, перпендикулярной оси прожектора и удаленной от него на 1 м, в следующей последовательности.

На плане освещаемой территории через основание прожектора проводят оси  $x$  и  $y$ . Ось  $x$  при этом лежит в одной плоскости с осью прожектора. Задают значения  $x$ , кратные  $h/2$ , и находят отношение  $x/h$ . По значениям  $\theta$  и  $x/h$  определяют ординату  $\xi$  изолюксы на условной плоскости и вспомогательные значения  $\rho$  и  $\rho^3$ . Рассчитывают относительную освещенность на условной плоскости

$$e_m = E_{\min} h^2 \rho^3. \quad (114)$$

По графикам изолюкс [9] для  $\xi$  и  $e_m$  определяют абсциссу  $\eta$  и рассчитывают ординату уже на освещаемой поверхности

$$y = \eta h \rho. \quad (115)$$

Это дает сразу координаты двух точек изолюксы ( $x, +y$  и  $x, -y$ ) на освещаемой поверхности. Результаты расчетов записывают в таблицу. По значениям  $x$  и  $y$  строят изолюксу.

**Светотехническая ведомость.** Все исходные данные и результаты расчетов сводят в светотехническую ведомость (табл. 38).

### Электрическая часть проекта

**Выбор напряжения и источников питания.** Источниками питания осветительных установок сельскохозяйственных объектов чаще всего служат трансформаторные подстанции, питающиеся от энергосистем, а в отдельных случаях местные электрические станции. Причем они общие для осветительных и силовых нагрузок.

Напряжения, применяемые в сельскохозяйственных установках, как правило, 380/220 В при заземленных нейтралях сетей. Такие напряжения возможны в любых помещениях для установок общего освещения при высоте подвеса светильников более 2,5 м, при меньшей высоте — только в помещениях без повышенной опасности поражения электрическим током. В помещениях же с повышенной опасностью осветительную сеть прокладывают в металлических трубах, а светильники снабжают защитными сетками.

Характеристика помещения						Вид осве- щения	Сис- тема освеще- ния	Класс и под- класс, разряд и под- разряд работ		
номер по плану	наимено- вание	пло- щадь, м <sup>2</sup>	высо- та, м	класс по среде	коэффициент отражения					
					стен				по- тол- ка	пола

Для питания установок местного освещения в помещениях без повышенной опасности применяют напряжение до 220 В, с повышенной опасностью — до 42 В от специальных понижающих трансформаторов.

**Выбор мест ввода и установки щитков.** Осветительные щитки следует располагать вблизи основного рабочего входа в здание; по возможности в центре питаемых нагрузок; в местах, удобных для обслуживания и с благоприятными условиями среды, недоступных для случайных повреждений (чтобы были видны хотя бы частично управляемые светильники); с учетом подхода воздушных линий.

Питание рабочего освещения должно быть от отдельного ввода. Однако допускается питание осветительных щитков от общего с силовой нагрузкой ввода при условии, что питающая линия обеспечит на вводе отклонения напряжения от номинального, не выходящие за допустимые пределы  $\pm 5$  и  $-2,5\%$  [7].

**Компоновка осветительной сети.** После размещения осветительных щитков все светильники делят на группы. При этом всю нагрузку вначале делят равномерно на три части (по числу фаз питающей сети), а затем нагрузку каждой фазы делят на группы с учетом рекомендаций [2]:

каждая групповая линия должна иметь на фазе не более 20 светильников с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ, натриевыми и не более 50 светильников с люминесцентными лампами;

групповые линии целесообразно выполнять однофазными в жилых, административных и бытовых помещениях небольшой площади или освещаемых лампами накаливания мощностью до 200 Вт, а также в помещениях с малым числом светильников с люминесцентными лампами;

каждая групповая линия с лампами накаливания мощностью до 500 Вт, люминесцентными лампами и штепсельными розетками должна быть защищена автоматом или предохранителем на ток не более 25 А, а линии с лампами накаливания мощностью свыше 500 Вт или с лампами ДРЛ — не более 63 А;

светильники дежурного и аварийного освещения объединяют в отдельные самостоятельные группы: аварийная группа либо от отдельного

Таблица 38

Норма освещенности, лк	Коэффициент запаса	Светильник		Лампа		Штепсельные розетки или понижающие трансформаторы		Установленная мощность приборов, Вт	Удельная мощность осветительной нагрузки, Вт/м <sup>2</sup>
		тип	число	тип	мощность, Вт				
						число	мощность, Вт, и тип		

источника питания, либо непосредственно от ввода в здание; дежурная группа от системы общего освещения;

в жилых и общественных зданиях однофазным группам освещения лестниц, коридоров и холлов, чердаков допускается присоединять до 60 ламп накаливания мощностью до 60 Вт каждая;

штепсельные розетки в жилых помещениях устанавливают по одной на каждые 6 м<sup>2</sup> жилой площади и на 10 м<sup>2</sup> площади коридоров, а также до трех розеток на кухню. Мощность розетки принимают равной или мощности подключаемого токоприемника, или 500 Вт.

На плане объекта наряду со светильниками наносят групповые и питающие щитки, выключатели, штепсельные розетки. После этого токоприемники, выделенные в группы, соединяют групповыми линиями и для каждой группы составляют расчетную схему. В схеме указывают длины участков от щитка до разветвлений и между токоприемниками, а также мощности токоприемников. Все схемы должны быть приведены в расчетно-пояснительной записке.

**Выбор марки провода и способа прокладки осветительной сети.** Марку проводов осветительной сети и способ их прокладки определяют в соответствии с условиями окружающей среды [7, 9].

**Расчет площади сечения проводов осветительной сети.** Расчет и выбор сечения проводов осветительной сети обеспечивают: отклонение напряжения у источников света в допустимых пределах; нагрев проводов не выше допустимой температуры; достаточную механическую прочность проводов.

Поэтому сечение проводов обычно рассчитывают по допустимой потере напряжения, а затем проверяют по нагреву и механической прочности. При этом индуктивное сопротивление проводов внутренних осветительных сетей можно не учитывать. Индуктивное сопротивление осветительной нагрузки не учитывают, так как коэффициент мощности не ниже 0,9.

Площадь сечения проводов, мм<sup>2</sup>,

$$q = \sum_{i=1}^{i=n} M_i / (C \Delta U \%) = \sum_{i=1}^{i=n} P_i l_i / (C \Delta U \%), \quad (116)$$

где  $\sum_{i=1}^{i=n} M_i$  – сумма электрических моментов нагрузки, кВт·м;  $C$  – коэффициент сети, зависящий от ее напряжения, материала проводов и единиц измерения входящих в формулу (116) величин (определяют по справочным таблицам [9, 11]);  $\Delta U$  – расчетная допустимая потеря напряжения, %.

Для внутренних осветительных сетей при номинальном напряжении на вводе допустимая потеря равна 2,5 %, кроме жилых зданий, для которых это значение, как и для наружного и аварийного освещения, равно 5 %. Обычно рекомендуют из приведенных значений допустимой потери напряжения оставлять 0,2...0,3 % на потери ввода в помещение.



В сетях напряжением до 42 В потеря напряжения допускается 10 %, считая от вторичных выводов понижающих трансформаторов.

В общем случае допустимую потерю напряжения в осветительных сетях рассчитывают в зависимости от уровней напряжения на шинах источника питания и у наиболее удаленных ламп, мощности трансформатора, степени его загрузки и коэффициента мощности электроприемников или определяют по справочным таблицам [9].

Площадь сечения, мм<sup>2</sup>, проводов сети, у которой на магистральных участках и ответвлениях различное число проводов, находят по формуле

$$q = \left( \sum_{i=1}^{i=n} M_i + \sum_{j=1}^{j=k} \alpha_j m_j \right) / (C \Delta U \%), \quad (117)$$

где  $\sum_{i=1}^{i=n} M_i$  – сумма моментов расчетного и всех последующих участков с тем же числом проводов, кВт·м;  $\sum_{j=1}^{j=k} \alpha_j m_j$  – сумма приведенных моментов всех последующих ответвлений с числом проводов, отличным от рассчитываемого участка, кВт·м;  $\alpha$  – коэффициент приведения моментов, зависящий от числа проводов рассчитываемого участка и участков ответвлений [9, 11].

Моменты нагрузок определяют от самой удаленной от осветительного щита точки с наибольшей мощностью. Нагрузки потребителей ответвлений прикладывают к точке ответвлений. Любую равномерно распределенную нагрузку можно заменять равнодействующей, приложенной в центре нагрузки.

После расчета выбирают ближайшую стандартную площадь сечения провода и проверяют на нагрев:

$$I_p \leq I_{\text{доп}}, \quad (118)$$

где  $I_p$  – расчетный ток провода, А;  $I_{\text{доп}}$  – длительно допустимый для выбранной площади сечения провода ток, А.

Затем это сечение проверяют на механическую прочность:

$$q \geq q_{\text{доп}}, \quad (119)$$

где  $q$  – выбранная площадь сечения провода, мм<sup>2</sup>;  $q_{\text{доп}}$  – допустимая для данного вида сети и принятого способа прокладки площадь сечения провода, мм<sup>2</sup>.

Окончательно выбранная площадь сечения должна быть не меньше расчетного значения и удовлетворять соотношениям (118) и (119).

После выбора площади сечения проводов определяют полные потери напряжения в каждой группе от ввода до наиболее удаленного источника света.

**Выбор щитков, коммутационной и защитной аппаратуры.** Осветительные щитки выбирают из справочных таблиц [2, 9] по условиям окружающей среды, в которых им предстоит работать; конструктивному

исполнению в зависимости от схемы сети и числа отходящих групп; аппаратуре управления и защиты, установленной в щитке.

Для сельскохозяйственных объектов наиболее широко применяют щитки типов ОЩ, ОЩВ, УОЩВ, ОП, ЯОУ и др.

Все осветительные установки должны быть защищены от короткого замыкания. От перегрузок должны иметь защиту сети: внутри помещений, проложенные открыто проводом с горючей оболочкой; в пожаро- и взрывоопасных помещениях; жилых и общественных зданиях, торговых и служебно-бытовых помещениях, промышленных и сельскохозяйственных предприятиях.

Защита от ненормальных режимов осуществляется плавкими предохранителями или автоматами с тепловыми или комбинированными нерегулируемыми расцепителями. Автоматы с мгновенно действующими расцепителями для защиты осветительных сетей не применяют [3, 7, 9]. В групповых осветительных сетях используют автоматы с тепловыми расцепителями, в питающих сетях — автоматы с комбинированными расцепителями.

Токи, А, уставок автоматов или плавких вставок предохранителей рассчитывают по соотношению

$$I_3 > k_3 I_p, \quad (120)$$

где  $I_3$  — ток аппарата защиты, А;  $I_p$  — расчетный ток защищаемой группы, А;  $k_3$  — отношение номинального тока плавкой вставки или уставки теплового расцепителя автомата к рабочему току линии, значения которого должны быть не меньше приведенных в таблице 39.

Т а б л и ц а 39

Аппарат защиты	Отношение номинального тока плавкой вставки или уставки теплового расцепителя автомата к рабочему току линии лампы		
	накаливания	типа ДРЛ	люминесцентной
Плавкий предохранитель	1,0	1,2	1,0
Автоматический выключатель с тепловым расцепителем	1,0	1,4	1,0
То же, с комбинированным расцепителем	1,4	1,4	1,0

Ток срабатывания электромагнитных расцепителей автоматических выключателей должен быть  $I_{ср.эл.р} > 1,25 I_p$ .

Надежность срабатывания аппарата защиты проверяют по соотношению его номинального тока и тока короткого замыкания в конце осветительной линии [7]. В соответствии с ПУЭ можно не рассчитывать ток короткого замыкания и не определять его кратность, если по отношению к длительно допустимым токам проводов сети аппараты защиты имеют кратность своих номинальных токов не более 3 при плавких

предохранителях; 4,5 при электромагнитных отсечках и 1 при тепловых расцепителях. Для большинства осветительных установок эти условия выполняются.

Защитные аппараты и коммутационная аппаратура входят в комплект щитков. Если же они некомплектные, то аппаратуру защиты выбирают по справочным таблицам [2, 9].

**Расчет сети с газоразрядными лампами.** При расчете таких сетей, кроме мощности ламп, учитывают потери в ПРА: 10 % от мощности ламп типа ДРЛ, 25 % от мощности люминесцентных ламп в стартерных схемах и 35 % для тех же ламп в бесстартерных схемах. Кроме того, для ламп высокого давления должна быть проведена компенсация реактивной мощности до  $\cos \varphi = 0,95$  [2, 9].

В установках с люминесцентными лампами компенсация не требуется.

**Рекомендации по монтажу и мероприятия по технике безопасности.** Для проектируемой осветительной установки необходимо конкретно изложить особенности монтажа отдельных ее элементов и узлов и указать организационные и технические рекомендации по безопасному осуществлению этих работ. Кроме того, в пояснительной записке должны быть приведены рекомендации по защите эксплуатирующего и обслуживающего данную установку персонала от поражения электрическим током при замене ламп и очистке арматуры, периодических осмотрах, контрольных измерениях освещенности, измерениях изоляции, текущих ремонтах и ревизиях.

**Расчетная схема сети.** Все результаты по электротехнической части должны быть сведены в расчетную схему-таблицу электрической сети, которую размещают на чертеже. Форма расчетной схемы с таблицей надписей приведена на рисунке 49.

### **Спецификация**

Проект любой электротехнической установки заканчивается сметно-финансовым расчетом. При учебном проектировании сметно-финансовые расчеты ограничиваются спецификацией. Спецификацию на оборудование и материалы для проектируемой осветительной установки составляют по стандартной форме.

Перечень элементов в спецификации должен начинаться с крупных узлов и оборудования (щитки, понижающие осветительные трансформаторы, автоматы, реле и т. д.), включать все элементы осветительной установки и заканчиваться такими, как изоляционные материалы, металлические и монтажные изделия (коробки, скобы, дюбели и т. д.).

## **3. ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ В КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

Осветительную установку можно полностью рассчитать на ЭВМ. Но поскольку здесь рассматривается учебное проектирование

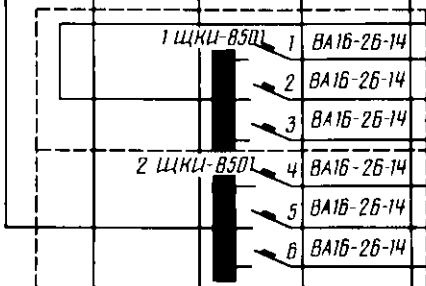
Подвод к ЩО			Щиток освещения				
Марка и площадь сечения провода, мм <sup>2</sup>	Расчетный ток, А	Способ прокладки	Отключение аппарата на входе	Ток плавкой вставки или расцепителя, А	Тип, схема ЩО и номер группы	Тип автомата или предохранителя	Ток расцепителя или плавкой вставки, А
АВВГ,	17,1	На полосах	ПВЗ-100	—	ЯДЧ-8504	1 АЕ 2046	20
						2 АЕ 2046	20
						1 ВА16-26-14	15
						2 ВА16-26-14	15
						3 ВА16-26-14	15
						4 ВА16-26-14	15
						5 ВА16-26-14	15
						6 ВА16-26-14	15

Рис. 49. Расчетная схема электрической осветительной сети

электрического освещения, то использование ЭВМ должно быть направлено на повышение качества процесса обучения. Оно должно ускорить и упростить работу студента над проектом, улучшив при этом качество его подготовки как специалиста.

Лучшей формой программы расчета осветительной установки на ЭВМ в этом случае будет обучающая программа, программа-диалог студента и ЭВМ. Один из возможных вариантов такой программы и предлагается здесь.

Программа составлена только для расчета осветительных установок на лампах накаливания. По аналогии можно составить программу и для расчета установок на люминесцентных лампах.

Воспользовавшись программой, студент быстро уяснит сущность методик расчета светотехнической и электротехнической частей осветительной установки и получит контрольные результаты, которые затем он может несколько уточнить, улучшить как при помощи ЭВМ, так и безмашинным способом.

Осветительная сеть						
Установленная мощность группы, Вт	Расчетный ток группы, А	Марка и площадь сечения провода, мм <sup>2</sup>	Потеря напряжения, %	Способ прокладки	К какой группе подключается	Вид освещения
5700	8,63	АВВГ; 4	0,15	На профиле		
5555	8,45	АВВГ; 4	0,10	На профиле		
1900	8,60	АПВ; 2,5	0,55	Под штукатуркой	А	Рабочее
1800	8,20	АПВ; 2,5	0,38	Под штукатуркой	В	Рабочее
2000	9,10	АПВ; 2,5	0,60	Под штукатуркой	С	Рабочее
1875	8,50	АПВ; 2,5	0,58	Под штукатуркой	А	Рабочее
1880	8,55	АПВ; 2,5	0,64	Под штукатуркой	В	Рабочее
1800	8,20	АПВ; 2,5	0,52	Под штукатуркой	С	Рабочее

Программа составлена на языке BASIC и имеет вид:

```

3 OPEN "LP." FOR OUTPUT AS FILE # 1
10 REM "Расчет электрической осветительной установки"
15 PRINT
20 PRINT "1. Светотехническая часть установки"
25 PRINT
30 PRINT "Расчет рабочего освещения на лампах накаливания"
40 PRINT "Система общего локализованного или комбинированного"
50 PRINT "Освещения. Обозначим X#1".
60 PRINT "Система общего равномерного освещения. Обозначим X#2".
70 PRINT "Нормированная освещенность в люксах E=";
80 INPUT E
90 PRINT "Коэффициент запаса K=";
100 INPUT K
110 PRINT "Коэффициент добавочной освещенности M1=";
120 INPUT M1

```

```

130 PRINT "По справочным таблицам выбираем тип светильника, его"
140 PRINT "оптимальное относительное расстояние  $L_0$ ";
150 INPUT  $L_0$ 
160 PRINT "Высота помещения в метрах  $H_1$ ";
170 INPUT  $H_1$ 
180 PRINT "Свес светильника в метрах  $H_2$ ";
190 INPUT  $H_2$ 
200 PRINT "Высота расчетной поверхности в метрах  $H_3$ ";
210 INPUT  $H_3$ 
220 LET  $H = H_1 - H_2 - H_3$ 
230 PRINT "Расчетная высота  $H =$ "  $H$  "м"
240 PRINT "Длина помещения в метрах  $A =$ "; \ INPUT  $A$ 
250 PRINT "Ширина помещения в метрах  $B =$ "; \ INPUT  $B$ 
260 LET  $L_1 = L_0 * H$ 
264 PRINT # 1, "Результаты расчетов"
266 PRINT # 1,
270 PRINT # 1, "Оптимальное расстояние между светильниками  

 $L_1 =$ "  $L_1$  "м"
280 LET  $M_1 = A / L_1$ 
290 IF  $M_1 - \text{INT}(M_1) = 0$  THEN LET  $N_3 = M_1$  \ GO TO 310
300 LET  $N_3 = \text{INT}(M_1) + 1$ 
310 PRINT # 1, "Число светильников в ряду  $N(A) = N_3$ "
320 LET  $N_2 = B / L_1$ 
330 IF  $N_2 - \text{INT}(N_2) = 0$  THEN  $N_4 = N_2$  \ GO TO 350
340 LET  $N_4 = \text{INT}(N_2) + 1$ 
350 PRINT # 1, "Число рядов светильников  $N(B) = N_4$ "
360 LET  $N = N_3 * N_4$ 
370 PRINT "Общее число светильников в помещении  $N =$ "  $N$ 
380 PRINT "На плане помещения разместите светильники"
382 DIM F(23), P(23)
384 DATA 85, 105, 190, 220, 300, 400, 460, 550, 715, 790, 1090, 1350,
1450,
385 DATA 1840, 2000, 2100, 2540, 2800, 2920, 4000, 4600, 7200, 8300,
386 DATA 15, 15, 25, 25, 40, 40, 40, 60, 60, 60, 100, 100, 100, 150, 150,
150
388 DATA 200, 200, 200, 300, 300, 500, 500,
390 PRINT "Введите значение  $X =$ "; \ INPUT  $X$ 
400 IF  $X = 1$  THEN GO TO 430
410 IF  $X = 2$  THEN GO TO 510
420 GO TO 610
425 PRINT
430 PRINT "Расчет освещения точечным методом"
435 PRINT
440 PRINT "На плане помещения наметьте контрольные точки"
450 PRINT "По справочным кривым изолюкс рассчитайте условные"

```

```

455 PRINT "Освещенности в каждой контрольной точке"
460 PRINT "Введите меньшее значение условной освещенности E1=";
470 INPUT E1
480 LET F1=1000*E*K/(M1*E1)
490 PRINT "Расчетный поток лампы F(R)='F1'ЛН"
500 GO TO 820
505 PRINT
510 PRINT "Расчет освещения методом коэффициента использования"
515 PRINT "Светового потока"
516 PRINT
520 LET J=A*B/(H*(A+B))
530 PRINT "Величина индекса помещения J='J"
540 PRINT "По справочным таблицам и индексу помещения найдите"
545 PRINT "Коэффициент использования светового потока I=";
550 INPUT I
560 PRINT "По справочным таблицам найдите коэффициент"
565 PRINT "Минимальной освещенности Z=";
570 INPUT Z
580 LET F1=E*A*B*Z*K/(N*I)
590 PRINT "Расчетный поток лампы F(R)='F1'ЛМ"
600 GO TO 820
605 PRINT
610 PRINT "Расчет освещения методом удельной мощности"
615 PRINT
620 PRINT "По справочным таблицам найдите удельную мощность"
625 PRINT "В БАТТАХ/КВ. метр P4=";
630 INPUT P4
640 LET P1=P4*A*B/N
650 PRINT "Расчетная мощность одной лампы P1='R1'ВТ"
660 FOR I=1 TO 23
670 READ F(I)
675 NEXT I
680 FOR I=1 TO 23
690 READ P(I)
700 IF P(I) >= .9*P1 THEN IF P(I) <= 1.2*P1 GO TO 740
710 NEXT I
720 PRINT "Нужной лампы нет. Измените условия и пересчитайте"
730 STOP
740 PRINT # 1, "Выбираем лампу с номинальной мощностью
      P='P(I)'ВТ"
750 LET P2=(P(I)-P1)*100/P1
760 PRINT # 1, "Для выбранной лампы отклонение мощности от рас-
      четной"
765 PRINT # 1, "Составляет в процентах P2
770 LET P=P(I)*N

```

```

780 PRINT # 1, "Мощность осветительной установки помещения
      P5="P"BT"
790 GO TO 920
820 FOR I=1 TO 23
825 READ F(I)
830 IF F(I) > *.9*F1 THEN IF F(I) > 1.2*F1 THEN GO TO 850
835 NEXT I
840 PRINT "Нужной лампы нет. Измените условия и пересчитайте".
845 STOP
850 PRINT # 1, "Выбираем лампу с номинальным потоком
      F="F(I)"ЛМ"
855 LET F2 = (F(I) - F1)*100/F1
860 PRINT # 1, "Для выбранной лампы отклонение потока от расчет-
      ного"
865 PRINT # 1, "составляет в процентах"F2
870 FOR I=1 TO 23
875 READ P(I)
880 NEXT I
890 PRINT # 1, "Мощность выбранной лампы P="P(I)"BT"
900 LET P=P(I)*N
910 PRINT # 1, "Мощность осветительной установки помещения
      P5="P"BT"
920 PRINT "2. Электрическая часть установки"
925 PRINT
930 PRINT "На плане помещения произведите компоновку осветитель-
      ной сети"
933 PRINT "Из условия среды помещения по справочным таблицам
      выберите"
935 PRINT "марку и сечение провода и способ его прокладки"
940 PRINT "Введите допустимую потерю напряжения для осветитель-
      ной сети"
945 PRINT "В процентах U1=";
950 INPUT U1
960 DIM Q(4), P(25), L(25)
970 DATA 2.5, 4, 6, 10
980 FOR K=1 TO 4
990 READ Q(K)
1000 NEXT K
1010 PRINT "Расчет групповых линий"
1020 PRINT "Количество линий M=";
1030 INPUT M
1040 FOR J=1 TO M
1050 PRINT "Введите для "J"-й линии коэффициент сети C=";
1060 INPUT C

```



```

1070 PRINT "На плане осветительной сети укажите мощности источни-
ков"
1075 PRINT "света и длины всех участков сети"
1080 PRINT "Введите мощности источников света на участках сети P
(KBT) и"
1085 PRINT "Длины участков L (M) как массивы"
1090 PRINT "Количество участков "J"-й линии N=":
1100 INPUT N
1110 FOR I=1 TO N
1120 PRINT "P" I", L" I"=":
1130 INPUT P(I), L(I)
1140 NEXT I
1150 LET S5=0
1160 FOR I=1 TO N
1170 LET S5=S5 + P(I)*L(I)
1180 NEXT I
1190 LET Q1=S5/(C*U1)
1195 FOR K=1 TO 4
1200 IF Q(K)>= Q1 THEN GO TO 1240
1210 NEXT K
1220 PRINT "Сечение" Q1"КВ.ММ слишком велико. Проверьте расчет"
1225 PRINT "Измените компоновку сети и пересчитайте"
1230 STOP
1240 PRINT # 1, "Стандартное сечение провода "J"-й линии
Q="Q(K)"КВ.ММ"
1245 GLOSE # 1
1250 NEXT J
1255 PRINT
1260 PRINT "Выбранные стандартные сечения проводов проверьте по"
1265 PRINT "справочным таблицам на нагрев и на механическую проч-
ность"
1270 END

```

Описание программы. 40...210, 240, 250 -- операторы ввода справочных данных по помещению и его геометрических размеров; 260...380 -- расчет числа светильников в помещении; 382 -- оператор описания массивов переменных; 384...388 -- массивы справочных данных световых потоков и мощностей ламп накаливания (здесь введены параметры всех ламп накаливания общего назначения); 430...650 -- расчет светового потока ламп точечным методом, методом коэффициента использования светового потока и методом удельной мощности; 660...765 -- выбор стандартной лампы по расчетной мощности, полученной по методу удельной мощности; 820...865 -- выбор стандартной лампы по расчетному световому потоку, полученному по точечному методу или методу коэффициента использования светового потока; 870...890 - цикл отыс-

кания номинальной мощности ламп по выбранному номинальному потоку; 900, 910 — определение мощности осветительной установки; 960 — оператор описания массивов переменных осветительной сети; 970 — блок данных возможных площадей сечений проводов сети; 1040...1250 — цикл расчета групповых линий; 1110...1140 — цикл ввода в диалоговом режиме массивов мощностей и длин участков рассчитываемой групповой линии; 1150 — обнуление суммы; 1160...1180 — цикл вычисления (накопления) суммы моментов; 1190 — определение расчетной площади сечения провода; 1195...1210 — цикл выбора стандартной площади сечения провода; 1220...1240, 1260, 1265 — вывод на дисплей результата расчета площади сечения провода и дальнейших действий; 1270 — конец программы.

Для вывода результатов расчета на принтер в программу вводят два дополнительных оператора:

```
5 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE # 1
```

```
1245 GLOSE #1
```

Кроме того, в каждый оператор, подлежащий распечатке, необходимо ввести после PRINT символ распечатки # 1.

#### 4. ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЕКТА

Расчетно-пояснительная записка должна быть написана темными чернилами (пастой) на белой писчей бумаге формата А4 (297 × 210 мм). Титульный и заглавный листы записки оформляют в соответствии с ГОСТ 2.105–79, а каждую страницу — на основании требований ЕСКД (ГОСТ 2.104–68, ГОСТ 2.108–68). На странице наносят рамку, отстоящую от края листа на 20 мм слева и на 5 мм справа, снизу и сверху. Текст от рамки должен отстоять на 5 мм слева, на 3...5 мм справа и на 10 мм сверху и снизу. На заглавном листе вдоль нижней стороны рамки располагают основную надпись.

Все справочные и нормативные материалы должны иметь ссылку на литературные источники. Для этого в тексте в квадратных скобках указывают порядковый номер источника по списку литературы.

Все расчеты в пояснительной записке приводят так: дают расчетную формулу с пояснениями входящих в нее величин, затем подставляют их численные значения и получают результат. При необходимости расчет должен быть проиллюстрирован эскизом.

Графическую часть выполняют, используя условные обозначения из ГОСТ 21.614–88 и ГОСТ 21.608–84. При этом строительную часть плана и разреза помещений вычерчивают линиями меньшей толщины, чем электрические и светотехнические элементы. Пример выполнения элементов графической части приведен на рисунке 50.

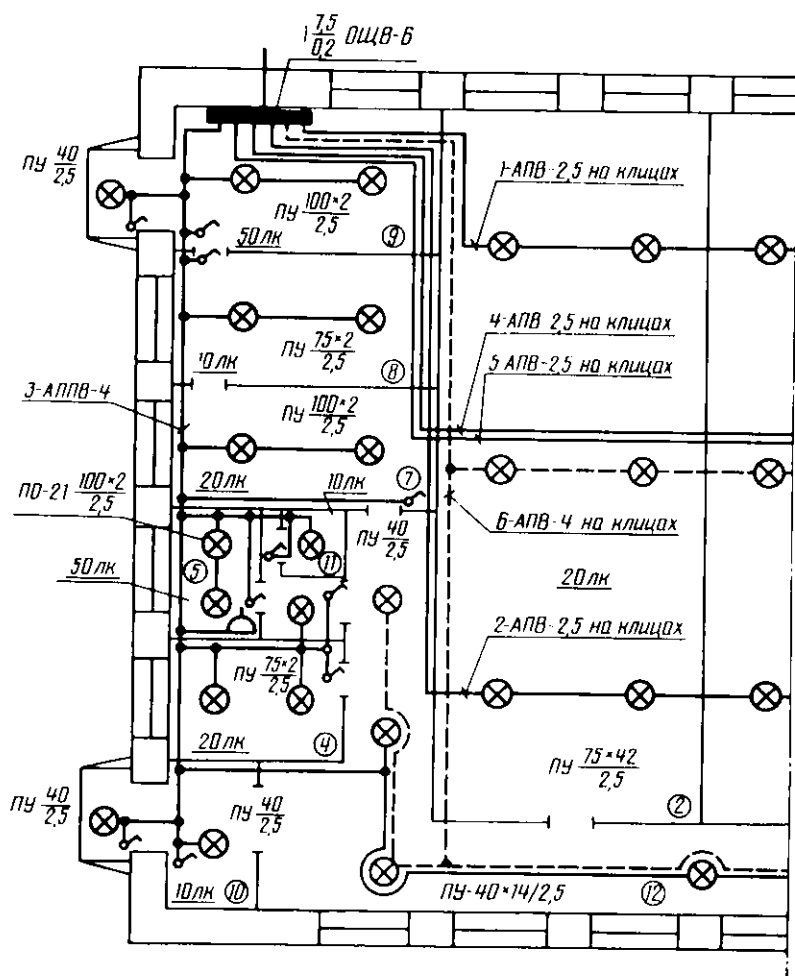


Рис. 50. Пример оформления плана осветительной установки

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

Относительная спектральная световая эффективность излучения  
для стандартного наблюдателя МКО

Длина вол- ны, нм	Дневное зрение	Ночное зрение	Длина вол- ны, нм	Дневное зрение	Ночное зрение
380	0,00004	0,00059	580	0,8700	0,1212
385	0,00006		585	0,8163	
390	0,00012	0,00221	590	0,7570	0,0655
395	0,00022		595	0,6949	
400	0,00040	0,00929	600	0,6310	0,03315
405	0,00064		605	0,5668	
410	0,00120	0,03484	610	0,5030	0,01593
415	0,00218		615	0,4412	
420	0,00400	0,0966	620	0,3810	0,00787
425	0,00726		625	0,3210	
430	0,0116	0,1998	630	0,2650	0,00334
435	0,0168		635	0,2170	
440	0,0230	0,3281	640	0,1750	0,00149
445	0,0298		645	0,1382	
450	0,0380	0,455	650	0,1070	0,00068
455	0,0480		655	0,0816	
460	0,0600	0,567	660	0,0610	0,00031
465	0,0739		665	0,0446	
470	0,0910	0,676	670	0,0320	0,00015
475	0,1126		675	0,0232	
480	0,1390	0,793	680	0,0170	0,00007
485	0,1693		685	0,0119	
490	0,2080	0,904	690	0,00820	0,000035
495	0,2586		695	0,00573	
500	0,3230	0,982	700	0,00410	0,000018
505	0,4073		705	0,00291	
510	0,5030	0,997	710	0,00210	0,000009
515	0,6083		715	0,00148	
520	0,7100	0,935	720	0,00105	0,000005
525	0,7932		725	0,00074	
530	0,8620	0,811	730	0,00052	0,000002
535	0,9149		735	0,00036	
540	0,9540	0,650	740	0,00025	0,000001
545	0,9803		745	0,00017	
550	0,9950	0,481	750	0,00012	—
555	1,000		755	0,00008	
560	0,9950	0,3288	760	0,00006	—
565	0,9786		765	0,00004	
570	0,9520	0,2076	770	0,00003	—
575	0,9154		780	0,000015	

## Приложение 2

### Спектральная эритемная эффективность излучения $k_{эр}(\lambda)$

$\lambda$ , нм	$k_{эр}(\lambda)$ , эр/Вт	$\lambda$ , нм	$k_{эр}(\lambda)$ , эр/Вт	$\lambda$ , нм	$k_{эр}(\lambda)$ , эр/Вт
285	0,09	300	0,83	315	0,018
289	0,25	302	0,55	320	0,01
290	0,31	305	0,33	325	0,007
295	0,98	310	0,11	330	0,005
297	1,00	313	0,03	334	0,004

Примечание. Здесь не приведены эритемные эффективности при  $\lambda$  от 340 до 400 нм из-за их малых значений.

## Приложение 3

### Спектральная бактерицидная эффективность излучения

$\lambda$ , нм	$k_b(\lambda)$ , б/Вт	$\lambda$ , нм	$k_b(\lambda)$ , б/Вт	$\lambda$ , нм	$k_b(\lambda)$ , б/Вт	$\lambda$ , нм	$k_b(\lambda)$ , б/Вт
220	0,25	260	0,99	289	0,31	305	0,03
230	0,40	265	0,96	290	0,30	310	0,013
240	0,63	270	0,87	295	0,17	313	0,008
248	0,84	275	0,72	297	0,13	315	0,006
250	0,91	280	0,58	300	0,06	320	0,004
254	1,00	285	0,43	302	0,045	325	0,0025

Примечание. Здесь не приведены бактерицидные эффективности при  $\lambda$  от 325 до 400 нм из-за их малых значений.

## Приложение 4

### Относительная спектральная фотосинтезная эффективность излучения

$\lambda$ , нм	$k(\lambda)_ф$	$\lambda$ , нм	$k(\lambda)_ф$	$\lambda$ , нм	$k(\lambda)_ф$	$\lambda$ , нм	$k(\lambda)_ф$
300	0	420	0,567	540	0,350	660	0,958
310	0,405	430	0,578	550	0,348	670	0,975
320	0,440	440	0,574	560	0,342	680	1,000
330	0,463	450	0,488	570	0,381	690	0,676
340	0,478	460	0,488	580	0,504	700	0,251
350	0,486	470	0,450	590	0,570	710	0,125
360	0,495	480	0,405	600	0,568	720	0,074
370	0,514	490	0,373	610	0,552	730	0,049
380	0,528	500	0,385	620	0,694	740	0,025
390	0,540	510	0,322	630	0,797	750	—
400	0,552	520	0,441	640	0,788	760	—
410	0,560	530	0,380	650	0,864	770	—

## Параметры ламп накаливания общего назначения

Тип лампы	Расчетное напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Габаритные размеры, мм			Тип цоколя
				диаметр	длина	высота центра	
В125-135-15	130	15	135	61	105	80	E27
В215-225-15	220		105				
В220-230-15	225		105				
В230-240-15	235		100				
В125-130-25	130	25	260				
В215-225-25	220		220				
В220-230-25	225		230				
В230-240-25	235		225				
Б125-135-40	130	40	485	61	110	80	E27
БК125-135-40	130		520	51	98		
Б215-225-40	220		415	61	110		
БК215-225-40	220		460	51	98		
Б220-230-40	225		415	61	110		
БК220-230-40	225		460	51	98		
Б230-240-40	235		410	61	110		
БК230-240-40	235		450	51	98		
Б125-135-60	130	60	810	61	110	80	E27
БК125-135-60	130		875	51	98		
Б215-225-60	220		715	61	110		
БК215-225-60	220		790	51	98		
Б220-230-60	225		715	61	110		
БК220-230-60	225		790	51	98		
Б230-240-60	235		705	61	110		
БК230-240-60	235		775	51	98		
Б235-245-60	240		700	61	110		
Б215-225-75	220	75	950	61	110	80	E27
БК215-225-75	220		1020	56	105		
Б220-230-75	225		950	61	110		
Б230-240-75	235		935	61	110		
Б125-135-100	130	100	1540	61	110	80	E27
БК125-135-100	130		1630	56	105		
Б215-225-100	220		1350	61	110		
БК215-225-100	220		1450	56	105		
Б220-230-100	225		1350	61	110		
БК220-230-100	225		1450	56	105		
Б230-240-100	235		1335	61	110		
БК230-240-100	235		1430	56	105		
Б235-245-100	240		1330	61	110		

Тип лампы	Расчетное напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Габаритные размеры, мм			Тип цоколя
				диаметр	длина	высота центра	
Г125-135-150	130		2280				
Б215-225-150	220		2100				
Г215-225-150	220	150	2090	71	137	100	
Г220-230-150	225		2090				
Г230-240-150	235		2065				
Г235-245-150	240		2060				
							E27
Г125-135-200	130		3200				
Б215-225-200	220		2920				
Г215-225-200	220	200	2920	81	166,5	128	
Г220-230-200	225		2920				
Г230-240-200	235		2890				
Г125-135-300	130		4900				
Г215-225-300	220		4610				E27,
		300		91	189	133	E40
Г220-230-300	225		4610				
Г230-240-300	235		4560				
Г125-135-500	130		8700				
Г215-225-500	220		8300				
		500		111	240	178	E40
Г220-230-500	225		8300				
Г230-240-500	235		8225				
Г215-225-750	220	750	13 100	151	309	225	E40
Г220-230-750	225		13 100				
Г125-135-1000	130		19 100				
Г215-225-1000	220		18 600				
Г220-230-1000	225	1000	18 600	151	309	225	E40
Г230-240-1000	235		18 450				

## Приложение 6

Зависимость параметров ламп накаливания от подводимого напряжения  
(% от номинальных значений)

Напряжение	Ток	Мощность	Сопротивление	Световой поток	Световая отдача	Срок службы
50	69	34	74	6,5	19	—
55	72	40	76	10	25	—
60	76	46	78	14,5	31	—

Продолжение

Напря- жение	Ток	Мощ- ность	Сопротив- ление	Световой поток	Световая отдача	Срок службы
65	79	52	81	20,5	39	—
70	83	58	84	27	47	—
75	86	64	88	35	55	—
80	89	71	90	45	63	—
85	92	78	93	56	72	1000
90	95	85	95	70	82	500
92	96	88	96	75	85	350
94	97	91	97	81	89	260
96	98	94	98	86	92	200
98	99	97	99	93	96	130
100	100	100	100	100	100	100
102	101	103	101	107	104	75
104	102	107	102	115	107	60
106	103	110	102	122	111	40
108	104	114	103	129	113	30
110	105	117	103	137	117	23
115	108	125	105	157	126	13
120	110	133	106	178	134	8
125	113	142	107	200	141	4...5
135	115	150	107	220	147	2...3

Приложение 7

Параметры кварцевых галогенных ламп накаливания

Тип лампы	Напря- жение, В	Мощ- ность, Вт	Свето- вой по- ток, лм	Цвето- вая тем- перату- ра, К	Срок службы, ч	Габаритные раз- меры, мм	
						длина	диаметр
Для общего освещения							
КГ220-1000-5	220	1000	22 000	—	2000	189	10,75
КГ220-1500		1500	33 000	—	2000	254	10,75
КГ220-2000-4		2000	44 000	—	2000	335	10,75
КГ220-5000-1		5000	110 000	—	3000	520	20
КГ220-10000-1		10 000	220 000	—	1300	675	26
КГ220-20000-1		20 000	440 000	—	1000	890	36
Для лучистого нагрева							
КГТ220-600	220	600	—	2000	2000	500	12
КГТ220-1000	220	1000	—	2600	2000	500	12
КГТ220-1650	220	1650	—	2400	2000	427	17
КГТ220-2200	220	2200	—	2600	5000	500	12
КГТ380-3300	380	3300	—	2600	5000	750	12
КГТД220-1000	220	1000	—	2400	2000	500	12
КГТ0220-2500	220	2500	—	2650	1500	500/140	12
КГТ0380-3550	380	3550	—	2550	2000	755/140	12



Параметры инфракрасных зеркальных ламп накаливания

Тип лампы	Напря- жение, В	Мощ- ность, Вт	Цветовая температу- ра, К	Срок службы, ч	Габаритные раз- меры, мм	
					диаметр	длина
ИКЗК127-250	127	250	2350± 100	6000	130	185
ИКЗС127-250-1				6000	130	185
ИКЗ127-250				6000	130	215
ИКЗ127-500	220	500	2350± 100	6000	130	267
ИКЗ127-500-1				6000	130	195
ИКЗК220-250				6000	130	185
ИКЗС220-250-1				6000	130	185
ИКЗ220-250				6000	130	215
ИКЗ220-500	220	500	2350± 100	6000	130	267
ИКЗ220-500-1				6000	130	195

Примечание. Обозначение типа ламп: ИК – инфракрасная, З – зеркальная, К – красная, С – синяя.

Параметры ламп накаливания с отражающим зеркальным слоем

Тип лампы	Напря- жение, В	Мощ- ность, Вт	Осевая сила све- та, кд	Срок службы, ч	Габаритные раз- меры, мм	
					диаметр	длина
ЗК127-300	127	300	3500	1500	127	185
ЗК127-500	127	500	9000	1500	180	267
ЗК127-750	127	750	16 800	1500	201	267
ЗК127-1000	127	1000	21 800	1500	201	267
ЗК220-300	220	300	2900	1500	127	185
ЗК220-500		500	5050		180	267
ЗК220-750		750	1500		201	267
ЗК220-1000		1000	20 600		201	267
ЗШ220-300	220	300	4100	1250	134	250
ЗШ220-500		500	7560		134	250
ЗШ220-750		750	12 230		162	300
ЗШ220-1000		1000	17 200		162	300

Примечание. Обозначение типа ламп: ЗК – зеркальная концентрированного светораспределения; ЗШ – зеркальная широкого светораспределения.

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Номинальный световой поток после 100 ч работы, лм	Срок службы, ч	Габаритные размеры, мм	
						длина со штырьками	наружный диаметр
ЛДЦ20	20	57	0,37	820	12 000	604	40
ЛЕЦ20		88	0,23	865			
ЛД20		57	0,37	920			
ЛХБ20		57	0,37	950			
ЛТБ20		57	0,37	975			
ЛБ20		57	0,37	1180			
ЛЕ30	30	104	0,36	1350	12 000	909	27
ЛДЦ30				1450			
ЛД30				1640			
ЛХБ30				1940			
ЛТБ30				1880			
ЛБ30				2100			
ЛБА30				2040			
ЛДЦ40	40	103	0,43	2100	12 000	1214	40
ЛЕЦ40				2190			
ЛД40				2340			
ЛХБЦ40				2450			
ЛХБ40				2780			
ЛТБ40				2780			
ЛБ40				3000			
ЛБА40				3040			
ЛДЦ65	65	110	0,67	3050	12 000	1514	40
ЛЕЦ65				3450			
ЛД65				3570			
ЛХБ65				4100			
ЛТБ65				4200			
ЛБ65				4550			
ЛДЦ80	80	102	0,865	3740	12 000	1514	40
ЛД80				4070			
ЛХБ80				4600			
ЛТБ80				4720			
ЛБ80				5220			
ЛТБЦД40	40	50	0,88	1750	6000	1214	38
ЛХБР40	40	103	0,43	2080	10 000	1214	40
ЛБР40	40	103	0,43	2250	10 000	1214	40
ЛБР65	65	102	0,7	4200	10 000	1514	40
ЛХБР80	80	102	0,865	3460	10 000	1514	40
ЛБР80	80	102	0,865	4100	10 000	1514	40

Параметры газоразрядных источников света высокого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Номинальный ток лампы, А	Световой поток после 100 ч работы, клм	Срок службы, ч	Габаритные размеры, мм		Тип цоколя
						диаметр колбы	длина лампы	
Дуговые ртутные люминесцентные лампы								
ДРЛ50	50	95	0,5	1,8	6000	56	130	E27
ДРЛ80	80	115	0,8	3,2	10 000	81	165	
ДРЛ125	125	125	1,25	5,4	10 000	91	184	
ДРЛ250	250	130	2,15	12,0	12 000	91	227	E40
ДРЛ400	400	135	3,25	22,0	15 000	122	292	
ДРЛ700	700	140	5,45	37,0	12 000	152	368	
ДРЛ1000	1000	145	7,5	56,0	12 000	181	410	
ДРЛ2000	2000	270	8,0	120,0	6000	187	445	
Дуговые металлогалогенные и натриевые лампы								
ДРИ250	250	220		18,7	3000	91	227	E40
ДРИ400	400	220		34,0	6000			
ДРИ700	700	220		59,5	5000	122	300	
ДРИ1000	1000	220		90,0	3000			
ДРИ2000	2000	380		190,0	1500	100	440	
ДРИ3500	3500	380		350,0	2000	100	430	
ДНАТ70	70			5,8	6000	38	170	E27
ДНАТ100	100			95,0	6000	45	180	
ДНАТ150	150			14,5	6000	48	210	
ДНАТ210	210	220		18,0	10 000	91	230	E40
ДНАТ250	250			23,0	10 000	58	248	
ДНАТ360	360			35,0	15 000	122	285	
ДНАТ400	400			50,0		58	248	
ДНАТ700	700			80,0		83	350	
ДНАТ1000	1000	380		115,0	7000	83	425	
Ксеноновые лампы								
ДКсТВ6000	6	220	29	220	500	18	476	Охлаждение: водяное естественное воздушное
ДКсТЛ5000	5	110	44	98	300	22	640	
ДКсТЛ10000	10	220	47	247	1300	36	1680	
ДКсТ20000	20	380	56	554	1300	36	2400	
ДКсТ50000	50	380	140	2230	500	42	2610	

Приложение 12

Параметры газоразрядных источников ультрафиолетового излучения

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Ток лампы, А	Световой поток, лм	Эритемный поток, мэр	Бактерицидный поток, мб	Срок службы, ч	Габаритные размеры, мм	
								диаметр колбы	длина лампы
Источники низкого давления									
ЛЭ15	15	127	0,33	40	300	55	5000	30	452,4
ЛЭ015	15	127	0,33	650	110	—	5000	30	452,4
ЛЭ30	30	220	0,36	110	750	125	5000	30	909
ЛЭР30	30	220	0,36	100	750	—	3000	30	909
ЛЭР40	40	220	0,43	120	1600	—	3000	40	1214
ДБ15	15	127	0,33	60	—	2000	2000	30	452,4
ДБ30	30	220	0,36	140	35	6000	3000	30	909
ДБ60	60	220	0,70	280	41	8000	2000	30	909
Источники высокого давления									
ДРВЭД220-160	160	220	0,8	2,1	350	—	1500	127	190
ДРТ230	230	127	3,8	4,4	2800	6,2	1500	20	190
ДРТ400	400	220	3,25	7,9	4750	10,5	2700	22	265
ДРТ1000	1000	220	7,5	33,0	16 500	39,5	1500	32	350

Приложение 13

Параметры специальных источников излучения для облучения растений

Тип источника	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Ток лампы, А	Световой поток, лм	Фитопоток, фит	Срок службы, ч	Габаритные размеры, мм	
							диаметр колбы	длина лампы
Источники низкого давления								
ЛФ40-1	40	220	0,43	1880	4,2	6000	40	1214
ЛФ40-2	40	220	0,43	1720	4,45	6000		
ЛБ40	40	220	0,43	3000	3,74	12 000		
Источники высокого давления								
ДРЛФ400	400	220	3,25	12 800	17,6	7000	152	368
ДРВ750	750	220	3,4	—	20,0	2000	152	368
ДРФ1000	1000	220	9,0	—	90,0	2000	208	342

**Значения коэффициента перевода светового потока  
в фитопоток для некоторых источников света**

Тип источника света	$k_{\text{ф}}$ , фит/лм	Тип источника света	$k_{\text{ф}}$ , фит/лм
Люминесцентные лампы:			
ЛД	$1,85 \cdot 10^{-3}$	ДРЛ	$1,52 \cdot 10^{-3}$
ЛХБ	$1,7 \cdot 10^{-3}$	ДКсТ6000	$1,59 \cdot 10^{-3}$
ЛБ	$1,51 \cdot 10^{-3}$	Лампы накаливания:	
ЛТБ	$1,32 \cdot 10^{-3}$	100 Вт 220 В	$2,7 \cdot 10^{-3}$
ДРЛФ400	$1,375 \cdot 10^{-3}$	300 Вт 220 В	$2,8 \cdot 10^{-3}$
		40 Вт 110 В	$3,03 \cdot 10^{-3}$

**Суточные дозы ультрафиолетового облучения  
сельскохозяйственных животных**

Вид и возрастная группа животного	Суточная доза облучения, мэр·ч/м <sup>2</sup>	Допустимая неравномерность	Допустимая облученность, мэр/м <sup>2</sup>
Коровы и быки	270...290	1,34	930
Телки и нетели	180...210	1,35	650
Телята старше 6 мес	160...180	1,28	570
Телята до 6 мес	120...140	1,36	430
Овцематки	245...260	1,30	440
Ягнята от трехдневного возраста до отбивки	220...240	1,27	480
Свиньи на откорме и свиноматки	80...90	1,70	250
Поросята-отъемыши	60...80	1,76	230
Подсосные поросята (поросята-сосуны)	20...25	1,50	83
Цыплята при содержании:			
в штампованных клетках	40...50	1,57	150
в сетчатых клетках	20...25	1,57	75
на полу	15...20	1,76	58
Куры-несушки при содержании:			
в клетках	20...25	1,57	75
на полу	40...50	1,57	150

**Коэффициент запаса для газоразрядных источников  
ультрафиолетового излучения**

Параметр	Значение параметра							
Продолжительность работы, ч	0	100	200	400	600	1000	1500	2000
Коэффициент запаса $k$	1,0	1,25	1,45	1,67	1,82	2,0	2,2	2,26

Приложение 17

Значения коэффициентов отражения оптических излучений  
для различных материалов

Материал	Коэффициент отражения излучений			
	бактерицид- ного	зритемного	видимого	инфракрас- ного
Грубо обработанный алюми- ний	0,4...0,6	0,45...0,65	0,45...0,7	0,5...0,7
Обработанный алюминий	0,6...0,9	0,7...0,9	0,6...0,9	0,72...0,93
Алюминиевое напыление на стекло	0,75...0,85	0,75...0,9	0,75...0,9	0,76...0,96
Алюминиевая краска	0,55...0,7	0,55...0,75	0,3...0,7	0,6...0,8
Нержавеющая сталь	0,25...0,3	0,35...0,5	0,5...0,6	0,55...0,75
Белая жесть	0,25...0,3	0,35...0,5	0,5...0,6	0,55...0,75

Приложение 18

Коэффициент поглощения бактерицидного излучения  
водой из различных источников

Вид источника воды	$\alpha$ , 1/см
Глубокие горизонты, артезианские скважины	0,10
Родники, грунтовые источники с хорошей фильтрацией, шахтные колодцы	0,15
Поверхностные источники с освещением (ГОСТ 2874-82)	0,20...0,30

Приложение 19

Температурный режим при выращивании молодняка  
сельскохозяйственных животных и птицы

Вид и возраст животного, сут	Оптимальная температура $t_0$ , °C	Вид и возраст животного, сут	Оптимальная температура $t_0$ , °C
Телята:		Цыплята:	
1...20	20...16	1...5	35...33
20...60	17...15	6...12	33...28
60...120	15...12	13...21	28...25
Поросята:		Индюшата:	
1...26	30...24	1...5	37...35
30	23	6...12	35...32
45	22	13...21	32...29
60	21		
Ягнята:		Гусята:	
1...10	17...10	1...20	32...28
Крольчата:		Утята:	
1...20	16...14	1...10	28...24
		11...21	20

Вид и возраст животного	Площадь обогреваемой зоны для животного, м <sup>2</sup>
Телята:	
до 2 нед	1,5
старше 2 нед (групповое содержание)	15,0
Поросята-сосуны (на гнездо):	
суточные	0,5
1,5 мес	1,5
Ягнята (при групповом содержании)	15,0
Крольчата	1,0

## Ультрафиолетовые облучатели

## Приложение 21

Тип облучателя	Источник УФ-излучения	Число ламп	Потребляемая мощность, Вт	Напряжение сети, В	Исполнение	Конструктивные параметры	
						габаритные размеры, мм	масса, кг
Стационарный эритемный ЭО1-30М	ЛЭ30-1	1	40	220	Пылевлагозащитное	1000×250×155	6
Стационарный эритемный ОЭ-1	ЛЭ30-1	1	40	220	Незащищенное	1000×250×155	6
Стационарный эритемный ОЭ-2	ЛЭ30-2	1	40	220	Пылевлагозащитное	1000×250×155	6
Светильник-облучатель	ЛБР40	1					
ОЭСП02	ЛЭР40	1	100	220	Незащищенное	1350×685×190	9,5
Ртутно-кварцевый стационарный ОРК-2	ДРТ400	1	500	220	Незащищенное	340×205×215	3,7
Ртутно-кварцевый передвижной ОРКШ	ДРТ400	1	500	220	Незащищенное	340×205×215	3,7
Облучатель передвижной механизированной установки УО-4	ДРТ400	1	500	380/220	Незащищенное	775×450×260	4,0
Самоходная установка УОК-1 для облучения кур*	ДРТ400	2	1,5	380/220	Незащищенное	1290×2163×830	140
Бактерицидный ОБУ1-30	ДБ30	1	40	220	Незащищенное	1000×250×155	6

\* Приведены параметры всей облучательной установки.

Тип ИК-облучателя	Тип источника излучения	Чис- ло ламп	Мощ- ность, Вт	Напря- жение, В	Конструктивные параметры	
					габаритные размеры, мм	масса, кг
ССП 01-250	ИКЗК220-250	1	250	220	390×330	2,4
ОСП-05-250	ИКЗК220-250	1	250	220	310×230	0,9
ОРИ-1	ИКЗ220-250	1	500	220	340×245	1,5
ОВИ-1	ИКЗ220-500	1	500	220	320×185	1,5
ОВИ-2	ИКЗК220-250	1	250	220	320×180	1,5
"ЛатВИКО"	КИ220-1000	1	1000	220	400×250×220	2,5
ОЭИ-500	ИКЗК220-250	2	500	220	470×250×400	4,0

## Облучатели комбинированных установок

## Приложение 23

Тип облучателя установки	Тип источника излучения	Чис- ло ламп	Мощ- ность, Вт	Напря- жение, В	Конструктивные параметры	
					габаритные размеры, мм	масса, кг
ИКУФ-1	ИКЗК220-250	2	520	220	910×195×240	5,0
	ЛЭ15	1		127		
ИКУФ-1М	ИКЗК220-250	2	520	220	910×195×240	5,0
	ЛЭ15	1		127		
"Луч"	ИКЗК220-250	2	520	220	510×380×250	5,0
	ЛЭ15	1		127		
"Эрико-1": ИК-облучатель (аналогичен ОВИ-2)	ИКЗК220-250	1	250	220	300×180	0,8
Эритемно-освети- тельный (анало- гичен ОЭСП)	ЛЭ30	1	80	220	300×100×155	9,0
	ЛБ30	1				
КСО-3	ЛЭ30	1	120	220	1055×230×120	6,5
	ЛБ30	1				
	ДБ30	1				

## Облучатели для теплиц

## Приложение 24

Тип облучателя	Тип источника излучения	Число ламп	Мощность, Вт	Напряжение сети, В
ОТ-400МИ-045-У5	ДРЛФ400	1	425	220
ОТ-400МЕ-046-У5				
ССП03-750	ДРВ750	1	750	220
ОТ-1000М	ДРФ1000	1	1050	220
РСП-15-2000	ДРЛ2000	1	2100	380
ОГС-01-2000 ("Фотос-4")	ДРИ2000-6	1	2100	380



## Провода и кабели для сельскохозяйственных осветительных сетей

Вид проводки	Марка про- вода, кабеля	Способ прокладки	Характеристика помещения
Открытая в негорюемых конструкциях	АПВ, АПРВ	На роликах	Нормальная среда
То же	"	На изоляторах	Влажное, сырое, жар- кое
"	АВВГ, АПВГ, АНРГ, АВРГ, АСРГ	На скобах	Во всех, кроме взры- воопасных "В"
Открытая в негорюемых конструкциях	АПП, АПВ, АПРТО	В трубах	Во всех
Тросовая	АВТС-1, АВТС-2	С несущим сталь- ным тросом	В животноводческих
Скрытая и открытая	АПРТО, АПВ	В стальных трубах	В пожароопасных "П" и др.
Скрытая в негорюемых конструкциях	АППВ, АПВ, АПРВ, АПН	В трубах под штукатуркой	Во всех, кроме "П" и "В"
Вне помещения	АВВ, ААБ, АСБ	По стенам в тран- шеях, трубах	

## Приложение 26

Длительный допустимый ток (А) для проводов с алюминиевой  
и медной жилами

Площадь сечения провода, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки проводов			
	открытый	открытый в трубах при числе жил		
		2	3	4
1,5	— (23)	— (19)	— (17)	— (16)
2,5	24 (30)	20 (27)	19 (25)	19 (25)
4,0	32 (41)	28 (38)	28 (35)	23 (30)
6,0	39 (50)	36 (46)	32 (42)	30 (40)
10,0	60 (80)	50 (70)	47 (60)	39 (50)

П р и м е ч а н и е. В скобках даны значения тока для медной жилы.

## Допустимая площадь сечения проводов

Тип проводки	Площадь сечения провода, мм <sup>2</sup>	
	медного	алюминиевого
Ввод в производственные помещения	4,0	10,0
Ввод в жилые помещения	4,0	6,0
Внутренняя проводка:		
скрытая, на роликах, на скобах, тросовая	1,5	2,5
на изоляторах с пролетом не менее двух метров	2,5	4,0
Наружная проводка по конструкциям	2,5	4,0
Зарядка светильников	0,5	—
Голые провода:		
в зданиях	2,5	4,0
воздушных линий	6,0	16,0

## Автоматические выключатели

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Число полюсов	Тип расцепителя	Номинальный ток расцепителя, А
BA14-26-14	32	1	Тепловой, электромагнитный	6; 8; 10; 16; 20; 25; 32
BA14-26-34	32	3	То же	6; 8; 10; 16; 20; 25; 32
BA16-25-14	25	1	"	6,3; 10; 16; 20; 25
BA51-31-1	31...100	1	"	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100
BA51-31-3	31...100	3		
AE1000	63	1	Комбинированный	16; 25
A3715	63	2	Тепловой, электромагнитный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160
A3716	63	3		
A63	63	1	Комбинированный	0,6; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
A63	63	2	электромагнитный	
A63	63	3		
AE2034	25	1	Тепловой	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25
AE2036	25	3		
AE2044	63	1	Электромагнитный	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
AE2046	63	3		

## Осветительные групповые щиты

Тип щита	Аппаратура управления и защиты				
	на вводе	на группах			
		число групп	тип аппарата	число полюсов аппарата	номинальный ток расцепителя, А
ОП-3	—	3	AE1000	1	16; 20; 25
ОП-6	—	6	AE1000	1	
ОП-9	—	9	AE1000	1	
ОП-12	—	12	AE1000	1	
ЯОУ-8501	ПВЗ-60	6	AE1031	1	2,5; 3,15; 4; 5;
ЯОУ-8502	ПВЗ-100	12	AE1031	1	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25
ЯОУ-8503	ПВЗ-100	6	AE2044	1	4; 5; 6,3; 8; 10;
ЯОУ-8504	ПВЗ-100	2	AE2046	3	12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
ЩКИ-8501	—	3		1	16; 25
ЩКИ-8503	—	3	AE1000;	1	
ЩКИ-8505	—	3	BA14; BA16	1	
ЩКИ-8507	—	3		1	
ОЩ-6	—	6	A63	1	15; 20; 25; 30; 40; 50
ОЩ-12	—	12	A63	1	
ОЩВ-6	AE2046	6	A3161	1	
ОЩВ-12	AE2056	12	A3161	1	
УОЩВ-6	AE2046	6	A3161	1	
УОЩВ-12	AE2056	12	A3161	1	

## Приложение 30

## А. Нормы освещенности помещений подсобных предприятий

Помещение, участок, оборудование	Плоскость нормируемой освещенности	Освещенность, лк, при лампах	
		газоразрядных	накаливания
Камера трансформаторов *	Вертикальная	75	30
Распределительные устройства, КТП, щиты:	„		
фасад щитов *		100	75
задняя сторона *		75	30

Продолжение

Помещение, участок, оборудование	Плоскость нормируемой освещенности	Освещенность, лк, при лампах	
		газоразрядных	накаливания
Пуль управления, стол диспетчера **	Горизонтальная	150	100
Электромашинный зал **	"	200	150
Помещение для статических конденсаторов	Вертикальная (конденсаторы)	100	75
Вентиляционная камера **	Горизонтальная	50	20
Помещение для ремонта аккумуляторов **	"	200	150
Помещение зарядных агрегатов **	"	75	30
Помещение для технического обслуживания и ремонта автомашин	Горизонтальная (пол)	200	150
Осмотровая канава	Горизонтальная (низ машины)	100	50
Отделение ежедневного обслуживания автомашин	Вертикальная (на двигателе)	75	30
Дополнительное местное освещение станков и верстаков	Вертикальная (на двигателе)	2000	1500
Шиноремонтное отделение	Горизонтальная (пол)	150	100
Химические, радиоизмерительные, механические и другие лаборатории **	Горизонтальная	300	150
Слесарно-механическое отделение:			
общее освещение	—	300	150
местное на станках и верстаках	—	2500	2000
Сборочное и сборочно-монтажное отделения **	Горизонтальная	300	200
Заготовительное отделение **	"	150	100
Сварочное и котельное отделения	Горизонтальная (пол)	200	150
Разборочно-промывочное отделение **	Горизонтальная	200	150
Помещение для ремонта приборов, аппаратов, намотки катушек при освещении **	"		
общем	"	300	100
местном	"	3000	2500
Электроремонтное отделение **	"	300	200
Сушильно-протирочное отделение **	"	100	50

Назначение здания, помещения	Плоскость нормируемой освещенности	Освещенность, лк, при лампах	
		газоразрядных	накаливания
Лесопильная рама и другое подобное оборудование	Горизонтальная	200	150
Заготовительное и столярно-сборочное отделения**	"	300	200
Плотницкое отделение	Горизонтальная (пол)	150	100
Окрасочная	Горизонтальная и вертикальная (на изделиях)	300	200

\* Расстояние от пола до освещаемой поверхности 1,5 м.

\*\* Расстояние от пола до освещаемой поверхности 0,8 м.

#### Б. Нормы освещенности помещений общественно-бытового назначения

Назначение здания, помещения	Плоскость нормируемой освещенности	Освещенность, лк, при лампах	
		газоразрядных	накаливания
Кантора, кабинет, касса *	Горизонтальная	300	150
Машинописное или машиносчетное бюро *	"	400	200
Читальный зал *	"	300	150
Помещение каталогов	Вертикальная (фронт каталога)	150	75
Конференц-зал *	Горизонтальная	200	100
Помещение для отдыха *	"	150	75
Помещение общественных организаций *	"	200	100
Фойе, вестибюль, холл	Горизонтальная	150	75
Отделение связи, сберкасса *	Горизонтальная	300	150
Вычислительный центр	"	400	200
Помещение для программистов *	"	300	150
Здравпункт*:			
комната для ожидания,	"	150	75
регистратура, кабинет врача	"	200	100
перевязочная	"	300	150
процедурная	"	150	75
Общеобразовательная школа:			
класс, кабинет, лаборатория *	Вертикальная (доска)	300	200
	Горизонтальная (стол и парта)	300	200

Продолжение

Назначение здания, помещения	Плоскость нормируемой освещенности	Освещенность, лк, при лампах	
		газоразрядных	накаливания
спортивный зал	Горизонтальная (пол)	200	150
актовый зал	Вертикальная **	75	30
	Горизонтальная (пол)	200	100
преподавательская *	Горизонтальная	200	100
Детские ясли:			
приемная *	"	200	100
групповая, комната для игр, столовая *	"	200	100
спальня-веранда	Горизонтальная (пол)	75	30
Предприятие общественного питания *:	Горизонтальная		
обеденный зал, буфет		200	100
раздаточная		300	150
кухня, заготовительное помещение		200	100
Предприятие торговли (торговый зал) *:	"		
промышленных и продовольственных товаров		300	150
хозяйственных товаров		200	100

\* Расстояние от пола до освещаемой поверхности 0,8 м.

\*\* Расстояние от пола до освещаемой поверхности 2 м.

Приложение 31

Обозначение и классификация светильников

Шифр светильников: 1 2 3 4 = 5 × 6-7-8,

- где 1 – тип источника света (одна буква);  
 2 – основной способ установки светового прибора (одна буква);  
 3 – основное назначение светового прибора (одна буква);  
 4 – номер серии прибора (две цифры);  
 5 – число ламп в светильнике (цифра 1 в шифре не указывается);  
 6 – мощность ламп, Вт;  
 7 – модификация светового прибора (три цифры);  
 8 – обозначение климатического исполнения (одна-две буквы и одна-две цифры).

# А. Буквенные обозначения светильников в шифре

Источник света — лампа	Обозначение	Способ установки прибора	Обозначение	Основное назначение	Обозначение
Накаливания: общего назначения	Н	Подвесной	С	Для промышленных предприятий	П
зеркальная	Н	Потолочный	П	Для рудников и шахт	Р
диффузная	С	Настенный	Б	Для общественных зданий	О
		Настольный	Н	Для жилых, бытовых помещений	Б
галогенная	И	Напольный и вечающий	Т		
Люминесцентная:					
трубчатая	Л	Встраиваемый	В		
фигурная	Ф	Консольный	К	Для наружного освещения (улиц, дорог, площадей)	У
эритемная	Э	Ручной сетевой	Р		
ДРЛ	Р	Ручной аккумуляторный	Ф		
Металлогалогенная	Г	Головной	Г		
Натриевая	Ж				
Бактерицидные	Б				
Ксеноновые	К				

## Б. Классификация светильников по направлению светового потока

Название класса (по направлению светового потока)	Обозначение класса	Конструктивное исполнение по степени защиты от воздействия окружающей среды	
		от пыли	от влаги
Прямого света	П	Незащищенные открытые	Незащищенные
Преимущественно прямого света	Н	Незащищенные перекрытые	Брызгозащищенные
Рассеянного света	Р	Пылезащищенные	Струезащищенные
Преимущественно отраженного света	В	Частично пылезащищенные	Водонепроницаемые
Отраженного света	О	Пыленепроницаемые	Герметичные

# В. Классификация светильников по типу кривой светораспределения (КСС)

Кривая светораспределения	Обозначение КСС	Зона возможных направлений максимальной силы света, град
Концентрированная	К	0...15
Глубокая	Г	0...30; 180...150
Косинусная	Д	0...35; 180...145
Полуширокая	Л	35...55; 145...125
Широкая	Ш	55...85; 125...95
Равномерная	М	0...90; 180...90
Синусная	С	70...90; 110...90

## Приложение 32

### А. Светильники с лампами накаливания для общественных зданий

Тип	Число ламп	Мощ- ность ламп, Вт	Сте- пень защиты	Светотехнические характеристики					Спо- соб уста- нов- ки
				Класс све- то- рас- пре- деле- ния	Обоз- наче- ние кри- вой силы света	КПД, %			
						об- щий	в верх- ней по- лу сфе- ре	в ниж- ней по- лу сфе- ре	
ПЛК	1	150	IP20	П	Г-1	60	—	—	П
ППО7	1	100	2'0	Н	Д-1	76	26	50	П
НПО01	2	60	2'0	Н	Д-2	64	10	54	П
НПО16	1	60	IP53	Р	Д-1	65	30	35	П
НПО18	2	40	2'0	Н	Д-1	65	15	50	П
НПО18	2	60	IP20	Н	Г-1	65	15	50	П
НПО18	1	60	2'0	Н	Д-1	65	15	50	П
НПО18	1	100	2'0	Н	Д-1	65	15	50	П
НПО18	1	150	2'0	Н	Л	70	15	55	П
НПО20	1	100	2'0	Р	М	70	30	40	П
НБОУ6	1	100	2'0	Р	М	70	30	40	Б
НПО30	1	60; 100	2'0	Н	Д-1	64	10	54	П
ПКР300	1	300	IP20	О	Д-1	78	48	30	С
СК300	1	300	IP20	О	Д-1	80	56	24	С
НСО02	1	150; 100	IP20	Н	Д-2	75	20	55	С
НСО02	1	150	2'0	Р	М	67	32	35	С
СВП	1	200; 500	IP20	П	Г-3	75	—	—	В
НБОУ4	1	200; 300	IP20	П	Г-3	55	—	—	В
НБОУ7	1	200; 300	2'0	П	Г-1	40	—	—	В
НБОУ7	1	300	IP20	П	Г-1	45	—	—	В
НБОУ7	1	60	2'0	Р	М	70	30	40	Б



Б. Светильники с лампами накаливания для производственных помещений

Тип	Мощность ламп, Вт	Степень защиты	Светотехнические характеристики				Спо- соб уста- нов- ки
			Класс све- торас- преде- ления	Обоз- наче- ние кри- вой си- лы света	КПД, %		
					Об- щий	В ниж- ней по- лу- сфере	
С, НСП17	200; 500	IP20	П	—	80	80	С
ГС, НСП17	500; 1000	IP20	П	Г-4	80	80	С
ГК, НСП17	1000	IP20	П	К-1	80	80	С
ГСУ, НСП17	500; 1000	5'3	П	Г-4	80	80	С
ГКУ, НСП17	1000	5'3	П	К-1	80	80	С
УПМ15, НСП22	500	5'0	П	Д-2	75	75	С
УП24, НСП22	500	IP63	П	Г-1	67	67	С
УПД, НСП20	500; 1000	5'0	П	Г-1	75	75	С
УПС, НСП19	500; 1000	5'0	—	—	75	75	С
ППД, НСП11	100; 200	IP63	П	Д-2	67	67	С
ППД	500	IP60	Н	Д-1	68	60	С
ППР, НСП11	100; 200	IP60	Р	М	77	47	С
ППД-2	500	IP63	П	Г-2	67	67	С
НСР01	100; 200	IP53	Р	М	75	45	С
НСП09	100; 200	IP50	Р	М	75	45	С
НСП01 "Астра", НСП21	100; 200	5'3	П	Д-2	71	71	С
НСП01 "Астра", НСП21	100; 200	5'3	Косо- свет	—	71	71	С
НСП01 "Астра"	200	IP53	П	Г-2	60	60	С
НСП21, НСП02	100	IP54	Р	М	70	42	С
НСП03	60	IP54	Р	М	75	45	С
НСП04	200	IP22	Р	М	75	45	С
НСП11	500	IP60	Н	Д-1	67	53	С
НСП11	500	IP60	Р	М	77	47	С
ПСХ	60	IP54	Н	Д-1	65	50	П, Б
НПЛ03	100	IP54	П	Д-1	50	50	П, Б
Н4БИ150	150	Повы- шенной надеж- сти про- тив взрыва	П	Г-1	55	55	С
Н4Би150	150	То же	Р	М	70	40	С
Н4БН300М	300	"	П	Г-2	50	50	С
Н4БН300М	300	"	Р	М	80	45	С
В4А60	60	Взры- вобезо-	П	Д-1	50	50	П
ВЗГ100А	100	пас-	П	Д-1	45	45	П
ВЗГ200АМ	200	пас-	П	Д-2	60	60	С
ВЗГ200АМ	200	ный	Н	Д-1	75	55	С
ВЗГ/В4А-200АМ	200	То же	П	Д-2	55	55	С
ВЗГ/В4А-200АМ	200	"	Н	Д-1	75	55	С

# В. Светильники с люминесцентными лампами для общественных зданий

Тип	Число ламп	Мощность лампы, Вт	Степень защиты	Светотехнические характеристики				Спо- соб уста- новки
				Класс свето- распре- деле- ния	Обозна- чение кривой силы света	КПД, %		
						об- щий	в ниж- ней полу- сфере	
ЛПО30	1	20; 40; 65	IP20	P	Д-1	80	60	П, Б
ЛПО30	1	20; 40; 65	2'0	H	Д-1	65	48	П, Б
ЛПО30	1	20; 40; 65	IP20	П	—	70	70	П
ЛПО30	2	20; 40; 65	2'0	H	Д-2	65	48	П
ЛПО30	2	20; 40; 65	IP20	П	Г-1	60	60	П
ЛСО02	2	40	IP20	P	Г-2	70	30	С
ЛСО02	4	40	IP20	P	Г-2	70	30	С
ШОД	2	40; 80	IP20	P	Г-1	85	42	С
ЛВО01	2	20; 40; 65	2'0	П	Д-2	55	55	В
ЛВО01	4	20; 40; 65	2'0	П	Г-1	50	50	В
ЛПО01	2; 4	40	2'0	H	Д-1	65	52	П
ЛПО03	1	20; 40	IP20	П	Г-1	65	65	П, Б
ЛПО03	1	20; 40	2'0	H	Д-1	65	48	П, Б
ЛПО03	1	20; 40	IP20	P	Д-1	80	60	П, Б
ЛПО02	2	20; 40; 65	2'0	П	Ц-2, Г-1	52	52	П
ЛПО02	4	20; 40; 65	2'0	П	Г-1, Г-2	50	50	П
ЛПО02	1	20; 40	2'0	H	Д-1	57	48	П
ЛПО09	1	40	IP20	P	Д-1	80	80	П
ЛПО12	1	40; 80	IP20	П	—	70	70	Б, П

# Г. Светильники с люминесцентными лампами для производственных помещений

Тип	Число ламп	Мощность лампы, Вт	Степень защиты	Светотехнические характеристики			Способ установки
				Класс светораспределения	Обозначение кривой силы света	КПД, %	
ОДР	2	40	IP20	П	Г-1	70	С
ЛДОР	2	40; 80	IP20	H	Д-2	75	С
ЛСП02	2	40; 65; 80	IP20	П	Д-2	70	С
ЛСП02	2	40; 65; 80	IP20	П	Г-1	60	С
ЛСП13	2	40; 65	IP20	П	Л	75	С
ЛСП13	2	40; 65	IP20	П	Г-2	75	С
ПВЛМ	2	40; 80	5'0	H	Д-2	75	С, П
ПВЛМ	2	40; 80	5'0	П	Г-1	65	С, П
ПВЛМ	2	40; 80	5'0	H	Д-2	70	С, П

Тип	Число ламп	Мощ- ность лампы, Вт	Степень защиты	Светотехнические характеристики			Спо- соб уста- нов- ки
				Класс свето- распре- деления	Обоз- начение кривой силы света	КПД, %	
ПВЛМ	2	40; 80	5'0	Н	Д-1	85	С, П
ПВЛМ	2	ЛБР-40	Для сельскохозяйственных помещений				
ПВЛМ	1	ЛБР-40	То же				
ПЛВМ-Р	2	ЛБР-40	"				
ПВЛМ	1	80	5'0	Н	Д-1	85	С, П
ПВЛМ	2	40; 80	5'0	Н	—	65	С, П
ЛСП18	1	40	5'0	Н	Д-1	65	С, П
ПВЛ1, ЛСП16	2	40	IP54	Н	Д-1	60	С
ПВЛП	2	40	IP54	Н	Д-1	65	С
ЛСП14	2	40	IP54	Н	Д-1	65	С

## Приложение 33

## Технические характеристики прожекторов

Тип прожектора	Тип лампы	Макси- мальная сила све- та, ккд	КПД, %	Угол рассея- ния, град		Наиме- нная высота установ- ки, м
				в гори- зонта- льной плос- кости	в верти- кальной плоскос- ти	
ПСМ-30-1	Г220-200	33	33	16	16	10
ПСМ-40-1	Г220-500	70	35	19	19	15
ПСМ-40-2	ПЖ-220-500	280	35	9	9	30
ПСМ-50-1	Г220-1000	120	35	21	21	20
	ДРЛ-400	19,5	—	74	90	8
	ДРЛ-700	52	—	74	90	13
ПЗР-250	ДРЛ-250	11	—	60	60	6
ПЗР-400	ДРЛ-400	19	—	60	60	8
ПЗС-25	Г220-200	16	27	16	12	7
ПЗС-35	Г220-500	50	27	21	19	13
ПЗС-45	ДРЛ-400	14	—	84	90	7
	ДРЛ-700	30	—	100	100	10
	Г220-1000	130	27	26	24	21
	Г220-1500	225	27	25	26	27
ПКН-1000-1	КТ220-1000-5	52	60	92	18	13

*Продолжение*

Тип прожектора	Тип лампы	Максимальная сила света, ккд	КПД, %	Угол рассеяния, град		Наименьшая высота установки, м
				в горизонтальной плоскости	в вертикальной плоскости	
ПКН-1000-2	КГ220-1000-5	30,6	60	90	40	10
ПКН-1500-1	КГ220-1500	90	60	92	20	17
ПКН-1500-2	КГ220-1500	45	60	106	54	12
ПКН-2000-1	КГ-220-2000-4	125	60	104	16	20
ПКН-2000-2	КГ-220-2000-4	67,5	60	116	44	15

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г у т о р о в М. М. Основы светотехники и источники света. — М.: Энергоатомиздат, 1983, 384 с.
2. Ж и л и н с к и й Ю. М., К у м и н В. Д. Электрическое освещение и облучение. — М.: Колос, 1982, 272 с.
3. К н о р р и н г Г. М. Осветительные установки. — Л.: Энергоиздат, 1981, 284 с.
4. К о ж е в н и к о в а Н. Ф., А л ф е р о в а Л. К., Л я м ц о в А. К. Применение оптического излучения в животноводстве. — М.: Россельхозиздат, 1987, 88 с.
5. Л я м ц о в А. К., Т и щ е н к о Г. А. Электроосветительные и облучательные установки. — М.: Колос, 1983, 224 с.
6. Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий, сооружений. — М.: Колос, 1980, 22 с.
7. Правила устройств электроустановок. — М.: Энергоатомиздат, 1987, 640 с.
8. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1979, 48 с.
9. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г. М. К н о р р и н г а. — Л.: Энергия, 1976, 384 с.
10. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. А я з е н б е р г а. — М.: Энергоатомиздат, 1983, 472 с.
11. Т у л ь ч и н И. К., Н у д л е р Г. И. Электрические сети жилых и общественных зданий. — М.: Энергоатомиздат, 1983, 304 с.
12. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве. Библиотека светотехника. Вып. 7. — М.: Энергоиздат, 1981, 150 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава I. Практические занятия . . . . .</b>	<b>5</b>
1. Получение и преобразование оптического излучения . . . . .	5
2. Энергетические величины и единицы их измерений . . . . .	6
3. Световые величины и единицы их измерений . . . . .	8
4. Эритемные величины и единицы их измерений . . . . .	11
5. Бактерицидные величины и единицы их измерений . . . . .	13
6. Величины оптического излучения в растениеводстве и единицы их измерений . . . . .	14
7. Электрические источники оптического излучения . . . . .	18
8. Осветительные установки . . . . .	22
9. Расчет облучательных установок . . . . .	30
10. Электрическая часть осветительных и облучательных установок . . . . .	50
11. Ответы и решения к задачам . . . . .	53
Получение и преобразование оптического излучения . . . . .	53
Энергетические величины . . . . .	53
Световые величины . . . . .	54
Эритемные величины . . . . .	54
Бактерицидные величины . . . . .	55
Величины оптического излучения в растениеводстве . . . . .	56
Электрические источники оптического излучения . . . . .	56
Осветительные установки . . . . .	57
Электрическая часть установок . . . . .	58
<b>Глава II. Лабораторные работы . . . . .</b>	<b>59</b>
1. Общие указания и рекомендации по выполнению лабораторных работ . . . . .	59
2. Методика измерения оптических величин . . . . .	60
3. Методика измерения световых величин . . . . .	61
4. Методика измерения ультрафиолетового излучения . . . . .	63
5. Методика измерения инфракрасного излучения . . . . .	63
6. Методика измерения фитовеличин оптического излучения . . . . .	64
7. Общая методика измерений и обработка полученных результатов . . . . .	65
Работа 1. Исследование электрических и световых характеристик ламп накаливания . . . . .	67
Работа 2. Исследование характеристик источников инфракрасного излучения . . . . .	74
Работа 3. Исследование электрических и световых характеристик люминесцентных ламп . . . . .	78
Работа 4. Исследование люминесцентной лампы с балластными сопротивлениями различных видов . . . . .	83
Работа 5. Исследование пульсаций светового потока при различных схемах включения люминесцентных ламп . . . . .	86
Работа 6. Исследование дуговой ртутной люминесцентной лампы высокого давления типа ДРЛ . . . . .	89

Работа 7. Исследование электрических характеристик лампы высокого давления типа ДРТ . . . . .	92
Работа 8. Электрические источники света как источники фитопотока . . . . .	97
Работа 9. Экспериментальное определение основных характеристик светильников и облучателей . . . . .	100
Работа 10. Определение освещенности помещения опытным и расчетным путем . . . . .	104
Работа 11. Исследование облучательных установок типа ИКУФ-1 и "Луч" . . . . .	109
Работа 12. Автотрансформаторный и тиристорный способы регулирования светового потока ламп . . . . .	112
Работа 13. Автоматическое управление осветительными и облучательными установками . . . . .	115
Глава III. Методические указания по курсовому проектированию . . . . .	121
1. Структура, содержание и объем курсовой работы . . . . .	121
2. Методические указания к выполнению отдельных разделов работы . . . . .	123
Светотехническая часть проекта . . . . .	123
Электрическая часть проекта . . . . .	134
Спецификация . . . . .	139
3. Применение ЭВМ в курсовом проектировании . . . . .	139
4. Оформление проекта . . . . .	146
Приложения . . . . .	148
Литература . . . . .	173

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

*Баев Виктор Иванович*

**ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ  
ОСВЕЩЕНИЮ И ОБЛУЧЕНИЮ**

Зав. редакцией *С. А. Карпушин, Г. М. Микая*

Художественный редактор *К. Е. Мацегорин*

Технический редактор *Л. И. Кувыркина*

Корректор *Н. А. Соколова*

ИБ № 6231

Сдано в набор 01.10.90. Подписано в печать  
12.12.90. Формат 60 x 88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная  
№ 2. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 10,78. Усл. кр.-отт. 11,02. Уч.-изд. л.  
12,04. Изд. № 276. Тираж 8000 экз. Заказ №1056.  
Цена 40 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО "Агро-  
промиздат", 107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул.  
Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 8 Государственного  
комитета СССР по печати. 101898, Москва,  
Хохловский пер., 7.