

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электротехнологии

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБЛУЧЕНИЕ**

*Конспект лекций*

*для студентов специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение  
сельскохозяйственного производства»*

Минск  
2007

УДК 631.371:628.9(075.8)  
ББК31.294я7 Э45

Рекомендовано научно-методическим советом агроэнергетического факультета БГАТУ  
Протокол № 3 от 14 ноября 2006 г.

Составитель — канд. техн. наук, доц. *М.М. Николаенок*

Рецензенты; начальник электротехнического отдела УП института «Белгипроагро-  
пищепром» *В.И. Чернышев*,  
зав. кафедрой «Электрооборудование с.-х. предприятий» БГАТУ, канд.  
техн. наук, доц. *В.А. Даннеко*

Электрическое облучение [Текст] : учеб.-метод, пособие / М.М. Николаенок. — Э 45  
Минск : БГАТУ, 2006. — 138 с. SBN 985-6552-62-6

В данном конспекте лекций изложены основы дисциплины «Электрическое облучение», рассмотрены устройство и технические параметры облучательных установок, изложены существующие методы светотехнического расчета устройств облучательных установок сельскохозяйственного назначения.

УДК 631.371:628.9(075.8)  
ББК31.294я7

ISBN 985-6552-62-6

© БГАТУ, 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
<b>Тема 1 ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b>	
1.1 Фотобиологическое действие оптического излучения.....	8
1.1.1 Виды фотобиологического действия оптического излучения и обоснование систем эффективных величин.....	8
1.1.2 Системы эффективных величин и единицы их измерения.....	9
1.1.3 Сферическая облученность и ее расчет от различных источников излучения.....	14
1.2 Взаимодействие оптического излучения с биологическими объектами.....	17
1.2.1 Общие закономерности взаимодействия оптического излучения с биологическими объектами (законы Бугера, Эйнштейна, Бунзена–Роско, Арндта–Шульца.....	17
1.2.2 Воздействие отдельных участков спектра оптического излучения на живые организмы и другие тела.....	20
1.2.3 Приборы измерения эффективного действия оптического излучения...	24
<b>Тема 2 ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b>	
2.1 Специальные источники ОИ.....	28
2.1 Источники ИК-излучения.....	28
2.1.2 Газоразрядные источники УФ-излучения.....	31
2.1.3 Источники для досвечивания растений.....	35
2.2 Когерентные источники оптического излучения (лазеры).....	37
2.2.1 Основные характеристики лазерного излучения.....	37
2.2.2 Спонтанное и вынужденное излучение. Понятие «накачки».....	39
2.2.3 Мазер на аммиаке и рубиновый лазер.....	41
2.2.4 Обратная связь и резонатор в лазерном излучении.....	44
2.2.5 Газовые, твердотельные и жидкостные лазеры, особенности конструкции и характеристики.....	46
<b>Тема 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ</b>	
3.1 Общие требования к технологическому использованию оптического излучения.....	49
3.1.1 Использование естественного ОИ в сельскохозяйственном производстве.....	49
3.1.2 Классификация облучательных установок.....	49
3.1.3 Общие принципы нормирования облучения.....	52
3.1.4 Общие принципы расчета облучательных установок.....	53
3.2 УФ-облучение витального действия.....	54
3.2.1 Воздействие УФ-облучения на животных и птицу.....	54
3.2.2 Конструкция УФ-облучательных установок и их характеристики.....	55
3.2.3 Особенности автоматизации управления установками УФ-облучения..	59

3.3 Расчет УФ-облучательных установок витального действия....	62
3.3.1 Расчет размещения УФ-облучательных установок.....	62
3.3.2 Светотехнический расчет стационарных УФ-облучательных установок методом коэффициента использования эффективного потока и точечным методом.....	64
3.3.3 Светотехнический расчет подвижных облучательных установок методами графического и аналитического интегрирования.....	66
3.4 Бактерицидные УФ-излучательные установки обеззараживания воды.....	69
3.4.1 Способы обеззараживания, требования ГОСТа к содержанию микроорганизмов, основные понятия и определения.....	69
3.4.2 Конструкции установок УФ-обеззараживания воды.....	71
3.4.3 Расчет установок УФ-обеззараживания воды с непогруженными источниками.....	72
3.4.4 Расчет установок УФ-обеззараживания воды с погруженными источниками.....	75
3.5 Бактерицидные УФ-излучательные установки обеззараживания воздуха.....	77
3.5.1 Конструкции установок УФ-обеззараживания воздуха.....	77
3.5.2 Расчет установок для обеззараживания воздуха помещений без принудительной системы вентиляции.....	79
3.5.3 Расчет установок для дезинсекции поверхностей.....	80
3.6 Облучательные установки ИК обогрева сельскохозяйственных животных и птицы.....	81
3.6.1 Установки ИК-излучения, конструкции, характеристики, выбор.....	82
3.6.2 Расчет установок ИК-облучения животных и птицы.....	86
3.6.3 Особенности автоматизации управления работой установок ИК-обогрева.....	90
3.7 Облучательные установки ИК сушки и разогрева продукции.....	93
3.7.1 Конструкции и характеристики установок ИК-сушки и разогрева продукции.....	93
3.7.2 Особенности расчета установок ИК-сушки, разогрева, переработки продукции.....	95
3.8 Комбинированные облучательные установки.....	97
3.8.1 Установки для ИК и УФ-облучения, конструкции, характеристики, особенности расчета.....	97
3.8.2 Установки для освещения и УФ-облучения, конструкции, характеристики, особенности расчета.....	100
3.9 Облучательные установки видимого излучения.....	104
3.9.1 Представление о фотосинтезе и требования, предъявляемые к тепличным облучательным установкам.....	104
3.9.2 Установки для облучения растений, конструкции и основные характеристики.....	106
3.9.3 Расчет установок облучения растений с точечными и линейными излучателями.....	110
3.10 Лазерные установки.....	114
3.10.1 Прикладное применение лазеров.....	114
3.10.2 Лазеры и голографии.....	117
3.10.3 Техника безопасности при эксплуатации лазерных установок.....	120

3.11 Использование оптического излучения в технологических процессах сельскохозяйственного производства.....	121
3.11.1 Установки для люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов.....	121
3.11.2 Фототаксис живых организмов.....	124
3.11.3 Установки для предпосевной обработки семян и клубней.....	125
3.11.4 Фотоэлектрические сортировальные машины.....	128
3.11.5 Использование радиационной термометрии в животноводстве и ветеринарии.....	129
3.11.6 Применение ультрафиолетового излучения для обработки гидролизно-дрожжевых сред.....	130
<b>Тема 4 ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК</b>	
4.1 Эксплуатация и обслуживание облучательных установок.....	131
4.1.1 Требования нормативной документации к эксплуатации облучательных установок.....	131
4.1.2 Особенности техники безопасности при обслуживании и эксплуатации установок.....	134
4.1.3 Особенности энергосбережения и управления работой облучательных установок.....	135
Литература .....	138

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Перспективы технологического использования оптического излучения в сельскохозяйственном производстве**

Известно, что оптическое излучение (ОИ) видимого ультрафиолетового (УФ) и инфракрасного (ИК) диапазона длин волн при его рациональном использовании позволяет значительно интенсифицировать ряд технологических процессов. В сельскохозяйственном производстве более чем в 20 технологических процессах используют ОИ: сушка продуктов, предпосевная обработка семян, стерилизация продуктов и тары, пастеризация молока, повышение эффективности животноводства, птицеводства, свиноводства, звероводства путем повышения среднесуточного прироста массы животных и птицы, увеличения сохранности молодняка, снижения их простудных заболеваний, увеличения выхода продукции и др.

Искусственная компенсация УФ-недостаточности, имеющей место в основном в зимнее время, повышает удои коров на 5–13% при сохранности жирности молока на том же уровне, среднесуточные приросты массы повышаются на 7–13%, а у поросят — на 20%. У свиней на откорме среднесуточный прирост массы увеличивается на 4–10%. УФ-облучение сельскохозяйственной птицы вызывает повышение яичной продуктивности на 10–15%, а у цыплят-бройлеров прирост массы увеличивается на 4–11%.

Применение ИК-облучения увеличивает сохранность молодняка животных после их рождения на 8–10% и среднесуточный прирост их массы на 10–15% при снижении расхода кормов.

Обеспечение требуемой освещенности при выполнении работ повышает производительность труда персонала на 3%, а в сложных технологических процессах, где необходимо различать детали мелких размеров и форму объектов, рост производительности труда может достигать 15–20%. Увеличение освещенности коровников с 10 до 100 лк приводит к росту молочной продуктивности коров в среднем на 8%, содержание свиноматок при освещенности 100 лк способствует повышению их плодовитости на 5,8%, увеличению средней массы поросят на 4,5–16% в сравнении с животными, находящимися в помещении с освещенностью 6–10 лк. Применение дифференцированной, в зависимости от возраста птицы, продолжительности светового дня увеличивает ее продуктивность на 10%. При соблюдении требуемого светового ре-

жима в два раза сокращаются сроки выращивания рассады в зимние месяцы, на 15–20% увеличивается урожай томатов, на 20–40% — огурцов и на 50–70% — салата.

**Цель дисциплины** — формирование знаний по использованию облучательных установок оптического диапазона излучения в сельскохозяйственном производстве.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

**знать** физические основы преобразования электрической энергии в энергию оптического излучения (ОИ) и непосредственное использование ее в технологических процессах сельскохозяйственного производства;

**уметь** рассчитывать и проектировать облучательные установки сельскохозяйственного назначения;

**иметь представление об** устройстве, принципе действия и рациональном применении современных источников ОИ и оборудования для облучения в технологических процессах, принципах управления и автоматизации, правилах эксплуатации и безопасного обслуживания облучательных установок сельскохозяйственного назначения.

# Тема 1 ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

## 1.1 Фотобиологическое действие оптического излучения

### *План*

- 1.1.1 Виды фотобиологического действия оптического излучения и обоснование систем эффективных величин.
- 1.1.2 Системы эффективных величин и единицы их измерения.
- 1.1.3 Сферическая облученность и ее расчет от различных источников.

### **1.1.1 Виды фотобиологического действия оптического излучения и обоснование систем эффективных величин**

Взаимодействие оптического излучения с приемниками в общем случае может быть фотофизическим, фотохимическим и фотобиологическим. Технологические процессы сельскохозяйственного производства связаны главным образом с объектами живой природы, при этом воздействие оптического излучения на человека, животных, микроорганизмы и растения называют *фотобиологическим*. Различают следующие основные виды фотобиологического воздействия: световое, фотосинтетическое, фотопериодическое, терапевтическое, бактерицидное и мутагенное (рисунок 1.1.1).

*Световое* действие заключается в том, что видимое излучение вызывает зрительное ощущение воздействуя на глаз человека или животного, и они приобретают способность видеть и ориентироваться в пространстве.

*Фотосинтетическое* действие заключается в том, что листья растений поглощают видимое и длинноволновое УФ-излучение и синтезируют органическое вещество.

*Фотопериодическое* действие состоит в том, что за счет чередования периодов света и темноты, а также их длительности можно влиять на развитие растений, животных и птицы.

*Терапевтическое* действие (витальное, антирахитное) — тонизирующее влияние на живые организмы. Облучение людей и животных УФ видимыми и ИК-лучами улучшает обмен веществ в организме, повышает его сопротивляемость к заболеваниям.





Рисунок 1.1.1 — Основные виды фотобиологического действия ОИ

*Бактерицидное* действие заключается в том, что при облучении УФ, а при больших дозах видимым и ИК-излучением, происходит гибель бактерий, растений, насекомых.

*Мутагенное* действие — длительное воздействие УФ-излучения на растения и животных приводит к наследственным изменениям, которые можно использовать для выведения новых сортов растений и организмов с новыми свойствами.

Различные области ОИ оказывают различные действия. Видимое излучение наиболее сильно оказывает: световое, фотосинтетическое и фотопериодическое действие, УФ излучения области А и Б оказывает витальное и антирахитное действие, а область С — бактерицидное действие.

ИК-излучение наиболее часто применяется с целью тонизирующего действия, возникающего за счет теплового эффекта в кожном покрове животных.

### 1.1.2 Системы эффективных величин и единицы их измерения

Для оценки воздействий ОИ на приемники, их объединили в четыре группы. Для каждой из групп приемников выбраны эталонные (образцовые) приемники и разработаны системы эффективных величин — *световая, витальная, бактерицидная и фотосинтетическая*. Световую систему величин мы рассмотрели в курсе лекций по дисциплине «Электрическое освещение», здесь же остановимся на трех оставшихся системах эффективных величин.

### ***Витальная система эффективных величин***

Эталонным приемником в этой системе эффективных величин принята кожа человека, реакция которой выражается в покраснении участка, подвергнутого облучению. Витальная система эффективных величин оценивает антирахитное, тонизирующее и терапевтическое действие УФ-излучения области  $A$  и  $B$ , т. е. излучение с длиной волны  $0,28-0,38$  мкм. Эффективный поток в этой системе — *витальный поток*, т.е. поток излучения, оценивающий его общебиологическое действие (антирахитное, тонизирующее, терапевтическое) на организм человека, сопровождаемое образованием эритемы (покраснения) на облученных участках кожи.

Единица витального потока — вит, равный потоку излучения с длиной волны  $\lambda = 0,297$  мкм и мощностью 1 Вт:

$$\Phi_{\text{в}} = \int_{\lambda_1=0,280\text{мкм}}^{\lambda_2=0,320\text{мкм}} \varphi_{\text{е}}(\lambda) V_{\text{в}}(\lambda) d\lambda, \quad (1.1.1)$$

где  $\varphi_{\text{е}}(\lambda)$  — спектральная плотность потока излучения;

$V_{\text{в}}(\lambda)$  — относительная витальная эффективность излучения.

Пространственная плотность витального излучения — *сила витального излучения*

$$I_{\text{в}} = \frac{d\Phi_{\text{в}}}{d\omega}, \quad (1.1.2)$$

где  $\omega$  — телесный угол, в котором распространяется витальный поток, стерадиан (ср).

Относительная витальная эффективность излучения имеет вид, приведенный на рисунке 1.1.2. Наибольшей эффективностью обладает излучение с длиной волны  $\lambda = 0,297$  мкм.

Плотность излучения на облучаемой поверхности — *витальная облученность*

$$E_{\text{в}} = \frac{d\Phi_{\text{в}}}{dS}, \quad (1.1.3)$$

где  $S$  — площадь облучаемой поверхности, м<sup>2</sup>.

*Экспозиция витального облучения* (доза)

$$H_{\text{в}} = \int E_{\text{в}}(\tau) d\tau, \quad (1.1.4)$$

где  $\tau$  — время облучения, с.

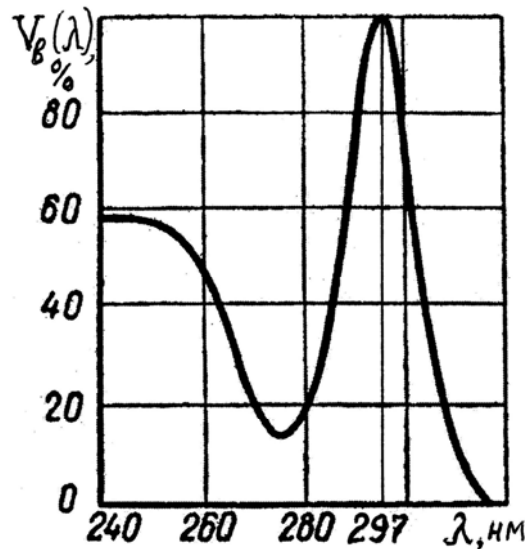


Рисунок 1.1.2 — Относительная витальная эффективность излучения

### **Бактерицидная система эффективных величин**

В качестве эталонного приемника в этой системе приняты бактерии, для которых известна относительная спектральная чувствительность к излучениям с различными длинами волн. Реакция бактерий на облучение — их гибель.

Бактерицидная спектральная эффективность величин оценивает бактерицидное действие УФ-излучения области С, т. е. излучение с длинами волн 0,2–0,3 мкм.

Эффективный поток в этой системе — *бактерицидный поток*, т. е. поток излучения, оцениваемый по его бактерицидному действию, другими словами, по способности уничтожать бактерии.

Единица бактерицидного потока — бакт, численно равный потоку излучения мощностью в один Ватт с длиной волны  $\lambda = 0,254$  мкм:

$$\Phi_{\sigma} = \int_{\lambda_1=0,2 \text{ мкм}}^{\lambda_2=0,3 \text{ мкм}} \varphi_e(\lambda) V_{\sigma}(\lambda) d\lambda, \quad (1.1.5)$$

где  $V_{\sigma}(\lambda)$  — относительная бактерицидная эффективность излучения.

Спектральная плотность относительной бактерицидной эффективности излучения имеет вид, приведенный на рисунке 1.1.3. Наибольшей эффективностью обладает излучение с длиной волны  $\lambda = 0,254$  мкм.

Аналогично формулам (1.1.2)–(1.1.4) определяются, соответственно, сила, облученность и экспозиция бактерицидного излучения.

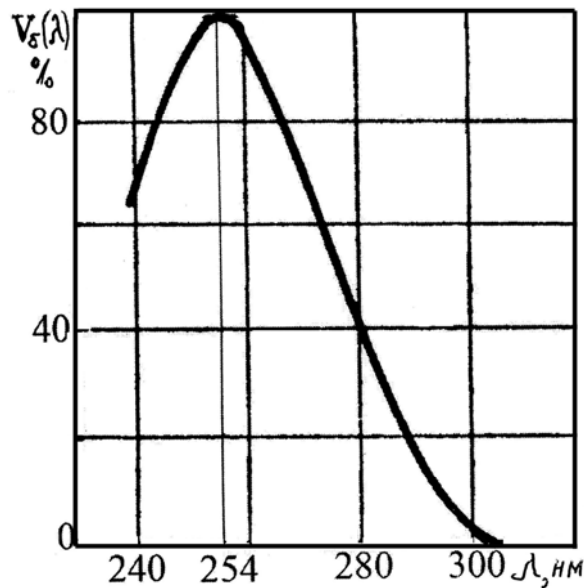


Рисунок 1.1.3 —Спектральная бактерицидная эффективность излучения

### **Фотосинтетическая система эффективных величин**

Эталонным приемником в этой системе принят средний лист растения. В этой системе оценивается действие оптического излучения с длиной волны 300–750 мкм на фотосинтез, происходящий в листьях растений.

Эффективный поток в этой системе называют *фитопотоком* и измеряют его в фитах (фт).

Фитопоток показывает, сколько в общем излучении содержится энергии, доступной растениям для осуществления фотосинтеза.

Относительная спектральная эффективность фотосинтеза имеет вид, приведенный на рисунке 1.1.4. Максимальная эффективность фотосинтеза достигается при  $\lambda = 0,680$  мкм.

За единицу фитопотока принят фит (фт), равный потоку излучения мощностью в один Ватт с длиной волны  $\lambda = 0,680$  мкм. Фитопоток определяют по формуле:

$$\Phi_\phi = q_{\lambda_{\max}} \int_{\lambda=300\text{нм}}^{\lambda=750\text{нм}} \varphi_e(\lambda) V_\phi(\lambda) d\lambda, \quad (1.1.6)$$

где  $\varphi_e(\lambda)$  — спектральная плотность потока;

$q_{\lambda_{\max}}$  — максимальная спектральная чувствительность приемника, равная 0,95;

$V_\phi(\lambda)$  — относительная спектральная чувствительность приемника.

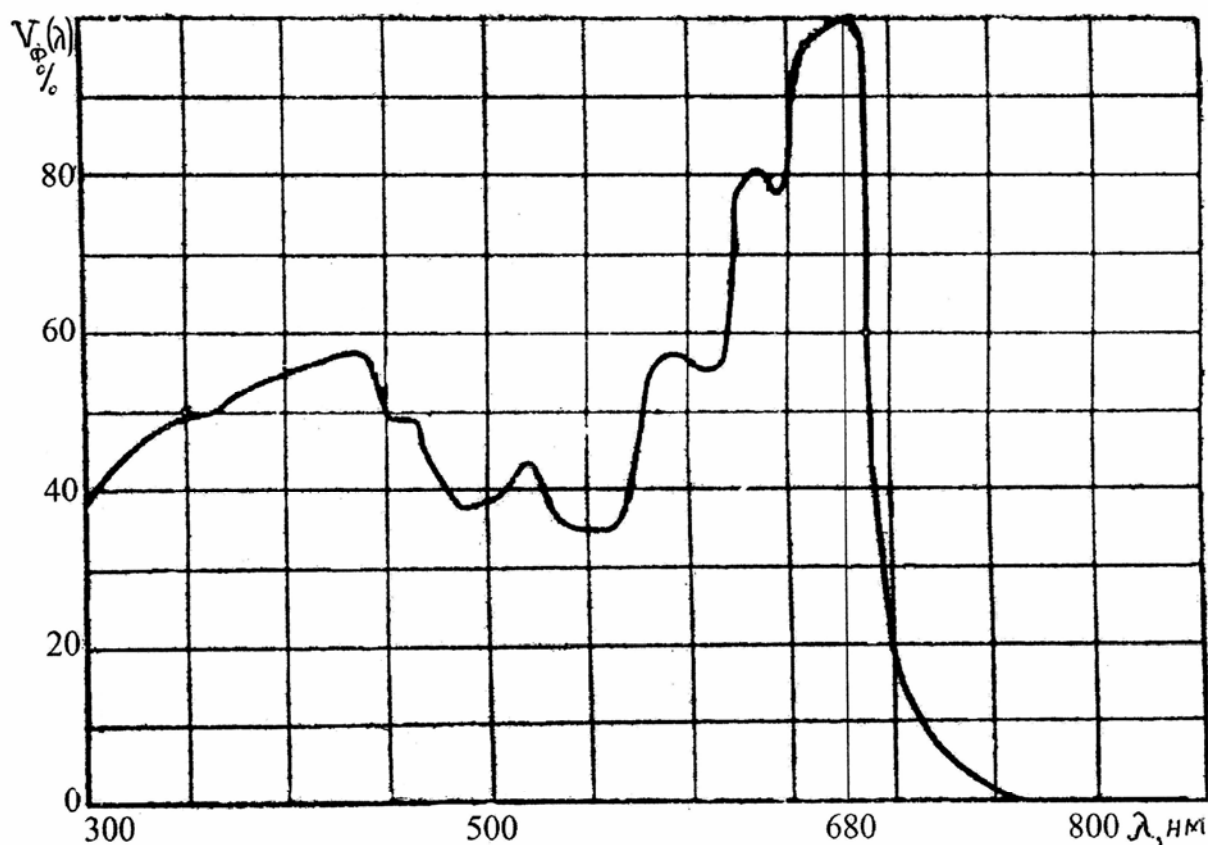


Рисунок 1.1.4 — Спектральная фотосинтетическая эффективность излучения

Силу, облученность и экспозицию фитоизлучения определяют аналогично формулам (1.1.2)–(1.1.4).

Системы эффективных величин охватывают оптическое излучение с длинами волн от 0,2 до 0,76 мкм. Действие ИК-излучения оценивают в энергетической системе величин (см. курс лекций по дисциплине «Электрическое освещение»). Таким образом, основные характеристики оптического излучения, оцениваемые в рассмотренных системах величин можно представить в виде таблицы 1.1.1.

Таблица 1.1.1 — Основные характеристики оптического излучения

Системы величин и единицы их измерения				
Энергетическая	Световая	Фотосинтетическая	Витальная	Бактерицидная
Поток излучения	Световой поток	Фотосинтетический поток	Витальный поток	Бактерицидный поток
$\Phi_e$ , Вт	$\Phi$ , лм	$\Phi_{\Phi}$ , фт	$\Phi_v$ , вит	$\Phi_b$ , Бк

Системы величин и единицы их измерения				
Энергия излучения $Q_e = \Phi_e \tau$ , Дж	Световая энергия $Q = \Phi \tau$ , лм·с	Фотосинтетическая энергия $Q_\phi = \Phi_\phi \tau$ , фт·с	Витальная энергия $Q_b = \Phi_b \tau$ , вит·с	Бактерицидная энергия $Q_\delta = \Phi_\delta \tau$ , бк·с
Сила излучения $I_e = \frac{d\Phi_e}{d\omega}$ , Вт·ср <sup>-1</sup>	Сила света $I = \frac{d\Phi}{d\omega}$ , лм·ср <sup>-1</sup> , кд	Сила фотосинтетического излучения $I_\phi = \frac{d\Phi_\phi}{d\omega}$ , фт·ср <sup>-1</sup>	Сила витального излучения $I_b = \frac{d\Phi_b}{d\omega}$ , вит·ср <sup>-1</sup>	Сила бактерицидного излучения $I_\delta = \frac{d\Phi_\delta}{d\omega}$ , бк·ср <sup>-1</sup>
Плотность облучения (облученность) $E_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$ , Вт·м <sup>-2</sup>	Освещенность $E = \frac{d\Phi}{dS}$ , лк	Фотосинтетическая облученность $E_\phi = \frac{d\Phi_\phi}{dS}$ , ФТ·м <sup>-2</sup>	Витальная Облученность $E_b = \frac{d\Phi_b}{dS}$ , вит·м <sup>-2</sup>	Бактерицидная облученность $E_\delta = \frac{d\Phi_\delta}{dS}$ , бк·м <sup>-2</sup>
Энергетическая экспозиция $H_e = \int_{\tau_1}^{\tau_2} E_e(\tau) d\tau$ Дж·с	Световая экспозиция $H = \int_{\tau_1}^{\tau_2} E(\tau) d\tau$ лк·с·м <sup>-2</sup>	Фотосинтетическая доза $H_\phi = \int_{\tau_1}^{\tau_2} E_\phi(\tau) d\tau$ ФТ·с·м <sup>-2</sup>	Витальная доза $H_b = \int_{\tau_1}^{\tau_2} E_b(\tau) d\tau$ вит·с·м <sup>-2</sup>	Бактерицидная доза $H_\delta = \int E_\delta(\tau) d\tau$ бк·с·м <sup>-2</sup>

### 1.1.3 Сферическая облученность и ее расчет от различных источников излучения

Если лучистый поток падает на объемные приемники со сложным рельефом поверхности, то уровень облученности этих объектов более правильно характеризовать значением *сферической облученности*. Для характеристики облученности приемников со сложным рельефом вводят понятие *средней сферической облученности*, численно равной средней плотности потока излучения, падающего на поверхность сферы малого радиуса с центром в исследуемой точке.

Средняя сферическая облученность зависит от вида излучателя (точечный, полусфера, сфера).

### Точечный источник (рисунок 1.1.5)

Сферическая облученность

$$E_{\text{сф}} = E_{\perp} \cos \psi, \quad (1.1.7)$$

где  $\psi$  — угол между нормалью в данной точке сферы и прямой, соединяющей центр сферы с источником;

$E_{\perp}$  — облученность участка сферы, обращенного к излучателю.

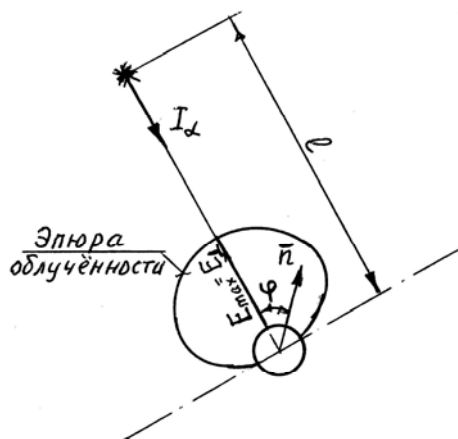


Рисунок 1.1.5 — Сферическая облученность от точечного излучателя

На практике важно знать среднее значение сферической облученности, которую при точечном облучателе определяют как

$$E_{\text{сф.ср}} = \frac{E_{\text{max}}}{4}, \quad (1.1.8)$$

где  $E_{\text{max}} = E_{\perp}$  — максимальная облученность участка сферы.

### Излучатель — полусфера (рисунок 1.1.6)

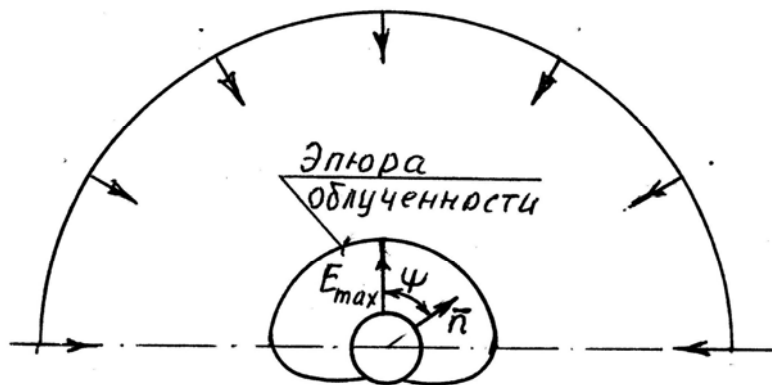


Рисунок 1.1.6 — Сферическая облученность от излучателя в виде полусферы

Сферическая облученность

$$E_{\text{сф.}} = E_{\perp} \cos^2 \frac{\Psi}{2}. \quad (1.1.9)$$

Средняя сферическая облученность

$$E_{\text{сф.ср}} = \frac{E_{\text{max}}}{2}. \quad (1.1.10)$$

**Источник — равномерно излучающая сфера** (рисунок 1.1.7)

Сферическая облученность

$$E_{\text{сф.}} = E_{\text{max}} = E_{\Gamma\Gamma}. \quad (1.1.11)$$

Средняя сферическая облученность

$$E_{\text{сф.ср}} = E_{\text{max}} = E_{\perp}. \quad (1.1.12)$$

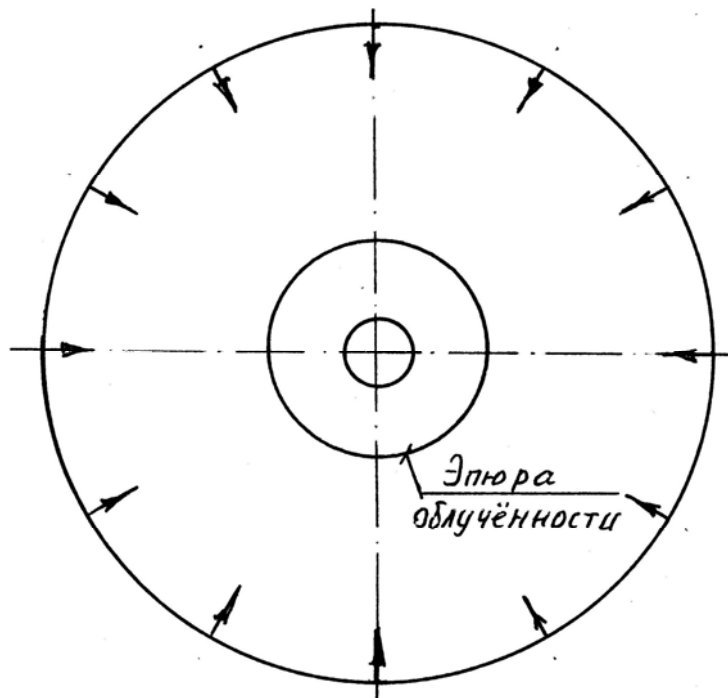


Рисунок 1.1.7 — Сферическая облученность от излучателя в виде сферы



## 1.2 Взаимодействие оптического излучения с биологическими объектами

### *План*

- 1.2.1 Общие закономерности взаимодействия оптического излучения с биологическими объектами (законы Бугера, Эйнштейна, Бунзена–Роско, Арндта–Шульца).
- 1.2.2 Воздействие отдельных участков спектра оптического излучения на живые организмы и другие тела.
- 1.2.3 Приборы измерения эффективного действия оптического излучения.

### **1.2.1 Общие закономерности взаимодействия оптического излучения с биологическими объектами (законы Бугера, Эйнштейна, Бунзена–Роско, Арндта–Шульца)**

Из всей лучистой энергии, упавшей на приемник живой или неживой природы, только та часть может быть преобразована в другой вид энергии (электрическую, тепловую, химическую, биологическую и т. д.), которая им поглощается. Поток лучистой энергии, отраженный или прошедший сквозь тело не оказывает на него никакого действия. Таким образом, преобразование излучения начинается с поглощения энергии молекулами вещества. Поглощение и преобразование энергии ОИ подчиняется основным законам.

### ***Закон ослабления Бугера–Ламберта***

Закон Бугера описывает поглощение ОИ и устанавливает взаимосвязь интенсивности (силы) излучения  $I$ , прошедшего слой среды толщиной  $l$ , и исходной интенсивности (силы) потока излучения  $I_0$ :

$$I = I_0 e^{-k_\lambda l}, \quad (1.2.1)$$

где  $k_\lambda$  — показатель поглощения, который определяется физико-химическими свойствами вещества (величина, обратная расстоянию, на котором монохроматический поток излучения, образующий параллельный пучок, ослабляется за счет поглощения в веществе в  $e$  раз).

Если ввести спектральный коэффициент поглощения

$$\alpha_\lambda = \frac{\Phi_{e\alpha\lambda}}{\Phi_{e\lambda}},$$

где  $\Phi_{e\alpha\lambda}$  — поглощенный поток монохроматического излучения;

$\Phi_{e\lambda}$  — падающий на приемник поток монохроматического излучения, и  
принять, что

$$\Phi_{e\alpha\lambda} \equiv I_0 - I, \Phi_{e\lambda} \equiv I_0,$$

то после несложных преобразований получим:

$$\alpha_\lambda = 1 - e^{-k_\lambda l}. \quad (1.2.2)$$

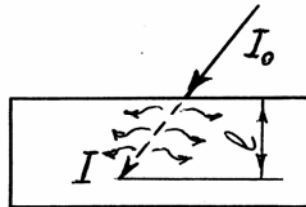


Рисунок 1.2.1 — Поглощение оптического излучения приемником

### ***Закон квантовой эквивалентности Эйнштейна***

В соответствии с этим законом установлено, что каждый поглощенный фотон вызывает одну элементарную реакцию. Эта реакция может состоять в химическом превращении молекул вещества, либо в их физическом возбуждении и излучении поглощенной энергии.

Число  $n_\alpha$  прореагировавших молекул связано с поглощенной энергией  $Q_{e\alpha}$ :

$$n_\alpha = \frac{Q_{e\alpha}}{h\nu}, \quad (1.2.3)$$

где  $h$  — постоянная Планка;

$\nu$  — частота.

### ***Закон Бунзена–Роско***

Как правило, не вся поглощенная лучистая энергия преобразуется в эффективную (полезную). Например, при облучении растений часть энергии идет на процесс фотосинтеза, а часть на нагрев листьев. Количественно процесс преобразования лучистой энергии может быть оценен через *квантовый выход*:

$$\eta_k = \frac{n_{\text{эфф.}\alpha}}{n_\alpha}, \quad (1.2.4)$$

где  $n_{\text{эфф.}\alpha}$  — количество эффективно преобразованных фотонов;

$n_\alpha$  — количество всех поглощенных фотонов.

Тогда

$$n_{\text{эфф.}\alpha} = n_{\alpha} \eta_{\kappa} = \frac{Q_{e\alpha}}{h\nu} \eta_{\kappa}. \quad (1.2.5)$$

С другой стороны

$$Q_{e\alpha} = \alpha_{\lambda} \Phi_{e\lambda} \tau. \quad (1.2.6)$$

Подставив (1.2.6) с учетом (1.2.2) в (1.2.5), получим:

$$n_{\text{эфф.}\alpha} = \eta_{\kappa} \frac{(1 - e^{-k_{\lambda} l}) \Phi_{e\lambda} \tau}{h\nu} = a \Phi_{e\lambda} \tau,$$

т. е.:

$$n_{\text{эфф.}\alpha} = a \Phi_{e\lambda} \tau. \quad (1.2.7)$$

Количество эффективно преобразованных фотонов (продукта фотохимической реакции, например) определяется произведением мощности излучения  $\Phi_{e\lambda}$  на время действия (выдержки)  $\tau$  вне зависимости от соотношения сомножителей.

### Закон Арндта–Шульца

Закон устанавливает взаимосвязь между мощностью воздействия и жизнедеятельностью живых организмов (рисунок 1.2.2):

- слабое раздражение возбуждает жизнедеятельность;
- среднее раздражение подавляет жизнедеятельность;
- сильное раздражение приостанавливает жизнедеятельность.



Рисунок 1.2.2 — Влияние интенсивности воздействия на технологический эффект

## 1.2.2 Воздействие отдельных участков спектра оптического излучения на живые организмы и другие тела

Как известно, ОИ в зависимости от его проявления подразделяют на три вида: видимое, УФ, ИК-излучение. Излучения всех этих трех видов активно воздействуют на живые организмы. Результат этого воздействия зависит от энергии квантов излучения, уровня облученности и продолжительности действия. ОИ может обладать как положительным (благоприятным), так и отрицательным (неблагоприятным) воздействием.

УФ-излучение области *B* ( $\lambda = 280\text{--}315$  нм) оказывает тонизирующее и терапевтическое действие на организм животных и птицы. При этом оно влияет на обмен веществ, процессы дыхания, активизацию кровообращения, увеличение содержания гемоглобина в крови и активизирует другие функции организма животных, в частности, вызывает покраснение кожи (эритему), обладает антирахитным действием (в этом случае длина волны излучения  $\lambda = 297$  нм). УФ-излучение области *A* ( $\lambda = 315\text{--}380$  нм) менее активно, хотя и оказывает положительное влияние. УФ-излучение области *C* ( $\lambda = 200\text{--}280$  нм) обладает бактерицидным действием (максимум спектральной чувствительности приемника соответствует длине волны излучения  $\lambda = 254$  нм).

Биологическое действие УФ-излучения на организм сельскохозяйственных животных проявляется через фотохимические реакции в кожных покровах, слизистых оболочках и органах зрения, а также через воздействие возникающих при УФ-облучении озона, окислов азота, аэроионов.

Большое значение имеет, кроме того, уменьшение бактериального загрязнения воздуха и улучшение микроклимата в помещениях, где проводится УФ-облучение.

Одной из основных фотохимических реакций, происходящих под влиянием УФ-лучей, является реакция фотолиза 7-дегидрохолестерина. Последний значительно превышает по своей антирахитной активности витамин  $D_2$  (аргокальцийферол), имеющийся в необлученном корме.

Наряду с образованием витамина  $D_3$  под влиянием УФ-облучения в коже образуются и другие биологически активные фотопродукты: ацетилхолин, гистамин, свободные радикалы, продукты окисления жирных кислот, простогландин. Указанные вещества, попадая в кровоток, путем сложных нейроэндокринных реакций генерализируют эффект УФ-облучения на весь организм. Ведущая роль в этих реакциях принадлежит центральной нервной

системе и ее рефлекторным механизмам. Так, малые и средние формы УФ-облучения ускоряют выработку условных рефлексов.

Под влиянием излучения изменяется функциональная активность вегетативной нервной системы: малые и средние дозы стимулируют симпатический отдел нервной системы, большие — оказывают преимущественно ваготропное влияние.

УФ-излучение видоизменяет и гормональный статус у облученных животных. Усиливается деятельность гипофиза, надпочечников, щитовидной, поджелудочной желез, а также половых желез.

Как следствие функциональных сдвигов в вегетативной нервной системе и железах внутренней секреции, изменяется работа почти всех жизненно важных органов и систем, что выражается в улучшении обмена веществ, физиологического состояния, в частности, повышении резистентности организма, увеличении продуктивности животных.

У коров УФ-облучение повышает удои на 5–13% при сохранении жирности молока на том же уровне или некотором ее увеличении. У телят, родившихся от облученных коров, увеличивается устойчивость к заболеваниям, при УФ-облучении телят, вследствие лучшего усвоения азота корма, прирост массы повышается на 7–13%.

У поросят УФ-облучение улучшает общее состояние и повышает до 20% среднесуточные приросты их массы.

У свиней на откорме УФ-облучение повышает среднесуточные приросты массы на 4–10%.

У сельскохозяйственной птицы повышается яичная продуктивность на 10–12%.

У ягнят повышаются на 15–18% приросты массы и качество шерстного покрова.

Таким образом, УФ-облучение способствует интенсификации биологических и обменных процессов организма, повышению уровня окислительно-восстановительных реакций и улучшению клинического состояния сельскохозяйственных животных, устойчивости к заболеваниям и, в конечном итоге, обеспечивает лучшую сохранность и повышение продуктивности.

Видимое излучение влияет на физиологические ритмы (размножение, смену волосяного и перового покрова и др.) При этом оказывает влияние уровень и режим освещенности, а также спектральный состав излучения.

Воздействие видимого излучения на организм происходит рефлекторно через органы зрения и частично через нервные окончания в коже, что приводит к стимуляции фотохимических процессов, улучшению функций сердечно-сосудистой системы, оказывает влияние на состояние центральной нервной системы, повышает активность коры больших полушарий. Видимое излучение усиливает функцию эндокринных органов, которые вырабатывают в значительных количествах сложные и высокоактивные вещества (гормоны) с многообразным действием.

При воздействии ОИ на растения выделяют следующие длины излучения, обладающие определенным действием:

- более 1 000 нм — только тепловое действие;
- 1 000–700 нм — в основном эффект вытягивания стебля;
- 700–400 нм — область фотосинтезноактивной радиации (ФАР); при этом происходит выработка органических веществ из неорганических, что является основой жизни на земле;
- 400–315 нм (УФ-А) — формативный эффект, т. е. обеспечение определенной формы плодов растений;
- 315–280 нм (УФ-В) — излучение вредно для большинства растений;
- менее 280 нм (УФ-С) — излучение губительно для большинства растений.

Территория Республики Беларусь характеризуется холодным осенне-зимним периодом, длящимся более 4–5 месяцев, считающимся наиболее трудным для содержания сельскохозяйственных животных. Особенно необходима теплота в этот период молодняку, у которого в первые дни жизни механизмы терморегуляции несовершенны.

Низкая температура и высокая влажность воздуха в помещении неблагоприятно отражаются на росте и развитии молодняка, приводят к нарушению обмена веществ, возникновению простудных заболеваний, расстройству пищеварения и даже гибели.

Необходимый температурный режим при выращивании молодняка обеспечивают общей системой обогрева или комбинированной системой общего и локального обогрева.

Для местного обогрева используют нагревательные установки: обогреваемые полы, коврики, панели и др. Широкое распространение получил инфракрасный (ИК) обогрев. Тепловое действие ИК-излучения основано на том, что при его поглощении в тканях происходит переполнение кровенос-

ных сосудов кровью, нормализуется обмен веществ. Установлено, что после воздействия ИК-излучением на кожу и глуболежащие ткани, в организме животных происходит активация кроветворных органов, в крови увеличивается количество эритроцитов, лейкоцитов, содержание гемоглобина, а также появляются активные продукты распада белков.

Установлено, что ИК-облучение оказывает положительное влияние на резистентность (сопротивляемость внешним воздействиям) животных.

Специфичность воздействия позволяет использовать ИК-излучение и в лечебных целях. В основе терапевтического действия коротковолнового излучения лежит способность вызывать активную гиперемию (тепловую эритему), что улучшает питание тканей, ускоряет рассасывание патологических продуктов. Этим обусловлено применение ИК-излучения для лечения различных воспалительных процессов. Благодаря этим же процессам, усиливается питание поврежденных тканей, регенерация клеток, в результате ускоряется заживление ран, язв и т. д.

Особенно перспективно применение ИК-излучения совместно с УФ-излучением, которое позволяет повысить выход продукции на 10–15%.

ИК излучение используется также и в других технологических процессах сельскохозяйственного производства:

- предпосевная ИК-обработка семян (повышается всхожесть, качество растений и урожай);
- пастеризация молока (уничтожается за 3–4 с до 99,8% бактерий и молоко можно хранить 8–10 суток при температуре +5 °С);
- сортировка плодов и овощей (зрелые и незрелые овощи, ягоды отличаются окраской, при этом различны и их коэффициенты отражения). Действие фотосортировочных машин основано на оценке коэффициента отражения  $\rho_{отр}$  от исследуемого объекта;
- сушка лакокрасочных покрытий (улучшается качество покрытия, сокращается время сушки);
- сушка листьев табака, чая, обмоток статора электрических машин и т. д.;
- дезинсекция тары, мешков и т. п.

### 1.2.3 Приборы измерения эффективного действия оптического излучения

Оценку эффективного действия оптического излучения производят различными измерительными приборами, выпускаемыми промышленностью:

- *видимое* излучение оценивают люксметрами (Ю-116, Ю-117, 1-ЛКП, ЛМ-3), фотометрами (фотометр постоянных источников ФПИ, фотометр фотоэлектрический постоянного излучения переносной ФПЧ, шаровой фотоэлектрический фотометр ФМШ-56М, фотометр ФМ-89-М, визуально-фотоэлектрический фотометр ФМ-58);
- *фотосинтезноактивное* излучение оценивают фитофотометрами (ФФМ-71, ФИТОМ-90);
- *ультрафиолетовое* излучение оценивают приборами, в которых используются вакуумные фотоэлементы с внешним фотоэффектом (уфиметр УФИ-73, эрметр УБФ, эрметр УФМ-71, бактметр УФБ-1А, уфидозиметр УФД-73, эр-дозиметр УФД-1А, дозиметр ДАУ-81);
- *инфракрасное* излучение оценивают с помощью приборов с высокой и постоянной чувствительностью в ИК-области спектра (пиранометр Янишевского, балометры и термоэлементы с оптическим фильтром КС-19), а также специально предназначенными для измерения ИК-излучения приборами (устройство ТФА-2, фотошуп ИВФ-1, термостолбик).

Анализ конструкций приборов для измерения оптических излучений показывает, что электрические схемы приборов во многом сходны между собой. Рассмотрим некоторые принципиальные схемы включения приборов.

#### *Люксметр Ю-16* (рисунок 1.2.3)

С помощью люксметра можно измерять освещенность до 500 лк. Расширение пределов измерения за счет фильтра — в 100 раз. При отличии спектра от градуировочного, вводят поправочный коэффициент 0,88–1,2 (для ламп накаливания принимают поправочный коэффициент равным 1, для газоразрядных ламп типа ДРЛ — 1,2).



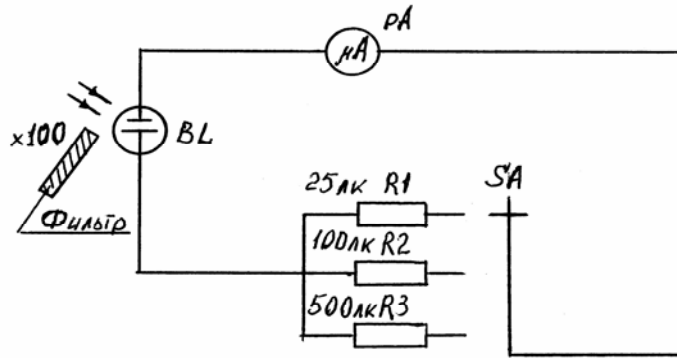


Рисунок 1.2.3 — Принципиальная электрическая схема люксметра Ю-16

**Фитофотометр ФФМ-71** (рисунок 1.2.4)

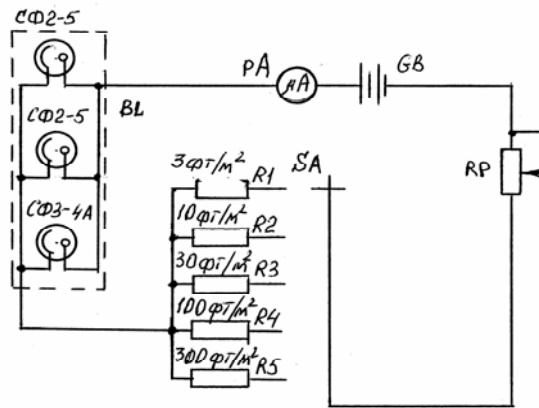


Рисунок 1.2.4 — Принципиальная электрическая схема фитофотометра ФФМ-71

**Уфиметр** (рисунок 1.2.5) (**эрметр УФМ-71**), **бактметр УБФ**

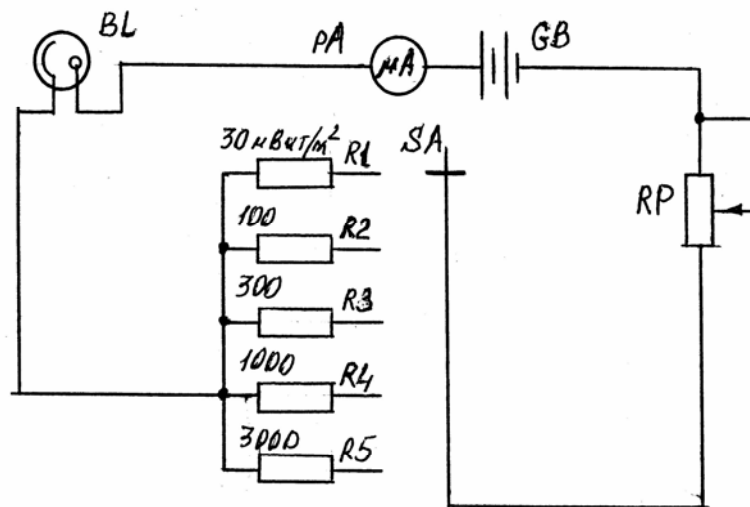


Рисунок 1.2.5 — Принципиальная электрическая схема уфиметра

### Приборы для измерения ИК-излучения

Измерение ИК-части оптического спектра осуществляется с помощью приемников, основанных на тепловом действии оптического излучения (балометры, термоэлементы, термопары).

В балометрах под воздействием ОИ изменяется электрическое сопротивление (медь, платина, никель или полупроводники).

В цепи термоэлемента под воздействием ОИ возникает ЭДС (термопары на основе константан-манганин, висмут-сурьма и др.):

$$E = \alpha \Delta Q, \quad (1.2.8)$$

где  $\Delta Q$  — перепад температур.

Схемы включения балометров и фоторезисторов приведены на рисунках 1.2.6 и 1.2.7.

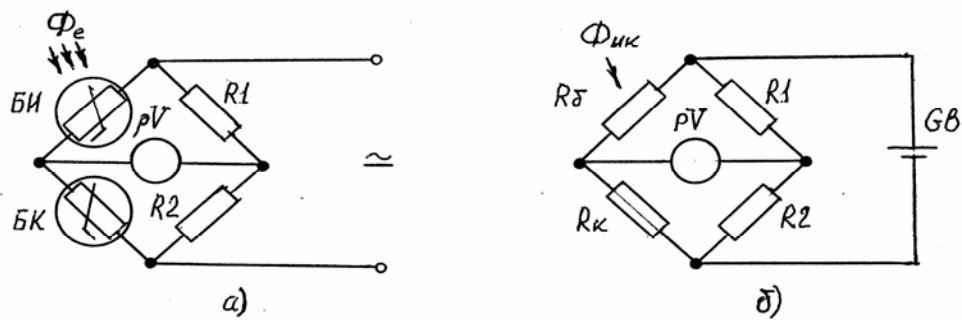


Рисунок 1.2.6 — Принципиальная электрическая схема включения по мостовой схеме: а — балометров; б — фоторезисторов

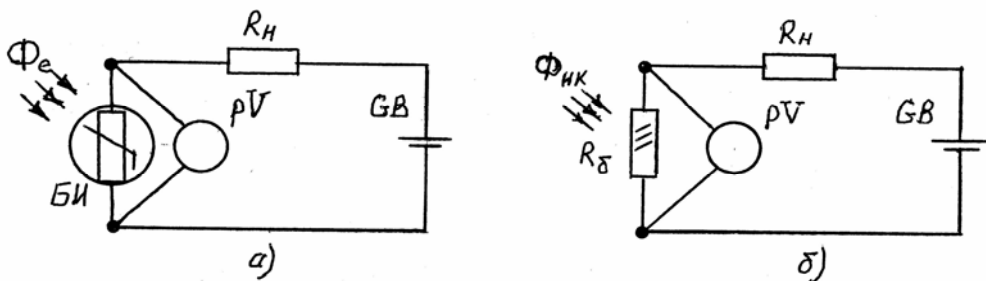


Рисунок 1.2.7 — Принципиальная электрическая схема включения с нагрузочным сопротивлением: а — балометров; б — фоторезисторов

Схемы включения термоэлектрических приемников (термопар и термостолбиков) приведены на рисунке 1.2.8.

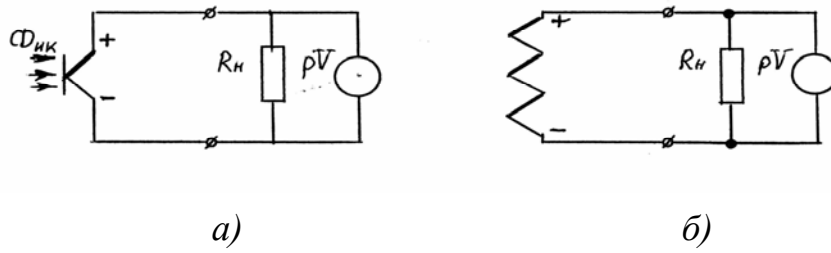


Рисунок 1.2.8 — Принципиальная электрическая схема включения:  
*a* — термопары; *б* — термостолбика

## Тема 2 ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

### 2.1 Специальные источники ОИ

#### *План*

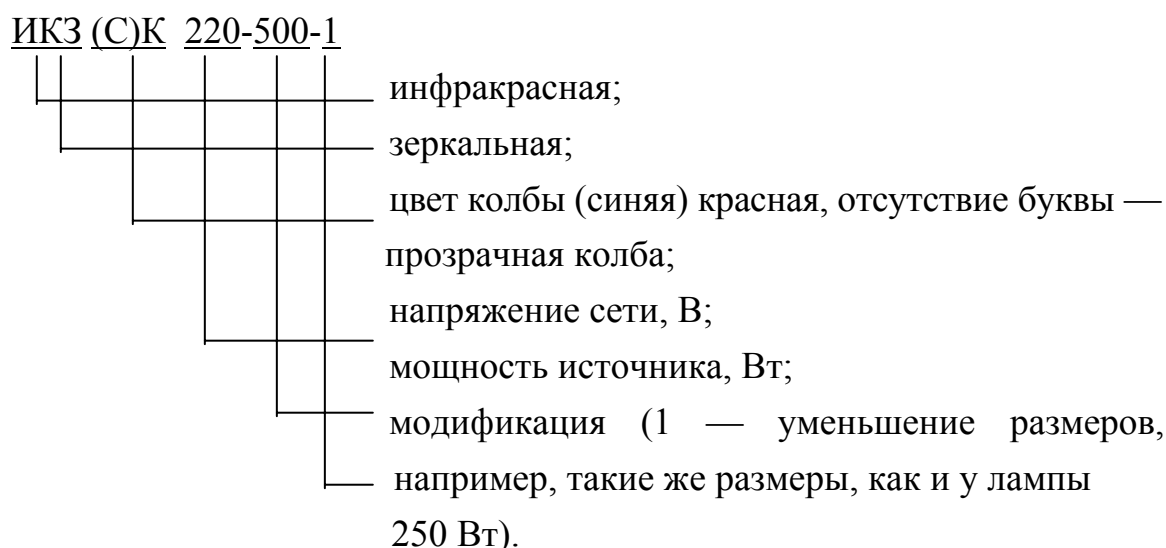
- 2.1.1 Источники ИК-излучения.
- 2.1.2 Газоразрядные источники УФ-излучения.
- 2.1.3 Источники для досвечивания растений.

#### 2.1.1 Источники ИК-излучения

Источниками ИК-излучения могут быть:

- а) лампы-термоизлучатели;
- б) низкотемпературные инфракрасные излучатели.

Промышленность выпускает специальные электрические инфракрасные зеркальные лампы-термоизлучатели типов ИКЗ 220-500; ИКЗ 220-500-1; ИКЗК 220-250; ИКЗС 220-250 и др. (рисунок 2.1.1), а также галогенные лампы-термоизлучатели (рисунок 2.1.2). Структура маркировки ламп-термоизлучателей типа ИКЗ следующая:



Параметры ламп-термоизлучателей приведены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1 — Данные ламп-термоизлучателей

Тип лампы	Номинальные		Габариты, мм		Средняя продолжительность работы, тыс. ч	Тип цоколя
	$U_n$ , В	$P_n$ , Вт	$D$	$L$		
ИКЗК 127-250	127	250	130	195	6	E27
ИКЗС 220-250	220	250	130	195	6	E27
ИКЗ 220-500	220	500	180	267	6	E40
ИКЗ 220-500	220	500	130	215	6	E40
КГТ 220-1000-1	220	1000	10,75	375	10	—
КГТ 220-2000	220	2000	10,75	500	5	—
КГТ 380-3550	380	3550	10,75	750	2	—

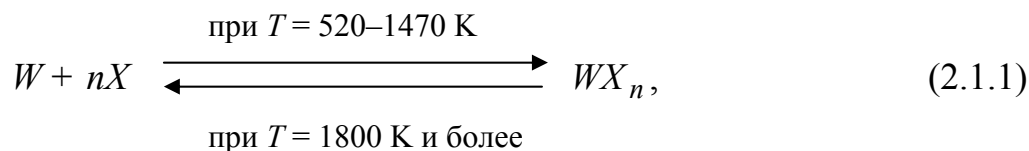


Рисунок 2.1.1 — Устройство лампы типа ИКЗ(К)



Рисунок 2.1.2 — Общий вид галогенной лампы-термоизлучателя:  
 1 — кварцевая трубка; 2 — спираль; 3 — вольфрамовые держатели;  
 4 — вольфрамовые вводы; 5 — выводы; 6 — молибденовая фольга; 7 — штенгель

Галогенные лампы накаливания обладают более высокой эффективностью, в которых используется галогенный цикл (рисунок 2.1.3), представляющий собой взаимодействие распыляющегося вольфрама с галогеном (йод, бром, хлор, фтор):



где  $X$  — используемый галоген;

$W$  — вольфрам;

$n$  — количество атомов.

В результате, частицы вольфрама возвращаются обратно на тело накала увеличивая тем самым срок его службы, или же можно повысить температуру тела накала при том же сроке службы.

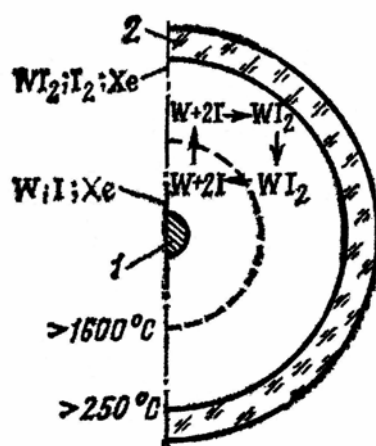
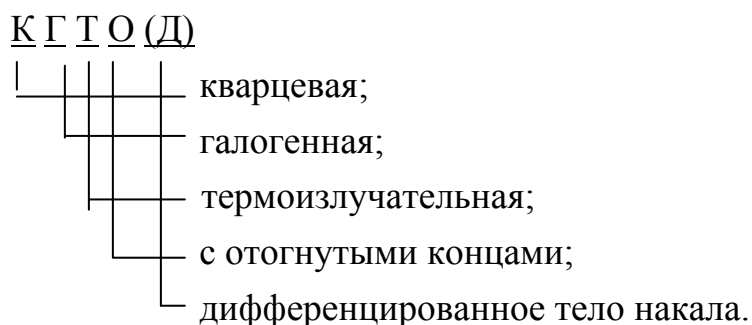


Рисунок 2.1.3 — Галогенный цикл лампы:

1 — тело накала; 2 — стенка колбы

Галогенные лампы-термоизлучатели маркируют следующим образом:



Выпускаются галогенные лампы на напряжение 127, 220, 380 В; мощностью 400, 600, 1 000, 2 200, 2 500; 3 300, 3 550 Вт.

У всех источников теплового излучения 68–91% лучистого потока приходится на ИК-излучение.

Источником ИК-излучения могут быть и лампы накаливания общего назначения, у которых доля ИК-излучения при номинальном напряжении составляет 70–75%, при этом его можно увеличить, уменьшив подводимое напряжение на 5–15%. Это приводит не только к снижению температуры тела накала и смещению излучения в ИК-область, но и способствует увеличению срока службы лампы.

Важным преимуществом ламп-термоизлучателей является их быстрое действие, так как их температурный режим создается практически сразу же, после включения в сеть (десятые доли секунды), также они имеют достаточно большой срок службы. Основным недостатком этих ламп можно назвать то, что они не подлежат ремонту.

Из низкотемпературных ИК-излучателей можно назвать трубчатые электрические нагреватели (ТЭНы), керамические и пленочные нагреватели, конструкции, основные параметры которых изучают в дисциплине «Электротехнология». В данном конспекте лекций рассмотрим конструкцию керамического плоского излучателя с параболическим отражателем и винтовым цоколем E27 типа ЭИС-0,25-И1 «Ирис» (рисунок 2.1.4).



Рисунок 2.1.4 — Устройство керамического излучателя ЭИС-0,25-И1

## 2.1.2 Газоразрядные источники УФ-излучения

Газоразрядные источники УФ-излучения по распределению потока бывают:

- а) общего УФ-действия ( $\lambda = 200\text{--}380$  нм);
- б) преимущественно бактерицидного действия ( $\lambda = 200\text{--}280$  нм);
- в) витального действия ( $\lambda = 280\text{--}315$  нм).

К источникам общего УФ-действия можно отнести газоразрядную лампу высокого давления типа ДРТ (рисунок 2.1.5).

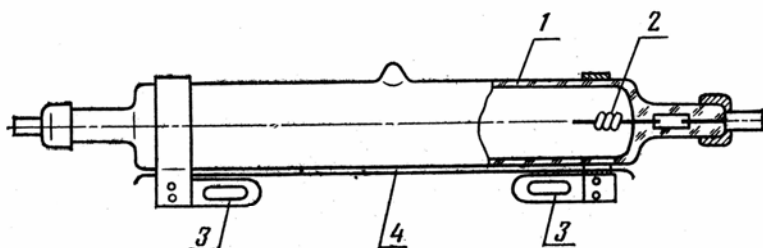


Рисунок 2.1.5 — Общий вид лампы типа ДРТ:  
 1 — кварцевая трубчатая колба; 2 — электрод; 3 — держатели лампы;  
 4 — лента из медной фольги

Лампы ДРТ изготавливают мощностью от 100 до 6 000 Вт ( $P = 100, 120, 125, 230, 250, 400, 1\ 000, 2\ 500, 2\ 800, 4\ 000, 5\ 000$  и  $6\ 000$  Вт). Срок службы  $\tau = 2\text{--}2,7$  тыс. часов. Для лампы ДРТ-400 мощность светового излучения  $\Phi = 8\ 000$  лм, витального —  $\Phi_v = 4\ 750$  мвит, бактерицидного —  $\Phi_b = 10\ 500$  мбк, время разгорания составляет 3–10 минут.

Разновидностью ламп ДРТ являются лампы ДРП мощностью 120, 250, 400 Вт, типа ДРТ2 мощностью 100 Вт и ДРП2 мощностью 250 и 400 Вт. Эти лампы отличаются от базовой модели тем, что на их кварцевую разрядную трубку нанесена тонкая пленка с легирующими добавками, которые позволяют отфильтровать коротковолновое УФ-излучение лампы. Благодаря дополнительной пленке, излучение с длиной волны  $\lambda = 200\text{--}280$  нм не превышает 5% от общего потока излучения. Эти лампы, а также лампы ДРТ-100, 120, 250 Вт имеет четырех электродное исполнение, что обеспечивает подключение ламп к сети без каких-либо подключающих устройств и приспособлений.

Двухэлектродные лампы ДРТ включают по схеме, приведенной на рисунке 2.1.6.

Источники бактерицидного излучения — это, как правило, газоразрядные лампы низкого давления, у которых большая часть излучения (до 80%) приходится на линию с  $\lambda = 254$  нм. Принципиально эти лампы по конструк-



ции не отличаются от трубчатых люминесцентных ламп (л.л.) низкого давления, но колба этих ламп выполнена из специального увиолевого стекла с легирующими присадками, пропускающего излучения в диапазоне спектра  $\lambda = 200\text{--}280$  нм. Кроме того, колба этих ламп не покрыта люминофором и имеет несколько меньшие размеры (диаметр, длина) в сравнении с л.л. общего назначения при одинаковой мощности.

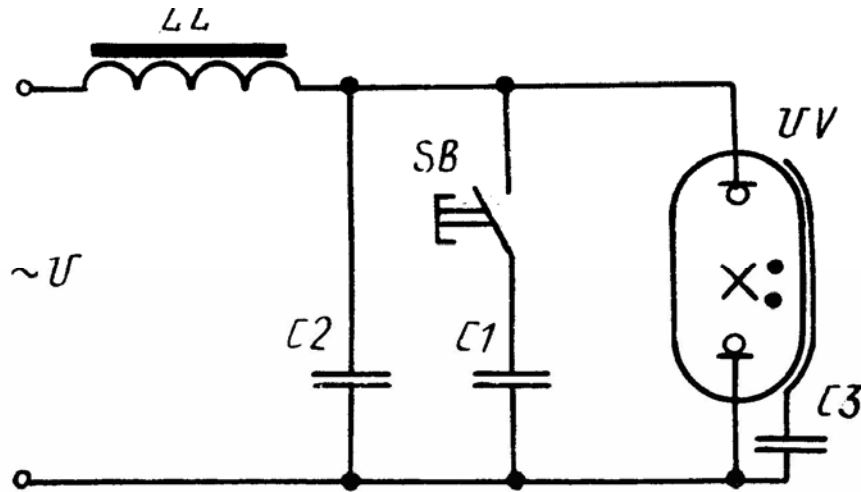


Рисунок 2.1.6 — Принципиальная электрическая схема включения двухэлектродной лампы ДРТ

Выпускают лампы следующих типов: ДБ-15; ДБ-30-1; ДБ-36; ДБ-60 (таблица 2.1.2).

Таблица 2.1.2 — Технические параметры дуговых бактерицидных ламп

Тип лампы	Напряжение питания, В	Световой поток, лм	Бактерицидный поток, мбк	Витальный поток, мбк
ДБ-15	127	60	2500	—
ДБ-30-1	220	140	6600	35
ДБ-36	220	—	1050	—
ДБ-60	220	180	8000	41

Источники средневолнового УФ-излучения — витальные люминесцентные лампы типов ЛЭ-15; ЛЭ-30. Лампа ЛЭ-15 выпускается на напряжение питания 127 В, а лампа ЛЭ-30 — на напряжение питания 220 В.

Кроме того, выпускаются витально-осветительные л.л. ЛЭО-15, ЛЭО-30, ЛЭО-40, витальные рефлекторные лампы (для облегчения эксплуатации) ЛЭР-30, ЛЭР-40 и витально-осветительные рефлекторные ЛЭОР-15, ЛЭОР-30, ЛЭОР-40.

Для витального облучения людей, сельскохозяйственных животных и птицы с одновременным общим освещением могут использоваться и дуговые лампы типа ДРВЭД-160 или ДРВЭД-250 (рисунок 2.1.7). Структура маркировки лампы следующая:

**Д Р В Э Д**

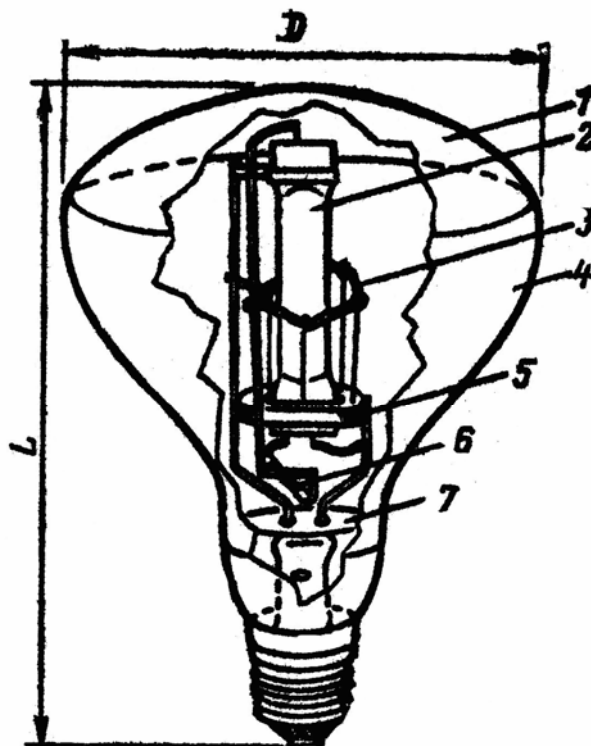
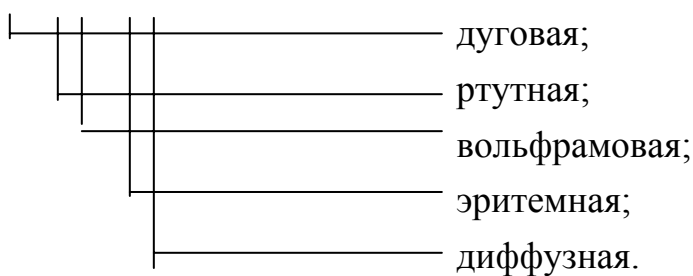


Рисунок 2.1.7 — Общий вид лампы типа ДРВЭД:

- 1 — внешняя стеклянная колба; 2 — разрядная трубка; 3 — вольфрамовая спираль;
- 4 — диффузно отражающее покрытие на внутренней стороне внешней колбы;
- 5 — керамическая деталь; 6 — ограничительное сопротивление; 7 — экран

### 2.1.3 Источники для досвечивания растений

При искусственном облучении растений применяют источники, генерирующие ОИ в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) с длиной волны  $\lambda = 400\text{--}700$  нм, это могут быть:

- а) лампы накаливания (в том числе галогенные);
- б) люминесцентные общего назначения (ЛБ, ЛД и др.);
- в) газоразрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ).

Однако наиболее целесообразно применение специальных ламп с повышенной фотосинтетически активной радиацией:

- люминесцентные фотосинтетические лампы низкого давления;
- дуговые ртутные люминесцентные фотосинтетические лампы высокого давления;
- металлогалогенные дуговые ртутные лампы высокого давления;
- дуговые ртутные вольфрамовые лампы.

Люминесцентные фотосинтетические лампы низкого давления ЛФ и ЛФР (Р — рефлекторные) по конструкции аналогичны люминесцентным лампам общего назначения ЛБ, ЛД, ЛБР и др. Отличие состоит только в составе люминофора, а, следовательно, в спектре излучения. В лампах ЛФ высокая плотность излучения лежит в диапазонах 400–450 нм и 600–700 нм, на которые приходится максимум спектральной чувствительности зеленых растений. Лампы ЛФ выпускают мощностью 40 Вт трех модификаций: ЛФ-40, ЛФ-40-1, ЛФ-40-2, а рефлекторные лампы ЛФР — мощностью 150 Вт. Напряжение питания этих ламп  $U = 220$  В.

Дуговые ртутные люминесцентные фотосинтетические лампы высокого давления ДРЛФ сходны с 4-х электродными лампами типа ДРЛ. Отличие в составе люминофора, наличии под слоем люминофора отражающего покрытия, увеличенные размеры колбы, отсутствие люминофора примерно на третьей части колбы. Изготавливают лампы мощностью  $P = 400$  Вт.

Металлогалогенные лампы высокого давления типа ДРФ по конструкции аналогичны металлогалогенным лампам ДРИ. Отличие состоит в наполнении кварцевой горелки, форме и размерах внешней колбы, выполненной из термостойкого стекла (повышающих устойчивость против растрескивания при попадании капель влаги) и наличии на внутренней поверхности колбы диффузно-отражающего слоя из алюминия и его сплавов (перераспределяю-

щего лучистый поток в пространстве). Выпускаются лампы ДРФ мощностью  $P = 1\ 000$  Вт. Срок службы  $\tau = 1,5\text{--}2$  тыс. часов,  $\text{КПД}_{\text{фар}} = 20\%$ , фитопоток  $\Phi_{\text{ф}} = 90\text{--}100$  фит.

Дуговые ртутные вольфрамовые лампы ДРВ со встроенным балластом в виде вольфрамовой спирали, из-за отсутствия дополнительных ПРА, обеспечивают снижение капитальных затрат на облучаемую установку в 5–6 раз. В растениеводстве используют лампу ДРВ мощностью 750 Вт. Ее срок службы  $\tau = 2$  тыс. часов,  $\text{КПД}_{\text{фар}} = 7\text{--}8\%$ , световой поток  $\Phi = 24\ 000$  лм, фитопоток  $\Phi_{\text{ф}} = 33$  фит.

Анализ источников для облучения растений с точки зрения  $\text{КПД}_{\text{фар}}$  показывает, что:

- у ламп накаливания  $\text{КПД}_{\text{фар}}$  не превышает 8–9%;
- у газоразрядных ламп высокого давления  $\text{КПД}_{\text{фар}}$  составляет 20–30%;
- у газоразрядных ламп низкого давления  $\text{КПД}_{\text{фар}}$  составляет 15–22%.

Газоразрядные лампы низкого давления дешевы, долговечны и доступны, но для них характерна низкая концентрация мощности и большие габариты. Этому недостатка отчасти лишены лампы ЛФ и ЛФР, которые рекомендуют применять при облучении растений в стеллажных установках.

Лампы ДРЛФ и ДРВ имеют достоинства:

- значительная концентрация мощности;
- большой срок службы;
- низкая стоимость;
- благоприятные спектральные характеристики.

Основной недостаток этих ламп — низкий  $\text{КПД}_{\text{фар}}$ .

Наиболее высокий  $\text{КПД}_{\text{фар}}$  у газоразрядных металлогалогенных ламп (ДРФ, ДРОТ и ДРИ), а также натриевых ДНаТ, который достигает 20–30%, что открывает для этих источников большие перспективы применения для светокультуры растений.

Для облучения растений могут использоваться и лампы ДРЛ, ДКсТ, ДКсТВ и др., рассмотренные нами в дисциплине «Электрическое освещение». Здесь же следует отметить, что ксеноновые лампы наиболее дорогие.

## 2.2 Когерентные источники оптического излучения (лазеры)

### *План*

- 2.2.1 Основные характеристики лазерного излучения.
- 2.2.2 Спонтанное и вынужденное излучение. Понятие «накачки».
- 2.2.3 Мазер на аммиаке и рубиновый лазер.
- 2.2.4 Обратная связь и резонатор в лазерном излучении.
- 2.2.5 Газовые, твердотельные и жидкостные лазеры, особенности конструкции и характеристики.

### **2.2.1 Основные характеристики лазерного излучения**

Лазеры (от английского Light Amplification by stimulated emission of radiation — усиление света при помощи вынужденного излучения) — генераторы оптического излучения (оптические квантовые генераторы), обладающие уникальными свойствами:

- высокой когерентностью (непрерывностью излучения) в пространстве и во времени;
- исключительно узкой направленностью луча (расходимость до  $0,4'$ );
- огромной концентрацией мощности (до  $10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> в непрерывном режиме и до  $10^{18}$  Вт/см<sup>2</sup> в импульсном режиме);
- высокой степенью монохроматичности ( $\Delta\lambda = 10^{-9}$  нм при  $\lambda = 500$  нм);
- способностью фокусироваться в исключительно малые объемы, порядка  $\lambda^3$ .

Чтобы понять принцип действия лазеров, вернемся к понятию оптического излучения. Известно, что атомы состоят из положительно заряженного ядра и, вращающихся вокруг него, отрицательно заряженных электронов.

Нильс Бор предположил, что электрон может вращаться по орбитам, устанавливаемым определенной энергией, т.е. имелись разрешенные энергетические уровни. При переходе с орбиты на орбиту электрон поглощает (с низшего уровня на высший) или отдает (с высшего на низший) квант энергии (рисунок 2.2.1). Это означает, что в атоме может происходить либо поглощение, либо излучение квантов энергии. Так как распределение атомов по энергетическим уровням подчиняется закону распределения Больцмана, т.е. чем выше уровень, тем меньше в нем атомов (рисунок 2.2.2), то при переходах

электрона с орбиты на орбиту должны происходить изменения энергии (рисунок 2.2.3).

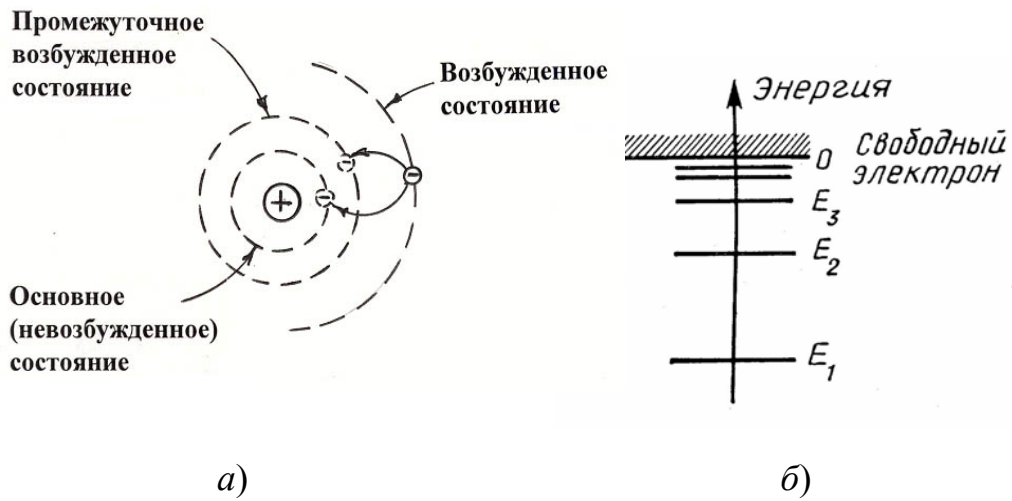


Рисунок 2.2.1 — Схема атома (а) и энергетические уровни (б), определяющие орбиты вращения электронов

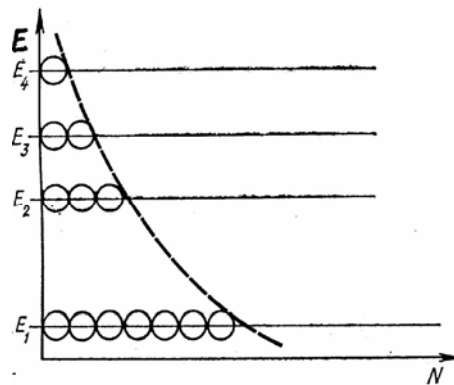


Рисунок 2.2.2 — Закон распределения по Больцману энергетических уровней атомов:  $E$  – энергия;  $N$  – число атомов на данном уровне

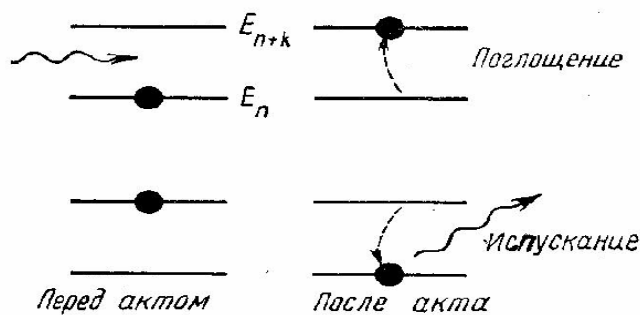


Рисунок 2.2.3 — Поглощение и испускание кванта энергии при переходе электрона с орбиты на орбиту

## 2.2.2 Спонтанное и вынужденное излучение. Понятие «накачки»

Рассмотренное выше излучение кванта энергии является спонтанным (самопроизвольным). Однако расчеты, проведенные А. Эйнштейном, показали, что помимо механизма поглощения и спонтанного излучения должен существовать и механизм вынужденного излучения, т.е. излучение кванта энергии может происходить не только в результате самопроизвольного перехода, но и в результате воздействия на частицу другого кванта энергии (рисунок 2.2.4).



Рисунок 2.2.4 — Вынужденное излучение кванта энергии

Вынужденное излучение имеет основные особенности:

- 1) результатом вынужденного излучения всегда является второй фотон (сверх того, который инициировал излучение). Эти два фотона могут инициировать испускание двух следующих фотонов, и процесс нарастал бы лавинообразно, т.е. произошло бы усиление света;
- 2) вынужденный фотон распространяется в том же направлении, что и фотон, инициирующий вынужденное излучение;
- 3) фотон вынужденного излучения распространяется в фазе, в точности согласованной с фазой фотона, инициирующего излучение;
- 4) вынужденное излучение может быть вызвано только таким фотоном, который сам испущен атомом, причем без какого-либо внешнего принуждения.

Почему же в естественных условиях (при распределении Больцмана) мы не наблюдаем вынужденного излучения. Рассмотрим пример. Пусть имеется газ, состоящий из 9 атомов, каждый из которых может находиться в двух энергетических состояниях. Состояние атома такое, что 3 атома находятся на верхнем уровне, а шесть — на нижнем энергетическом уровне.

Пусть вероятность перехода для каждого атома из одного уровня в другой составляет 1:3 (рисунок 2.2.5).

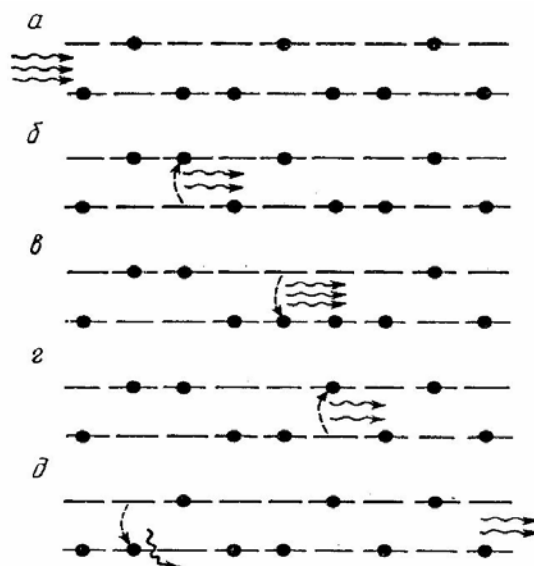


Рисунок 2.2.5 — Процесс перехода атомов по энергетическим уровням в естественных условиях (при распределении Больцмана):

*a* — начало; *б* — поглощение; *в* — вынужденное испускание; *г* — поглощение;  
*д* — спонтанное испускание

В итоге, распределение Больцмана осталось таким же, каким и было, а из 3-х фотонов осталось два, в то время как один фотон полетит сам по себе. Отсюда вывод: в естественных условиях (распределение по Больцману) спонтанное излучение превалирует над вынужденным, и даже если бы и возник когерентный пучок, он все равно исчез бы в результате поглощения.

Другое дело, если мы каким-то образом произведем инверсию (переворот) населенности энергетических уровней (т. е. обратное распределение, когда на верхнем энергетическом уровне у нас будет больше атомов, чем на нижнем). Рассмотрим тот же девятиатомный газ, только с обратным распределением энергии (рисунок 2.2.6). Теперь у нас имеется шесть атомов на верхнем уровне и три на нижнем, а также три фотона, причем вероятность перехода каждого атома с нижнего уровня на верхний вследствие поглощения и обратного перехода вследствие вынужденного излучения равна 1:3.

Таким образом: один атом с нижнего уровня перешел на верхний, поглотив один фотон, 2 атома с верхнего уровня перешли на низший в результате вынужденного излучения. Из первоначальной тройки фотонов убыл один фотон, а его место заняли два новых. В конечном счете количество фотонов растет! Естественно за счет энергии, запасенной на верхнем уровне, потому что на нем после увеличения числа фотонов будет уже не шесть, а пять атомов, тогда как на нижнем уровне — четыре вместо трех.



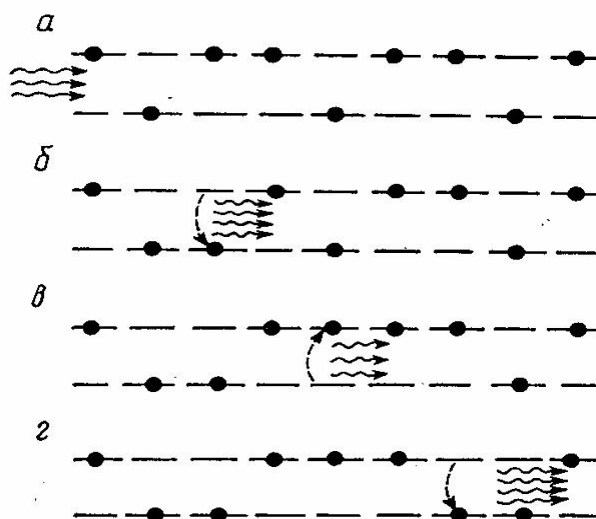


Рисунок 2.2.6 — Процесс перехода атомов по энергетическим уровням в необычных условиях (инверсия населенностей):  
*a* – начало; *б* – вынужденное испускание; *в* – поглощение; *г* – вынужденное испускание

Обращение «больцмановского» распределения энергетических уровней населенности возбужденных атомов называют «накачкой». Если не подпитывать систему энергией, то она в конце концов придет к равновесию с «больцмановским» распределением. Хотя все это (возможность усиления света при инверсной населенности) и было предсказано А. Эйнштейном, однако трудности с созданием такой населенности не дали возможность практического его осуществления. Теоретически «антибольцмановское» распределение можно получить при отрицательной температуре по шкале Кельвина, т. е. тепловым способом достигнуть инверсии населенности невозможно. Впервые в 1939 году советский ученый В.А. Фабрикант наблюдал усиление света, прошедшего через пары ртути, которые светились под воздействием электрического разряда. Эту идею (усиления света) он запатентовал, но из-за начала второй мировой войны она «пролежала под сукном», так как никто не в состоянии был осуществить эту идею.

### 2.2.3 Мазер на аммиаке и рубиновый лазер

В 1950 году два американских физика Э. Перселл и Р. Паунд наблюдали усиление радиоволн в результате вынужденного излучения, происходившего в установке, в которой случайно возникла инверсия населенности. Необычайно простой и оригинальный способ придумали исследователи под ру-

ководством Чарлза Таунса, а также независимо от них группа советских ученых под руководством Н. Басова и А. Прохорова.

В качестве рабочего вещества использовались пары аммиака  $\text{NH}_3$  (мазер — Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation — микроволновое усиление вынужденным испусканием). Молекула аммиака состоит из одного атома азота (N) и трех атомов водорода (H). В основном состоянии атомы образуют пирамиду, основанием которой служит равносторонний треугольник (рисунок 2.2.7, а) с атомом азота в вершине и тремя атомами водорода в основании. В возбужденном состоянии атом азота совершает колебания, поочередно переходя то вверх, то вниз через плоскость, образованную атомами водорода (рисунок 2.2.7, б).

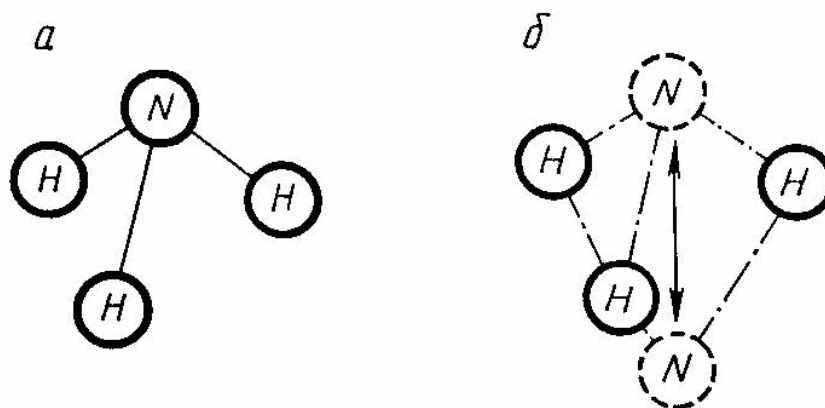


Рисунок 2.2.7 — Схематическое представление молекулы аммиака ( $\text{NH}_3$ ) в основном состоянии (а) и в одном из возбужденных состояний (б)

С электрической точки зрения молекула аммиака в основном состоянии является электрическим диполем, или маленькой системой разделенных электрических зарядов противоположного знака, и в таком качестве в электрическом поле подвергается воздействию некоторых сил, которые отталкивают или притягивают ее к источнику этого поля. Молекула аммиака в возбужденном состоянии с электрической точки зрения полностью симметрична и абсолютно безразлична к воздействию внешнего электрического поля. Таким образом, принцип действия электрического сепаратора молекул аммиака поясняется рисунком 2.2.8. Возбужденные молекулы аммиака проходят через сепаратор, а не возбужденные отсеиваются, в результате на выходе получается инверсная населенность. При подаче этого газа в резонатор, настроенный на частоту 23,87 ГГц, и ввода туда слабого сигнала с частотой 23,87 ГГц, на выходе произойдет усиление этого сигнала (рисунок 2.2.9).

Первые два квантовых генератора света появились в 1960 году. Один был создан Т. Мейманом, а второй — А. Джованной. Новое устройство работало в диапазоне видимого света.

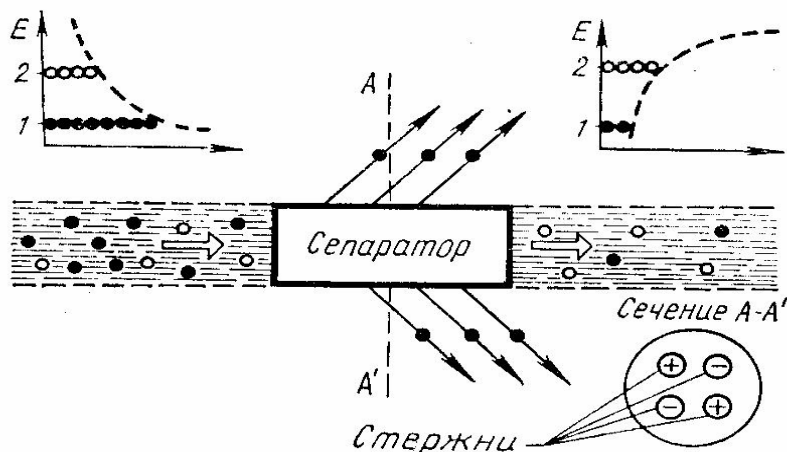


Рисунок 2.2.8 — Принцип действия электрического сепаратора молекул аммиака (● — молекулы в основном состоянии (1); ○ — молекулы в возбужденном состоянии (2);  $E$  — энергия; ось абсцисс — число молекул

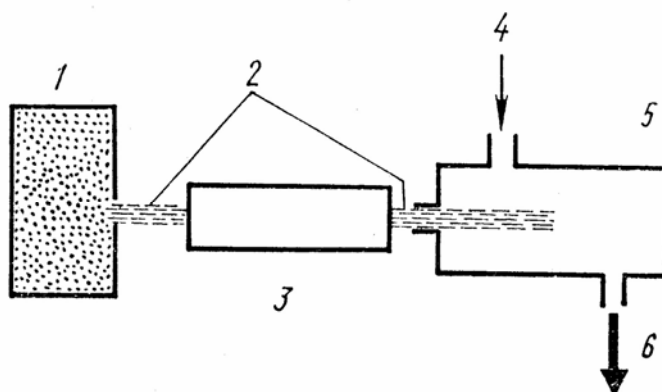


Рисунок 2.2.9 — Схема устройства и принцип действия лазера на аммиаке: 1 — печь с  $\text{NH}_3$ ; 2 — пучок молекул; 3 — сепаратор; 4 — входной сигнал; 5 — полость резонатора; 6 — выходной сигнал

Основные элементы рубинового лазера Меймана приведены на рисунке 2.2.10. Основным элементом лазера Меймана является стержень из монокристалла рубина, или окиси алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) с примесью хрома (Cr). Главную роль играют электроны хрома, диаграмма энергетических уровней которых приведена на рисунке 2.2.11, причем уровни 1 и 3 являются короткоживущими, тогда как уровень 2 — долгоживущий (метастабильный). В результате оптической накачки происходит быстрое и интенсивное перенесение

электронов с уровня *1* на уровень *3*. Уровень *3* является короткоживущим и электроны уходят с него либо опять на уровень *1*, либо размещаются на уровне *2*, отдавая избыток энергии (в форме теплоты) кристаллу. На уровне *2* эти электроны могут находиться какое-то время. В результате они там накапливаются до такой степени, что их становится больше, чем на уровне *1*. Таким образом, мы получаем «антибольцмановское» распределение, т. е. добьемся создания инверсии населенности уровня *2* относительно уровня *1*. Разность энергий этих двух уровней соответствует фотонам красного света.

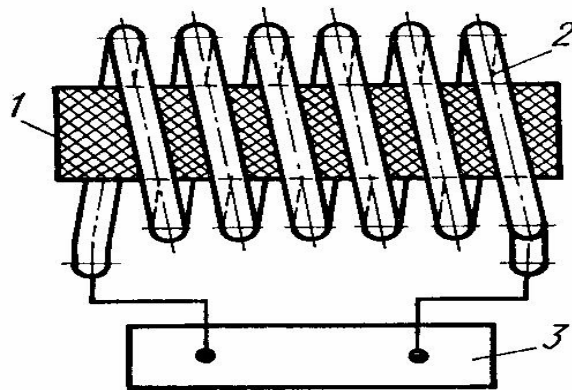


Рисунок 2.2.10 — Основные элементы рубинового лазера:  
*1* — рубиновый стержень; *2* — мощная лампа-вспышка;  
*3* — источник высокого напряжения

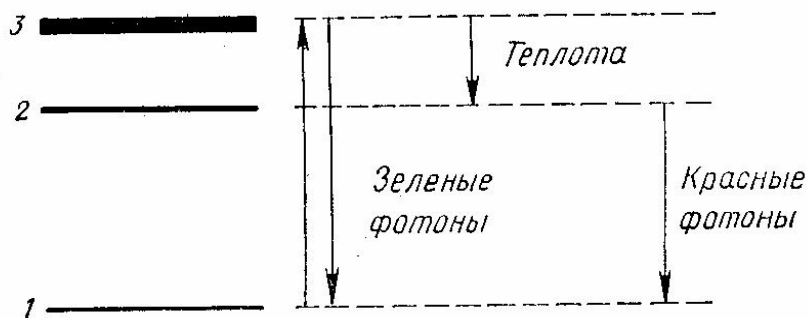


Рисунок 2.2.11 — Диаграмма энергетических уровней электронов трехвалентных положительных ионов хрома в рубине

#### 2.2.4 Обратная связь и резонатор в лазерном излучении

Рубиновый стержень с инверсной населенностью ионов хрома может служить лишь слабым усилителем света (коэффициент усиления менее 1%).

Чтобы превратить его в генератор излучения, он должен иметь положительную обратную связь (воздействие выходного сигнала с входным, вызывающее усиление входного сигнала), т. е. необходимо часть света, доходящего до одного из концов стержня повернуть и направить в обратную сторону, чтобы он подвергся дальнейшему усилению (рисунок 2.2.12).

Для этого А.М. Прохоров предложил поместить активную среду в оптический резонатор, представляющий в простейшем случае две отражающие поверхности, обращенные друг к другу, обеспечивающие многократное прохождение излучения через активную среду и за счет этого резкое его усиление. Для выхода излучения, одну из поверхностей резонатора делают полупрозрачной или с отверстием.

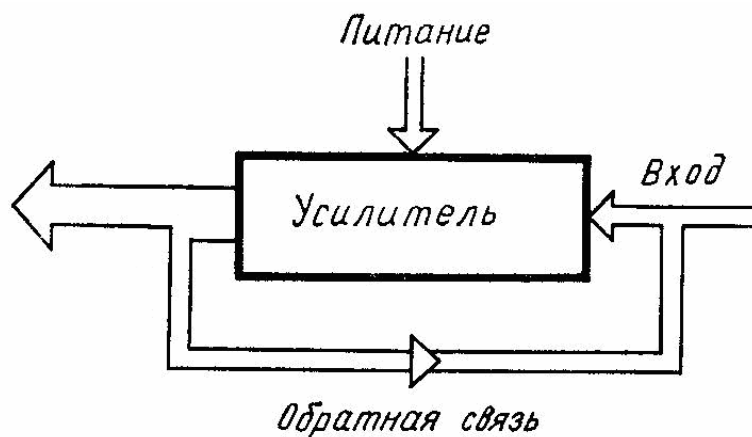


Рисунок 2.2.12 — Схема генератора: это усилитель с положительной обратной связью

Процесс перевода лазерного вещества в активное состояние называется накачкой. Для каждой конкретной системы оптического резонатора и лазерного вещества существует своя минимальная пороговая мощность накачки, ниже которой генерация невозможна.

Лазерная установка состоит из 4-х основных узлов: 1) излучателя; 2) системы накачки; 3) источника питания; 4) резонатора.

Излучатель предназначен для преобразования энергии накачки в лазерное излучение и содержит лазерный элемент, помещенный в оптический резонатор. Лазерное вещество (элемент) может находиться в газообразном, жидком и твердом состояниях.

Система накачки — совокупность элементов, предназначенных для преобразования энергии и передачи ее от внешнего источника к лазерному элементу.

Накачка осуществляется: 1) электрическим разрядом (газовые лазеры); 2) оптическим излучением (твердотельные и жидкостные); 3) инъекцией электронов в  $p-n$  переход (полупроводниковые); 4) газодинамические; 5) химические; 6) ядерные и др.

Режим работы лазеров бывает: 1) непрерывный; 2) импульсный со свободной генерацией и дублированной добротностью. При дублированной добротности оптический резонатор открывается перед самым концом импульса накачки, что обеспечивает большую мощность импульса и малую его длительность.

## 2.2.5 Газовые, твердотельные и жидкостные лазеры, особенности конструкции и характеристики

### *Газовые лазеры*

В газовых генераторах в качестве активной среды используют газы. Накачку этих газов производят главным образом электрическим разрядом. Существуют три основных типа газоразрядных лазеров:

1) атомарный, в котором используются лазерные переходы между энергетическими уровнями возбужденных и нейтральных атомов (излучение в ИК и частично видимой областях спектра) (рисунок 2.2.13);

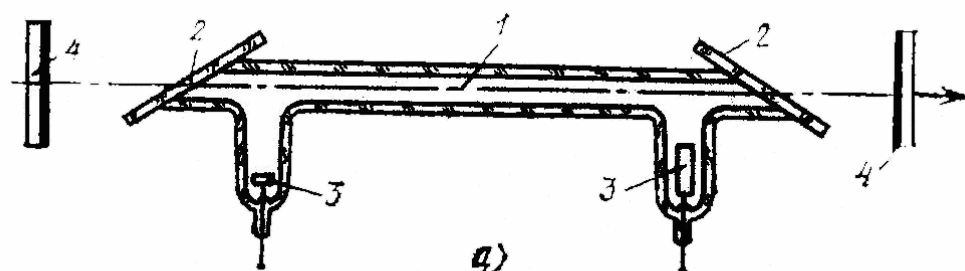


Рисунок 2.2.13 — Гелий-неоновый лазер:

1 — разрядная трубка;

2 — окна, расположенные под углом Брюстера для уменьшения потерь излучения;

3 — электроды (катод и анод); 4 — зеркала внешнего оптического резонатора

2) ионный — используются лазерные переходы между возбужденными ионами (излучение в УФ и видимой областях спектра);

3) молекулярный — используются лазерные переходы между возбужденными молекулами (излучение в ИК-области спектра).

Газовые лазеры обладают следующими достоинствами: 1) большой диапазон длин волн излучения ( $\lambda$  от 100 нм до 1 200 нм); 2) наименьший угол расхождения излучения; 3) наибольшая монохроматичность излучения; 4) способны работать в импульсном и в непрерывном режимах.

Основным недостатком газовых лазеров является малая мощность излучения с единицы объема активного элемента.

### *Твердотельные лазеры*

Твердотельные лазеры — это лазеры, производные рубинового лазера Меймана. Активной средой в них является твердое тело с соответствующими активными примесями (в рубиновом лазере это был оксид алюминия с примесями хрома, могут быть и другие: итриево-алюминиевый гранат, фториды бария, лантана, стронция и кальция, а также ниобит кальция или молибденат кальция. В качестве активных добавок наряду с хромом могут быть диспрозий, европий, самарин, тулий, уран и др.). Важный класс этой группы составляют лазеры на стекле (высокоочищенное стекло с примесью ниозима, европия и др.). Излучение твердотельных лазеров лежит в диапазоне от  $\lambda = 1,4$  мкм до  $\lambda = 700$  нм. А некоторые лазеры (стекло с гедолинием) генерируют УФ-излучение с длиной волны  $\lambda = 311,5$  нм.

Из твердотельных лазеров следует отметить полупроводниковые лазеры (рисунок 2.2.14), которые характеризуются преимуществами: 1) малыми размерами излучающей области; 2) высоким КПД (50–60%) и недостатками: 1) малыми мощностями излучения; 2) меньшей когерентностью; 3) большой расходимостью луча; 4) недостаточной монохроматичностью излучения ( $\Delta\lambda \approx 5$  нм).

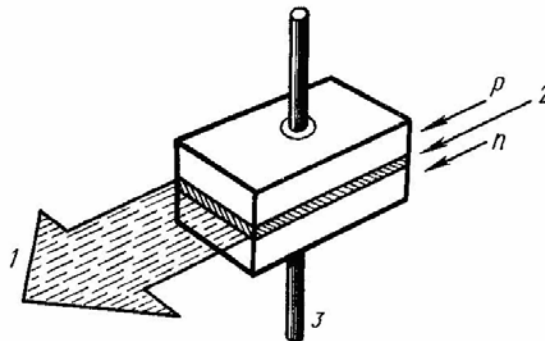


Рисунок 2.2.14 — Схема устройства полупроводникового лазера:  
1 — лазерный пучок; 2 —  $p-n$  переход; 3 — электрический проводник

### Жидкостные лазеры

В основе работы жидкостных лазеров лежат аналогичные принципы (рисунок 2.2.15). В них активной средой служит соответствующая жидкость (лазеры на растворах органических красителей). Жидкостные лазеры работают в импульсном режиме и сочетают достоинства газовых и твердотельных лазеров, однако очень быстро разрушается под действием излучения активная жидкость. Основное достоинство — возможность получать излучение практически на любых длинах волн в диапазоне 0,35–1,1 мкм. При помощи специальных устройств в оптическом резонаторе можно плавно изменять генерируемую длину волны. Оптическая накачка жидкостных лазеров может осуществляться только источниками с малой длительностью вспышки.

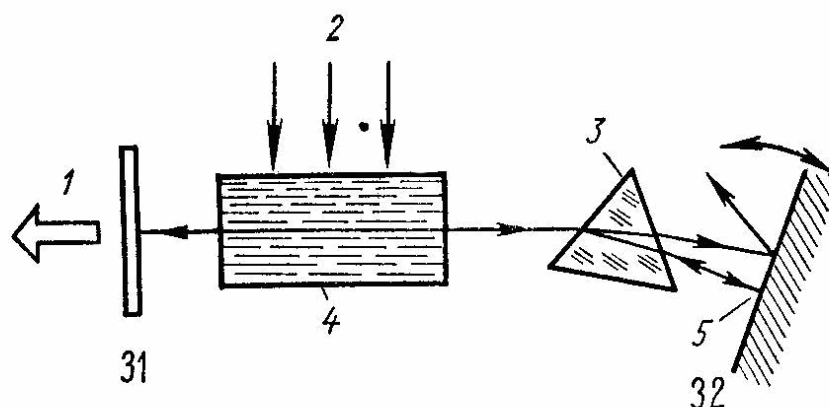


Рисунок 2.2.15 — Схема устройства лазера на красителе с призмой в качестве элемента, отбирающего заданное значение длины волны лазерного излучения:

1 — лазерный пучок; 2 — накачка; 3 — призма; 4 — кювета с раствором;  
5 — здесь луч падает перпендикулярно и возвращается; 31, 32 — зеркала резонатора



## **Тема 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ**

### **3.1 Общие требования к технологическому использованию оптического излучения**

#### *План*

- 3.1.1 Использование естественного ОИ в сельскохозяйственном производстве.
- 3.1.2 Классификация облучательных установок.
- 3.1.3 Общие принципы нормирования облучения.
- 3.1.4 Общие принципы расчета облучательных установок.

#### **3.1.1 Использование естественного ОИ в сельскохозяйственном производстве**

Естественным источником ОИ на Земле является Солнце, которое посылает на Землю энергию мощностью  $1,4 \times 10^{14}$  кВт. На единицу поверхности Земли, перпендикулярной лучам Солнца, приходится около  $1 \text{ кВт/м}^2$ . Часть этой энергии (~60%) поглощается и аккумулируется в нагретых телах, которая затем возвращается в мировое пространство, часть (~0,003%) аккумулируется в основном растительным миром, и затем идет на восстановление углерода (~175 млрд тонн), создавая тем самым условия жизнеобитания по кислороду и продуктам питания. Если бы удалось повысить КПД флоры до 0,1%, то можно было бы прокормить 1 триллион 200 млрд человек (в лабораторных условиях КПД фотосинтеза достигает 2%).

Длинноволновое УФ-излучение стимулирует жизнь человека и животных, коротковолновое — дезинфицирует воздух и воду.

ИК-излучение — неперемное условие всех биохимических реакций. Спектр излучения Солнца, достигаемого поверхности Земли занимает диапазон 315–1500 и более нм. Задачей человечества является раскрытие всех законов взаимосвязи живых организмов и ОИ.

#### **3.1.2 Классификация облучательных установок**

Устройства, служащие для передачи лучистой энергии определенного спектрального состава и интенсивности от источника излучения объекту облучения называют облучательными установками.

Поглощенная телом энергия излучения частично преобразуется в фотопродукты, вызывая качественные изменения в фотоприемнике: в воде и воздухе бактерицидное УФ-излучение снижает содержание бактерий; видимое излучение в зеленых листьях растений приводит к накоплению углеводов; ИК-излучение нагревает поверхности.

Энергию излучения, поглощенную и преобразованную фотоприемником в другие виды энергии, и отнесенную к величине площади облучаемой поверхности фотоприемника, называют дозой облучения или экспозицией:

$$H = \int_0^{\tau} E_{\text{эф}}(\tau) d\tau, \quad (3.1.1)$$

при  $E_{\text{эф}} = \text{const}$ .

$$H = E_{\text{эф}} \tau.$$

Из этого соотношения следует, что одинаковая доза облучения может быть получена при различных соотношениях облученности и времени. Однако для биологических объектов необходимо учитывать и закон Арндта–Шульца, согласно которому необходимо использовать слабую интенсивность за более длительный период времени.

В общем случае облучательные установки могут классифицироваться следующим образом:



Все облучательные установки, применяемые в сельском хозяйстве, классифицируют по следующим принципам: по назначению, типу применяемого источника, взаимному расположению источника и приемника.

#### *По назначению*

В зависимости от охватываемой области спектра электромагнитных колебаний облучательные установки бывают: а) ультрафиолетового излучения; б) видимого излучения; в) инфракрасного излучения; г) комбинированного излучения. Каждой зоне соответствуют свои облучательные установки:

- ультрафиолетовое области С (УФ–С с длиной волны излучения  $\lambda = 100\text{--}280$  нм) — бактерицидное излучение (обеззараживание воды, воздуха, тары);
- ультрафиолетовое области В (УФ–В с длиной волны излучения  $\lambda = 280\text{--}315$  нм) — зона сильного биологического действия (витальное (эритемное) облучение, стимуляция и лечение живых организмов);
- ультрафиолетовое области А (УФ–А с длиной волны излучения  $\lambda = 315\text{--}380$  нм) — эффективная люминесценция (установки люминесцентного анализа);
- зона всего ультрафиолета (УФ с длиной волны излучения  $\lambda = 100\text{--}380$  нм) — установки предпосевной обработки семенного материала;
- фотосинтетически активная радиация (ФАР с длиной волны излучения  $\lambda = 400\text{--}700$  нм) — физиологически активная радиация (установки для облучения растений);
- зона видимого излучения (ВИ с длиной волны излучения  $\lambda = 380\text{--}760$  нм) — освещение рабочего и технологического характера;
- зона ближнего ИК-излучения (излучение с длиной волны  $\lambda = 760\text{--}10\,000$  нм) — нагрев, обогрев, сушка;
- комбинированные облучательные установки (совместное использование УФ и ИК-излучения, УФ и видимого излучения).

#### *По типу применяемого источника*

В зависимости от типа применяемого источника облучательные установки бывают:

- с газоразрядными лампами:
  - а) низкого давления,
  - б) высокого давления;
- с инфракрасными лампами.

### *По взаимному расположению источника и приемника*

По взаимному расположению источника излучения и приемника, облучательные установки бывают:

- стационарные установки — неизменность взаимного расположения источника и приемника на протяжении всего периода облучения;
- передвижные установки — в течение одного рабочего цикла хотя бы раз источник и приемник изменяют свое положение;
- подвижные установки — либо облучатель движется непрерывно над приемником, либо приемник непрерывно движется под облучательной установкой;
- импульсные установки — энергия от источника к приемнику передается периодически с определенной частотой.

### **3.1.3 Общие принципы нормирования облучения**

Строгое дозирование излучения — необходимое условие оптимальности режима технологического процесса с использованием энергии оптического излучения.

В соответствии с законом Арндта–Шульца действие ОИ на живые организмы в зависимости от его качества и количества может быть благотворным, угнетающим или губительным. Поэтому нормирование доз облучения является важной задачей.

Существуют специальные Рекомендации по применению ультрафиолетового излучения в животноводстве и птицеводстве (М. : Колос, 1979 г.) и Рекомендации по инфракрасному обогреву молодняка сельскохозяйственных животных и птицы (М. : Колос, 1979 г.). В рекомендациях по применению ультрафиолетового облучения приводятся ориентировочные дозы витальной облученности, которые определены экспериментально. Соблюдение доз является необходимым условием эффективного применения УФ-облучения сельскохозяйственных животных. Суточные дозы приведены в специальной таблицы 3.1.

Таблица 3.1 — Рекомендуемые дозы облучения сельскохозяйственных животных и птицы

Вид и возрастная группа животных	Доза облучения в течение суток, мВит·ч/м <sup>2</sup>
Телята до 6 месяцев	120–140
Телята старше 6 месяцев	160–180
и т.д.	

В рекомендациях по инфракрасному обогреву изложены необходимые требования к ИК-обогреву молодняка сельскохозяйственных животных и птицы.

### 3.1.4 Общие принципы расчета облучательных установок

Доза облучения:

$$H = E\tau, \quad (3.1.2)$$

где  $E$ — облученность, мВит/м<sup>2</sup>.

Особенностью расчета облучательных установок, в отличие от расчета осветительных установок, является то, что в этом случае учитывают максимальную облученность.

Соответствующими отраслевыми нормами технологического проектирования НТП–СХ регламентируется для каждого вида и возраста животных значение ощущаемой температуры. Необходимую ИК-облученность в этом случае можно определить из формулы Скунка:

$$E_{\text{ИК}} = \frac{t_o - t_b}{k_1 k}, \quad (3.1.3)$$

где  $k_1$  — коэффициент восприятия ИК-излучения;

$k$  — коэффициент, связывающий ИК-облученность с температурой;

$t_o, t_b$  — температура, соответственно, ощущаемая и воздуха.

В основе расчета всех облучательных установок лежит определение облученности. Для расчета потребной облученности применяют все три известных в светотехнике метода.

#### **1. Метод коэффициента использования потока излучения**

Средняя облученность может быть определена:

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} N_{\Sigma} n_c \eta}{SK_3}, \quad (3.1.4)$$

где  $\eta$  — коэффициент использования, определяемый по таблице справочника в зависимости от индекса помещения.

#### **2. Точечный метод расчета**

Облученность в контрольной точке

$$E = \frac{K_{\Phi}}{K_3 H_p^2} \mu \sum I_{\alpha_i} \cos^2 \alpha_i. \quad (3.1.5)$$

### *3. Метод удельной облученности*

В таблицах задается ( $E_{уд}$ ) удельная облученность на  $1 \text{ м}^2$  обучаемой поверхности.

## **3.2 УФ-облучение витального действия**

### *План*

- 3.2.1 Воздействие УФ-облучения на животных и птицу.
- 3.2.2 Конструкции УФ-облучательных установок и их характеристики.
- 3.2.3 Особенности автоматизации управления установками УФ-излучения.

### **3.2.1 Воздействие УФ-облучения на животных и птицу**

На физиологическое состояние животных и птицы ультрафиолетовое излучение оказывает большое влияние. Так, недостаток ультрафиолетового излучения является основной причиной нарушения обмена веществ, понижения защитных функций организма и его устойчивости к различным заболеваниям. Зоотехническими нормами предусматривают искусственное ультрафиолетовое облучение, особенно в осенне-зимний период с целью воздействия на рост, развитие, обмен веществ, продуктивность и воспроизводительные функции сельскохозяйственных животных и птицы. При этом происходит интенсификация химических и обменных процессов в организме, повышается уровень окислительно-восстановительных реакций и устойчивость к заболеваниям, возбуждается функциональная активность нервной системы и видоизменяется гормональный статус, уменьшается бактериальное загрязнение воздуха и улучшается микроклимат в помещении. Ультрафиолетовое излучение проявляется также через фотохимические реакции в кожных покровах, слизистых оболочках и органах зрения, а также через воздействие озона, окислов озона и аэроионов, возникающих при поглощении ультрафиолетового излучения воздухом. Под действием ультрафиолетового излучения в подкожных слоях живого организма происходит образование активно действующего витамина  $D_3$ , регулирующего обмен веществ, который предупреждает и лечит такое заболевание как рахит. Наряду с этим в коже и подкожных слоях образуются также и другие биологически активные фитопродукты: ацетилхолин, гистамин, свободные радикалы, продукты перекисного окисле-

ния жирных кислот, простагландины. В результате улучшается клиническое состояние и резистентность сельскохозяйственных животных и птиц, повышается их сохранность и продуктивность.

### 3.2.2 Конструкции УФ-облучательных установок и их характеристики

Установки для УФ-облучения бывают:

- а) стационарные (ЭО1-30М, ОЭ1, ОЭ2 с лампой ЛЭ30-1);
- б) переносные (ОРК-2, ОРКШ с лампой ДРТ-400);
- в) подвижные (УО-4М с четырьмя лампами ДРТ-400, УОК-1 с двумя лампами ДРТ-400).

#### *Стационарные облучательные установки*

Принципиально стационарные облучатели состоят из корпуса, одной или двух ламп, отражателя, ПРА. В настоящее время распространены следующие облучатели (рисунки 3.2.1–3.2.2):

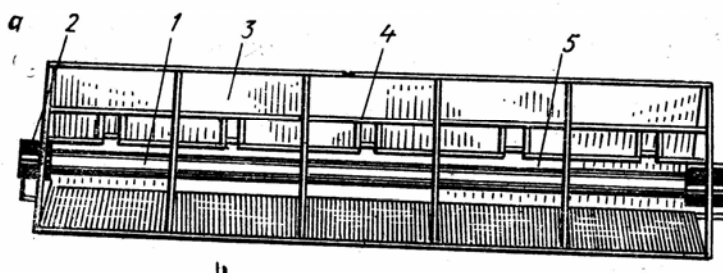


Рисунок 3.2.1 — Облучатель ЭО1-30 с лампой ЛЭ-30:  
1 — витальная лампа; 2 — ламподержатель; 3 — отражатель; 4 — защитная сетка;  
5 — пуско-регулирующая аппаратура

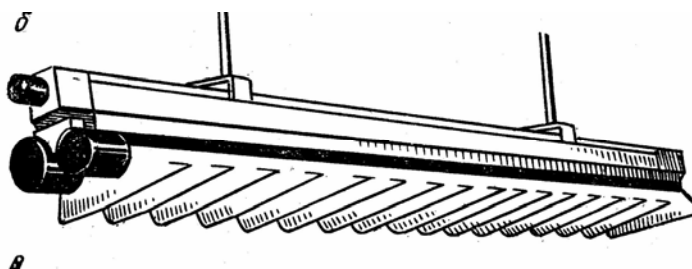


Рисунок 3.2.2 — Облучатель ОЭСП02-2×40 с лампами ЛБР-40 и ЛЭР-40

### *Переносные облучатели*

Переносные это такие облучатели, которые изменяют свое положение относительно облучаемой поверхности хотя бы один раз за весь период облучения (рисунки 3.2.3–3.2.4):



Рисунок 3.2.3 — Облучатель ОРКШ-6 с лампой ДРТ-400:  
1 — устройство управления;  
2 — ПРА; 3 — отражатель;  
4 — источник УФ-излучения;  
5 — устройства крепления;  
6 — стойка

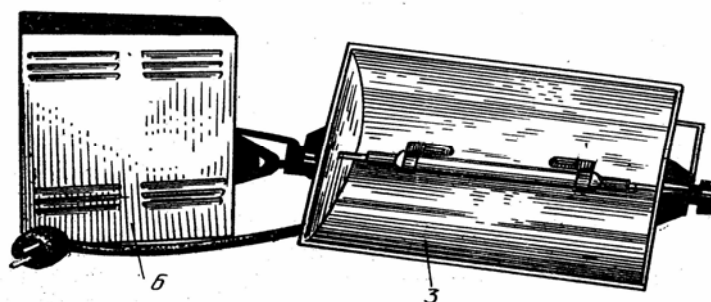


Рисунок 3.2.4 — Облучатель ОРК-2 с лампой ДРТ-400:  
3 — отражатель; 6 — пуско-регулирующее устройство

### *Подвижные облучательные установки*

Установка для УФ-облучения сельскохозяйственных животных типа УО-4М имеет четыре облучателя с лампами ДРТ-400 (рисунок 3.2.5), скорость перемещения облучателя  $v = 18$  м/ч.

Схема управления установкой УО-4М содержит аппаратуру включения ламп ДРТ-400 (лампы включены последовательно на 380 В) и аппаратуру управления перемещением облучателей — конечный выключатель, который управляет направлением вращения электродвигателя и перемещением облучателя (рисунок 3.2.6).



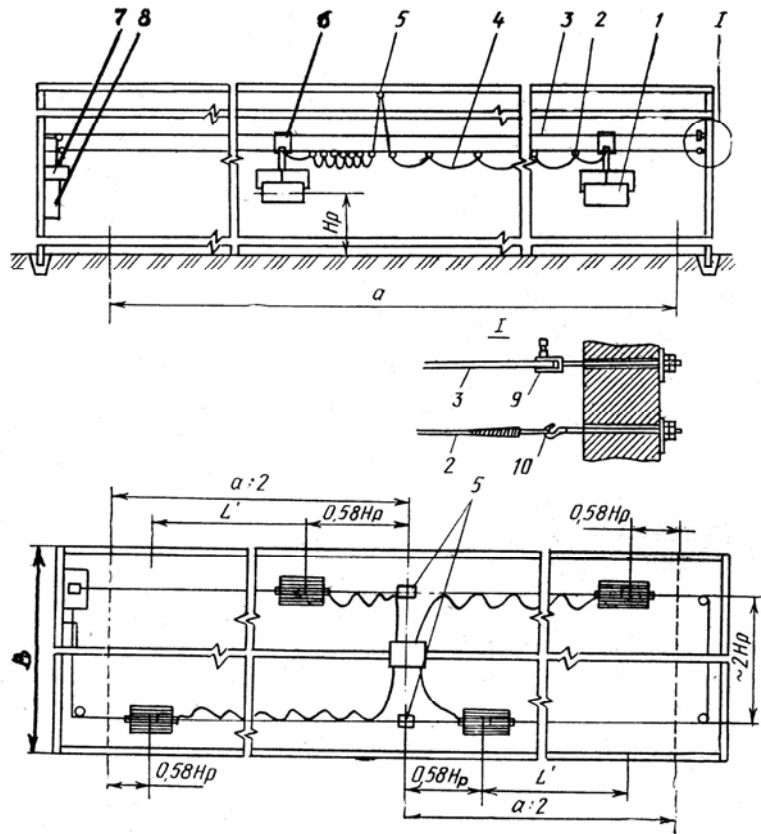


Рисунок 3.2.5 — Схема установки ультрафиолетового облучения УО-4М:  
 1 — облучатели; 2 — оцинкованная проволока; 3 — трос; 4 — питающий шланговый кабель; 5 — распределитель; 6 — узел крепления облучателя; 7 — приводная станция; 8 — шкаф управления; 9 — натяжной ролик; 10 — натяжная шпилька

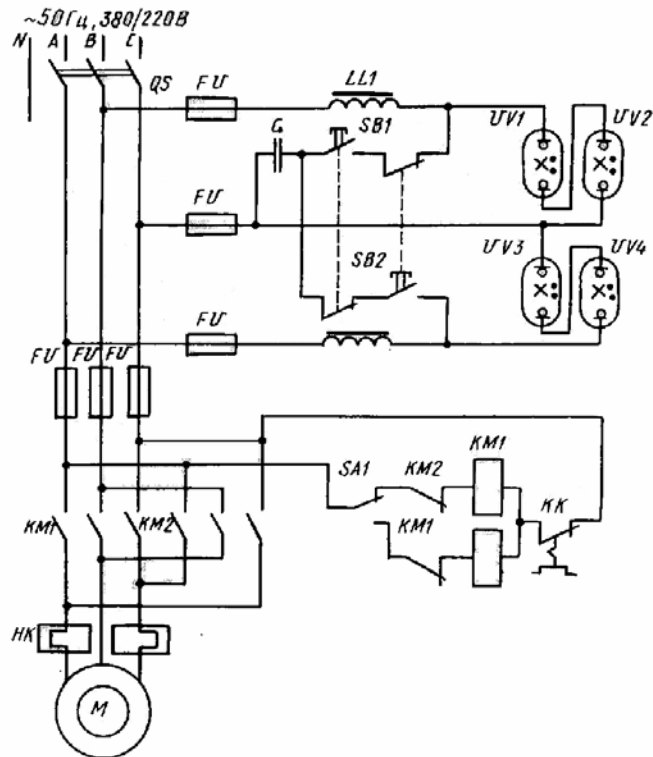


Рисунок 3.2.6 — Принципиальная электрическая схема управления установкой ультрафиолетового облучения УО-4М

Установка для ультрафиолетового облучения кур при клеточном содержании УОК-1 включает в себя два облучателя с лампами ДРТ-400, скорость перемещения установки  $v = 43,8$  м/ч (рисунок 3.2.7).

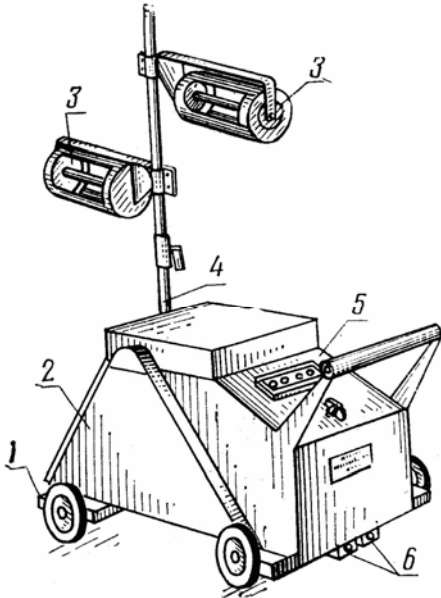


Рисунок 3.2.7 — Схема установки ультрафиолетового облучения кур УОК-1:  
 1 — самоходное шасси; 2 — привод;  
 3 — облучатели с лампами ДРТ-400;  
 4 — штанга; 5 — панель управления;  
 6 — конечные выключатели

Схема автоматизации установки УОК-1 (рисунок 3.2.8) предусматривает автоматическое реверсирование (возврат) установки в исходную точку и отключение ламп ДРТ.

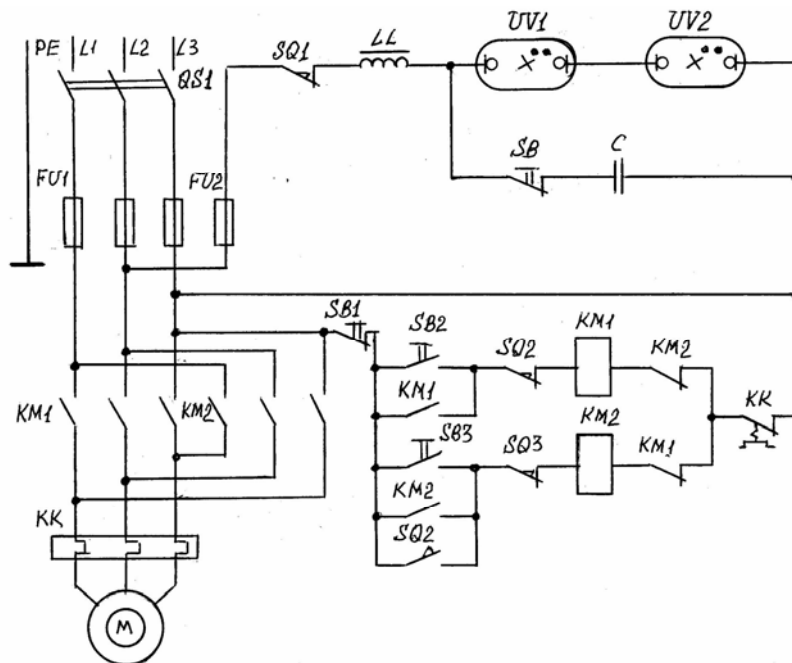


Рисунок 3.2.8 — Принципиальная электрическая схема управления установкой ультрафиолетового облучения УОК-1

Основными характеристиками облучателей и установок, которыми руководствуются при их выборе и расчете являются:

- тип установки;
- тип и мощность ламп;
- кривая распределения силы излучения.

По типу установки бывают: стационарные, переносные и подвижные. Стационарные облучатели рекомендуется применять при свободном содержании животных и птицы. Переносные облучатели используют для индивидуального облучения больных и ослабленных особей или групп животных. Подвижные облучательные установки рекомендуется применять при содержании животных в стойлах, клетках и т. п. При выборе типа установки следует также учитывать размеры зоны облучения. Например, при длине свиноводческих помещений более 70 м экономически оправдано применение установок УО-4М, при длине 30–60 м — стационарный облучатель с лампами ДРТ-400, при длине менее 30 м — стационарный облучатель с лампами ЛЭ-30.

Тип лампы влияет на спектр ее излучения, мощность — определяет количество облучателей в помещении, высоту их размещения и продолжительность облучения.

### **3.2.3 Особенности автоматизации управления установками УФ-облучения**

Автоматическое управление установками УФ-излучения витального действия, как правило, осуществляется по временной программе (многоцепной аппарат управления МКП-12, двухпрограммное реле времени 2РВМ и др.). Простейшая схема автоматизации при этом имеет вид, приведенный на рисунке 3.2.9.

Однако известно, что расчетная продолжительность работы облучательной установки должна корректироваться с учетом:

- 1) отклонения напряжения питающей сети (при отклонении напряжения питания на  $\pm 5\%$  от номинального поток источника излучения изменяется на  $\pm 10\text{--}20\%$ );
- 2) изменения температуры (при изменении температуры на  $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  поток источника изменяется на  $\pm 13\text{--}15\%$ , рисунок 3.2.10);

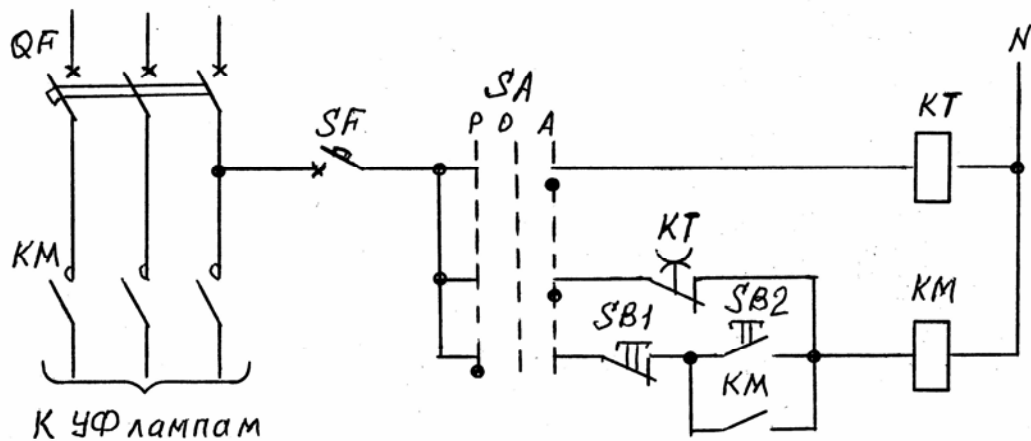


Рисунок 3.2.9 — Автоматическое управление УФ-облучением по временной программе

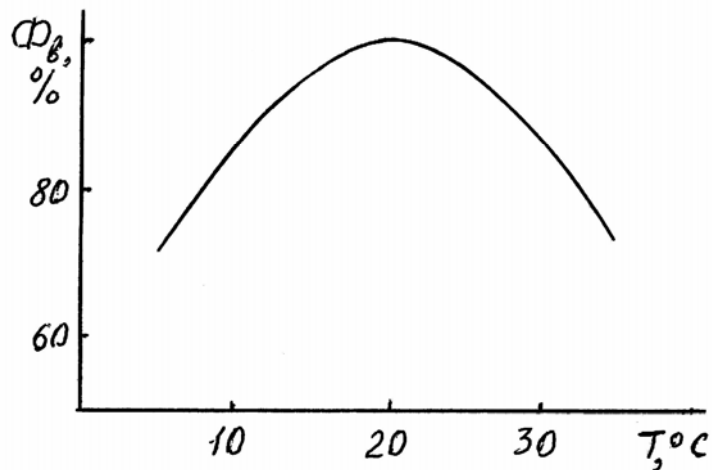


Рисунок 3.2.10 — Влияние температуры на поток излучения источника

- 3) продолжительность горения (к концу срока службы источника излучения его поток излучения снижается на 30–50% (рисунок 3.2.11);
- 4) запыленность (наличие запыленности источника излучения снижает его поток излучения на 25–30%.

Совместное действие вышеуказанных факторов снижает поток излучения источника до 30% от первоначального.

Для учета всех этих факторов необходимо применение измерительных приборов, обеспечивающих измерение экспозиции или дозы облучения. Таким прибором может быть, в частности, дозиметр ДАУ-81. Принципиальная электрическая схема в этом случае может быть такой, как на рисунке 3.2.12.

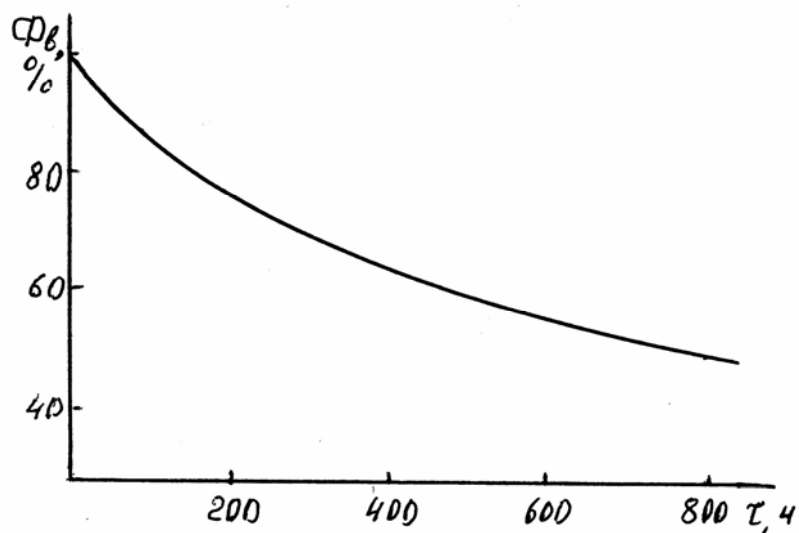


Рисунок 3.2.11 — Влияние срока службы источника на его поток излучения

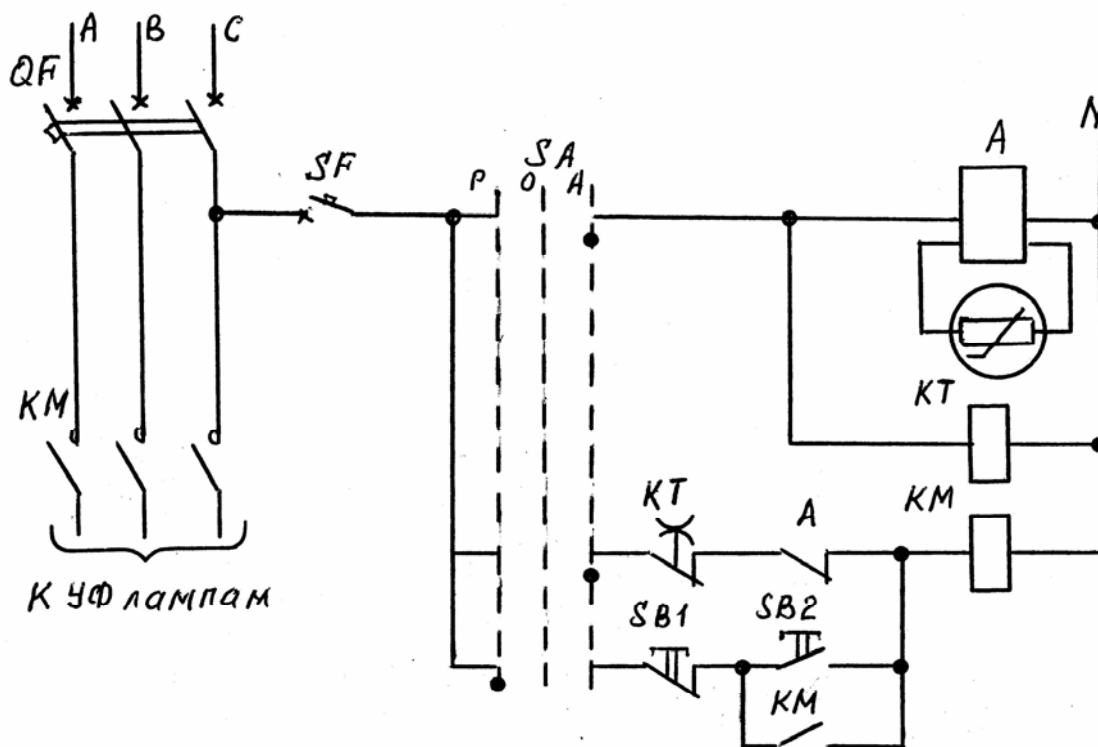


Рисунок 3.2.12 — Автоматическое управление УФ-облучением по временной программе с учетом экспозиции облучения

В передвижных облучательных установках количество проходов можно задать установкой реле времени.

### 3.3 Расчет УФ-облучательных установок витального действия

#### План

- 3.3.1 Расчет размещения УФ-облучательных установок.
- 3.3.2 Светотехнический расчет стационарных УФ-облучательных установок методом коэффициента использования эффективного потока и точечным методом.
- 3.3.3 Светотехнический расчет подвижных облучательных установок методами графического и аналитического интегрирования.

#### 3.3.1 Расчет размещения УФ-облучательных установок

##### Размещение стационарных облучателей

Определяют расчетную высоту подвеса облучателей

$$H_p \geq \sqrt{\frac{I_0}{E_{\text{доп}}}}, \quad (3.3.1)$$

где  $I_0$  — осевая сила витального излучения;

$E_{\text{доп}}$  — допустимая витальная облученность.

Размещают облучатели (рисунок 3.3.1) с учетом относительного наимыгоднейшего расстояния  $\lambda_3$  (принимают  $\lambda_3 = 1,4$ ; при этом коэффициент неравномерности  $z$  принимают равным 1,15–1,25).

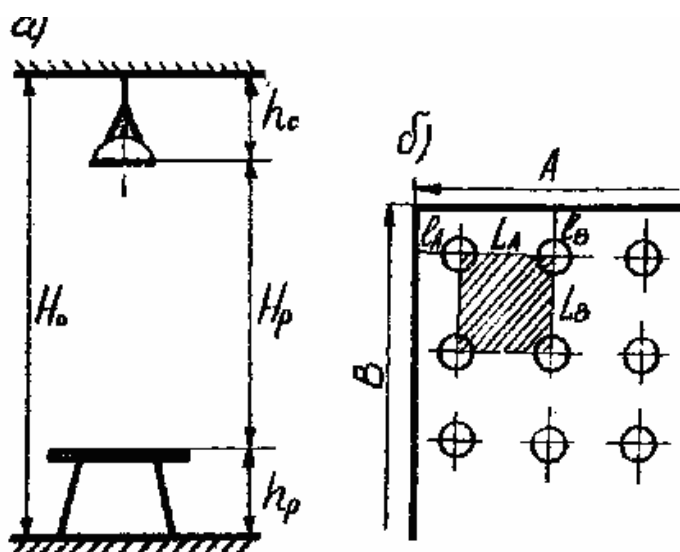


Рисунок 3.3.1 — Размещение стационарных облучателей

Вычисляют расстояние между облучателями в ряду

$$L_A = \lambda_{\text{э}} H_p \quad (3.3.2)$$

и между рядами

$$L_B = \lambda_{\text{э}} H_p. \quad (3.3.3)$$

Определяют расстояние от крайнего облучателя в ряду до стены

$$l_A = (0,3 - 0,5)L_A \quad (3.3.4)$$

и от крайнего ряда облучателей до стены

$$l_B = (0,3 - 0,5)L_B. \quad (3.3.5)$$

Находят число облучателей в ряду

$$N_1 = \frac{A - 2l_A}{L_A} + 1 \quad (3.3.6)$$

и число рядов облучателей

$$N_2 = \frac{B - 2l_B}{L_B} + 1, \quad (3.3.7)$$

где  $A$ ,  $B$  — соответственно, длина и ширина облучаемой площадки, м;

Определяют суммарное число облучателей

$$N_{\Sigma} = N_1 N_2. \quad (3.3.8)$$

#### *Размещение подвижных облучателей*

Для установки УО–4М определяют расчетную высоту подвеса облучателей (рисунок 3.3.2)

$$H_p \approx \sqrt{\frac{I_0}{E_{\text{доп}}}}, \quad (3.3.9)$$

где  $I_0$  — осевая сила витального излучения;

$E_{\text{доп}}$  — допустимая хвительная облученность.

На плане помещения намечают трассу движения облучателей, определяют длину хода облучателя

$$L' = \frac{A}{2} \quad 2 \times 0,58 H_p, \quad (3.3.10)$$

где  $A$  — длина помещения, м.

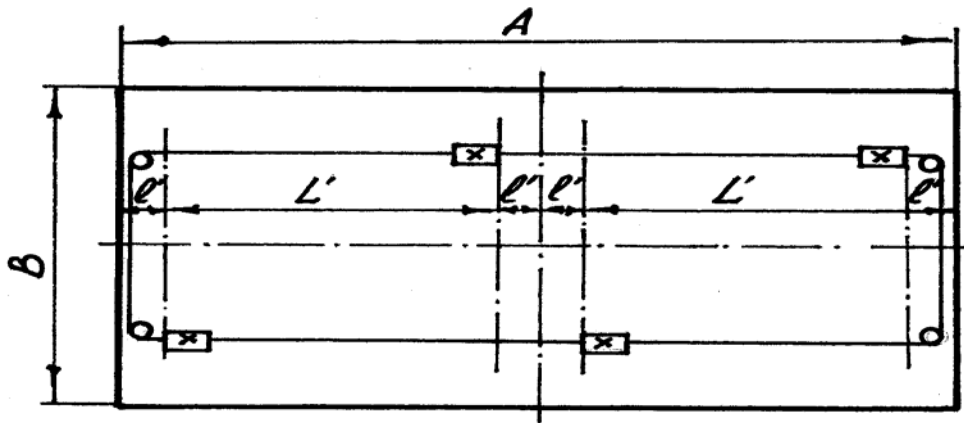


Рисунок 3.3.2 — План размещения подвижной облучательной установки

### 3.3.2 Светотехнический расчет стационарных УФ-облучательных установок методом коэффициента использования эффективного потока и точечным методом

Задача расчета — определение облученности и времени облучения для получения суточной дозы  $H_{\Sigma}$ . Расчет можно производить тремя методами — коэффициентом использования витального потока, удельной облученности, точечным.

#### *Метод коэффициента использования витального потока*

Порядок расчета.

Определяют коэффициент использования эффективного потока  $\eta$ , по таблицам с учетом индекса

$$i = \frac{S}{H_p(A+B)}, \quad (3.3.11)$$

где  $S$  — площадь облучаемой поверхности,  $\text{м}^2$ ;

$A, B$  — размеры поверхности,  $\text{м}$ ;

$H_p$  — высота подвеса над облучаемой поверхностью,  $\text{м}$ .

Для исключения местных ожогов, высоту  $H_p$  выбирают с учетом

$$E_{\text{ср}} K_3 z \leq E_{\text{доп}}, \quad (3.3.12)$$

где  $K_3$  — коэффициент запаса;

$E_{\text{ср}}$  — средняя облученность объекта,  $\text{мВит}/\text{м}^2$ ;

$E_{\text{доп}}$  — допустимая облученность (зависит от вида и возраста животных).



Определяют среднюю облученность

$$E_{\text{ср}} = \frac{N_{\Sigma} \Phi_{\text{э}} n_{\text{с}} K_{\text{ф}} \eta_{\text{э}}}{K_{\text{з}} S}, \quad (3.3.13)$$

где  $N_{\Sigma}$  — суммарное число облучателей;

$\Phi_{\text{э}}$  — поток лампы облучателя;

$K_{\text{ф}}$  — коэффициент формы животных ( $K_{\text{ф}} = 0,5$  — сфера;  $K_{\text{ф}} = 0,64$  — цилиндр);

$K_{\text{з}}$  — коэффициент запаса ( $K_{\text{з}} = 1,5-2,0$ );

$n_{\text{с}}$  — число ламп в облучателе.

Вычисляют время работы  $\tau$  установки для получения суточной дозы  $H_{\Sigma}$ :

$$\tau = \frac{H_{\Sigma}}{E_{\text{ср}}}. \quad (3.3.14)$$

### ***Метод удельной облученности***

Метод удельной облученности применяют для приблизительного расчета от единичного облучателя. При этом из таблиц определяют среднюю облученность  $E_{\text{ср}}$  в зависимости от типа облучателя и высоты его подвеса.

Время облучения

$$\tau = \frac{H_{\Sigma}}{E_{\text{ср}} K_{\text{а}}}, \quad (3.3.15)$$

где  $K_{\text{а}} = 1,2-1,4$  — коэффициент, учитывающий влияние арматуры на перераспределение лучистого потока в нужном направлении.

### ***Точечный метод***

Намечают контрольную точку с максимальной облученностью. В качестве такой точки принимают точку под облучателем в центре помещения. Определяют облученность в контрольной точке

$$E_{\text{э}} = \frac{\mu K_{\text{ф}}}{H_{\text{р}}^2 K_{\text{з}}} \sum I_{\alpha_i} \cos^2 \alpha_i, \quad (3.3.16)$$

где  $\mu$  — коэффициент добавочной облученности, создаваемой неучтенными облучателями ( $\mu \approx 1,1-1,3$ );

$I_{\alpha_i}$  — сила витального излучения облучателя под углом  $\alpha_i$  к вертикальной оси симметрии облучателя (определяют из кривой пространственного распределения силы витального излучения) вит/ср;

$K_3$  — коэффициент запаса ( $K_3 = 1,5-2,0$ ).

Вычисляют время работы  $\tau$  установки для получения суточной дозы  $H_\Sigma$ :

$$\tau = \frac{H_\Sigma}{E_{\text{ср}}}. \quad (3.3.17)$$

### 3.3.3 Светотехнический расчет подвижных облучательных установок методами графического и аналитического интегрирования

Задача расчета: определение дозы за один проход и числа проходов для обеспечения суточной дозы.

Дозу за один проход можно определить: а) графическим интегрированием; б) математическим интегрированием облученности за время облучения.

#### *Графическое интегрирование*

Облучатель, передвигаясь со скоростью  $v$  на высоте  $H_p$  над расчетной точкой М (рисунок 3.3.3), создает в ней изменяющуюся по значению витальную облученность, мгновенное значение которой

$$E_{\alpha_i} = \frac{K_\phi I_{\alpha_i} \cos^2 \alpha_i}{K_3 H_p^2}, \quad (3.3.18)$$

где

$$\cos \alpha_i = \frac{H_p}{\sqrt{(H_p^2 + l_{0-i}^2)}}. \quad (3.3.19)$$

Пользуясь формулой (3.3.8) вычисляют мгновенные значения облученности в расчетной точке в зависимости от соответствующего расстояния точек 1, 2, 3, ...,  $n$  до начального положения облучателя  $l_{0-1}, l_{0-2}, l_{0-3}, \dots, l_{0-n}$ . Значение силы излучения определяют из кривой силы излучения по известному значению угла

$$\alpha_i = \arccos \alpha_i. \quad (3.3.20)$$

По известным значениям  $E_{\alpha_0}, E_{\alpha_1}, E_{\alpha_2}, \dots, E_{\alpha_n}$  и соответствующим расстояниям от точек 1, 2, 3, ...,  $n$  до начального положения облучателя  $l_{0-1}, l_{0-2}, l_{0-3}, \dots, l_{0-n}$  строят кривую распределения витальной облученности в точке  $M$  при однократном проходе облучателя (рис. 3.3.3). Преобразуют ось абсцисс из расстояния  $l_{0-i}$  во время  $\tau_i$  по формуле:

$$\tau_i = \frac{l_{0-i}}{v}. \quad (3.3.21)$$

Площадь, ограниченная указанной кривой и осью абсцисс, соответствует количеству облучения (дозе облучения) при однократном проходе облучателя

$$H_1 = 2 \sum_{i=0}^n E_i \Delta \tau = 2 \left[ (E_{\alpha_0} + E_{\alpha_1}) \frac{(\tau_1 - 0)}{2} + (E_{\alpha_0} + E_{\alpha_1}) \frac{(\tau_2 - \tau_1)}{2} + (E_{\alpha_{n-1}} + E_{\alpha_n}) \frac{(\tau_n - \tau_{n-1})}{2} \right]. \quad (3.3.22)$$

Количество проходов

$$m_p = \frac{H_{\Sigma}}{H_1}. \quad (3.3.23)$$

Расчетное время работы облучателей

$$\tau_p = \frac{L' H_{\Sigma}}{v H_1} = \frac{m_p L'}{v}, \quad (3.3.24)$$

где  $L'$  — длина хода облучателя, определяемая по формуле (3.3.10).

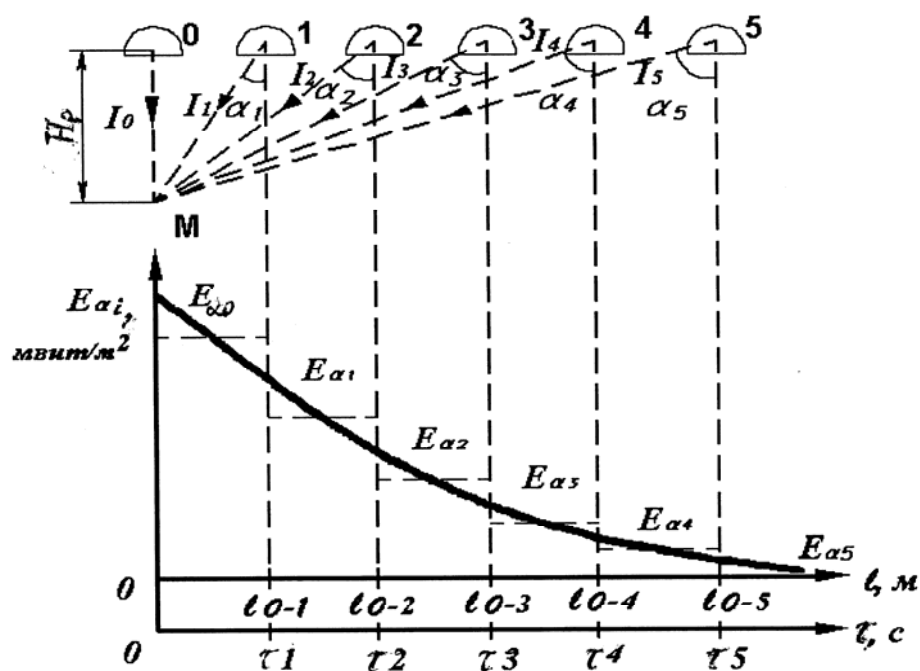


Рисунок 3.3.3 — К расчету дозы за один проход облучателя

### Математическое интегрирование

Доза за однократный проход облучателя

$$H_1 = 2 \int_0^{\tau} E_{\tau} \cdot d\tau = 2 \frac{K_{\phi}}{K_3 H_p^2} \int_0^{\tau} I_{\alpha} \cos^2 \alpha \cdot d\tau. \quad (3.3.25)$$

Время прохождения облучателем расстояния  $dl$

$$d\tau = \frac{dl}{v}. \quad (3.3.26)$$

Расстояние  $l$  можно определить как

$$l = H_p \operatorname{tg} \alpha. \quad (3.3.27)$$

Откуда

$$dl = \frac{H_p d\alpha}{\cos^2 \alpha}. \quad (3.3.28)$$

Подставив (3.3.28) в (3.3.26), получим

$$d\tau = \frac{H_p d\alpha}{v \cos^2 \alpha}. \quad (3.3.29)$$

Для косинусной кривой  $I_{\alpha} = I_0 \cdot \cos \alpha$ .

Тогда

$$H_1 = \frac{2K_{\phi}}{K_3 H_p v} \int_0^{\alpha_k} I_0 \cos \alpha \cdot d\alpha = \frac{2K_{\phi} I_0}{K_3 H_p v} (\sin \alpha_k), \quad (3.3.30)$$

где  $\alpha_k$  — угол между вертикальной осью симметрии и вектором силы излучения из конечного положения облучателя в направлении контрольной точки.

При отсутствии затенения

$$\sin \alpha_k = \frac{L'}{\sqrt{L'^2 + H_p^2}}. \quad (3.3.31)$$

Количество проходов

$$m_p = \frac{H_{\Sigma}}{H_1}, \quad (3.3.32)$$

где  $H_{\Sigma}$  — суточная доза облучения, задаваемая зоотехническими нормами.

Расчетное время работы облучателей

$$\tau_p = \frac{L' H_{\Sigma}}{\nu H_1} = \frac{m_p L'}{\nu}, \quad (3.3.33)$$

где  $L'$  — длина хода облучателя, определяемая по выражению (3.3.10).

### **3.4 Бактерицидные УФ-излучательные установки обеззараживания воды**

#### *План*

- 3.4.1 Способы обеззараживания, требования ГОСТа к содержанию микроорганизмов, основные понятия и определения.
- 3.4.2 Конструкции установок УФ-обеззараживания воды.
- 3.4.3 Расчет установок УФ-обеззараживания воды с непогруженными источниками.
- 3.4.4 Расчет установок УФ-обеззараживания воды с погруженными источниками.

#### **3.4.1 Способы обеззараживания, требования ГОСТ к содержанию микроорганизмов, основные понятия и определения**

УФ-излучение зоны  $C$  (длина волны излучения  $\lambda = 200\text{--}280$  нм) относится к жесткому ультрафиолету. Энергии кванта этой зоны достаточно для разрушения молекул и простейших микроорганизмов: бактерий, вирусов и спор.

В соответствии с ГОСТ 17.13.03–77 1 литр воды может содержать до  $10^3$  микробных тел, если количество микроорганизмов выше, то нужно обеззараживать. Существует химическое обеззараживание воды (хлорирование) и обеззараживание УФ-лучами. При втором способе используют УФ-излучение с длиной волны  $\lambda = 200\text{--}280$  нм. Этот способ обладает рядом преимуществ:

- 1) сохраняется природный состав, вкусовые качества и химические свойства обеззараживаемого продукта;
- 2) УФ-излучение губительно действует на все виды бактерий;
- 3) простота в эксплуатации;

- 4) стоимость обработки в 2–3 раза ниже, чем при хлорировании;
- 5) небольшой расход электроэнергии (при обеззараживании воды расход составляет 10–30 Вт·ч на 1 м<sup>3</sup>).

Благодаря указанным преимуществам УФ-обеззараживание воды находит достаточно широкое применение в сельскохозяйственном производстве. При данной технологии обеззараживания пользуются рядом понятий и определений. Так, в частности, бактерицидный поток, падающий на приемник, создает бактерицидную облученность  $E_x$  на глубине  $x$ , которая определяется согласно закону Ламберта–Бугера (рисунок 3.4.1):

$$E_x = E_0 e^{-\alpha x}, \quad (3.4.1)$$

где  $E_0$  — облученность на поверхности;

$\alpha$  — коэффициент поглощения, м<sup>-1</sup>;

$x$  — толщина слоя обеззараживания.

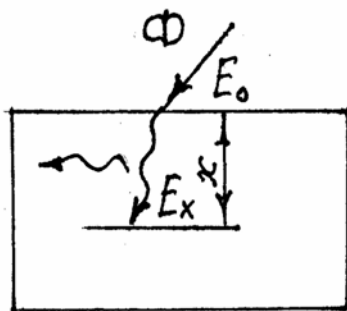


Рисунок 3.4.1 — Взаимодействие бактерицидного излучения с приемником

При расчете технологического процесса УФ-обеззараживания в качестве эталонного приемника используют палочку «Коли» (по устойчивости близка к бактериям брюшного тифа, дизентерии, холеры). Вводят также понятие «степень обеззараживания»:

$$\frac{B}{B_0}, \quad (3.4.2)$$

где  $B$  — количество бактерий после обеззараживания в 1 литре воды (принимают  $B < 10^3$ );

$B_0$  — количество бактерий до обеззараживания.

Степень обеззараживания зависит от количества облучения и сопротивляемости бактерий и изменяется по закону

$$\frac{B}{B_0} = e^{-\frac{E_{\text{cp}} \tau_{\text{cp}}}{K}}, \quad (3.4.3)$$

где  $E_{\text{cp}}$  — средняя бактерицидная облученность;

$K$  — коэффициент сопротивляемости бактерий (для «Коли»

$K = 2500$  мкб·с/м<sup>2</sup>;

$\tau_{\text{cp}}$  — среднее время обеззараживания.

Средняя бактерицидная облученность

$$E_{\text{cp}} = \frac{\int_0^x E_0 e^{-\alpha x} dx}{x}, \quad (3.4.4)$$

если  $x = h$  — глубина обеззараживания воды, то

$$E_{\text{cp}} = \frac{1}{h} \int_0^h E_0 e^{-\alpha h} dh = \frac{E_0}{\alpha h} (1 - e^{-\alpha h}). \quad (3.4.5)$$

### 3.4.2 Конструкции установок УФ-обеззараживания воды

По конструкции установки УФ-обеззараживания воды бывают: а) с погруженными источниками излучения, помещенными в кварцевые цилиндрические чехлы и опущенными в обеззараживаемую воду (рисунок 3.4.2); б) с не погруженными источниками, расположенными над поверхностью облучаемой воды, непрерывно протекающей по лотку (рисунок 3.4.3). Установки с погруженными источниками предпочтительнее, так как они более компактны и могут быть установлены в любой части водопроводной сети.

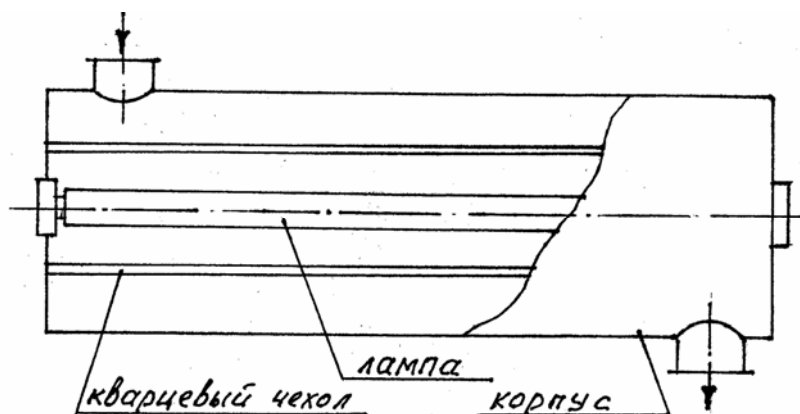


Рисунок 3.4.2 — Установка УФ-обеззараживания воды с погруженными источниками

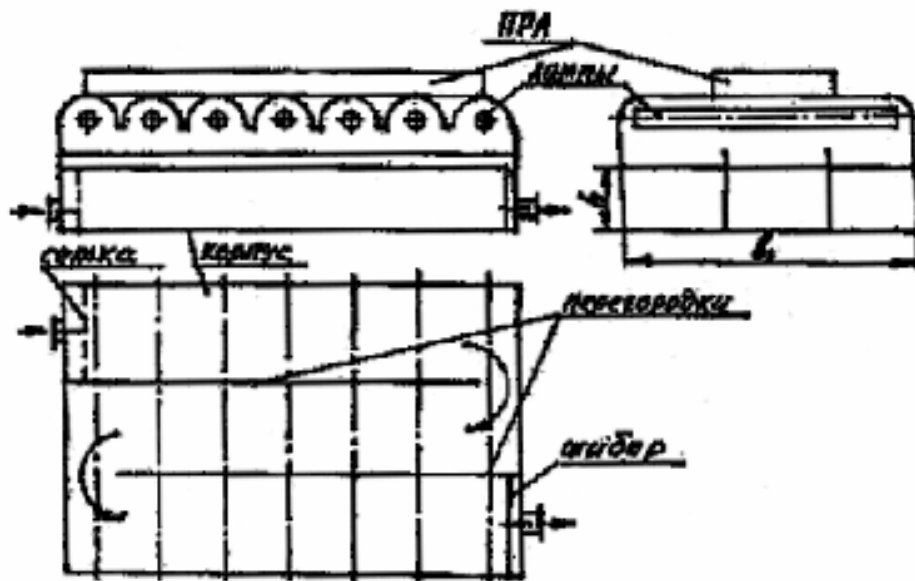


Рисунок 3.4.3 — Установка УФ-обеззараживания воды с не погруженными источниками

Принципиально в качестве источников в установках могут использоваться лампы ДБ–15, ДБ–30, ДБ–60, ДРТ–400, ДРТ–1000, ДРТ–2500.

Маркируют установки УФ обеззараживания буквами и цифрами:

УОВ–5Н, УОВ–6П,

где У — ультрафиолетовое;

О — обеззараживание;

В — воды;

5 (6) — количество источников, шт;

Н (П) — не погруженные (погруженные) источники.

### 3.4.3 Расчет установок УФ-обеззараживания воды с непогруженными источниками

Обозначим в соответствии с расчетной схемой (рисунок 3.4.4)  $l$  — длина лотка, м;  $h$  — толщина слоя обеззараживания, м;  $b$  — ширина лотка, м;  $v_{\text{ср}}$  — средняя скорость движения потока воды, м/с.

Средняя продолжительность облучения:

$$\tau_{\text{ср}} = l/v_{\text{ср}}, \quad (3.4.6)$$

где  $l$  — длина пути, проходимого водой под излучателями, равная длине поверхности облучения, м;

$v_{\text{ср}}$  — средняя скорость потока воды, м/с<sup>-1</sup>.



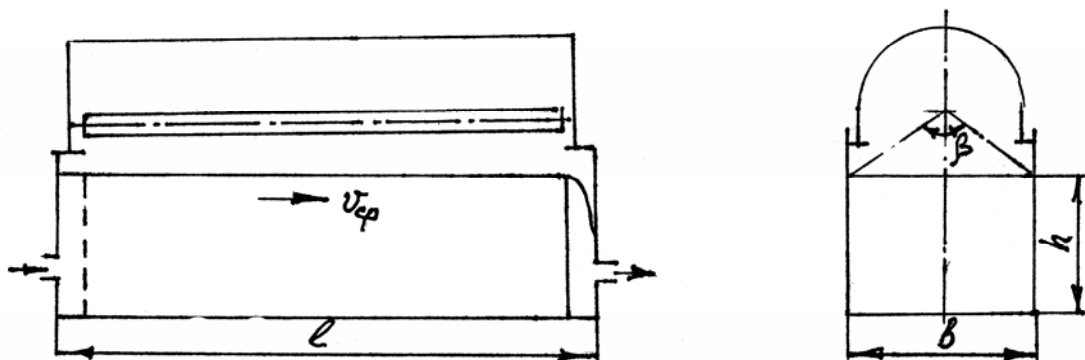


Рисунок 3.4.4 — Расчетная схема установки обеззараживания воды с непогруженными источниками

Для канала прямоугольного сечения:

$$v_{cp} = \frac{Q}{bh}, \quad (3.4.7)$$

где  $Q$  — объем облучаемой воды в единицу времени,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

С учетом (3.4.6, 3.4.7 и 3.4.3) имеем:

$$\frac{B}{B_0} = \exp \left\{ -E_0 [1 - \exp(-\alpha h)] \frac{b}{\alpha Q K} \right\}. \quad (3.4.8)$$

Выражение  $[1 - \exp(-\alpha h)]$  определяет коэффициент полезного действия поглощения потока бактерицидных лучей  $\eta_n$  :

$$\eta_n = 1 - \exp(-\alpha h). \quad (3.4.9)$$

Из (3.4.9) можно определить допустимую глубину потока воды:

$$h = \frac{\ln(1 - \eta_n)}{\alpha}. \quad (3.4.10)$$

При определении  $h$  коэффициент полезного действия поглощения потока бактерицидных лучей  $\eta_n$  рекомендуется принимать равным 0,9.

Произведение  $E_0 lb$  в уравнении (3.4.8) определяет общую мощность потока бактерицидных лучей  $\Phi_0$ , падающего на поверхность облучаемой воды. С другой стороны, с учетом отражения лучей

$$\Phi_0 = \Phi_{пр} + \Phi_{отр}, \quad (3.4.11)$$

где  $\Phi_{пр}$  — прямой поток бактерицидных лучей установки, мбк;

$\Phi_{отр}$  — отраженный поток бактерицидных лучей установки, мбк.

С другой стороны

$$\Phi_{\text{пр}} = \Phi_{\text{ист}} \frac{\beta}{360}, \quad (3.4.11)$$

где  $\Phi_{\text{ист}}$  — поток источника излучения;

$\beta$  — угол отражения отражателя.

Отраженный поток

$$\Phi_{\text{отр}} = \Phi_{\text{ист}} \frac{360 - \beta}{360} \rho_{\text{отр}}, \quad (3.4.12)$$

где  $\rho_{\text{отр}}$  — коэффициент отражения бактерицидных лучей материалом отражателя.

Тогда получим

$$\Phi_0 = \Phi_{\text{ист}} \frac{\beta + (360 - \beta)\rho_{\text{отр}}}{360}. \quad (3.4.13)$$

Обозначим

$$\frac{\beta + (360 - \beta)\rho_{\text{отр}}}{360} = \eta_{\text{исп}}. \quad (3.4.14)$$

Тогда (3.4.8) можно записать в виде

$$\frac{B_{\text{ср}}}{B_0} = \exp\left(-\frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} \eta_{\text{п}}}{\alpha Q K}\right). \quad (3.4.15)$$

После логарифмирования (3.4.15) получим:

$$Q = -\frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} \eta_{\text{п}}}{\alpha K \ln(B/B_0)}, \quad (3.4.16)$$

или

$$\Phi_{\text{ист}} = -\frac{Q \alpha K \ln(B/B_0)}{\eta_{\text{исп}} \eta_{\text{п}}}. \quad (3.4.17)$$

Зная значение  $\Phi_{\text{ист}}$  и нормированный бактерицидный поток одной лампы  $\Phi_{\text{л}}$ , не представляет трудности определить количество источников бактерицидных лучей и электрическую мощность установки для обеззараживания с учетом потерь в ПРА.

Таким образом, порядок расчета следующий.

1. По справочным данным для данного вида источника определяют коэффициент поглощения  $\alpha$  и задаются коэффициентом полезного действия поглощения потока  $\eta_{\text{п}}$ .

2. Рассчитывают глубину потока воды

$$h = - \frac{\ln(1 - \eta_{\text{п}})}{\alpha}.$$

3. По справочным данным определяют коэффициент отражения УФ-лучей отражателем  $\rho_{\text{отр}}$ .

4. Вычисляют коэффициент использования бактерицидных лучей

$$\eta_{\text{исп}} = \frac{\beta + (360 - \beta)\rho_{\text{отр}}}{360}.$$

5. По справочным данным определяют коэффициент сопротивляемости данного вида бактерий  $K$ , задаются степенью обеззараживания  $\frac{B}{B_0}$  и вычисляют

$$\Phi_{\text{ист}} = - \frac{Q\alpha K \ln(B/B_0)}{\eta_{\text{исп}} \eta_{\text{п}}}.$$

6. Вычисляют необходимую ширину лотка

$$b = \frac{Q}{vh}$$

7. Требуемое количество ламп

$$N = \frac{\Phi_{\text{ист}}}{\Phi_{\text{л}}}$$

#### **3.4.4 Расчет установок УФ-обеззараживания воды с погруженными источниками**

Расчетная схема установки УФ-обеззараживания воды приведена на рисунке 3.4.5. За основу расчета берут два исходных уравнения (3.4.16, 3.4.17).

При этом принимают

$$\eta_{\text{п}} = \{1 - \exp[-\alpha(R - r)]\}, \quad (3.4.18)$$

где  $R, r$  — радиус трубы и чехла, м.

Для кварцевых чехлов поглощение УФ-лучей примерно равно 10%, значит  $\alpha = 0,1$ , тогда

$$\eta_{\text{ист}} = \frac{0,9\Phi_{\text{ист}}}{\Phi_{\text{ист}}} = 0,9. \quad (3.4.19)$$

Принимают допустимое количество бактерий в единице объема  $B = 1\ 000$  шт/м<sup>3</sup>. Толщина слоя обеззараживаемой воды

$$h = R - r = -\frac{\ln(1 - \eta_{\text{п}})}{\alpha}. \quad (3.4.20)$$

Скорость движения воды находят по формуле:

$$v = \frac{Q}{3600S}, \quad (3.4.21)$$

где  $S = \pi(R^2 - r^2)$  — площадь «живого» сечения потока воды в корпусе, м<sup>2</sup>;  
 $Q$  — производительность установки обеззараживания, м<sup>3</sup>/ч.

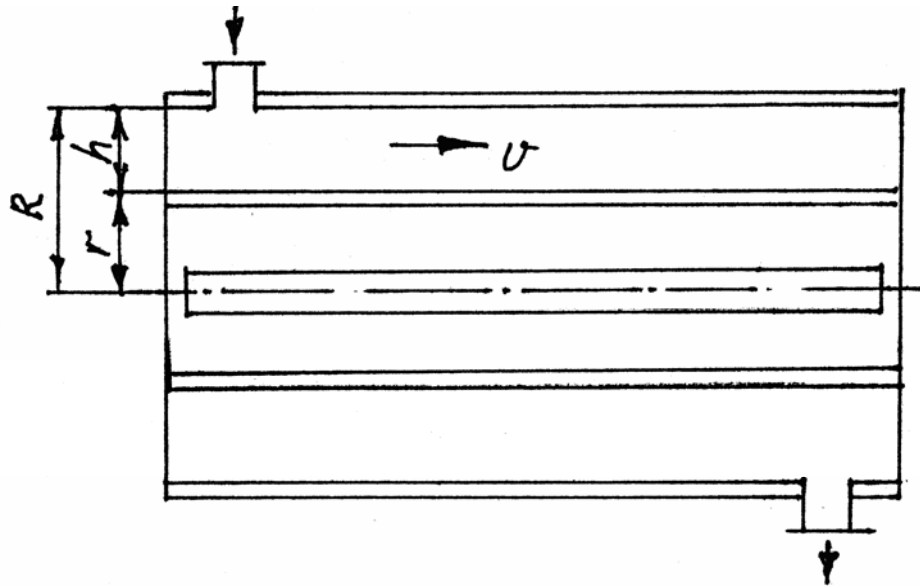


Рисунок 3.4.5 — Расчетная схема установки УФ-обеззараживания воды с погруженными источниками

Порядок расчета следующий.

1. Определяют из конструктивных соображений радиус наружной поверхности кварцевого чехла  $r$ .
2. Вычисляют толщину слоя обеззараживаемой воды

$$h = R - r = -\frac{\ln(1 - \eta_{\text{п}})}{\alpha},$$

где  $\eta_{\text{п}} = 0,9$  — коэффициент полезного действия поглощения потока бактерицидных лучей.

3. Радиус внутренней поверхности корпуса

$$R = h + r .$$

4. Площадь «живого» сечения

$$S = \pi(R^2 - r^2) .$$

5. Скорость движения воды в корпусе

$$v = \frac{Q}{3600S} .$$

6. Приняв коэффициент использования потока бактерицидных лучей с учетом потерь в чехле  $\eta_{\text{исп}} = 0,9$ , вычисляют требуемый бактерицидный поток установки

$$\Phi_{\text{ист}} = - \frac{Q\alpha K \ln(B/B_0)}{\eta_{\text{исп}} \eta_{\text{п}}} .$$

7. Необходимое число блоков (ламп)

$$N = \frac{\Phi_{\text{ист}}}{\Phi_{\text{л}}} ,$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  — поток одной лампы.

### **3.5 Бактерицидные УФ-излучательные установки обеззараживания воздуха**

#### *План*

3.5.1 Конструкции установок УФ-обеззараживания воздуха.

3.5.2 Расчет установок для обеззараживания воздуха помещений без принудительной системы вентиляции.

3.5.3 Расчет установок для дезинсекции поверхностей.

#### **3.5.1 Конструкции установок УФ-обеззараживания воздуха**

Бактерицидное действие УФ-лучей применяют и для обеззараживания воздуха помещений, а также посуды, тары и др. Для дезинфекции воздуха

применяют облучатели типа ОБУ–1–15 с лампой ДБ–15 и ОБУ–1–30 с лампой ДБ–30.

Следует отметить, что вопросы проектирования облучательных установок для обеззараживания воздуха сельскохозяйственных помещений еще недостаточно разработаны. Поэтому пользуются нормами для обеззараживания воздуха в медицинских учреждениях.

При расчете установок с принудительной вентиляцией принципиально можно использовать выше полученные формулы (3.4.16) и (3.4.17) с учетом коэффициента запаса  $K_3$

$$Q = - \frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} \eta_{\text{п}}}{\alpha K K_3 \ln(B/B_0)}, \quad (3.5.1)$$

$$\Phi_{\text{ист}} = - \frac{Q \alpha K K_3 \ln(B/B_0)}{\eta_{\text{исп}} \eta_{\text{п}}}. \quad (3.5.2)$$

Степень обеззараживания  $\frac{B}{B_0} = 10^{-2} - 10^{-3}$ ,  $K_3$  — коэффициент запаса, зависящий от количества пыли в воздухе ( $K_3 = 1,8 - 3,0$ ).

Конструкция установок при принудительной вентиляции может быть с погруженными источниками и непогруженными источниками (рисунок 3.5.1 а, б).



Рисунок 3.5.1 — Установки УФ-обеззараживания воздуха помещений с принудительной системой вентиляции с погруженными (а) и непогруженными (б) источниками

Расчет установок для обеззараживания воздуха помещений с принудительной системой вентиляции аналогичен методике расчета установок обеззараживания воды, которые мы рассмотрели в предыдущей лекции. Только в этом случае используют формулы (3.5.1) и (3.5.2). Рассмотрим методику расчета установок УФ-обеззараживания воздуха в помещениях без принудительной системы вентиляции.

### 3.5.2 Расчет установок для обеззараживания воздуха помещений без принудительной системы вентиляции

В помещениях без принудительной системы вентиляции облучатели, как правило, располагают поближе к центру помещения. В складах, овощехранилищах и тому подобных зданиях облучатели располагают равномерно.

Если обеззараживание воздуха осуществляется при нахождении персонала в помещении, то облучатели нужно устанавливать на высоте 1,8–2,0 метра от пола выходом вверх. Задачей расчета установок в этом случае является определение требуемого времени обеззараживания воздуха в данном объеме помещения.

Для простоты расчетов объем обеззараживаемого помещения (рисунок 3.5.2) представляем в виде сферы с радиусом  $l$ , где  $l$  — расстояние от источника до наиболее удаленной точки пространства помещения.

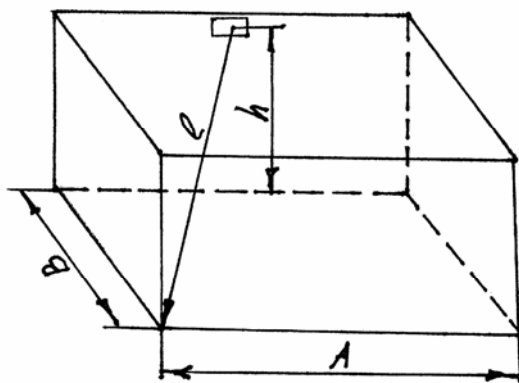


Рисунок 3.5.2 — Расчетная схема установки УФ-обеззараживания воздуха помещения без принудительной системы вентиляции

Тогда, в соответствии с определением степени обеззараживания имеем

$$\frac{B}{B_0} = e^{-\frac{E_{\text{ср}} \tau_{\text{ср}}}{K}} \quad (3.5.3)$$

С другой стороны, известно, что облученность на любой глубине  $l$ :

$$E = E_0 e^{-\alpha l}, \quad (3.5.4)$$

откуда

$$E_0 = \frac{E}{e^{-\alpha l}} = E e^{\alpha l} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} e^{\alpha l}}{4\pi l^2 K_3}. \quad (3.5.5)$$

Из определения средней облученности имеем

$$E_{\text{cp}} = \frac{\int_0^x E_0 e^{-\alpha x}}{x}, \quad (3.5.6)$$

или

$$E_{\text{cp}} = \frac{E_0}{\alpha l} (1 - e^{-\alpha l}). \quad (3.5.7)$$

Тогда подставив  $E_0$  в (3.5.7), получим

$$E_{\text{cp}} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} e^{\alpha l} (1 - e^{-\alpha l})}{4\pi l^2 K_3 K \alpha l} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} (e^{\alpha l} - 1)}{4\pi l^2 K_3 \alpha l}. \quad (3.5.8)$$

Подставив полученное выражение в уравнение степени обеззараживания, будем иметь

$$\ln\left(\frac{B}{B_0}\right) = -\frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} (e^{\alpha l} - 1) \tau_{\text{cp}}}{4\pi l^2 K_3 K \alpha l}, \quad (3.5.9)$$

откуда

$$\Phi_{\text{ист}} \tau_{\text{cp}} = -\frac{4\pi l^2 K_3 K \alpha \ln\left(\frac{B}{B_0}\right)}{\eta_{\text{исп}} (e^{\alpha l} - 1)}. \quad (3.5.10)$$

Требуемая продолжительность обеззараживания

$$\tau = \frac{\Phi_{\text{ист}} \tau_{\text{cp}}}{n_c \Phi_{\text{л}}}, \quad (3.5.11)$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  — поток лампы в установке;

$n_c$  — число ламп в облучателе.

### 3.5.3 Расчет установок для дезинсекции поверхностей

Задачей расчета установок является определение требуемого времени обеззараживания поверхности.

При расчете задаются расстоянием  $h$  от облучателя до поверхности. Аналогично из определения степени обеззараживания имеем



$$\frac{B}{B_0} = e^{\frac{E\tau}{K}}. \quad (3.5.12)$$

Из закона Бугера известно, что

$$E = E_0 e^{-\alpha h}. \quad (3.5.13)$$

Если учесть поглощение потока излучения воздухом среды, то

$$E = \frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} e^{-\alpha h}}{4\pi h^2 K_3}, \quad (3.5.14)$$

$$\eta_{\text{исп}} = \frac{\beta + (360 - \beta)\rho_{\text{отр}}}{360}, \quad (3.5.15)$$

где  $\beta$  — угол отражения лучей в отражателе.

Тогда

$$\Phi_{\text{ист}} \tau = - \frac{\ln\left(\frac{B}{B_0}\right) K 4\pi h^2 K_3}{\eta_{\text{исп}} e^{-\alpha h}}. \quad (3.5.16)$$

Требуемая продолжительность обеззараживания

$$\tau_{\text{об}} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \tau}{n_c \Phi_{\text{л}}}, \quad (3.5.17)$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  — поток лампы в установке,

$n_c$  — число ламп в установке.

### 3.6 Облучательные установки ИК-обогрева сельскохозяйственных животных и птицы

#### План

3.6.1 Установки ИК-облучения, конструкции, характеристики, выбор.

3.6.2 Расчет установок ИК-облучения животных и птицы.

3.6.3 Особенности автоматизации управления работой установок ИК-обогрева.

### 3.6.1 Установки ИК-облучения, конструкции, характеристики, выбор

Территория нашей республики характеризуется холодным осенне-зимним периодом, который длится 5–8 месяцев и считается наиболее трудным для содержания животных. Особенно необходимо тепло в этот период молодняку, так как неблагоприятная температура и высокая влажность воздуха в помещении влияют отрицательно на рост и развитие молодняка, приводят к нарушению обмена веществ, возникновению простудных заболеваний, расстройству пищеварения и даже гибели.

Необходимый температурный режим может быть обеспечен системой общего и локального обогрева. Более целесообразно применение комбинированной системы, позволяющей создавать повышенную температуру только в небольшой ограниченной зоне нахождения молодняка в первый период выращивания.

Для местного обогрева используют различные нагревательные установки — обогреваемые полы, коврики, панели и др. Широкое распространение получил инфракрасный (ИК) обогрев молодняка, обладающий благотворным биологическим действием на организм животного. Поглощенный кожей и подкожной тканью поток ИК-излучения вызывает их нагрев. Тепловое действие ИК-излучения основано на том, что при его поглощении в тканях происходит переполнение кровеносных сосудов кровью, нормализуется обмен веществ.

Поглощение ИК-излучения кожным покровом — весьма сложный биологический процесс, в котором принимает участие весь организм животного с его терморегуляторным аппаратом. Проникая в кожу и подкожные ткани, излучение вызывает сложную реакцию организма, которая возникает рефлекторно через тепловые рецепторы. Действуя через кожу на нервную систему, а через нее на внутренние органы, ИК-излучение улучшает функции желез, кровоснабжение тканей и органов.

Коротковолновое ИК-излучение ( $\lambda = 750\text{--}1500$  нм) способно проникать на глубину до 7–8 мм и вызывает прогревание глуболежащих тканей, в результате улучшается функция желез и общий обмен веществ.

Установлено, что после воздействия ИК-излучения на кожу и глуболежащие ткани в организме животных происходит активация кроветворных

органов, в крови увеличивается количество эритроцитов, лейкоцитов, содержание гемоглобина, а также появляются активные продукты распада белков. Продуктивность скота при этом повышается в среднем на 10–15%. При этом источники инфракрасного излучения обладают быстроедействием и обеспечивают требуемый температурный режим в зоне обогрева сразу после их включения.

Эффективность такого воздействия зависит от длины волны излучения и поглощательной способности тела животного. Как известно, ИК-излучение занимает диапазон длин волн от 0,78 до  $10^3$  мкм. ИК-источники, генерирующие излучение в коротковолновой области ИК-спектра с длиной волны  $\lambda = 0,78-1,4$  мкм (зона А) называют «светлыми» излучателями, а в длинноволновой области ИК-спектра с длиной волны  $\lambda > 1,4$  мкм — «темными» излучателями. Вследствие разной глубины проникновения механизм действия длинноволнового ИК-В и коротковолнового ИК-А излучений различен.

Длинноволновое излучение поглощается поверхностными слоями кожи и шерстного покрова животных, преобразуется в тепловую энергию, вызывающую тепловую эритему кожи и высыхание влаги шерстного покрова.

Коротковолновое излучение, как обладающее большей энергией, проникает на глубину 2,5–8 мм, поглощается тканями и преобразуется в тепловую. При этом поток тепловой энергии, вводимой в организм животного, без ожога его кожи, выше. Повышение температуры тканей способствует ускорению химических реакций и происходящих там биологических процессов, что, в конечном счете, повышает обмен веществ, улучшает питание тканей, ускоряет рассасывание и удаление патологических продуктов.

Исходя из этого, в животноводстве для обогрева молодняка более широко используют «светлые» источники (лампы ИКЗК–220–250, имеющие эффективный ИК-поток  $\Phi_{\text{ик.эфф}} = 203,4$  Вт; лампы ИКЗС–220–250 соответственно  $\Phi_{\text{ик.эфф}} = 163,9$  Вт ; лампы ИКЗ–220–500 —  $\Phi_{\text{ик.эфф}} = 407,7$  Вт.

Исследования показали, что ИК-облучение оказывает положительное влияние на резистентность (сопротивляемость) животных.

При прерывистом режиме работы ИК-излучателей, попеременное воздействие высоких и низких температур на животных подвергает их сосудистую систему своеобразной тренировке, происходит закаливание организма.

Специфичность воздействия ИК-облучения позволяет использовать его в терапевтических (лечебных) целях: лечение воспалительных процессов, так как ИК-поток вызывает активную гиперемию (тепловую эритему), что улучшает питание тканей, ускоряет рассасывание патологических продуктов.

Для защиты источников ИК-излучения («светлые» источники: ИКЗК, ИКЗС, КГ; «темные» источники: ТЭН) от механических повреждений и капель воды, осуществления токоподвода к ним, перераспределения потока излучения в пространстве, применяют специальные арматуры. Источник излучения вместе с арматурой называют облучателем.

В сельскохозяйственном производстве для обогрева молодняка животных и птицы используют облучатели:

а) со «светлыми» источниками ИК-излучения (рисунки 3.6.1–3.6.3):

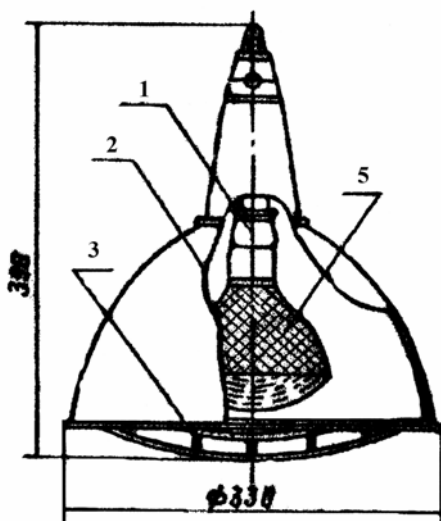


Рисунок 3.6.1 — Облучатель ССП-01-250 (с лампой ИКЗК-250):

1 — патрон; 2 — кожух; 3 — защитная сетка; 5 — лампа ИКЗК 220-250

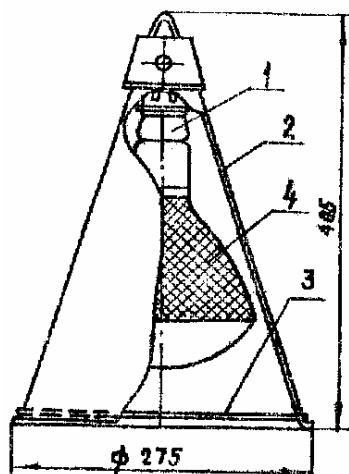


Рисунок 3.6.2 — Облучатель ОРИ-1 (с лампой ИКЗ-500):

1 — патрон; 2 — кожух; 3 — защитная сетка; 4 — лампа ИКЗ 220-500

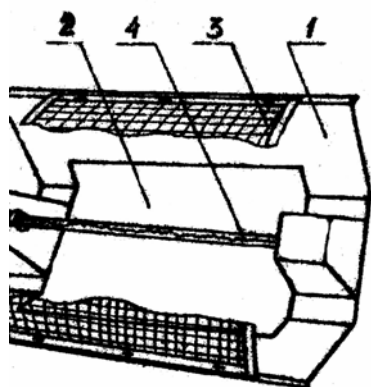


Рисунок 3.6.3 — Облучатель ЛатвИКО  
(с лампой КГТ-220-1000):  
1 — корпус; 2 — отражатель; 3 — защитная  
сетка; 4 — лампа КГ-220-1000

б) с «темными» источниками ИК-излучения (рисунки 3.6.4–3.6.6):

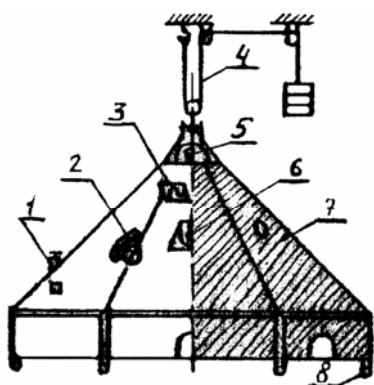


Рисунок 3.6.4 — Облучатель БП-1  
(с четырьмя ТЭН мощностью по 250Вт):  
1 — контрольный термометр; 2 — терморегулятор; 3 — ИК-излучатель; 4 — тросовая подвеска с противовесом; 5 — сигнальная лампа перегорания ТЭНов; 6 — лампа освещения; 7 — корпус; 8 — упоры

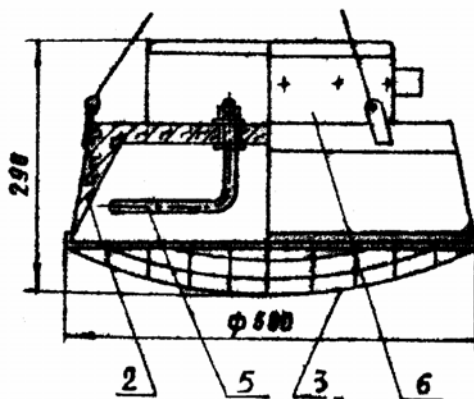


Рисунок 3.6.5 — Облучатель ОКБ-1376 А  
(с тремя ТЭН мощностью по 0,4 кВт):  
2 — отражатель; 3 — защитная сетка;  
5 — трубчатый нагреватель; 6 — коробка  
подключения



Рисунок 3.6.6 — Облучатель с керамическим излучателем типа ЭИС-0,25-И1 серии «Ирис»

Выбор установок ИК-облучения производят:

- по спектру излучения;
- по мощности источников ИК-излучения;
- по уровню автоматизации;
- по равномерности распределения ИК-потока на поверхности.

Максимальная плотность ИК-излучения приходится на следующие длины:

- «светлые» источники:  $\lambda = 1,1-1,2$  мкм;
- «темные» источники:  $\lambda = 4-5$  мкм.

ИК-излучение от «светлых» источников обладает большей глубиной проникновения и, следовательно, большей эффективностью ИК-облучения, которую можно охарактеризовать коэффициентом полезного действия  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\Phi_{\text{п}}}{P}, \quad (3.6.1)$$

где  $\Phi_{\text{п}}$  — ИК-поток, поглощенный кожей животного;

$P$  — мощность источника.

Для «светлых» источников  $\beta_{\text{св}} = 0,66$ , для темных  $\beta_{\text{темн}} = 0,38$ .

Четких рекомендаций по мощности при выборе облучателей нет. Однако следует стремиться при облучении молодняка раннего возраста к лампам ИКЗК–220–250 (спектр лучше, меньше видимого излучения); лампы ИКЗ–500 обычно применяют при облучении более взрослых особей. Кроме того, мощность облучателя зависит от высоты подвеса и требуемой площади облучения. Например, средняя облученность  $E_{\text{ср}}$  равная  $300 \text{ Вт} \times \text{м}^{-2}$  может быть обеспечена одним облучателем с лампой ИКЗК–220–250 при высоте подвеса  $h = 0,6$  м на площади  $0,5 \text{ м}^2$  или же одним облучателем с лампой ИКЗ–220–500 при высоте его подвеса  $h = 1$  м на площади  $1 \text{ м}^2$ .

При всех равных показателях, при выборе облучательной установки, предпочтение следует отдавать более автоматизированным установкам.

### 3.6.2 Расчет установок ИК-облучения животных и птицы

При расчете ИК-облучения молодняка животных и птицы пользуются определенными понятиями.

1. Лучистая температура  $T_{ик}$  — температура, которую ощущает животное при воздействии на него ИК-излучения

$$T_{ик} = k_1 k_2 E_{ик}, \quad (3.6.2)$$

где  $k_1$  — коэффициент «восприятия» ИК-излучения организмом животного (зависит от шерстного покрова, влажности, окраски);

$k_2$  — коэффициент, связывающий ИК-облученность с температурой (экспериментально установлено, что  $k_2 = 0,04 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}$  для животных и птицы);

$E_{ик}$  — инфракрасная облученность,  $\text{Вт/м}^2$ .

2. Температура воздуха в помещении  $T_{в}$  (обеспечивается системой общего обогрева).

3. Радиационная температура обогреваемого пола  $T_{пп}$ .

4. Температура поверхности ограждений в микрозоне  $T_{р}$  ( $T_{р} \approx T_{в}$ ).

5. Средняя радиационная температура ограждений в микрозоне

$$T_{орг} = \frac{T_{р} S_{орг} + T_{пп} S_{пп}}{S_{орг} + S_{пп}}, \quad (3.6.3)$$

где  $S_{орг}$  — площадь ограждений в микрозоне;

$S_{пп}$  — площадь поверхности обогреваемого пола.

6. Средняя температура воздуха в микрозоне  $T_{в}'$

$$T_{в}' \approx \frac{T_{в} + T_{пп}}{2}. \quad (3.6.4)$$

7. Общая температура воздействия ограждений и воздуха в микрозоне

$$T_{п} = m T_{орг} + (1 - m) T_{в}', \quad (3.6.5)$$

где  $m$  — коэффициент, зависящий от вида помещения и скорости потока воздуха в нем ( $m = 0,3$  для КРС;  $m = 0,4$  для свиней;  $m = 0,5$  для общественных зданий и сооружений).

8. «Ощущаемая» температура  $T_0$  — температура, которую ощущает животное при воздействии на него ИК-излучения и окружающей среды. Она нормируется зоотехническими нормами для вида и возраста животного

$$T_0 = T_{\text{ИК}} + T_{\text{п}}. \quad (3.6.6)$$

Подставив в последнее выражение значение  $T_{\text{ИК}}$ , получим

$$T_0 = k_1 k_2 E_{\text{ИК}} + T_{\text{п}}, \quad (3.6.7)$$

откуда необходимая ИК-облученность для обеспечения нормируемого значения «ощущаемой» температуры

$$E_{\text{ИК}} = \frac{T_0 - T_{\text{п}}}{k_1 0,04}. \quad (3.6.8)$$

Используя экспериментальные эпюры распределения облученности (где  $l$  — расстояние от проекции облучателя на облучаемую поверхность до расчетной точки поверхности), создаваемой облучателем на горизонтальной поверхности в зависимости от высоты подвеса (рисунок 3.6.7) или напряжения питания (рисунок 3.6.8), определяют либо требуемое напряжение при заданной высоте, либо требуемую высоту при заданном напряжении.

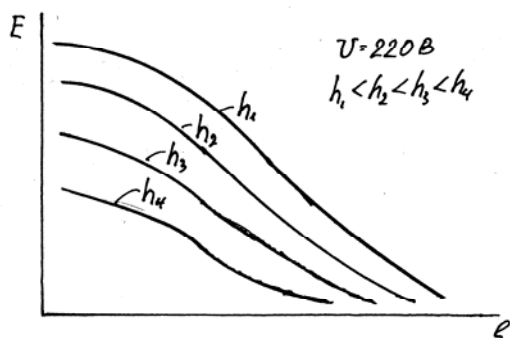


Рисунок 3.6.7 — Влияние высоты подвеса  $h$  лампы ИКЗК–220–250 на облученность горизонтальной поверхности при напряжении питания  $U = 220 \text{ В}$

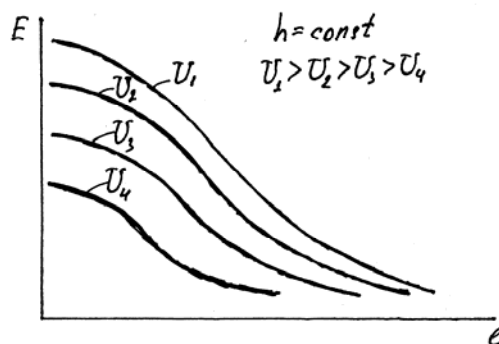


Рисунок 3.6.8 — Влияние напряжения питания  $U$  лампы ИКЗК–220–250 на облученность горизонтальной поверхности при высоте подвеса  $h = \text{const}$

Для этого строят по приведенным эпюрам зависимости:

1)  $E = f(h)$  при  $U = \text{const}$ , (рисунок 3.6.9); 2)  $E = f(U)$  при  $h = \text{const}$ , (рисунок 3.6.10). Из этих зависимостей находят либо  $h$ , либо  $U$  при расчетном значении  $E_{\text{ИК}}$ .



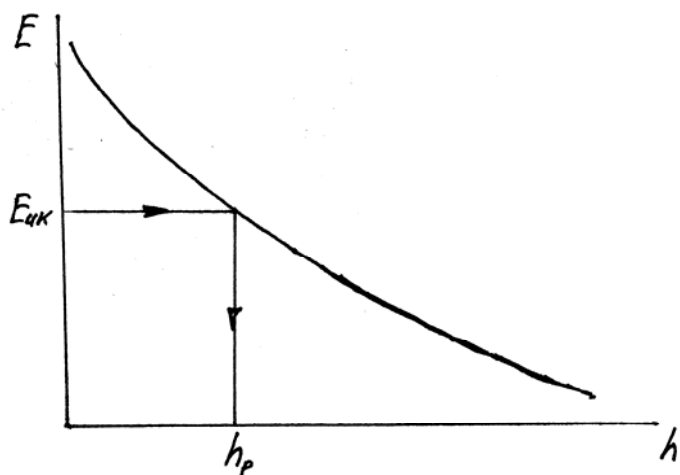


Рисунок 3.6.9 — К определению высоты подвеса облучателя

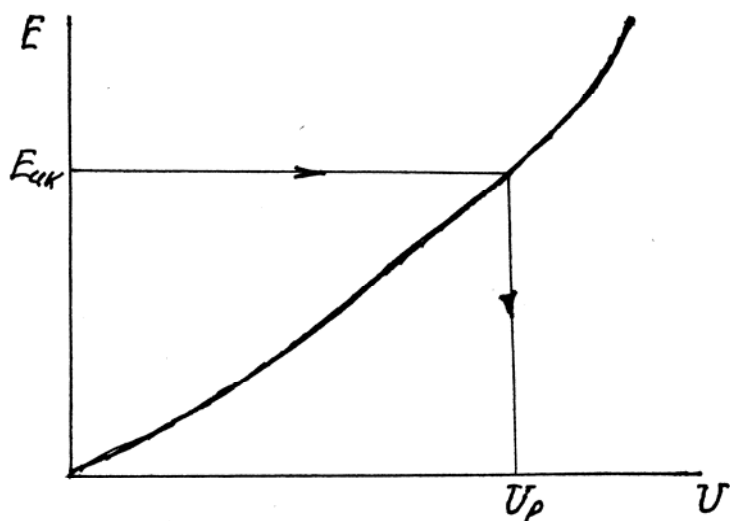


Рисунок 3.6.10 — К определению напряжения питания облучателя

Таким образом, порядок расчета установок ИК-обогрева следующий.

1. В зависимости от вида и возраста животных (птицы) определяют из зоотехнических норм значение ощущаемой температуры  $T_0$ , а также температуру обогреваемого пола  $T_{\text{пн}}$ .

2. Из норм технологического проектирования (НТП) для данного вида помещения определяют средневзвешенную температуру воздуха в помещении  $T_{\text{в}}$ .

3. Определяют средневзвешенную температуру воздуха в микроне

$$T_{\text{в}}' \approx \frac{T_{\text{в}} + T_{\text{пн}}}{2}.$$

4. Вычисляют площадь поверхности обогреваемого пола  $S = ab$  и площадь ограждений  $S_{\text{п}} = 2h(a + b) + ab$ , где  $a, b$  — длина и ширина обогреваемого пола.

5. Вычисляют среднюю радиационную температуру поверхностей ограждения

$$T_{\text{огр}} = \frac{T'_p S_{\text{огр}} + T_{\text{пп}} S_{\text{пп}}}{S_{\text{огр}} + S_{\text{пп}}},$$

где  $T'_p$  — средневзвешенная температура ограждений помещения ( $T'_p \approx T_{\text{в}}$ ).

6. Вычисляют температуру в зоне расположения животных (птицы)

$$T_{\text{п}} = mT_{\text{огр}} + (1 - m)T'_{\text{в}}.$$

7. Требуемая температура от ИК-излучения  $T_{\text{ИК}} = T_0 - T_{\text{п}}$ .

8. Требуемая ИК-облученность  $E_{\text{ИК}} = \frac{T_0 - T_{\text{п}}}{k_1 0,04}$ .

9. Пользуясь эякурами (рисунок 3.6.9 и рисунок 3.6.10) находят  $h$  при  $U = \text{const}$  или  $U$  при  $h = \text{const}$ .

### 3.6.3 Особенности автоматизации управления работой установок ИК-обогрева

Определение закона регулирования напряжения питания в функции температуры воздуха  $U(T_{\text{г}})$  с целью разработки автоматизированных устройств является важной задачей выбора режима работы установки ИК-обогрева. Для решения этого вопроса необходимо иметь следующие зависимости:

1)  $E(T_{\text{г}})$  и 2)  $E(U)$ .

Первая зависимость получается из закона Скунка:

$$E = \frac{T_0 - T_{\text{в}}}{0,04k_2}, \quad (3.6.9)$$

где  $T_0 = \text{const}$ , а  $T_{\text{в}} = T_{\text{ср}} \pm \Delta T$ ;

$k_2$  — коэффициент «восприятия» ИК-излучения организмом животного (зависит от шерстного покрова, влажности, окраски).

Вторую зависимость определяют чаще всего экспериментально для принятого типа облучателя и высоты подвеса его над животными  $h = \text{const}$  (рисунок 3.6.11)

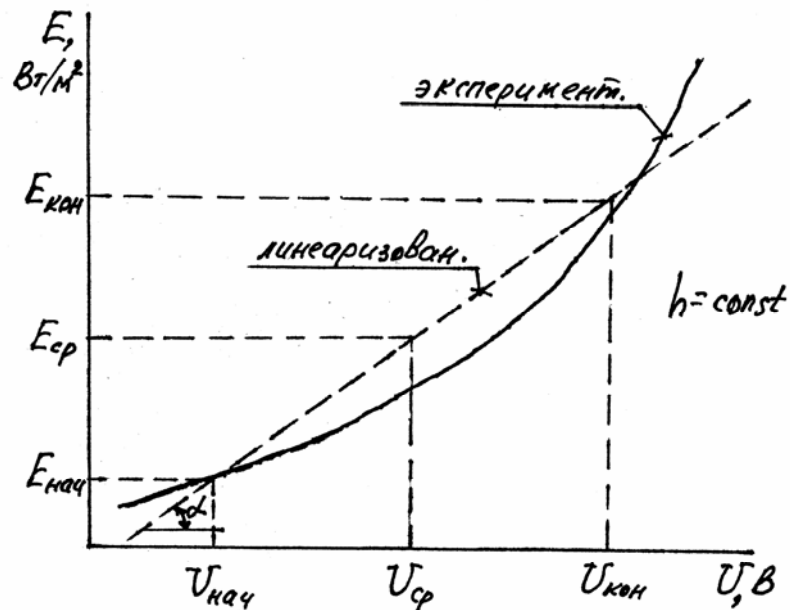


Рисунок 3.6.11 — Зависимость облученности под облучателем от напряжения питания

Для упрощения регулятора зависимость  $E(U)$  линеаризуют (методом наименьших квадратов).

Приняв для какого-то момента, что  $T_B = T_{cp}$ , тогда из выражения (3.6.9) определяют  $E_{cp}$ , по которой из рисунка 3.6.11 определяют  $U_{cp}$ . Для линеаризованной экспериментальной зависимости (см. рисунок 3.6.11) имеем

$$E = E_{cp} + a(U - U_{cp}). \quad (3.6.10)$$

Приравняв правые части (3.6.9) и (3.6.10), получим

$$E_{cp} + a(U - U_{cp}) = \frac{T_0 - T_{п}}{0,04k_2}, \quad (3.6.11)$$

где  $a$  — коэффициент, связывающий  $E$  и  $U$  ( $a = \arctg \alpha$ ),  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{В}^{-1}$ .

Из (3.6.11) получим закон регулирования напряжения питания в зависимости от температуры воздуха в помещении  $U(T_B)$ :

$$U = \frac{1}{a} \left( \frac{T_0 - T_{п}}{0,04k_2} - E_{cp} \right) + U_{cp}. \quad (3.6.12)$$

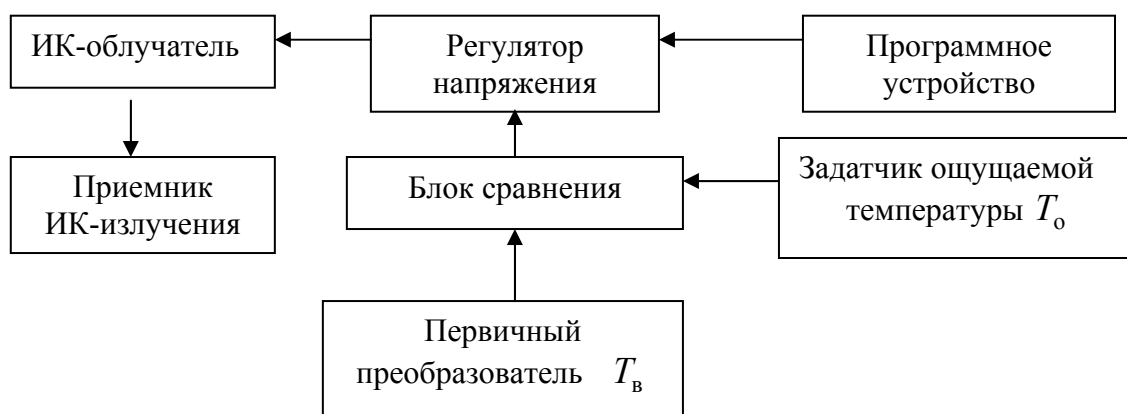
Имея закон регулирования (3.6.12), разрабатывают необходимый регулятор напряжения.

Проблемным вопросом является разработка автоматизированного устройства управления ИК-облучения животных и птицы. Устройство автоматизации должно решать следующую задачу: создание с помощью ИК-обогрева «комфортной» температуры в зоне нахождения животных, регулируемой в зависимости от их возраста и вида, а также температуры в помещении.

Устройство, решающее эту задачу, должно включать следующие элементы:

- источник ИК-излучения, обычно смонтированный в ИК-облучателе и воздействующий на организм животного;
- расположенный в зоне содержания животных приемник ИК-излучения, позволяющий измерять (оценивать) уровень ИК-облученности;
- расположенный в помещении содержания животных первичный преобразователь, оценивающий уровень температуры воздуха в помещении;
- устройство (датчик), позволяющее задавать необходимое значение ощущаемой температуры;
- блок сравнения, оценивающий соответствие заданному значению ощущаемой температуры ИК-облученности в зависимости от температуры воздуха в помещении;
- регулятор напряжения, изменяющий величину напряжения питания в зависимости от величины и знака сигнала, поступающего от блока сравнения;
- программное устройство, включающее регулятор напряжения в зависимости от зоотехнически обоснованного цикла режима кормления и содержания животных.

Принципиально, функционирование подобного устройства можно представить в виде следующей блок-схемы:



## **3.7 Облучательные установки ИК-сушки и разогрева продукции**

### *План*

- 3.7.1 Конструкции и характеристики установок ИК-сушки и разогрева продукции.
- 3.7.2 Особенности расчета установок ИК-сушки, разогрева, переработки продукции.

### **3.7.1 Конструкции и характеристики установок ИК-сушки и разогрева продукции**

Сушка продуктов ИК-излучением успешно конкурирует с контактным (основанным на теплопроводности) и конвекционным (с помощью потока воздуха) способами. В процессе теплового преобразования ОИ-энергия поглощенного фотона превращается в энергию колебательного движения молекул. ИК-излучение обладает хорошей проникающей способностью. Объемный характер поглощения ИК-излучения приводит к тому, что температура внутри материала может оказаться выше температуры его поверхности. Возникающий градиент температуры до 20–50 К/см, направленный изнутри материала, способствует интенсификации процесса удаления влаги. А при сушке лакокрасочных покрытий, кроме того, протекают сложные физико-химические процессы (полимеризация, поликонденсация), что способствует формированию пленки.

С целью сушки свежееубранного зерна, а также дезинсекции зараженного зерна может производиться также термическая обработка ИК-излучением. Установлено, что при облучении «светлыми» облучателями 50 с достаточно для уничтожения не только вредителей, которые окрашены в темно-коричневый цвет, но и их яиц, так как ИК-лучи поглощаются ими более интенсивно.

Хорошего технологического эффекта можно достичь при использовании ИК-излучения в других процессах: сушка листьев табака, чая, зерен кофе и какао (в кипящем слое); выпечка хлеба, кекса, печенья и др.; обработка материалов животного происхождения; ИК-копчение рыбы; сушка яблок и фруктов и др.

Для ИК-нагрева и сушки продуктов могут использоваться установки:  
а) камерного или б) конвейерного типа.

ИК-излучение можно использовать для пастеризации молока (рисунок 3.7.1). Наибольшее поглощение ИК-излучения молоком приходится на длину волны  $\lambda = 2,9\text{--}3,2$  мкм. Источник ИК-излучения — спираль нихромового провода. Нихромовый провод диаметром 1 мм, при концентрации  $K = 5$ . Удельная мощность  $P = 4,5\text{--}5,5$  Вт/см<sup>2</sup> (плотность облучения  $3,3\text{--}3,8$  Вт/см<sup>2</sup>). Температура пастеризации  $82\text{--}85$  °С без выдержки. Температура предварительного подогрева молока —  $70$  °С.

ИК-техника применяется также в ремонтном производстве в основном для сушки лакокрасочных покрытий (рисунок 3.7.2). Лаки содержат растворитель и наносятся тонким слоем. Так как ИК-излучение обладает достаточной глубиной проникновения, то использование ИК-лучей для сушки лаков целесообразно.

При этом резко сокращаются время сушки, повышается качество лаковой пленки. «Светлое» ИК-излучение благодаря большой проникающей способности, способствует сушке лака изнутри.

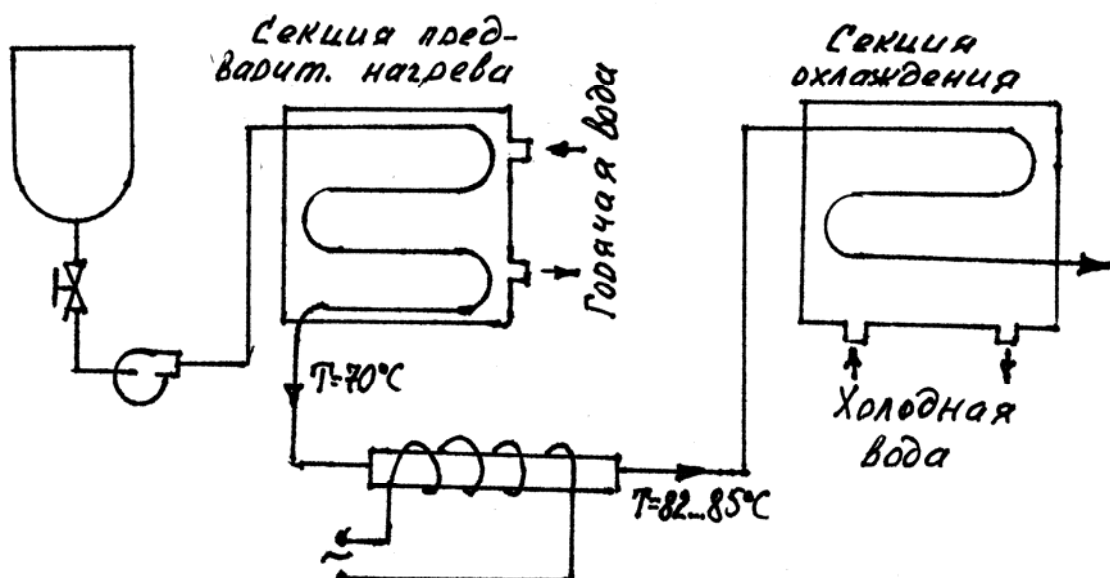


Рисунок 3.7.1 — Схема ИК-пастеризации молока

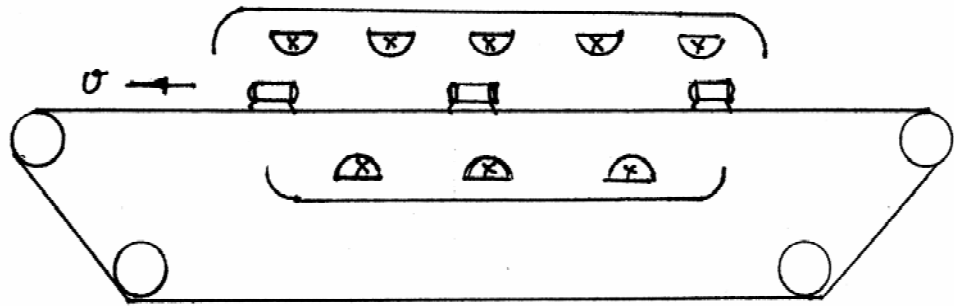


Рисунок 3.7.2 — Схема ИК-сушки лакокрасочных покрытий

### 3.7.2 Особенности расчета установок ИК-сушки, разогрева, переработки продукции

#### *Расчет установок ИК-нагрева*

В соответствии с законом сохранения энергии можно записать:

$$Q_0 = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{исп}}, \quad (3.7.1)$$

где  $Q_0$  — энергия, подведенная к образцу от ИК-излучателя;

$Q_{\text{нагр}}$  — энергия, расходуемая на нагрев образца;

$Q_{\text{пот}}$  — энергия, теряемая образцом конвекцией, теплопередачей и излучением;

$Q_{\text{исп}}$  — энергия испарения влаги или растворителя.

При нагреве деталей, третьем слагаемым в правой части (3.7.1) пренебрегаем, тогда можно записать

$$\alpha ESd\tau = mcdT + \alpha_m (T_k - T_{o.c}) S_0 dt, \quad (3.7.2)$$

где  $\alpha$  — коэффициент поглощения ИК-лучей;

$E$  — облученность, создаваемая ИК-облучателем на поверхности детали;

$d\tau$  — время облучения;

$m, c$  — масса и теплоемкость детали;

$dT$  — приращение температуры,  $dT = (T_k - T_n)$ ;

$\alpha_m$  — коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением;

$S_0$  — теплоотдающая поверхность.

Тогда необходимая ИК-облученность

$$E = \frac{mc(T_k - T_n)}{\alpha St} + \frac{\alpha_m(T_k - T_{o.c.})S_0}{\alpha S}. \quad (3.7.3)$$

Требуемый ИК-поток  $\Phi = ES$ , т. е.

$$\Phi = \frac{mc(T_k - T_n)}{\alpha t} + \frac{\alpha_m(T_k - T_{o.c.})S_0}{\alpha}. \quad (3.7.4)$$

Число ламп в установке

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{л}}, \quad (3.7.5)$$

где  $\Phi_{л}$  — поток одной лампы.

*Расчет установок ИК-сушки*

При этом режиме преобладающими затратами энергии будут затраты на испарение растворителя. Расчетное уравнение в этом случае будет:

$$\alpha ESdt = (\sum c_i m_i dT + q'_p m_p) / \eta, \quad (3.7.6)$$

где  $c_i, m_i$  — удельная теплоемкость и масса компонента высушиваемой смеси;

$q'_p, m_p$  — удельная теплота испарения растворителя и его масса;

$\eta$  — КПД нагревательной части установки ( $\eta = 0,80-0,95$ ).

Тогда

$$E = \frac{\sum c_i m_i (T_{кон} - T_{нач}) + q'_p m_p}{\alpha St \eta},$$

или требуемый поток

$$\Phi = \frac{\sum c_i m_i (T_{кон} - T_{нач}) + q'_p m_p}{\alpha t \eta}. \quad (3.7.8)$$

Число ламп

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{л}}. \quad (3.7.9)$$



### 3.8 Комбинированные облучательные установки

#### План

3.8.1 Установки для ИК и УФ-облучения, конструкции, характеристики, особенности расчета.

3.8.2 Установки для освещения и УФ-облучения, конструкции, характеристики, особенности расчета.

#### 3.8.1 Установки для ИК и УФ-облучения, конструкции, характеристики, особенности расчета

Совместное использование ИК и УФ-излучения увеличивает эффективность в 1,8–2,0 раза. Промышленностью выпускаются *автоматизированные облучательные установки* для одновременного ИК-обогрева и УФ-облучения молодняка сельскохозяйственных животных и птицы ИКУФ–1, ИКУФ–1М, «Луч», «Сож» (рисунок 3.8.1), «ЭРИКО–1». Эти установки комплектуются 20, 40, 60 облучателями и 1 шкафом управления. Шкаф управления содержит аппаратуру защиты и управления облучателями по заданной программе. Время включения в течение суток и продолжительность работы ИК и УФ-ламп задается с помощью реле времени 2РВМ. Программу на реле устанавливают в соответствии с зоотехническими требованиями.

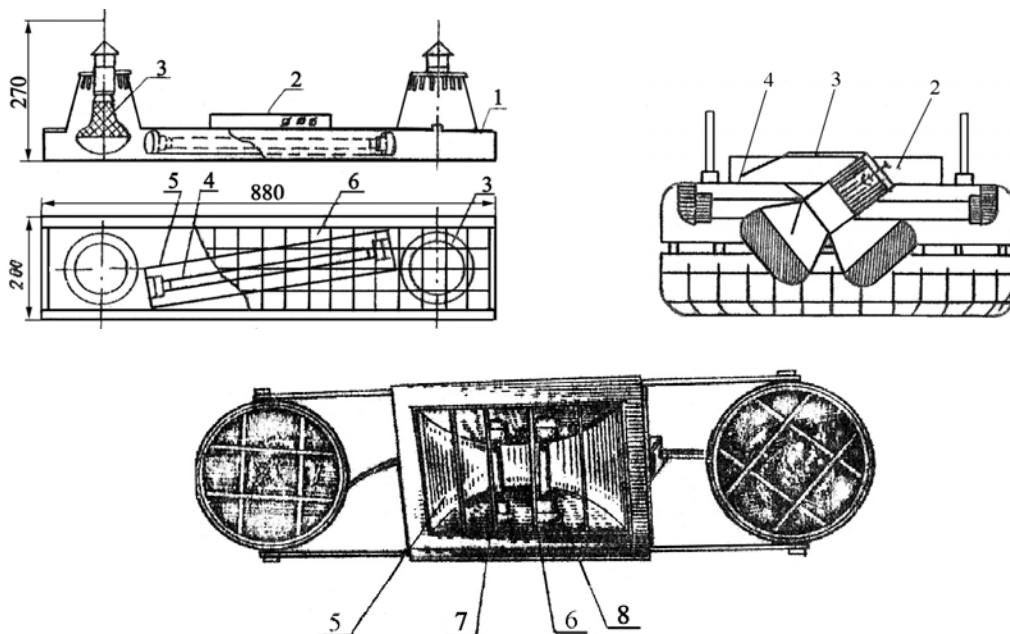


Рисунок 3.8.1 — Облучатели установок ИКУФ–1 (а), «Луч» (б), «Сож» (в):  
1 — корпус; 2 — коробка с ПРА; 3 — лампа ИКЗК 220–250; 4 — лампа ЛЭ–15;  
5 — отражатель; 6 — защитная сетка; 7 — лампа ДРТ–100; 8 — лампа ДРТ2–100

Каждый из облучателей установки содержит две ИК-лампы ИКЗК-220-250 и одну витальную (эритемную) лампу ЛЭ-15-2 (или витально-осветительную лампу ЛЭО-15) с пускорегулирующим устройством. Облучатель ИКУФ-1 имеет также переключатели, позволяющие изменять режим работы ламп. Облучатель «Луч» позволяет изменять угол установки ИК-ламп к вертикали для получения требуемого перераспределения ИК-облученности.

Принципиальная электрическая схема установок ИКУФ и «Луч» приведена на рисунке 3.8.2.

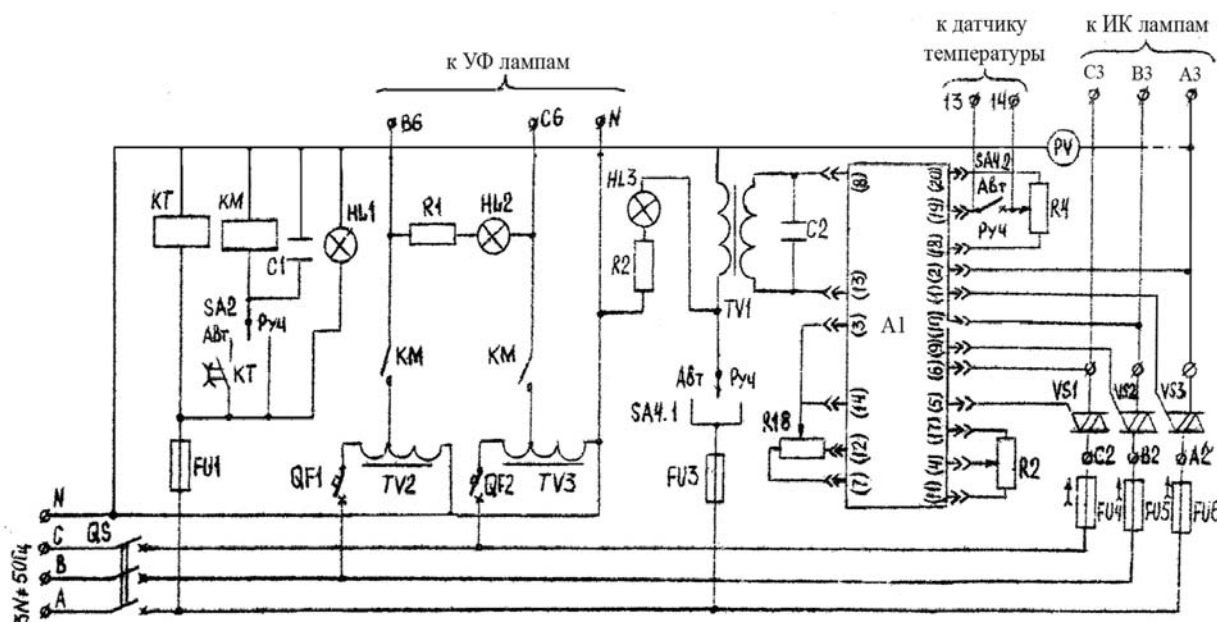


Рисунок 3.8.2 — Принципиальная электрическая схема установок ИКУФ-1 и «Луч»

Особенностью расчета комбинированных облучательных установок типа ИКУФ, «Луч» является то, что в начале производят расчет ИК-облучения, а затем — УФ-облучения. Порядок расчета в этом случае следующий.

1. Из зоотехнических требований определяют ощущаемую температуру  $T_0$ .
2. Исходя из рассмотренной ранее методики определяют требуемую ИК-облученность.

Требуемую ИК-облученность можно также определить по эмпирической формуле:

$$E_{ик} = (E_0 - St) \left( 1 - \frac{D}{L} \right), \quad (3.8.1)$$

где  $t$  — температура содержания животных, °С ;

$E_0$  — оптимальная облученность для новорожденного, находящегося при температуре  $t$ , °С, (таблица 3.8.1).

Таблица 3.8.1 — Оптимальная облученность для новорожденного молодняка сельскохозяйственных животных и птицы

$E_0, \text{Вт/м}^2$	Вид животных					
	цыплята	поросята	телята	ягнята	индюшата	гусьята и утята
	825	700	500	3380	900	710

$S = 25 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$  (для ягнят  $S = 13 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ ) — температурный градиент облученности;

$D$  — возраст животного, дней;

$L$  — число дней полной температурной адаптации животного (в среднем  $L = 100$  дней).

3. Исходя из основного уравнения светотехники, определяют расчетную высоту облучателя над спиной животного

$$h_p = \sqrt{\frac{I_{\alpha_0} \eta_l P_l}{1000 E_{\text{ИКЗК}} z}}, \quad (3.8.2)$$

где  $I_{\alpha_0}$  — сила излучения лампы в направлении  $\alpha = 0$  (для ИКЗК  $I_{\alpha_0} = 155 \text{ Вт/ср}$ );

$P_l$  — мощность лампы, Вт;

$\eta_l$  — лучистый КПД лампы ( $\eta_l = 0,7-0,85$ );

$z$  — коэффициент неравномерности облучения ( $z = 1,4-1,6$  для кривой силы излучения косинусного  $D$  и глубокого  $\Gamma$  светораспределения;  $z = 1,0$  для широкого  $Ш$  распределения).

4. Определяют витальную облученность на горизонтальной поверхности при заданной высоте  $h_p$ .

$$E_{\text{вит}} = \frac{\Phi_{\text{вит}} \cos^2 \alpha \eta}{\pi^2 h_p^2}, \quad (3.8.3)$$

где  $\alpha$  — угол;

$\eta$  — коэффициент использования (для  $D$  — косинусная  $\eta = 0,7$ ).

5. Для заданной дозы облучения определяют время облучения

$$\tau = \frac{H_{\Sigma}}{E_{\text{вит}}}.$$

Установка СОЖ–1 имеет облучатель с двумя лампами ИКЗК–220–250, которые одновременно служат балластом для двух ламп ДРТ–100. Причем одна лампа ДРТ–100 бактерицидного действия (обеззараживание воздуха и места содержания животного), а вторая — ДРТ2–100 — витального действия. Лампы ИКЗК могут отклоняться от вертикали на угол до 30°.

Комбинированная установка ЭРИКО–1 включает 125 ИК-облучателей, 70 витально–осветительных облучателей с лампами ЛЭ–30–1 и ЛБ–30, 10 светильников дежурного освещения и шкафа управления.

Комбинированная облучательная установка для дезинсекции воздуха птицеводческих помещений (КСО–3) имеет облучатели (60–100 штук), шкаф управления. В облучателях установлены лампы ДБ–30, ЛЭ–30, ЛБ–30.

### 3.8.2 Установки для освещения и УФ-облучения, конструкции, характеристики, особенности расчета

Для одновременного УФ облучения и освещения промышленностью выпускают стационарный облучатель ОЭСПО2–2×40. Облучатель состоит из осветительной люминесцентной лампы ЛБР–40 и УФ витальной лампы ЛЭР–40 мощностью по 40 Вт и ПРА. Питаются лампы отдельно. Принципиальная электрическая схема следующая:

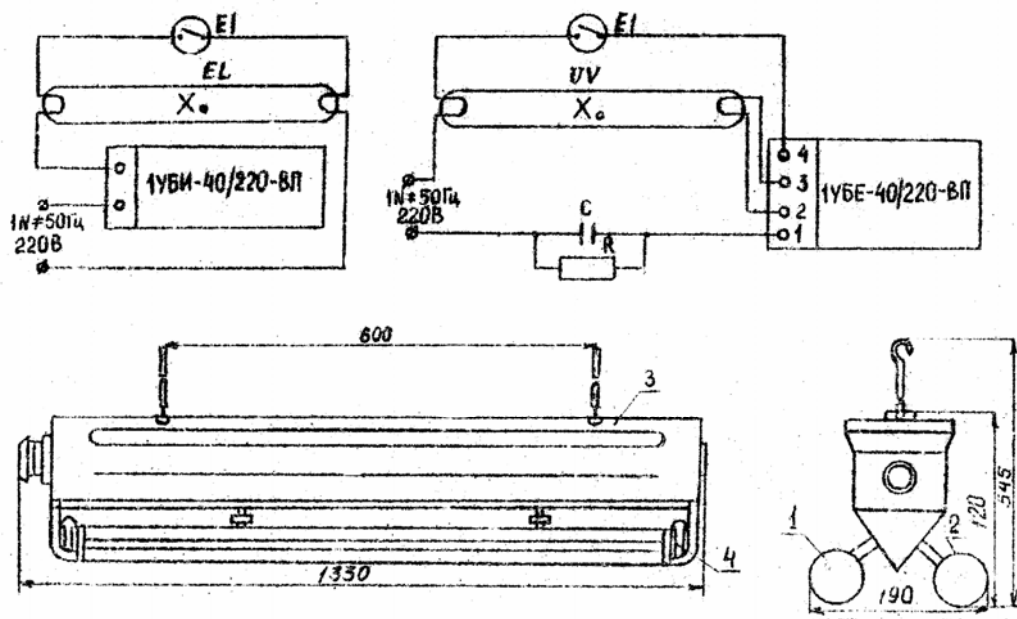


Рисунок 3.8.3 — Принципиальная электрическая схема и общий вид облучателя ОЭСП 02–2×40: 1 — лампа ЛБР–40; 2 — лампа ЛЭР–40; 3 — корпус; 4 — ламподержатель

Совместное действие УФ и видимого излучения превосходит их раздельное воздействие.

Это можно осуществить следующим образом:

- 1) отдельная облучательная и осветительная установка (на базе люминесцентных ламп);
- 2) осветительно-облучательная установка (ОЭСПО2) — снижение металлоемкости;
- 3) использование специальных витально-осветительных ламп (ЛЭО–15, ДРВЭД–220–160).

Лампа ЛЭО–15 имеет невысокую надежность зажигания и работы при пониженной температуре, высокой влажности и агрессивной среде.

Лампа ДРВЭД лишена этих недостатков, но имеет малый срок службы.

Особенность расчета комбинированного УФ-облучения и освещения является то, что в начале рассчитывают освещение (с учетом светового потока витальной лампы), а затем рассчитывают УФ-облучение (для обеспечения требуемой экспозиции облучения).

Порядок расчета следующий:

- 1) производят размещение светильников-облучателей.

При этом:

- а) определяют расчетную высоту подвеса облучателей  $H_p$ ;
- б) в зависимости от формы КСС облучателя находят  $\lambda_c$ ;
- в) вычисляют расстояние между рядами облучателей

$$L_B = \lambda_c H_p; \quad (3.8.4)$$

- г) вычисляют требуемое число рядов облучателей

$$N_2 = \frac{B - 2l_b}{L_A} + 1, \quad (3.8.5)$$

где  $l_b > 0,3L_B$ .

2) Нанеся на план помещения ряды облучателей и приняв контрольную точку как показано на рисунке 3.8.4, вычисляют условную освещенность в контрольной точке по методике точечного расчета осветительной установки, для чего светящиеся ряды разбивают на полуряды так, чтобы контрольная точка находилась против конца светящегося ряда, и определяют расстояние

$P_j$  и  $L_{ij}$ . Пользуясь кривыми линейных изолюкс, вычисляют  $\Sigma e$  — сумму условных освещенностей от светящихся полурядов в контрольной точке.

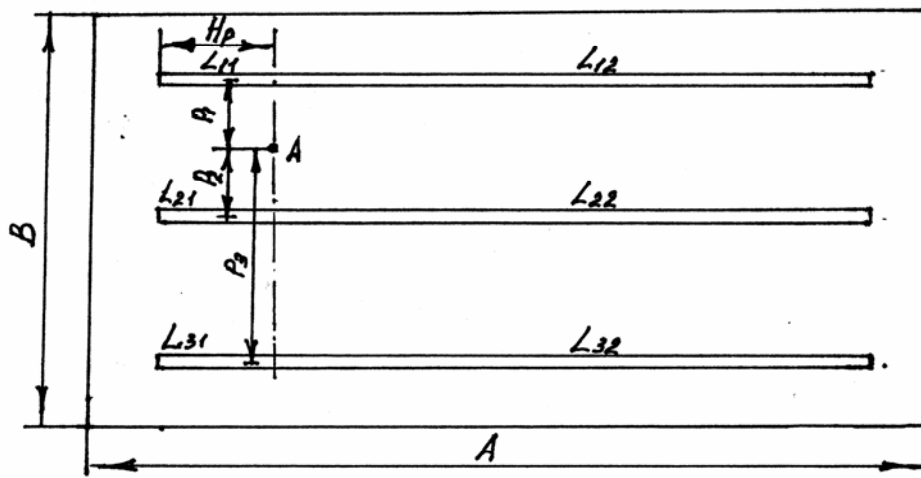


Рисунок 3.8.4 — К определению освещенности в контрольной точке

При этом:

- а) вычисляют линейную плотность светового потока светильников-облучателей в помещении

$$\Phi'_p = \frac{1000 E_{\text{норм}} K_3 H_p}{\mu \Sigma e}, \quad (3.8.6)$$

где  $\mu$  — коэффициент добавочной освещенности за счет отражения стен и потолка ( $\mu = 1,1-1,2$ );

- б) рассчитывают количество светильников-облучателей в ряду

$$N_1 = \frac{\Phi'_p L_p}{n_c \Phi_c + n_b \Phi_{c3}}, \quad (3.8.7)$$

где  $L_p$  — длина светящегося ряда

$$L_p = (A - 2l_B), \quad (3.8.8)$$

$n_c$  — число осветительных газоразрядных ламп в облучателе, шт.;

$\Phi_c$  — световой поток осветительной газоразрядной лампы;

$n_b$  — число витальных газоразрядных ламп в облучателе, шт.;

$\Phi_{c3}$  — световой поток витальной газоразрядной лампы;

в) определяют действительное расстояние между светильниками-облучателями в ряду

$$l_p = \frac{A - N_1 l_c - 2l_A}{N_1 - 1}; \quad (3.8.9)$$

г) проверяют это расстояние по формуле:

$$0 \leq l_p \leq 1,5 L_B. \quad (3.8.10)$$

3. Из зоотехнических требований определяют экспозицию УФ-облучения  $H_\Sigma$  в зависимости от вида и возраста животных.

4. Намечают контрольную точку с максимальной УФ-облученностью.
5. Вычисляют сумму УФ-облученности от «ближайших» облучателей

$$\sum E_B = \sum_{i=1}^{N_\Sigma} \frac{I_{\alpha_i} \cos^3 \alpha_i K_\phi \Phi_B n_B}{1000 H_p^2 K_3}, \quad (3.8.11)$$

где  $K_\phi$  — коэффициент формы животного ( $K_\phi = 0,64$  — цилиндр;  $K_\phi = 0,5$  — сфера);

$\Phi_B$  — витальный поток лампы в облучателе;

$n_B$  — количество витальных ламп в облучателе;

$\alpha_i = \arctg \frac{d_i}{H_p}$  — зональный угол;

$I_{\alpha_i}$  — сила излучения, определяемая из кривой силы света;

$K_3$  — коэффициент запаса ( $K_3 = 1,5-1,7$ ).

6. Вычисляют время работы УФ-облучения:

$$\tau = \frac{H_\Sigma}{\sum E_B}, \quad (3.8.12)$$

где  $H_\Sigma$  — экспозиция УФ-облучения.

### 3.9 Облучательные установки видимого излучения

#### План

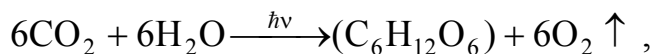
- 3.9.1 Представление о фотосинтезе и требования, предъявляемые к тепличным облучательным установкам.
- 3.9.2 Установки для облучения растений, конструкции и основные характеристики.
- 3.9.3 Расчет установок облучения растений с точечными и линейными излучателями.

#### 3.9.1 Представление о фотосинтезе и требования, предъявляемые к тепличным облучательным установкам

Одной из важнейших проблем человечества в обозримом будущем является генерирование в искусственных условиях пищевой продукции. Это прежде всего дальнейший рост теплиц (промышленных и селекционных), овощных и цветочных фабрик. А это в свою очередь требует разработки норм облучения растений и светотехнических установок минимальной металлоемкости, а также энергоемкости.

Одна из основных функций, которую должны выполнять светотехнические установки при селекции агрокультур, это прежде всего обеспечение максимального выхода полезной биомассы.

Оптическое излучение улавливается всеми фотосинтетическими пигментами, однако наиболее эффективно хлорофиллами *a* и *b*. Суммарная биохимическая реакция сводится к



где  $h\nu$  — энергия поглощенного кванта, с частотой  $\nu$ ;

$h$  — постоянная Планка.

Оптическое излучение, поглощаемое листьями растений расходуется на:

- теплоотдачу и транспирацию (90–96 %);
- фотосинтез (1–5 %);
- нагрев воды в тканях листа, флуоресценцию, ростовые процессы и прочее.

Фотосинтез — важнейший физиологический процесс, при котором растение из неорганических веществ (углекислоты и воды) создает различные органические соединения (углеводы, белки, жиры), используемые людьми и жи-



вотными. Следует отметить, что фотосинтез — сложная многоступенчатая реакция, которая протекает главным образом при наличии видимого излучения.

Спектр излучения, необходимого для развития растений, занимает область  $\Delta\lambda = 300\text{--}750$  нм. Наибольшим фотосинтетическим эффектом обладает спектр  $\Delta\lambda = 400\text{--}700$  нм — эту область спектра называют областью ФАР — фотосинтетической активной радиации. Установлено, что излучение с длинами волн  $\lambda = 200\text{--}280$  нм — губительно для растений;

280–315 нм — вредно для большинства растений;

315–400 нм — дает формативный эффект (эффект формы);

400–700 нм — область ФАР;

700–1000 нм — создает эффект вытягивания стебля;

более 1000 нм — тепловое воздействие.

Экспериментально установлено, что выход полезной биомассы  $M$  (кг) при оптимальном агрофоне в функции длины волны  $\lambda$ , можно представить в виде:

$$M = M_0 0,04e^{c\lambda}, \quad (3.9.1)$$

где  $M_0$  — максимальная продуктивность при  $\lambda = 0,68$  мкм;

$$c = 4,73 \frac{1}{\text{мкм}};$$

$\lambda$  — длина волны в диапазоне  $\Delta\lambda = 0,34\text{--}0,68$  мкм.

Помимо фотосинтеза для растений, выращиваемых методом светокультуры, важное значение имеют процессы *фотоморфогенеза* — изменение размеров и формы под влиянием излучения разного качества и разной интенсивности. Материальной основой, с помощью которой осуществляется формативное действие, служат пигменты. Один из них — *фитохром*. Фитохром поглощает красное ( $\lambda = 660$  нм) и дальнее красное ( $\lambda = 730$  нм) излучение и регулирует прорастание семян, растяжение стеблей, образование листьев и пигментов, формирование корневой системы. Сильным формативным действием обладает и синее излучение ( $\lambda = 450$  нм).

Формативное действие ОИ проявляется также в виде *фототропизма*, т. е. неравномерного роста вследствие одностороннего облучения; *фототаксиса* — движения в сторону источника или от него; *фотопериодизма* — отдельные сорта томатов или огурцов неодинаково реагируют на разное соотношение светлого и темного периода суток.

Обеспечение светокультуры при выращивании растений позволяет:

- 1) увеличить урожай:
  - огурцов на 20–40 %;
  - томатов на 15–20 %;
  - салата на 50–70 %;
- 2) получить первые плоды томатов в апреле, а огурцов — в феврале-марте при посадке в декабре-январе.

Надлежащая светокультура растений может быть обеспечена соответствующими светотехническими установками, к которым предъявляются следующие требования:

- 1) спектр излучения ламп должен соответствовать спектру, при котором протекает фотосинтез и не содержать угнетающих излучений;
- 2) облученность, создаваемая на поверхности растений должна быть равномерной и достаточной для развития растений;
- 3) установка не должна перегревать растения;
- 4) конструкция установки должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к электроустановкам, работающим в помещениях с особой опасностью поражения обслуживающего персонала электрическим током, а также не затенять растения;
- 5) установка должна быть экономически рентабельной.

Основными направлениями исследований в области светотехнических установок для светокультуры растений в селекционных центрах должны быть:

- прямое или косвенное нормирование светотехнических установок;
- разработка рекомендаций и норм облучения растений;
- разработка унифицированных серий светотехнических установок (компактных и протяженных) с высокоинтенсивными источниками ОИ;
- разработка научных основ эксплуатации светотехнического оборудования.

### **3.9.2 Установки для облучения растений, конструкции и основные характеристики**

Необходимый уровень облученности для светокультуры растений, если его выразить в единицах световой системы величин, должен составлять 6–8 клк. Такой высокий уровень облученности не обеспечивается существующими осветительными установками, поэтому как сами осветительные установ-

ки, так и сложившиеся методы их расчета и конструирования непригодны для проектирования тепличных облучательных установок.

Существующие в настоящее время конструкции облучательных установок разнообразны по конструктивному исполнению и типу источников излучения (рисунок 3.9.1).

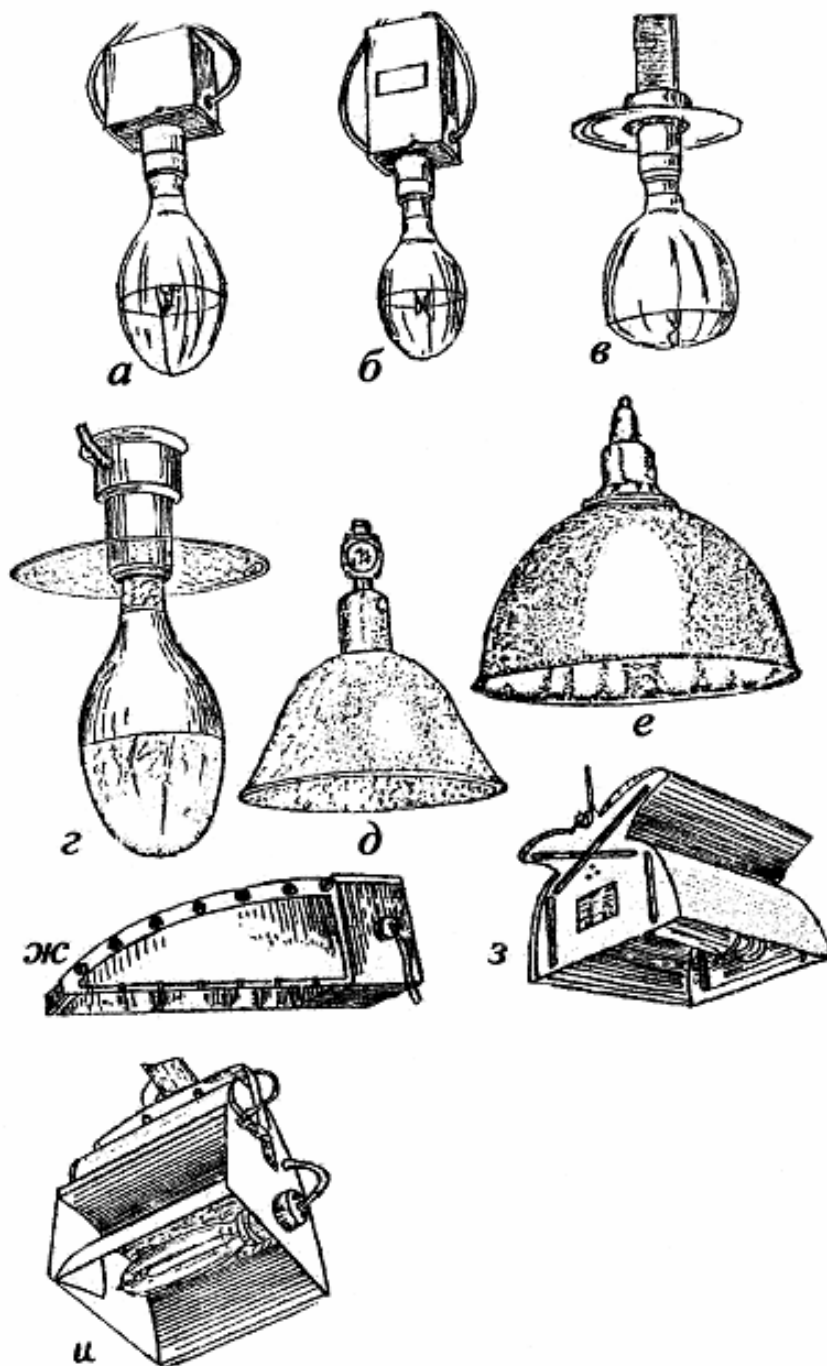


Рисунок 3.9.1 — Конструкции тепличных облучательных установок:

*а* — ОТ-400-МИ; *б* — ОТ-400-МЕ; *в* — ОТ-1000-МЕ; *г* — ОСП 03-750-001; *д* — ГСП26-400-001(ГСП26-1000-001); *е* — РСП15-2000-01; *ж* — облучающая арматура 020П «Светотрон» одностороннего действия; *з* — ОГС 01 «Фотос-4»; *и* — ЖСП18-400

По конструктивным признакам облучательные установки бывают:  
1) стационарные; 2) передвижные; 3) подвижные.

*Стационарные* облучательные установки, как правило, имеют преимущества: 1) большую единичную мощность источника; 2) меньшие затраты на обслуживание; недостатки: 1) большая установленная мощность; 2) большие единовременные капитальные затраты.

*Передвижные* облучательные установки имеют преимущество, заключающееся в том, что у них более чем в 2 раза меньшая установленная мощность; недостатком подобных установок является более сложная конструкция.

*Подвижные* облучательные установки обладают следующим преимуществом — улучшение условий облучения растений за счет более равномерного распределения облученности на поверхности.

*Область применения* облучателей:

а) с газоразрядными лампами высокого давления (ГЛВД):

- 1) при больших удельных мощностях и площадях облучения;
- 2) облучение с целью получения большей массы;

б) с люминесцентными лампами:

- 1) при малых удельных мощностях и площадях облучения;
- 2) выгонка рассады.

*Преимущества* облучателей с ГЛВД:

- 1) компактность (не затеняют естественный свет);
- 2) большая единичная мощность (и как следствие: большая удельная мощность, большая световая отдача);
- 3) меньшие капитальные и эксплуатационные расходы по сравнению с газоразрядными лампами низкого давления.

*Недостатки* облучателей с ГЛВД:

- 1) при повреждении колбы — УФ-излучение (гибель, угнетение растений);
- 2) большое тепловое излучение (необходимость увеличивать высоту подвеса).

*Преимущества* облучателей с люминесцентными лампами:

- 1) низкая температура колбы (малая высота подвеса и облучатель может размещаться внутри кроны растений).

*Недостатки* облучателей с газоразрядными лампами низкого давления:

- 1) большие габариты (затенение), металло- и материалоемкость;
- 2) малая удельная мощность;
- 3) высокие эксплуатационные расходы.

Таблица 3.9.1 — Типы и параметры тепличных облучателей

Тип	Мощность, Вт	Тип лампы
ОТ400	400	ДРЛФ–400
ССПО–750–01	750	ДРВ–750
ОТ1000	1000	ДРФ–1000
О2ДП2000	2000	ДРИ–2000
СОРТ1–10000	10000	ДК <sub>с</sub> ТЛ–10000
ОГС01 «Фотос»	1000	ДРИ–1000
	2000	ДРИ–2000
	3500	ДРИ–3500
ПОУ–2 (светотрон)	24000 (72000)	ДРИ–2000

Эффективность тепличных облучателей можно оценить на следующем примере — облучение рассады растений на один тепличный модуль площади  $S = 230 \text{ м}^2$  при облученности в области ФАР  $E \approx 20 \text{ Вт/м}^2$ . (В средних широтах необходима  $E = 25\text{--}60 \text{ Вт/м}^2$  для выращивания рассады овощных культур, и  $E = 15\text{--}30 \text{ Вт/м}^2$  для выращивания цветочных растений).

Сравнительная оценка эффективности тепличных облучательных установок приведена в таблице 3.9.2.

Таблица 3.9.2 — Оценка эффективности тепличных облучателей

Тип облучателя	Нормируемая уд. мощн., Вт/м <sup>2</sup>	Количество облучателей, шт.	Высота подвеса, м	Тип лампы	Коэф. использования светового потока, %	Расход эл. энергии за период 500 часов, кВт·ч
ОТ–400	220	125	1–1,2	ДРЛФ–400	55	$25 \times 10^3$
РСП–15	114	14	1,8–2,0	ДРЛ–2000	63	$14 \times 10^3$
СОРТ1–10000	300	7	3,0–3,5	ДК <sub>с</sub> ТЛ–10000	60	$35 \times 10^3$
ОГС01–1000	80	18	2,0–2,2	ДРИ–1000	60–80	$9 \times 10^3$
ПОУ–1 («Светотрон»)	70	8 ламп	3,5	ДРИ–2000	70–80	$8 \times 10^3$

### 3.9.3 Расчет установок облучения растений с точечными и линейными излучателями

*Основные положения расчета тепличных облучательных установок с круглосимметричными излучателями*

Облучатели с круглосимметричными излучателями при расчете тепличных установок принимают за точечные. Для таких облучателей расчет предусматривает:

- 1) определение высоты подвеса;
- 2) определение расстояния между облучателями.

Расчет можно производить для горизонтальной облученности или для сферической облученности.

Горизонтальную облученность можно определить по формуле:

$$E_{\text{ф.г.}} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha K_{\phi}}{H^2}; \quad E_{\text{ф.г.}} = \frac{I_{\alpha} \cos \alpha K_{\phi}}{l^2}, \quad (3.9.2)$$

где  $K_{\phi}$  — переводной коэффициент  $[\frac{\text{фг}}{\text{лм}}]$ .

Сферическая облученность

$$E_{\text{ф.сф}} = \frac{I_{\alpha} 0,25 K_{\phi}}{l^2}. \quad (3.9.3)$$

**Порядок расчета.**

1) определяют необходимую высоту подвеса облучателей исходя из значения наименьшей высоты

$$H = \sqrt{\frac{I_0 K_{\phi}}{E_{\text{max}}}}; \quad (3.9.4)$$

2) задаются коэффициентом минимальной облученности  $z$  (обычно  $z \geq 0,8$ ):

$$z = \frac{E_{\text{фmin}}}{E_{\text{фmax}}}; \quad (3.9.5)$$

3) пользуясь кривой пространственного распределения потока излучения для принятого типа облучателя, строят кривую распределения создаваемой им облученности, как функции расстояния  $r$ . Угол  $\alpha$  находят по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{r}{H}. \quad (3.9.6)$$

Вычисляют по формуле (3.9.2) облученность и строят зависимость  $E = f(r)$  (рисунок 3.9.2);

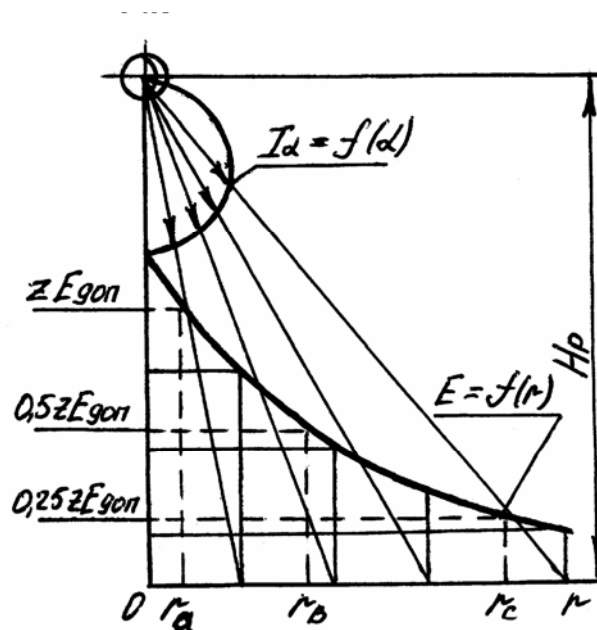


Рисунок 3.9.2 — Зависимость облученности в точке от расстояния между осью симметрии облучателя и рассматриваемой точкой

4) располагают на плане стеллажа (рисунок 3.9.3) облучатели и находят характерные точки  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , чтобы обеспечить в этих точках выполнение условия

$$E_\phi \geq E_{\max} z. \quad (3.9.7)$$

Для отыскания расстояния  $l$  определяют облученность в точке  $A$ :  $E_A \approx zE_{\max}$  и по кривой  $E = f(r)$  (см. рисунок 3.9.2) находят расстояние  $r_A = l$ . Расстояние  $r_B$  определяют так, чтобы обеспечить в точке  $B$  облученность от двух источников такой, чтобы выполнялось условие  $E_B \geq E_{\max} z$ . Для чего по кривой рисунка 3.9.2 находят расстояние  $r_B$ , при котором  $E_B = 0,5zE_{\max}$ . Аналогично находят расстояние  $r_C$  для точки  $C$ , где облучен-

ность суммируется от четырех источников,  $E_C = 0,25zE_{\max}$ . Определяют расстояние между облучателями

$$L_A = 2\sqrt{r_B^2 - r_A^2} ; \quad L_B = 2\sqrt{r_C^2 - r_B^2 + r_A^2} . \quad (3.9.8)$$

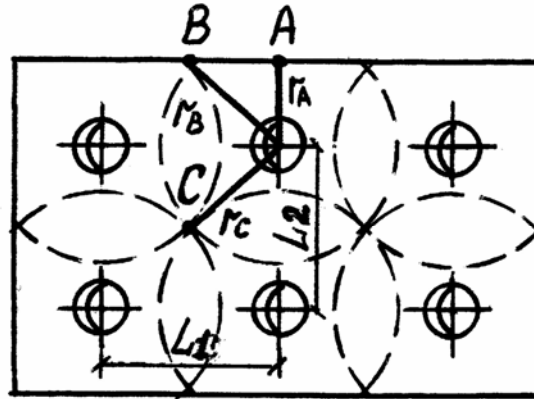


Рисунок 3.9.3 — План размещения облучателей над стеллажом

В качестве необходимого расстояния  $L$  между облучателями принимают наименьшее расстояние.

Далее определяют  $N_1, N_2, N_{\Sigma}$ .

#### *Расчет облучательных установок с линейными источниками излучения*

Люминесцентные лампы (л.л.) нашли применение как в стационарных так и в передвижных облучательных установках.

В стационарных облучательных установках л.л. собирают в специальные рамки-кассеты, а в передвижных (облучательные установки ОТ-5-40) пять л.л. собраны в специальной передвижной рамке. В качестве балласта для л.л. используются лампы накаливания на напряжение 127 В, что является дополнительным источником излучения области ФАР. От специального привода рамка может перемещаться вдоль стеллажа, а также можно регулировать высоту подвеса рамки.

При проектировании стационарных облучательных установок задачей их расчета является определение необходимой высоты подвеса  $H$  и числа л.л. в рамке-кассете на единицу длины рамки (рисунок 3.9.4).



Расчет ведут на основе формулы облученности под блоком л.л.:

$$E_{\Phi} = \frac{\Phi_{\text{л}}(n-1)K_{\Phi}\eta_{\text{бл}}}{L K_3}, \quad (3.9.9)$$

где  $(n-1)\eta_{\text{бл}} = e_{\Phi}$  — относительная облученность, зависящая от числа ламп в блоке, высоты подвеса и не зависящая от светотехнических свойств л.л.;

$$\frac{\Phi_{\text{л}}K_{\Phi}}{L K_3} = \mu \text{ — постоянная величина, зависящая от каталожных данных}$$

источника и параметров стеллажа;

$K_3$  — коэффициент запаса на старение ламп.

Тогда

$$E_{\Phi} = \mu e_{\Phi}. \quad (3.9.10)$$

В справочниках приводят зависимость

$$e_{\Phi} = f(n), \quad (3.9.11)$$

где  $n$  — число ламп на единицу длины стеллажа ( $\frac{\text{лампы}}{\text{м}}$ ).

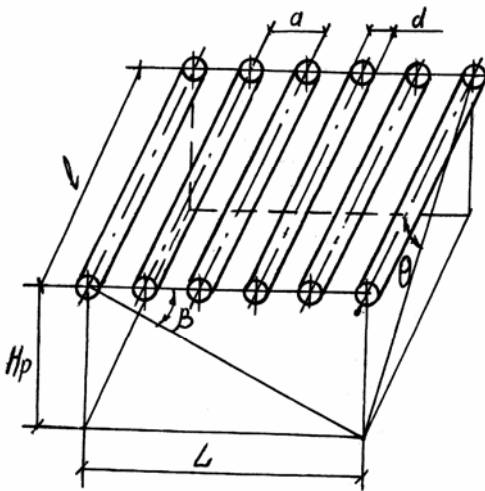


Рисунок 3.9.4 — К определению облученности под рамкой-кассетой

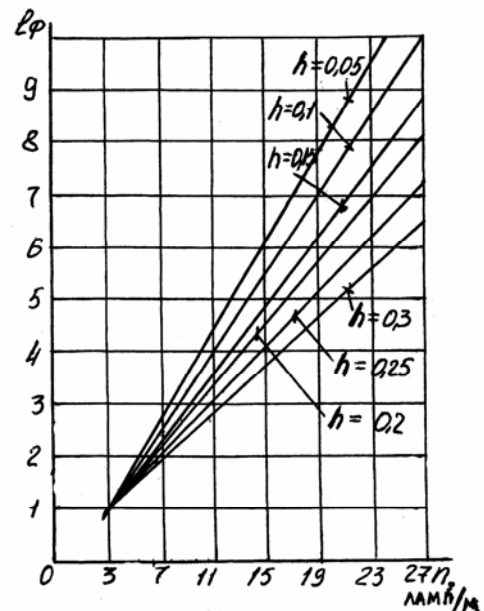


Рисунок 3.9.5 — Зависимость относительной облученности от числа ламп в рамке-кассете на единицу ее длины

Порядок расчета:

- 1) для выбранного типа л.л. определяют число  $\mu = \frac{\Phi_{\text{л}} K_{\Phi}}{Ll}$ , где  $l = 1$  м;
- 2) по формуле  $e_{\Phi} = \frac{E_{\Phi}}{\mu}$  находят относительную облученность;
- 3) по графику (см. рисунок 3.9.4), задавшись высотой подвеса, определяют  $n$  — число ламп на единицу длины стеллажа;
- 4) задаются размерами рамки-кассеты и определяют общее количество рамок-кассет и ламп.

### 3.10 Лазерные установки

*План*

- 3.10.1 Прикладное применение лазеров.
- 3.10.2 Лазеры в голографии.
- 3.10.3 Техника безопасности при эксплуатации лазерных установок.

#### 3.10.1 Прикладное применение лазеров

Со времени создания лазеров интерес к этим установкам постоянно растет.

Особенностью лазеров являются:

- 1) уникальные свойства излучения света (монохроматичность, когерентность);
- 2) высокая мощность излучения (сотни ГВт в импульсе и сотни кВт в непрерывном режиме);
- 3) направленность излучения.

Благодаря этим свойствам лазеры нашли широкое применение в науке и технике (связи, локации, измерительной технике, голографии, при исследовании структуры вещества, осуществлении направленных химических реакций, разделении изотопов, термоядерном синтезе и т. п.). Интересные результаты применения лазеров в биологии, медицине, геофизике, картографии и многих других сферах деятельности.

Малая угловая расходимость лазерного излучения позволяет осуществить его фокусировку на площадках малых размеров (соизмеримых с длиной

волны) и получить плотности мощности излучения, достаточные для интенсивного локального разогрева материала в точке фокусирования энергии, его испарения и удаления из области обработки.

В технологических процессах можно использовать лазеры как непрерывного, так и импульсного действия.

Лазеры, генерирующие излучение в виде отдельных коротких импульсов, как правило, твердотельные, используют преимущественно при изготовлении отверстий, при точечной сварке и в других технологических операциях, не требующих больших площадей обработки. Лазеры непрерывного действия, в основном газовые, находят преимущественное применение при скоростной резке, шовной сварке и термообработке крупногабаритных изделий.

Возможные области применения лазеров для обработки изделий в зависимости от требуемой плотности мощности лазерного излучения показаны в таблице 3.10.1.

Термообработка и сварка осуществляется посредством локального нагрева вещества лазерным излучением без разрушения вещества. Применение лазерного излучения наиболее целесообразно для сварки в тех областях техники, где при решении технологических задач размер зоны воздействия теплового импульса на облученный материал играет решающую роль в выборе метода соединения (например, сварка металла с полупроводниками), когда требуется высокая локальность нагрева, небольшие шероховатости соединений и условие отсутствия механических воздействий.

Таблица 3.10.1 — Область применения и энергетическая облученность, создаваемая лазерным лучом

Область применения	Связь, локация, голография, измерительная техника, термообработка и т. д.	Сварка	Испарение тонких слоев	Прошивка отверстий, резка и раскрой материалов	Решение специальных задач
Энергетическая облученность, Вт/м <sup>2</sup>	$10^7-10^9$	$10^9-0,5 \times 10^{10}$	$0,5 \times 10^{10}-10^{10}$	$10^{10}-10^{12}$	$10^{12}-10^{13}$

Под поверхностной обработкой материалов понимается процесс обработки лазерным лучом с частичным разрушением и удалением облучаемого вещества на контролируемой небольшой глубине в нужном количестве (на-

пример, балансировка роторов, подготовка резисторов и конденсаторов и т. д.) и по заданному контуру (обработка тонких покрытий, гравирование, изготовление печатных схем и т. д.). Из различных видов применения лазеров в промышленности определенного развития достигла размерная обработка при  $E = 10^{10} - 10^{12}$  Вт/м<sup>2</sup>, в частности, получение отверстий преимущественно малого диаметра — микроотверстий.

Интересно применение лазера для измерения очень малых расстояний, перемещений. Эти измерения основаны на явлении интерференции (наложения) волн.

Принцип возникновения интерференционных полос при наложении двух пучков света поясняется рисунком 3.10.1.

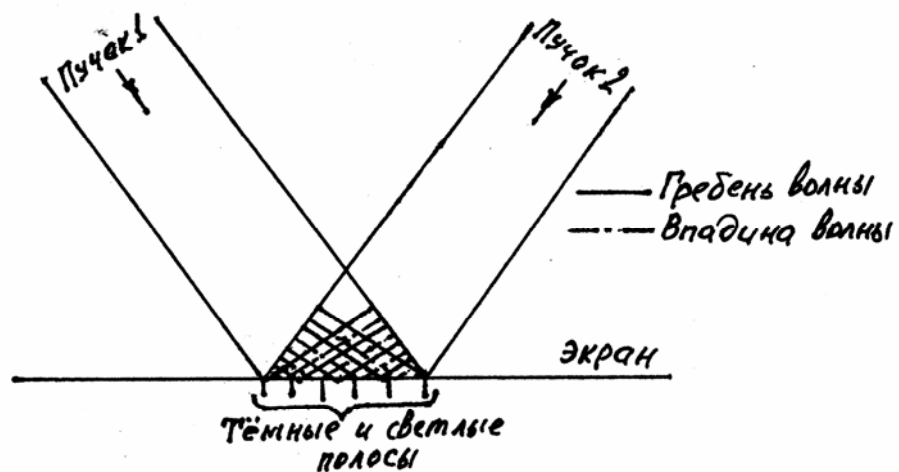


Рисунок 3.10.1 — Интерференция полос при наложении двух пучков света

Прибор для измерения перемещений — интерферометр Майкельсона (рисунок 3.10.2).

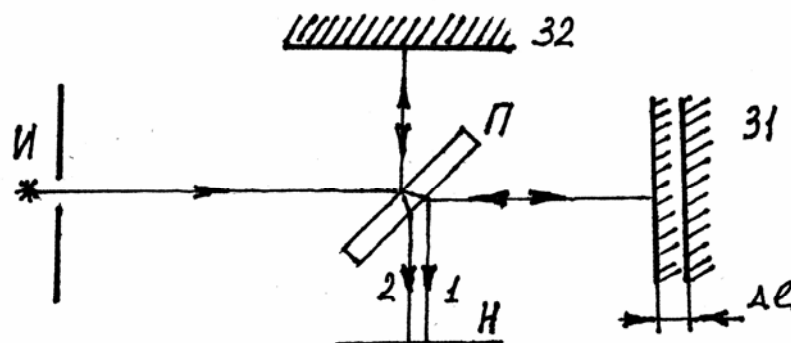


Рисунок 3.10.2 — Измерение перемещений с помощью интерферометра Майкельсона

Пучок света от источника  $I$  падает на пластину  $П$ , которая обладает тем свойством, что чуть меньше половины пучка она пропускает, а другую часть — отражает. Прошедший сквозь пластину пучок идет к плоскому зеркалу  $З1$ , отражается от него и возвращается к пластине  $П$ , которая отражает часть пучка, направляя его к наблюдателю  $H$  (пучок  $1$ ). В свою очередь вторая часть пучка, падающего от источника на пластину  $П$ , которая отразилась от пластины, направляется к зеркалу  $З2$ , отражается от него и возвращается на пластину  $П$ , где часть его проходит в качестве пучка  $2$  в направлении наблюдателя. Фаза, с которой встречаются пучки, зависит от путей, которые совершил каждый из них. Если разность хода пучков  $1$  и  $2$  не изменяется, то полосы неподвижны (на практике, для того, чтобы легче наблюдать эффект интерференции, одно из зеркал наклоняют относительно другого на очень небольшой угол, тогда пучки не строго параллельны и в поле зрения наблюдаются чередующиеся светлые и темные полосы). Если сдвинуть зеркало  $З1$  незначительно, будем наблюдать сдвиг полос. Сдвиг полос можно наблюдать на расстоянии, равном расстоянию между двумя ближайшими полосами, а это соответствует изменению пути, пройденному пучком  $1$ , примерно на одну длину волны (0,38–0,76 мкм для видимого спектра).

### 3.10.2 Лазеры в голографии

Голография — способ записи изображений окружающего мира, при котором записанное остается в таком виде, в каком мы его видим в действительности (*holos* — целый, *grapho* — пишу).

Чтобы понять принцип голографии, рассмотрим работу зрения и фотографии.

Что происходит, когда мы смотрим на освещенный предмет, от которого к нашим глазам доходят расстояния его поверхности световой волны? Глазные хрусталики фокусируют эти волны на сетчатке, где создаются два (различные в каждом глазу) перевернутых изображения предмета. Такое изображение есть не что иное, как распределение интенсивности и цветов света. Под его влиянием в нервных окончаниях сетчатки возникают определенные нервные импульсы, которые передаются в мозг. Здесь происходит процесс не только переворачивания изображения, но и их синтез в единый пространственный образ (рисунок 3.10.3).

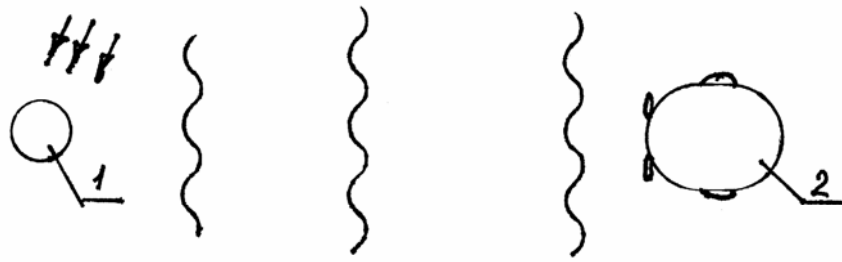


Рисунок 3.10.3 — Схема восприятия предмета зрением

Бывает, что по каким-либо причинам мы хотим зафиксировать увиденное. В этих случаях мы рисуем, пишем или просто фотографируем предмет. На фотопленке создается изображение, или плоская копия распределения интенсивности света, идущего от предмета. Желая зарегистрировать и воспроизвести пространственное ощущение, можно воспользоваться пространственной (стереоскопической фотографией). Здесь снимки выполняются с помощью двух фотоаппаратов, а рассматривать их нужно так, чтобы на один смотреть одним глазом, а на другой — другим. Такое подражание бинокулярному зрению далеко от совершенства. Оно создает только впечатление материальности, не позволяя в то же время ни переводить взгляд с близких предметов на дальние, ни разглядывать это под разными углами. Для того, чтобы полностью реконструировать то, что мы наблюдаем в реальном мире, необходимо зарегистрировать не только распределение интенсивности световой волны, идущей от предмета, но и ее форму. Встает задача: записать распределение интенсивности и формы световой волны, располагая приемником, который откликается только на интенсивность. Что мы понимаем под «формой волны» — в общем случае это форма поверхности одинаковой фазы. Это такая поверхность, в каждой точке которой волна имеет (в данный момент времени) одну и ту же фазу. Фазовые соотношения можно превратить в распределение интенсивности с помощью явления интерференции.

Для получения голограммы нужно использовать когерентный (непрерывный свет). В общем случае голография как способ, состоит из двух этапов: 1) запись информации о волне так, чтобы записанной была информация и о распределении интенсивности волны, и об ее форме, или получение голограммы; 2) воссоздание волны, на основе этой записи.

Выберем соответствующий лазер *1*, с помощью линз *2* расширим его пучок, после чего часть пучка направим на предмет *3*, голограмму которого хотим получить (рисунок 3.10.4). После рассеяния на предмете этот пучок (называемый предметной волной) падает на фотопластинку *4*. Другая часть лазерного пучка (так называемая опорная волна) направляется с помощью зеркала или призмы *5* прямо на фотопластинку.

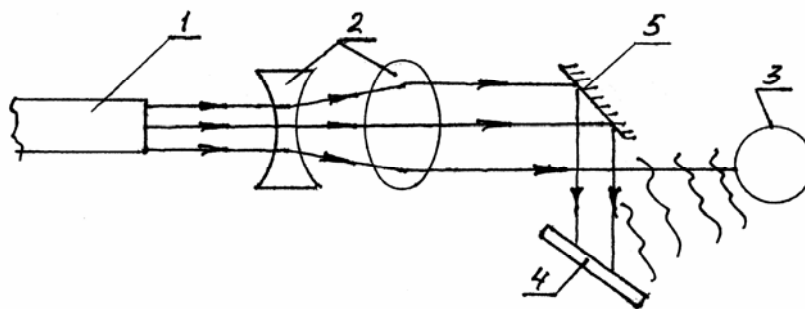


Рисунок 3.10.4 — Схема получения голограммы

На фотопластинке оба когерентных пучка накладываются друг на друга. Результат интерференции зависит от разности фаз, с которыми две волны встретятся на фотопластинке. Там, где они встретятся в одинаковых фазах, они усилятся, и пластинка максимально почернеет; там, где встреча произойдет в противоположных фазах, произойдет взаимное ослабление (пластинка почернеет слабее). На пластинке будет сложная и мелкая (видимая только в микроскоп) нерегулярная структура светлых и черных полос. На пластине интерферируют две волны: опорная и предметная. Первая волна, можно сказать, ничем не сформирована, а вторая — есть результирующая световых волн, рассеянных на всех точках поверхности предмета, на которые падает луч лазера. Его пространственную структуру формирует, конечно же, сам предмет. Для того чтобы прочитать голограмму, достаточно осветить ее параллельным пучком света, не обязательно когерентным. Однако свет должен быть монохроматичным.

Основной особенностью голограммы является то, что она воздействует на проходящий через нее пучок света точно так же, как сам предмет. Отсюда можно заменить в астрологических приборах тяжелые зеркала и линзы их легкими голограммами.

Для того чтобы получить цветную голограмму, необходимо использовать в качестве источников три лазера, каждый из которых испускает свет определенного цвета, а вместо тонкого слоя фотоэмульсии использовать толстый слой эмульсии, которая регистрирует распределение полос в некотором трехмерном объеме. Полученная таким образом голограмма будет своего рода трехмерной пространственной дифракционной решеткой. Если осветить эту голограмму белым светом, то голограмма усилит в определенных направлениях свет основных цветов. В результате мы получим предметный пучок с тем же распределением яркости, той же формы и с теми же структурой и распределением цветов.

### **3.10.3 Техника безопасности при эксплуатации лазерных установок**

При эксплуатации лазерных установок персонал может подвергаться воздействию большого числа опасных и вредных факторов. Степень их выраженности зависит от пространственно-энергетических характеристик лазерного излучения, условий эксплуатации лазерных установок и их конструктивных особенностей. При этом выделяют два типа опасных и вредных факторов:

- 1) факторы, воздействующие на отдельные органы (лазерное излучение, аэродисперсные системы, вредные химические вещества, шум);
- 2) факторы, воздействующие на весь организм (вибрация, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, микроклиматические условия).

Основную опасность лазерное излучение представляет при воздействии на орган зрения. Выраженность этого фактора определяется плотностью энергии (мощности) излучения лазера, длиной волны, условиями и режимом работы.

Аэрозоли — образование аэродисперсных систем связано с взаимодействием лазерного излучения с мишенями. Аэрозоли могут ингаляционным путем попадать в органы дыхания, а также воздействовать на кожные покровы.

Вредные химические вещества — образование токсичных веществ при взаимодействии лазерного излучения с различными средами.

Снижение опасных и вредных производственных факторов осуществляется техническими, учебно-методическими и организационными средствами.



*Технические средства* обеспечивают защиту от лазерного излучения и других вредных производственных факторов. Они включают коллективную и индивидуальную защиту, средства нормализации внешней среды, автоматические системы управления технологическим процессом, рациональную планировку помещений, использование предохранительных устройств, приборов, ограждений, заземлений, занулений, автоматических блокировок, сигнализации, маркировок и т. д.

*Учебно-методические и организационные средства* направлены на подготовку и периодическую переподготовку специалистов по ТБ при работе с лазерами.

### **3.11 Использование оптического излучения в технологических процессах сельскохозяйственного производства**

#### *План*

- 3.11.1 Установки для люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов.
- 3.11.2 Фототаксис живых организмов.
- 3.11.3 Установки для предпосевной обработки семян и клубней.
- 3.11.4 Фотоэлектрические сортировальные машины.
- 3.11.5 Использование радиационной термометрии в животноводстве и ветеринарии.
- 3.11.6 Применение УФ-излучения для обработки гидролизно-дрожжевых сред.

#### **3.11.1 Установки для люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов**

Люминесцентный анализ сельскохозяйственных продуктов основан на различии в цвете свечения доброкачественных или недоброкачественных продуктов. При этом анализ осуществляется:

- 1) с помощью визуальных наблюдений (субъективный);
- 2) спектральными измерениями (объективный).

Большинство продуктов люминесцирует как в ультрафиолетовой, так и в видимой областях спектра. Наблюдаемые при этом спектры люминесценции содержат, как правило, большое число полос излучения, обусловленных наличием целого ряда люминесцирующих компонентов. Выделение каждой отдельной полосы излучения с целью идентификации того или иного люминесцирующего компонента возможно только при использовании монохроматического возбуждения и селективной регистрации.

В качестве источников возбуждения люминесценции обычно применяются:

- 1) лампы накаливания;
- 2) газоразрядные лампы (чаще);
- 3) лазеры.

Установка для люминесцентного анализа продуктов с использованием спектральных измерений приведена на рисунке 3.11.1.

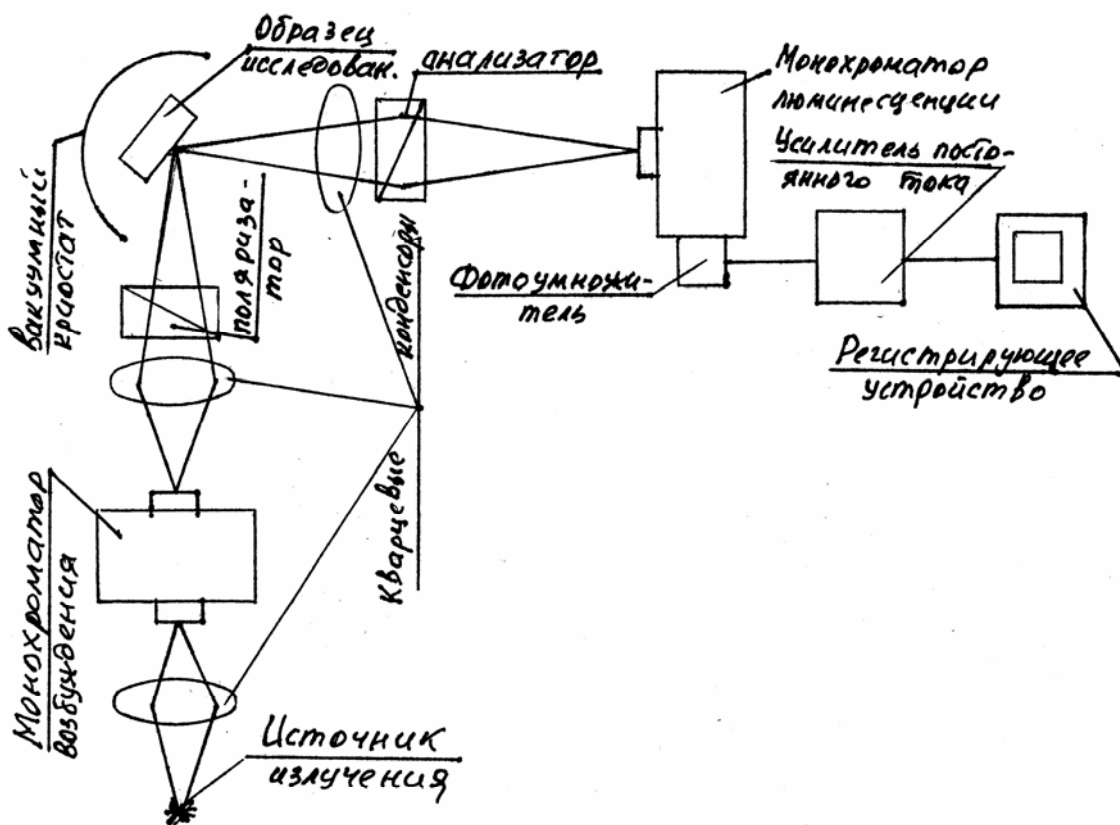


Рисунок 3.11.1 — Технологическая схема установки объективного анализа качества продуктов

Для субъективного люминесцентного анализа в сельском хозяйстве применяют приборы «Луч», «Малютка», «Ультрасвет» и др.

Прибор «Луч» (рисунок 3.11.2, *а*) состоит из камеры 1, в которой установлены ртутно-кварцевая лампа 2, зеркальный отражатель 3 и светофильтр 4. Возбуждение люминесценции подается на исследуемый объект 5 и воспринимается глазом наблюдателя 6. Принципиальная электрическая схема включения прибора «Луч» приведена на рисунке 3.11.2, *б*.

Переносной прибор «Малютка» снабжен миниатюрной дуговой ртутной лампой УФО-4А (рисунок 3.11.3), работающей от сети постоянного электрического тока напряжением 26 В. Принципиальная электрическая схема включения прибора «Малютка» приведена на рисунке 3.11.4.

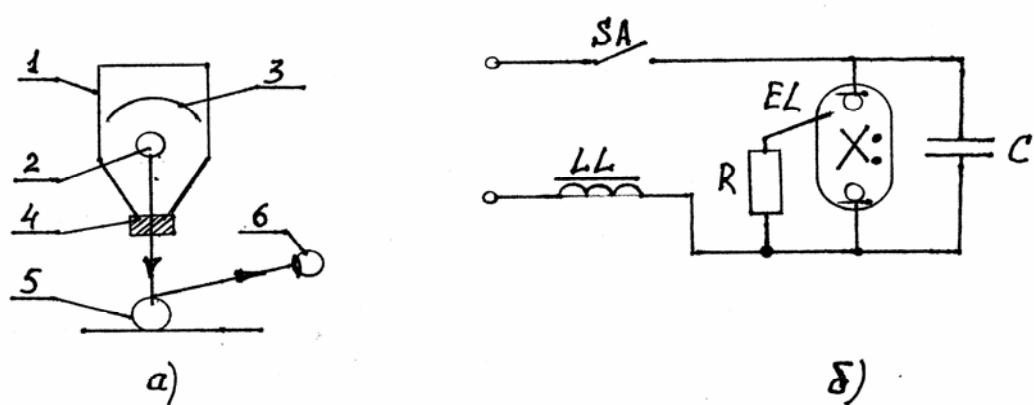


Рисунок 3.11.2 — Схемы включения прибора «Луч»: *а*) Технологическая и *б*) принципиальная электрическая

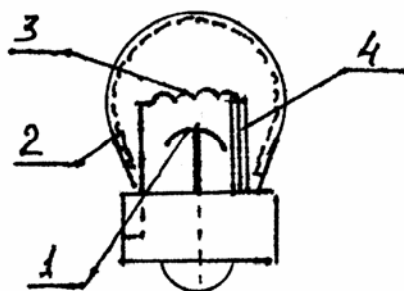


Рисунок 3.11.3 — Общий вид лампы УФО-4А:  
1 — анод; 2 — люминофор; 3 — катод; 4 — биметаллическая пластина

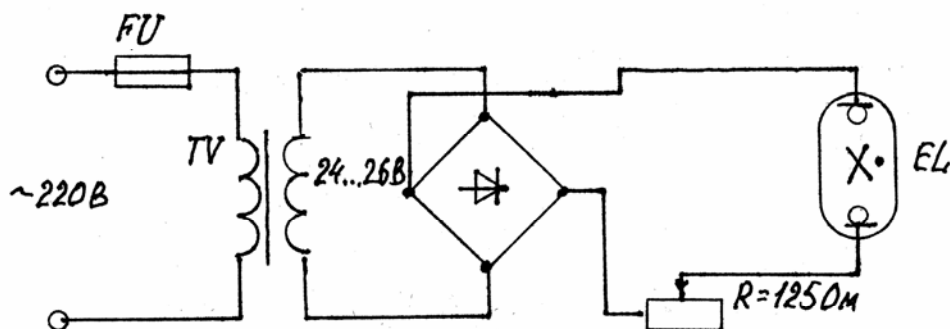


Рисунок 3.11.4 — Принципиальная электрическая схема включения прибора «Малютка»

### 3.11.2 Фототаксис живых организмов

Перспективным является использование оптического излучения для привлечения и уничтожения насекомых (фототаксис) взамен химических методов борьбы (используют ультрафиолетовое излучение и видимое излучение).

Фототаксис — фотоиндуцирование направленного движения свободных биологических объектов (насекомых, рыб).

Наибольшим возбуждающим действием на насекомых оказывает ультрафиолетовый диапазон длин волн  $\lambda = 290\text{--}380$  нм и видимые диапазоны  $\lambda = 465\text{--}515$  нм (сине-голубой),  $\lambda = 450\text{--}480$  нм (синий),  $\lambda = 480\text{--}510$  нм (голубой),  $\lambda = 510\text{--}515$  нм (зеленый).

Наибольшим «приманивающим» эффектом для рыб обладает сине-зеленая область ( $\lambda \approx 500$  нм), однако достаточно высокий уровень эффекта наблюдается в области  $\lambda = 460\text{--}620$  нм.

Используют ультрафиолетовое излучение в ночное время для привлечения насекомых к ловушкам, где их уничтожают либо высоким напряжением 1,5–10 кВ, подведенным к специальным сеткам, либо механическим способом (вентиляторами).

В качестве источников УФ-излучения используют лампы ЛЭ, ДБ, ДРТ.

Для борьбы с насекомыми на больших площадях применяют подвижные установки на базе трактора «Беларус» (рисунок 3.11.5). Питание ламп осуществляют от синхронного генератора переменного тока  $P = 3,6$  кВт, установленного на тракторе. В этом случае снижаются затраты на 30 % по сравнению с химическими методами, снижается в 3,8 раза количество ядохимикатов в плодах.



Рисунок 3.11.5 — Схема подвижной установки для борьбы с летающими насекомыми-вредителями

### 3.11.3 Установки для предпосевной обработки семян и клубней

Для повышения всхожести и энергии прорастания семенного материала его подвергают предпосевной обработке (видимым, инфракрасным и ультрафиолетовым излучениями).

*Установка для предпосевной обработки семян зерновых культур видимым и ИК-излучением (ЭМПОС-2)*

Мощность установки  $P = 16$  кВт; производительность  $Q = 0,5$  т/ч; удельный расход электрической энергии — 25–40 кВт ч/т; используют лампы накаливания мощностью 300 Вт, включенные на напряжение 380 В попарно-последовательно. Освещенность составляет 40–60 клк ( $16,76$  Дж/см<sup>2</sup>), продолжительность обработки  $\tau = 40$ –60 с; температура зерна в конце обработки  $t = 48$ –58 °С. Технологическая схема установки приведена на рисунке 3.11.6.

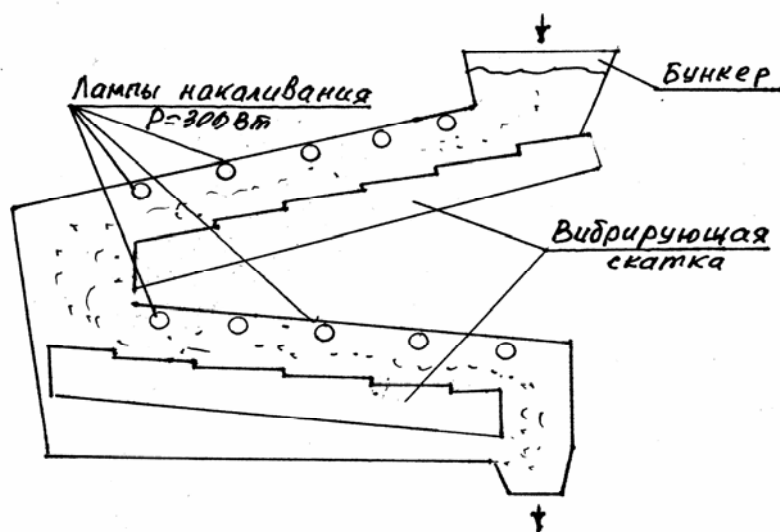


Рисунок 3.11.6 — Технологическая схема установки ЭМПОС-2

*Установка для предпосевной обработки семян ультрафиолетовым  
и видимым излучением УОЗ-2*

Мощность установки  $P = 7,2-10,5$  кВт; производительность  $Q = 1-1,5$  т/ч; используют лампы типа ДРТ-1000 (9 штук). Технологическая схема установки приведена на рисунке 3.11.7.

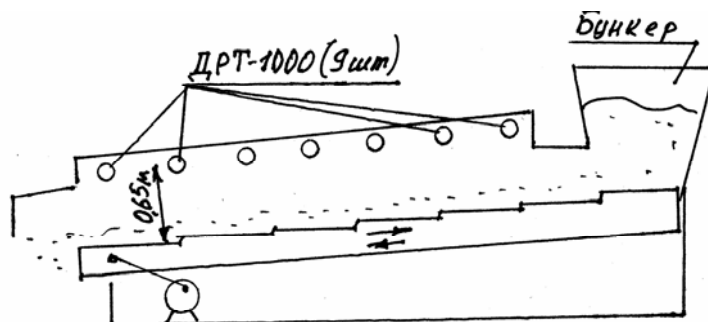


Рисунок 3.11.7 — Технологическая схема установки УОЗ-2

*Установка для уничтожения амбарных вредителей  
и подсушки зерна инфракрасным излучением*

Мощность установки  $P = 40$  кВт; производительность  $Q = 1$  т/ч; в качестве нагревателя используется вольфрамовая спираль (нагревается протекающим током до температуры  $800$  °С); длительность обработки  $\tau = 1,5-2$  минуты; зерно нагревается до температуры  $t = 44-52$  °С, а вредители уничтожаются из-за более высокого поглощения ими инфракрасного излучения. Технологическая схема установки приведена на рисунке 3.11.8.

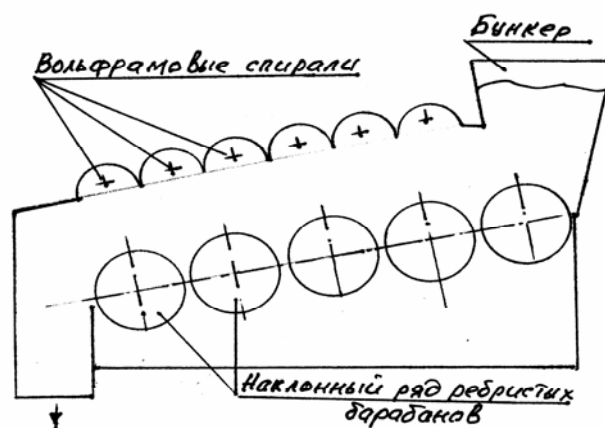


Рисунок 3.11.8 — Технологическая схема установки уничтожения амбарных вредителей инфракрасным излучением

*Установка для предпосевной обработки семенного картофеля видимым излучением лампами ДРЛФ–400*

Установка смонтирована на сборном транспортере картофелесортировочного пункта КСП–15Б. Используются лампы типа ДРЛФ–400, обеспечивающие облученность равную  $214 \text{ Вт/м}^2$ ; длина волны излучения  $\lambda = 360\text{--}540 \text{ нм}$ . Прибавка урожая —  $11,9\text{--}34 \%$  (или  $130,9 \text{ ц/га}$ ). Общий технологический эффект от применения оптического излучения для предпосевной обработки семенного материала приведен в таблице 3.11.1.

Таблица 3.11.1 — Технологический эффект от облучения

Объект облучения	Технологический эффект	Эффективность % при длине волны, нм		
		Видимое излучение 380–760 нм	ИК-излучение 760 нм	УФ-излучение 280–320 нм
Зерно	Урожайность, созревание		10–14 (ускорение созревания на 3–5 дней)	5–20
Картофель	Урожайность	7–25		

Инфракрасное излучение может быть также использовано для сушки различных сельскохозяйственных продуктов.

ИК-сушка солода (ячменного и ржаного) в пивоваренной промышленности не только снижает время процесса, но способствует повышению качественных показателей (вкус, цвет, аромат, ферментативная активность). Для сушки рекомендуется переменный режим ИК-сушки с постоянным повышением температуры воздуха от  $50$  до  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  и снижением влажности с  $20$  до  $3\text{--}5 \%$ . Целесообразно прерывистое облучение импульсами  $2\text{--}6 \text{ с}$ , чередующимися с периодом отлежки материала ( $20\text{--}60 \text{ с}$ ), когда через него продувают воздух (предварительно нагретый). Комбинированная облучательно-конвективная сушка ускоряет процесс в  $1,6$  раза по сравнению с конвективной (влажность солода при этом снижается с  $72 \%$  до  $3,5 \%$ ). Температура излучателя —  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , расстояние до высушиваемого слоя —  $200 \text{ мм}$ .

ИК-сушка фруктов и овощей с успехом заменяет сушку солнечными лучами, при этом сохраняется качество продукта (кислоты, сахара, витамины, каротин, ферменты) и сокращается продолжительность сушки.

В качестве источников используют лампы-термоизлучатели или ТЭНы. Некоторые показатели сушки фруктов приведены в таблице 3.11.2.

Таблица 3.11.2 — Показатели сушки фруктов

Показатели	Значение показателя сушки фруктов					
	чернослив	абрикос	персики	яблоки	груша	айва
Характеристика плода	целый плод	половина	плода	ломтики	10	
Продолжительность сушки	3,0	3,5	4,0	4,0	4,5	6
Расход энергии на 1 кг сырого продукта, кВт ч	0,72	0,84	0,90	1,40	1,35	2,15

### 3.11.4 Фотоэлектрические сортировальные машины

При сортировке плодов и овощей учитывают то обстоятельство, что зрелые плоды, овощи и ягоды отличаются от незрелых окраской, а поврежденные — формой.

Принцип действия фотоэлектрических сортировальных машин основан на оценке оптических свойств исследуемого продукта: отражения, пропускания и поглощения им инфракрасных и видимых излучений различных длин волн (рисунок 3.11.9).

Промышленностью разработаны машины для сортировки томатов по зрелости, яблок с механическими повреждениями, отделения картофеля от пораженных клубней, комков земли, камней.

Действие фотоэлектрических сортировальных машин основано на оценке коэффициентов отражения от исследуемого объекта оптического излучения различных длин волн. Для сортировки томатов в машине используется оптическое излучение с длинами волн  $\lambda = 550, 640, 660$  нм.

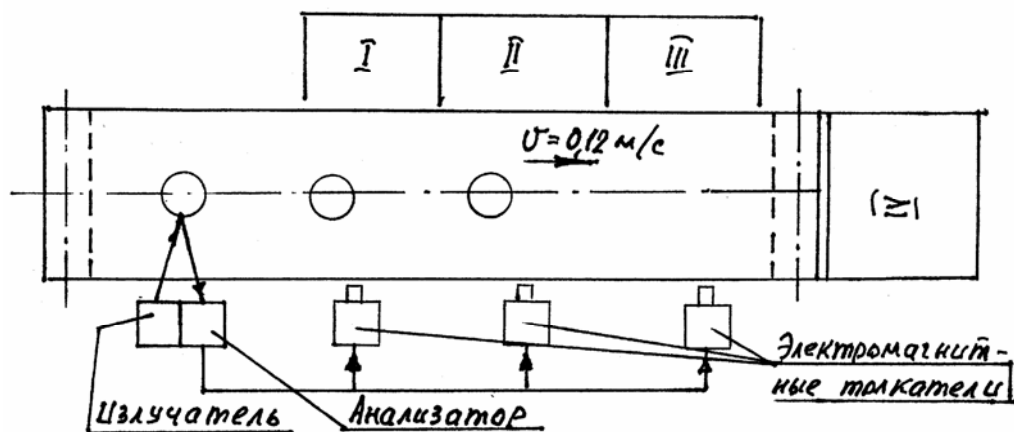


Рисунок 3.11.9 — Технологическая схема фотоэлектрической сортировальной машины



### **3.11.5 Использование радиационной термометрии в животноводстве и ветеринарии**

Известно, что инфракрасное излучение не воспринимается глазом человека. Устройства, с помощью которых инфракрасное излучение нагретых тел превращается в соответствующее ему видимое изображение, называют *тепловизорами*. Наиболее перспективным считается применение тепловидения в диагностике заболевания. Тепловизионные методы используются для исследования переломов, вывихов, ушибов, нарушений периферического кровообращения и наблюдений за ходом заживления поврежденных тканей. Целесообразным в этом случае является применение радиационного термометра — прибора, воспринимающего тепловое излучение с того участка тела, на которое направлен его объектив и воспроизводящего значение радиационной температуры на соответствующем индикаторе. В частности, разработано тепловизионное контрольное устройство с цветовой индикацией теплограмм (устройство типа ВКУ–ЦТ). Температурному перепаду в 1 °С на теплограмме соответствует изменение цветового тона. Для контроля температуры животных может быть использован прибор ИМП–3 (диапазон температур от минус 5 °С до плюс 125 °С, точность  $\pm 0,5$  °С).

Проведение тепловизионных исследований радиационного теплообмена животных показало, что распределение температуры по поверхности животного зависит от окружающей температуры. Так при окружающей температуре + 5 °С излучаемая температура на холке коров на 3 °С ниже, чем на пояснице, а при повышении температуры окружающей среды до + 10 °С этот переход уже составит + 1,5 °С. Таким образом, на основе этих исследований, можно обосновать оптимальную температуру содержания животных.

Тепловизорами можно контролировать и состояние электрических установок во время их работы и выявлять места с опасным превышением температуры.

Тепловизионными методами можно также контролировать теплопотери зданий и сооружений и выявлять места наибольших теплопотерь и в дальнейшем обеспечивать их снижение за счет соответствующей теплоизоляции.

### 3.11.6 Применение ультрафиолетового излучения для обработки гидролизно-дрожжевых сред

Широкие перспективы открываются для использования ультрафиолетового излучения в производстве белка, в частности синтеза микроорганизмами растительного белка. Так при производстве кормовых дрожжей используют питательные среды, в том числе отходы растениеводства и животноводства. Полисахариды, содержащиеся в растительных тканях, для усвоения дрожжами должны быть превращены в моносахара, что достигается методом гидролиза. Однако при проведении слабокислого гидролиза отходов растениеводства в гидролизате наряду с образованием моносахаров накапливаются и продукты их распада. Для удаления этих вредных продуктов применяют вакуум-охладительные установки, продувают их воздухом, паром, разбавляют питательную среду водой. Все эти приемы энергоемки и требуют специального сложного оборудования. Эти все вопросы могут быть решены с использованием ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн  $\lambda = 250\text{--}300$  нм с образованием свободных радикалов, окисление которых инициируется воздействием ультрафиолетового излучения. Применение ультрафиолетового излучения экономически оправдано, так, например, для обработки  $1\text{ м}^3$  среды озоном нужно затратить около 15 кВт·ч электроэнергии, около 18 кВт паром, а ультрафиолетовым излучением всего 1 кВт·ч. Средняя производительность облучательной установки  $10\text{ м}^3/\text{ч}$ . За сутки потребление электроэнергии составляет 250 кВт·ч при непрерывном и 50 кВт·ч при прерывистом облучении.

## Тема 4 ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

### 4.1 Эксплуатация и обслуживание облучательных установок

#### *План*

- 4.1.1 Требования нормативной документации к эксплуатации облучательных установок.
- 4.1.2 Особенности техники безопасности при обслуживании и эксплуатации облучательных установок.
- 4.1.3 Особенности энергосбережения и управления работой облучательных установок.

#### **4.1.1 Требования нормативной документации к эксплуатации облучательных установок**

При приеме в эксплуатацию облучательных установок на предприятиях должна иметься проектная документация, содержащая данные, необходимые и достаточные для организации эксплуатации и периодической проверки состояния одной установки (планы, схемы), приспособления для технического обслуживания и эксплуатации, картотека текущей эксплуатации, ремонтов и изменений в схемах.

Перед началом эксплуатации необходимо:

- 1) очистить облучатели и установки от пыли щеткой-сметкой и протереть обтирочным материалом;
- 2) снять смазку с законсервированных деталей обтирочным материалом, смоченным уайт-спиртом;
- 3) убедиться в отсутствии поврежденных деталей и проводов;
- 4) мегомметром на 500 В измерить сопротивление изоляции проводов и изоляционных конструкций относительно корпуса, которое должно быть не менее 0,5 МОм при 15 °С;
- 5) проверить наличие и надежность заземления корпуса путем измерения омметром переходного сопротивления между корпусом и магистральной шиной заземления, которое должно быть не более 0,1 Ом;
- 6) проверить соответствие щитков, выключателей, применяемых ламп напряжению сети;

- 7) проверить надежность крепления выключателей, щитков, ламп и других электрических приборов и устройств;
- 8) проверить работу автомата и выключателя сети путем их включения и выключения. Выключатель и автомат должны включать и выключать силовую цепь без заедания;
- 9) проверить уровень и при необходимости долить масло в редуктор приводной станции; проверить и при необходимости дополнить смазку в подшипники натяжных роликов и колес;
- 10) выполнить операции по подготовке электродвигателя приводной станции к работе;
- 11) включить облучатель или установку и убедиться в исправной ее работе;
- 12) измерить создаваемую облученность: а) фитофотометром фитооблученность на поверхности растений (фитооблученность должна соответствовать нормативам); б) измерить уфиметром ультрафиолетовую облученность на уровне нахождения животных и рассчитать продолжительность работы установки  $\tau = \frac{H_{\Sigma}}{E_{\text{в}}}$ ; в) измерить температуру воздуха на уровне нахождения животных, при необходимости отрегулировать путем изменения высоты подвеса.

Примерная схема электротехнической службы по эксплуатации ОУ:



Эксплуатация облучательной установки включает в себя техническое обслуживание и текущий ремонт.

Техническое обслуживание облучателей включает ряд операций (таблица 4.1.1).

Таблица 4.1.1 — Техническое обслуживание облучателей

Операции	Указания по выполнению операции
1. Очистка	Очистить корпуса и конструкции от пыли щеткой-сметкой и протереть обтирочным материалом. Снять лампы с облучателей. Промыть плафоны раствором каустической соды, затем чистой водой и просушить. Протереть лампы влажным обтирочным материалом. Покрыть контактные поверхности ламп тонким слоем технического вазелина
2. Проверка состояния контактов электрических соединений	Проверить состояние контактов. Окисленные контактные поверхности зачистить шлифовальной бумагой, протереть обтирочным материалом и смазать техническим вазелином
3. Проверка состояния ламп, замена перегоревших ламп	Проверить соответствие ламп типу облучателя. Если лампа не горит, проверить ее, включив в исправную цепь облучателя. Если оборвана нить накаливания, есть трещины на колбе и лампа не горит, ее следует заменить новой
4. Проверка состояния защитных стекол	Осмотреть защитные стекла. Если есть трещины и сколы, заменить новыми
5. Проверка надежности крепления облучателя и его элементов	Проверить надежность креплений облучателя, ПРА, конденсатора, стартера, клеммных колодок и др. элементов. При необходимости подтянуть крепежные соединения
6. Проверка наличия и состояния уплотняющих прокладкой и уплотнения	Осмотреть уплотняющие прокладки и уплотнения проводов, убедиться в отсутствии на них разрывов и трещин и надежность их прилегания к поверхности
7. Проверка состояния изоляции проводов в месте ввода в облучатель	Проверить состояние изоляции проводов в месте ввода в облучатель. Места на проводе с трещинами и облученными участками изолировать хлопчатобумажной или полихлорвиниловой изоляционной лентой
8. Проверка состояния заземления	Проверить состояние заземления, измерить омметром переходное сопротивление между любой металлической частью установки и магистральной шиной заземления. Значения переходного сопротивления должно быть не более 0,1 Ом

Таблица 4.1.2 — Текущий ремонт облучателей

Износы и повреждения деталей, указания по выбраковке	Способ обнаружения износов и повреждений	Способ ремонта
1. Сколы, трещины на корпусах патронов, соединительных колодках	Осмотр	Замена патрона, соединительных колодок
2. Подгорание контактных поверхностей соединения	Осмотр	Зачистка контактных поверхностей
3. Выход из строя лампы, ПРА, конденсатора, резистора, стартера	Осмотр цепей и измерение их параметров	Замена лампы и элементов
4. Повреждение изоляции на всей длине проводов и изоляционных конструкций	Осмотр, измерение сопротивления изоляции мегаомметром	Замена проводов и изоляционных конструкций
5. Коррозия металлических поверхностей	Осмотр	Зачистка и окраска поверхностей

После текущего ремонта необходимо произвести *испытание облучательных установок*:

- включить облучатель и убедиться в исправности его работы;
- проверить уровень облученности и сравнить его с нормируемым или расчетным.

При контроле за работой облучательных установок составляют график расписания работы облучения (если отклонение напряжения от номинального более 5 %, то вводят коррекцию в режим работы), проверяют уровень облученности (если менее 30 %, то производят замену ламп).

#### **4.1.2 Особенности техники безопасности при обслуживании и эксплуатации установок**

Лица, обслуживающие облучательные установки, должны иметь квалификацию по ТБ не ниже III группы и периодически в установленном порядке проходить проверку соответствующих знаний.

При работе с действующими установками ультрафиолетового излучения (лампы ДРТ, ДБ — особенно) персоналу необходимо надевать очки из дымчатого или толстого бесцветного стекла и избегать облучения незащищенных частей тела. Помещения, в которых работают источники ультра-

фиолетового излучения, следует вентилировать для удаления озона и окислов азота.

Особое внимание, с точки зрения обеспечения безопасности персонала, необходимо обратить на работу облучательных установок в теплицах. Все теплицы по степени опасности поражения электрическим током относятся к категории особо опасных. Во время ухода за растениями персонал может касаться конструкций облучательных установок, расположенных в непосредственной близости, что при неудовлетворительном состоянии изоляции может привести к поражению электрическим током. Существует и другая опасность: при поливе растений случайные брызги могут привести к разрушению раскаленных до высокой температуры колб ламп ДРЛ и им подобных. Эксплуатация тепличных облучателей, требует достаточных знаний, опыта.

#### **4.1.3 Особенности энергосбережения и управления работой облучательных установок**

Задача рационального использования электроэнергии и снижения затрат на искусственное облучение относится к важнейшим проблемам. От того, насколько успешно она решается, зависит эффективность использования материальных и энергетических ресурсов, расходуемых на облучение. Из-за ограниченности существующих энергоресурсов резко возросла потребность в проведении строгого и тщательного анализа обоснованности расходов на искусственное облучение, а также изыскании путей, обеспечивающих наиболее эффективное использование энергоресурсов.

При поиске путей экономии электроэнергии без ущерба для качества облучения может рекомендовать следующий комплекс мероприятий:

- анализ задачи облучения с целью определения ее сложности с учетом вида приемника, его возраста и других факторов;
- обеспечение необходимой облученности и экспозиции для данной задачи в проектных решениях;
- выбор наиболее экономичных источников излучения;
- выбор эффективных облучателей, обладающих необходимыми характеристиками распределения излучения и нужным конструктивным исполнением;
- обеспечение гибкости управления облучательными установками, позволяющего отключать облучение в случае необходимости;

– организацию соответствующих режимов обслуживания, обеспечивающую периодическую чистку облучателей, а также своевременную замену источников излучения.

Не допускается «экономить» электроэнергию за счет отключения облучателей, а также применять различные регуляторы, уменьшающие мощность, потребляемую установками, если это приводит к нарушениям нормативных требований. Требования к уровню облученности, экспозиции облучения излагаются в соответствующих нормативных документах и рекомендациях.

С инженерной точки зрения рациональное использование электроэнергии и затрат на нужды облучения может быть обеспечено в основном за счет:

- 1) оптимизации светотехнической части установок;
- 2) оптимизации электрических сетей и систем управления, регулирования облучения;
- 3) рациональной организации эксплуатации облучательных установок.

1. Оптимизация светотехнической части заключается в обосновании выбора средств и способов облучения, включающих:

- применение наиболее эффективных источников излучения, обладающих как наибольшей отдачей, так и наиболее благоприятным спектром излучения для данного вида технологического процесса;
- обоснованный выбор наиболее эффективного облучателя, обладающего необходимым распределением излучения и степенью защиты от воздействий окружающей среды;
- выбор рациональной схемы размещения облучателей (замена традиционных «равномерных» схем размещения облучателей на «неравномерные»).

2. Важным вопросом в деле экономии электроэнергии и затрат в облучательных установках является совершенствование схем питания и распределения электроэнергии, включающие рациональное размещение пунктов питания и трасс прокладки электропроводок. Значительный резерв экономии электрической энергии, расходуемой на облучение, имеется в максимальной рационализации управления и регулирования облучения. Своевременное включение и выключение облучения с учетом существующего режима работы предприятия, обеспечения требуемой экспозиции облучения с учетом изменения параметров источников сети позволит также значительно повысить эффективность облучательной установки.



3. Повышение эффективности использования электроэнергии на облучение может быть достигнуто только при условии организации правильной эксплуатации облучательных установок на необходимом техническом уровне. Без четко действующей службы эксплуатации любые совершенные облучательные установки быстро приходят в негодность и теряют свою первоначальную эффективность. Основными функциями службы эксплуатации являются:

- приемка в эксплуатацию облучательных установок;
- чистка облучателей и источников;
- замена источников;
- проведение планово-предупредительного ремонта (ППР) и технического обслуживания (ТО);
- внедрение современных средств и способов автоматизированного или централизованного управления;
- установление режимов включения и отключения с учетом изменения параметров источников;
- проведение периодического обследования облучательных установок и выявление необходимости их реконструкции;
- организация специализированных мастерских для ремонта и эксплуатации оборудования.

При обосновании того или иного варианта облучательной установки производят их технико-экономическое сравнение. Методику выполнения технико-экономических расчетов см. в курсе лекций «Электрическое освещение» за прошлый семестр.

## Литература

1. Козинский, В.А. Электрическое освещение и облучение : учебник / В.А. Козинский. — Москва : Агропромиздат, 1991.
2. Николаенок, М.М. Расчеты осветительных и облучательных установок сельскохозяйственного назначения : учеб. пособие / М.М. Николаенок, Е.М. Заяц. — Минск : Лазурек, 2000.
3. Справочная книга по светотехнике : справочник / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. — Москва : Энергоатомиздат, 1983.
4. Степанцов, В.П. Светотехническое оборудование в сельскохозяйственном производстве : справочное пособие / В.П. Степанцов. — Минск : Ураджай, 1987.
5. Степанцов, В.П. Электрооборудование осветительных и облучательных установок : справочное пособие / В.П. Степанцов, В.А. Пашинский, С.И. Кустов, Р.И. Кустова. — Минск : Ураджай, 1991.
6. Баев, В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению : учеб. пособие / В.И. Баев. — Москва : Агропромиздат, 1991.