

СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОМ  
ХОЗЯЙСТВЕ

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

### ***К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ОСВЕЩЕНИЕ И ОБЛУЧЕНИЕ В АПК»***

*для студентов, обучающихся по направлению  
подготовки бакалавриата: 35.03.06 – Агроинженерия  
(профиль подготовки – Электрооборудование и  
электротехнологии в сельском хозяйстве)*

***автор: В. Н.Авдеева***

## **ВВЕДЕНИЕ**

Расчеты сельскохозяйственных осветительных и облучательных установок связаны в основном с определением энергетических и эффективных показателей выбираемых источников оптического излучения, выбором и размещением светильников и облучателей, компоновкой электрической части установок, выбором проводов и кабелей, аппаратов коммутации и защиты.

В рекомендациях приведены краткие теоретические сведения, формулы и отдельные методики расчетов, примеры их выполнения и задачи по основным разделам курса.

Методические рекомендации предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавриата: 35.03.06 – Агроинженерия (профиль подготовки – Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве)

# 1. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

## Расчетные формулы

Энергия, Дж, фотона - элементарной частицы излучения

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

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),  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $t$  - 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  $2,92 \cdot 10^{-19}$  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 она неизменна.

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  $\lambda_2$

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

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

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>,

$$E_{A_e} = R_e = d\Phi_e / dA_u; \quad E_{A_e} = R_e = \Phi_e / A_u, \quad (7)$$

где  $dA_u, A_u$  - 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							
$R_e$ , Вт/(см <sup>2</sup> ·мкм)	6	9,8	14,8	20,7	27	35	43,5	52,5
61,5	70,7							

*Продолжение*

$\lambda$ , нм	580	600	620	640	660	680	700	720
740	760							
$R_e$ , Вт/(см <sup>2</sup> ·мкм)	79,9	89	98,2	107,3	116,2	123,9	131	137,5
144,2	150							

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

16. Спектральная плотность потока источника постоянна и равна 10 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 см<sup>2</sup>, лучистый поток лампы 150 Вт. Вычислить долю потока лампы в видимой области.

18. Солнце излучает в минуту  $20,95 \cdot 10^{24}$  кДж энергии в оптическом диапазоне. Расстояние от Солнца до Земли равно  $1,5 \cdot 10^8$  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 нм, если поток излучения равен 5 Вт.

20. Чему равен поток источника излучения в видимой области, если его средняя спектральная интенсивность  $\varphi(\lambda) = 0,1$  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  $d\Phi_{\lambda\text{эф}}$  – поток однородного излучения при длине волны  $\lambda$ , эффективно поглощенный приемником;  $d\Phi_{\lambda}$  – полный однородный поток излучения при той же длине волны, упавший на приемник.

Эффективный поток

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

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

$$L_\alpha = \frac{dI_\alpha}{dA_u \cos \alpha}; \quad L_\alpha = \frac{I_\alpha}{A_u \cos \alpha}. \quad (17)$$

### 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:

$\lambda, \text{нм}$	404,7	407,8	435,8	546,1	577	578	579,1
$\varphi(\lambda), \text{Вт/нм}$	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:

$\lambda, \text{нм}$	404,7	407,8	435,8	491,6	546,1	577	578	579,1	690
$\varphi(\lambda), \text{о.е}$	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>3</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  $10 \text{ кд/м}^2$  при освещенности  $12550 \text{ лк}$ . Найти коэффициент поглощения бархатной поверхности.

32. Определить яркость снега, коэффициент отражения которого  $0,85$  при природных освещенностях: 1)  $100000 \text{ лк}$  (безоблачный полдень); 2)  $20000$  (полдень, плотная облачность); 3)  $600$  (заход Солнца); 4)  $20$  (сумерки, момент появления звезд); 5)  $0,2 \text{ лк}$  (полная Луна в ясную ночь). Необходимо учитывать, что у снега рассеянное отражение.

33. Активная площадь селенового фотоэлемента Ф55С составляет  $30 \text{ см}^2$ , а его чувствительность  $613 \text{ мкА/лм}$ . Вычислить силу тока во внешней цепи фотоэлемента при освещенности  $100 \text{ лк}$ .

34. Селеновый фотоэлемент Ф55С площадью  $30 \text{ см}^2$  и чувствительностью  $613 \text{ мкА/лм}$  подключен к гальванометру с чувствительностью  $1,84 \cdot 10^{-6} \text{ А}$ . На сколько делений отклонится стрелка гальванометра, если фотоэлемент равномерно освещать эталонной лампой накаливания с силой света  $500 \text{ кд}$ , расположенной на расстоянии  $3 \text{ м}$ ? К поверхности фотоэлемента 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 фотоэлемента которого откорректирована под спектральную чувствительность глаза человека, во всех трех случаях одинаковы и равны  $100 \text{ лк}$ .

#### **4. ЭРИТЕМНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ**

##### **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

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

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

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

### Задачи

36. Компактная лампа создает на освещаемой поверхности следующие спектральные значения облученности:

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

Определить эритемную 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° 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
$E_{\lambda\epsilon} 10^4$ , 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:

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

Вычислить эритемный поток лампы.

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

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

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

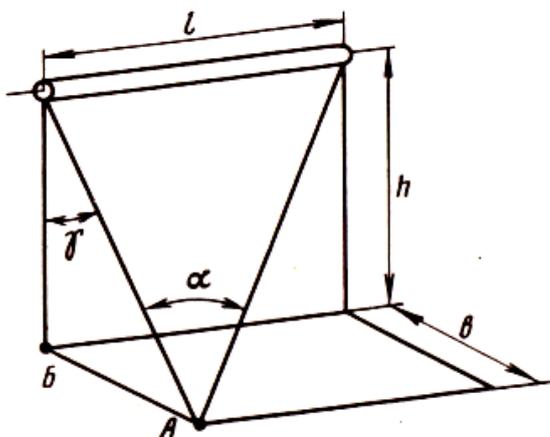


Рис. 1. К задаче 39. Определение

Определение горизон-

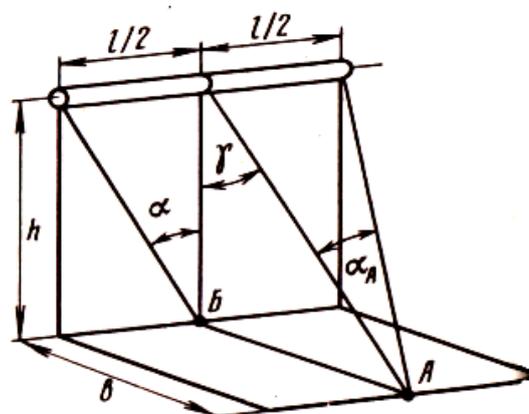


Рис. 2. К задаче 40.

облученностей в точках А и Б тальных и максимальных облученностей

42. Лампа ЛЭ15, подвешенная на высоте 1 м от спины животных, создает эритемную облученность 20 мэр/м<sup>2</sup> при дозе облучения 40 мэр·ч/м<sup>2</sup>. Как необходимо изменить продолжительность облучения животных, если высоту подвеса лампы увеличить до 2 м?

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 мэр/см<sup>2</sup>. Колба лампы имеет светящие длину  $l_{cv} = 1184$  мм и диаметр  $d_{cv} = 38$  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,

$$\Phi_{\delta} = F_{\delta} = \int_{200 \text{ нм}}^{320 \text{ нм}} \varphi(\lambda) K(\lambda)_{\delta} d\lambda, \quad (23)$$

где  $K(\lambda)_{\delta}$  – относительная бактерицидная эффективность излучения.

Сила бактерицидного излучения, бк/м<sup>2</sup>,

$$I_{\delta} = d\Phi_{\delta} / d\omega; \quad I_{\delta} = \Phi_{\delta} / \omega \quad (24)$$

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

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

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

$$H_{\bar{o}} = \int_{t_1}^{t_2} E_{\bar{o}t} dt. \quad (26)$$

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

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

### Задачи

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

$\lambda, \text{нм}$	295	305	315	325	335	345	355	365	375	385
$E_{\lambda\epsilon} 10^4 \text{ мкВт/м}^2$	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:

$\lambda, \text{нм}$	248	254	265	270	275	280	289	292	297	302	334	365
$E_{\lambda\epsilon}, \text{Вт}$	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  $\Phi_{\bar{o}} = 39,5$  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  $\Phi_{\bar{o}} = 10,5$  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  $L_{\bar{o}} = 0,37 \cdot 10^{-2}$  б/(ср·м<sup>2</sup>). Считая небосвод равнорким, 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,  $E_6 = 0,5$  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 равнояркий 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 фитопотока, 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>,

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

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

$$H_{\phi} = \int_{t_1}^{t_2} E_{\phi t} dt.$$

### Задачи

56. Относительная спектральная интенсивность излучения фитолампы низкого давления ЛФ40-2;

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

*Продолжение*

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

*Продолжение*

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

*Продолжение*

$\lambda, \text{нм}$	680	690	700	710	720	730	740	750	760
$\varphi(\lambda), \text{о.е.}$	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 фитопоток которой равен 98,8?

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

58. В нижней полусфере у симметричного облучателя равномерное светораспределение. Найти фитопоток, падающий от облучателя в радиусе 1 м, если высота его подвеса 0,5 м. Общий фитопоток 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, 0	0,03	0,21	0,54	0,85	1,0	0,91	0,7	0,38	0,12	0,03	0	
% от E <sub>сmax</sub>												

Максимальная облученность при этом равна 510 Вт/м<sup>2</sup>.

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

Часы суток	9	10	11	12	13	14	15
Облученность, Вт/м <sup>2</sup>	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, ежедневно необходимого растениям для нормального роста и развития и равного  $530 \cdot 10^3$  Дж/м<sup>2</sup>?

63. Для светолюбивых растений при определенных внешних условиях насыщающая освещенность равна 40000 лк. Переведите это значение в фитооблученность для трех вариантов облучения растений

монохроматическими потоками с  $\lambda_1 = 680$  нм,  $\lambda_2 = 610$ ,  $\lambda_3 = 555$  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 ( $\Delta\lambda = 10$  нм):

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

*Продолжение*

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

*Продолжение*

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

*Продолжение*

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

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.

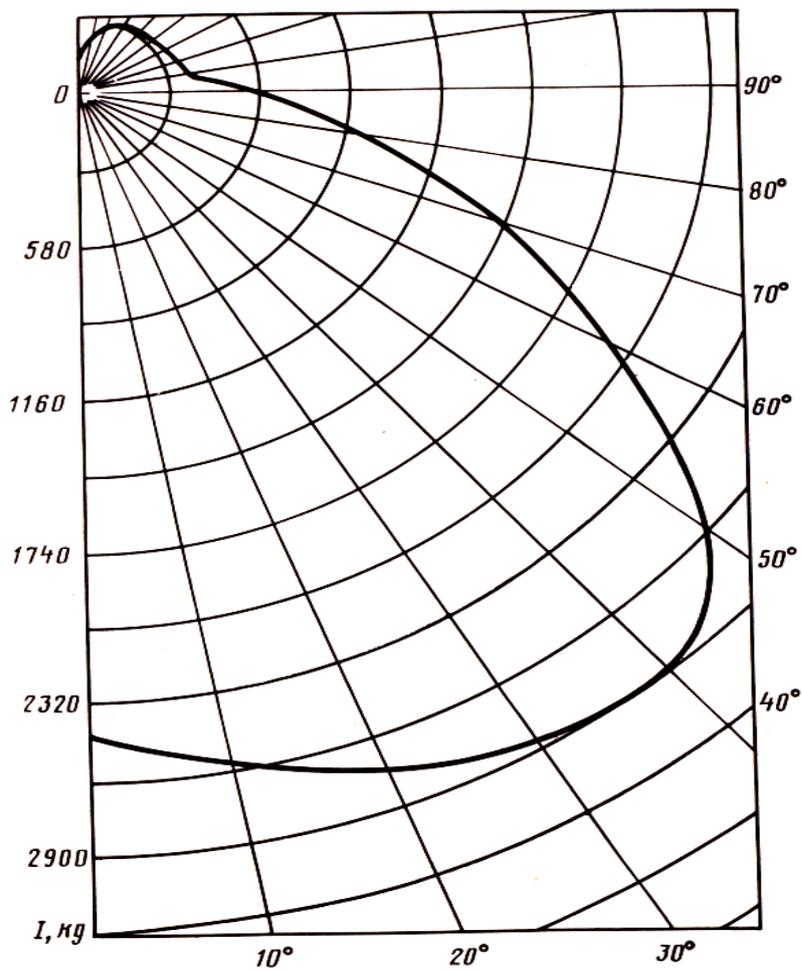


Рис. 3. Продольная кривая светораспределения лампы ДРЛФ400

## 7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

### Расчетные формулы

Эффективная отдача потока

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

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

$$5,672 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град}^4); T - \text{ абсолютная температура, К.}$$

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

$$M_e(T) = R_T = e(T) \sigma T^4, \quad (38)$$

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

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

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

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

Значения интегральных и спектральных коэффициентов излучения приведены в приложениях 17,18,19.

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

$$\text{ток ламп } I_L/I_{L.H} = (U/U_H)^{0,53};$$

$$\text{мощность ламп } P/P_H = (U/U_H)^{1,53};$$

$$\text{световая отдача } \eta_v/\eta_{v.H} = (U/U_H)^{2,14};$$

$$(40)$$

$$\text{световой поток } \Phi_v/\Phi_{v.H} = (U/U_H)^{3,67};$$

$$\text{срок службы } t_{cl}/t_{cl.H} = (U/U_H)^{-13,8},$$

где  $I_{L.H}$ ,  $P_H$ ,  $\Phi_{v.H}$  – нормальные значения параметров.

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

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

$$\text{ток ламп } \Delta I_L/I_{L.H} = 2,2 (U/U_H);$$

$$\text{мощность ламп } \Delta P/P_H = 2(U/U_H);$$

$$(41)$$

$$\text{световой поток } \Delta \Phi_v/\Phi_{v.H} = 1,5 (U/U_H)$$

где  $\Delta I$ ,  $\Delta P$ ,  $\Delta \Phi_v$  - отклонения значений параметров от номинальных

Мощность, Вт, люминесцентной лампы

$$P \cong 0,9 I_L U_L, \quad (42)$$

где  $U_L$  - напряжение лампы, В

Световой поток, лм, люминесцентной лампы

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

где  $I_{nep}$  - 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

$$L_v = F_v 10^4 / (9,25kdl), \quad (46)$$

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 малозагруженных 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 светящей части лампы 3,8 см, а длина 118,4 см. Определить среднюю поверхностную плотность светового потока, силу 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).

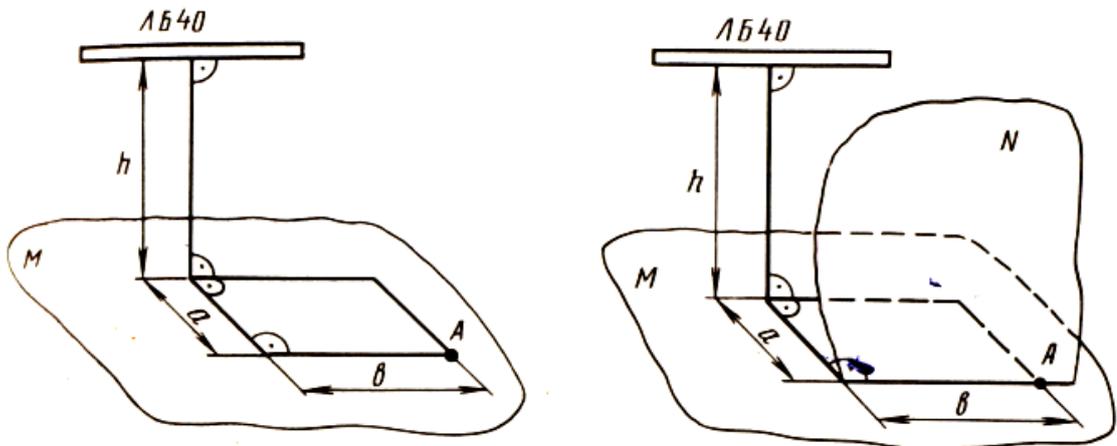


Рисунок 5 -Расположение источника света над горизонтальной и вертикальной поверхностями

77. Люминесцентная лампа ЛЕЦ65 со световым потоком 3400 лм расположена вертикально, как показано на рисунке 6. Приняв лампу за равномерный 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.

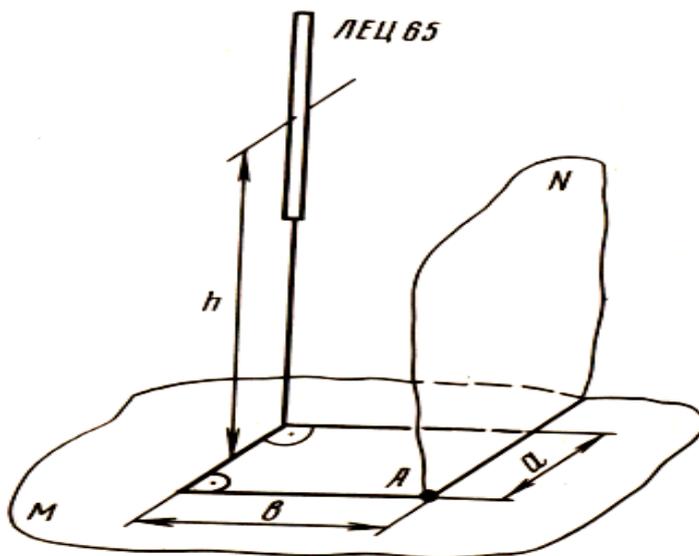


Рисунок 6. (к задаче 77) - Вертикальное расположение люминесцентной лампы и освещаемой поверхности

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 18600 лм; натриевая лампа ДНаТ400-47000 лм; кварцевая галогенная лампа КГ220-1000-22000 лм; световая отдача лампы 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 2100мм и диаметр 38 мм. Найти световую отдачу (лм/Вт, %) и среднюю яркость лампы ( $\text{кд/м}^2$ ).

## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

ВАРИАНТ	НОМЕРА ЗАДАЧ
1	18, 26, 40, 46, 64, 66
2	17, 23, 42, 47, 63, 67
3	14, 23, 45, 48, 61, 68
4	16, 22, 44, 49, 62, 69
5	14, 22, 36, 50, 56, 70
6	13, 26, 37, 51, 65, 71
7	1, 32, 38, 52, 62, 78
8	16, 30, 36, 52, 59, 71
9	2, 20, 31, 39, 56, 73
10	3, 32, 41, 53, 63, 77
11	17, 28, 37, 54, 57, 70
12	18, 27, 38, 55, 58, 69
13	11, 43, 46, 64, 66, 74
14	12, 21, 34, 55, 61, 73
15	4, 25, 34, 54, 56, 74
16	15, 33, 40, 55, 62, 75
17	20, 34, 41, 54, 61, 76
18	13, 34, 42, 53, 60, 77
19	20, 22, 35, 42, 58, 79
20	19, 29, 43, 52, 59, 78
21	15, 35, 45, 51, 57, 80
22	12, 24, 44, 50, 65, 72
23	5, 25, 36, 40, 57, 70
24	11, 26, 37, 48, 53, 73
25	6, 23, 38, 47, 51, 74
26	7, 32, 39, 40, 50, 75

27	14, 21, 40, 55, 65, 78
28	8, 14, 33, 44, 46, 66
29	9, 17, 21, 41, 49, 67
30	10, 34, 39, 47, 58, 68
31	18, 24, 42, 46, 59, 61
32	11, 35, 45, 48, 63, 66
33	12, 33, 43, 49, 64, 67
34	10, 13, 33, 52, 65, 68
35	9, 15, 25, 36, 52, 69
36	8, 16, 27, 35, 37, 71
37	19, 28, 38, 46, 56, 72
38	20, 29, 40, 47, 57, 72
39	7, 30, 41, 48, 58, 74
40	6, 27, 42, 49, 58, 75
41	5, 28, 43, 50, 59, 76
42	4, 29, 44, 51, 60, 77
43	3, 30, 45, 52, 61, 79
44	2, 20, 21, 53, 62, 80
45	1, 19, 35, 54, 63, 78
46	10, 19, 34, 55, 64, 79
47	9, 18, 33, 37, 65, 80
48	8, 17, 32, 38, 46, 57
49	16, 31, 39, 47, 58, 67
50	15, 30, 40, 50, 60, 71,
51	14, 29, 41, 51, 61, 69
52	13, 28, 36, 52, 63, 71
53	12, 27, 37, 53, 64, 72
54	11, 26, 38, 54, 65, 73
55	10, 20, 35, 55, 57, 80

### **ЗАДАНИЕ № 1**

на контрольную работу по курсу «Освещение и облучение»  
студенту учебно-методического научного центра СГАУ

---

Решить задачи, приведенные в методическом указании под  
следующими номерами: 18, 26, 40, 46, 64, 66

Задание выдано \_\_\_\_\_  
доцент Авдеева В. Н.

### **ЗАДАНИЕ № 2**

на контрольную работу по курсу «Освещение и облучение»  
студенту учебно-методического научного центра СГАУ

---

Решить задачи, приведенные в методическом указании под следующими  
номерами: 17, 23, 42, 47, 63, 67

Задание выдано \_\_\_\_\_  
доцент Авдеева В. Н.

### **ЗАДАНИЕ № 3**

на контрольную работу по курсу «Освещение и облучение»  
студенту учебно-методического научного центра СГАУ

---

Решить задачи, приведенные в методическом указании под  
следующими номерами: 14, 23, 45, 48, 61, 68

Задание выдано \_\_\_\_\_  
доцент Авдеева В. Н.