

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. П. Степанцов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования,
обучающихся по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое
обеспечение сельского хозяйства (по направлениям)»,
направление специальности 1-72 06 05-01 «Энергетическое
обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)»*

Минск
БГАТУ
2012

УДК 621.311
ББК 40.71
С79

Рецензенты:

заведующий кафедрой энергоэффективных технологий
УО МГЭУ им. А. Д. Сахарова, кандидат технических наук, доцент *В. А. Пашинский*;
заведующий отделом энергетики РУП «НПЦ НАН Беларуси»
по механизации сельского хозяйства *А. Л. Тимоцюк*

Степанцов, В. П.

С79 Технологическое использование оптического излучения : учебно-методическое пособие / В. П. Степанцов. – Минск : БГАТУ, 2012. – 208 с.
ISBN 978-985-519-457-7.

Рассмотрены способы эффективного использования оптического излучения для интенсификации процессов при непосредственном его воздействии на объекты сельскохозяйственного производства. Основное внимание уделено устройству облучателей и установок, вопросам их оптимального выбора и проектирования, организации эксплуатации при рациональной экономии электрической энергии.

Предназначено для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства (по направлениям)», направление специальности 1-72 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)».

УДК 621.311
ББК 40.71

ISBN 978-985-519-457-7

© БГАТУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

По проблемам и способам использования оптического излучения (ультрафиолетового, видимого и инфракрасного) сельскохозяйственное производство особо выделяется из всех отраслей народного хозяйства. В сельском хозяйстве оптическое излучение (ОИ) широко применяют не только для обеспечения зрительного восприятия (видения) окружающих нас предметов, но все в большей степени для интенсификации технологических процессов. Здесь оно повсеместно используется в облучательных¹ установках для непосредственного электро-технологического воздействия на живые организмы и растения.

ОИ воздействует на обмен веществ, стимулирует продуктивность и резистентность, вызывает общефизиологические сдвиги тонизирующего и терапевтического характера, оказывает влияние на нервную систему, является основой нормального углеродного питания, существования и формирования растений. ОИ видимого, ультрафиолетового (УФ) и инфракрасного (ИК) диапазона длин волн становится неотъемлемой частью технологических процессов, например, таких как предпосевная обработка семян, сушка сельскохозяйственных продуктов, стерилизация продуктов и тары, пастеризация молока, обогрев молодняка животных и птицы и др.

Искусственная компенсация естественного УФ излучения в осенне-зимний период содержания животных на 5–13 % повышает удои коров при сохранении жирности молока на том же уровне или некотором ее увеличении. У телят среднесуточные приросты массы повышаются на 7–13 %, у поросят – до 20 %, у свиней на откорме

¹ К облучательным относят установки ОИ, оказывающие непосредственное воздействие на технологические процессы, в результате чего повышается их эффективность, например, увеличивается урожай растений, продуктивность животных, птицы и тому подобных биологических объектов. При этом положительное воздействие ОИ достигается благодаря его проникающей способности в тело объекта, поглощению объектом и специфическому воздействию на состояние объекта на клеточном и молекулярном уровнях.

на 4–10 % при улучшении качества мяса. УФ облучение сельскохозяйственной птицы вызывает повышение яичной продуктивности на 10–15 %. Прединкубационное облучение яиц увеличивает выводимость цыплят на 5–10 %. При облучении цыплят-бройлеров и мясных утят наряду с повышением прироста массы на 4–11 % увеличивается выход тушек первой категории на 4–7 %. ИК обогрев молодняка животных и птицы увеличивает их сохранность на 8–10 % и на 10–15 % среднесуточный прирост массы при снижении удельного расхода кормов. При соблюдении требуемого светового режима в условиях защищенного грунта сокращаются сроки выращивания рассады, на 15–20 % увеличивается урожай томатов, на 20–40 % – огурцов и на 50–70 % – салата.

Как видим, эффективное использование ОИ в технологических процессах сельскохозяйственного производства – важный резерв повышения производительности труда, продуктивности сельскохозяйственных животных, птицы и растений, качества выпускаемой продукции.

Целью дисциплины «Электротехнологии» применительно к разделу «Технологическое использование оптического излучения» является формирование целостной системы научно-технических знаний в области использования ОИ в технологических и биологических процессах, привитие инженерных навыков практического применения этих знаний для решения задач сельскохозяйственного производства.

Задачи раздела «Технологическое использование оптического излучения» дисциплины:

- изучение основ преобразования электрической энергии в энергию ОИ и современных способов его рационального и эффективного использования в технологических процессах сельскохозяйственного производства;
- изучение устройства, принципа действия, технических параметров и характеристик, источников ОИ, облучателей и установок, используемых в технологических процессах сельскохозяйственного производства, правил их безопасной эксплуатации и обслуживания;
- освоение современных инженерных методов расчета и проектирования установок, технико-экономического обоснования их наиболее рационального использования при экономии топливно-энергетических ресурсов.

В предлагаемом учебном пособии изложен материал о современном состоянии и перспективах развития современного светотехнического оборудования, активно применяемого в технологических

процессах сельскохозяйственного производства. В нем сконцентрирован и обобщен материал, позволяющий проанализировать состояние и по-иному взглянуть на эффективность эксплуатации используемых в сельскохозяйственном производстве облучательных установок. Выводы по результатам анализа и рекомендации по совершенствованию оборудования предложены в форме размышлений, которые помогут обучающимся сформировать собственное мнение о его состоянии и путях модернизации в условиях конкретного хозяйства или предприятия.

Учебное пособие носит практико-ориентированный характер. В нем основное внимание уделено светотехнической части облучательных установок и учтен тот фактор, что даже при оптимальном выборе и размещении источников ОИ и облучателей не всегда получаем эффективно работающую установку. При проектировании и эксплуатации установок необходимо параллельно решать вопросы надежного электроснабжения, оптимальной компоновки и устройства электрических сетей, их комплектования аппаратами управления, защиты и системами автоматического управления, организации надлежущей эксплуатации, рациональной экономии электрической энергии.

Издание предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства» и учащихся средних специальных учебных заведений, обучающихся по специальности 2-74 06 31 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства».

Автор выражает искреннюю благодарность заведующему кафедрой энергоэффективных технологий УО МГЭУ им. А. Д. Сахарова, кандидату технических наук, доценту Пашинскому В. А. и заведующему отделом энергетики РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», кандидату технических наук Тимошуку А. Л. за проделанную работу по тщательному рецензированию рукописи и справедливые замечания, устранение которых способствовало значительному улучшению ее качества.

1. Воздействие отдельных участков спектра оптического излучения на живые организмы и растения

1.1. Воздействие оптического излучения на живые организмы и растения, сфера его использования в сельскохозяйственном производстве

Область электромагнитного излучения в интервале длин волн от 1 нм до $1 \cdot 10^6$ нм (1 нм до 1 мм) называют оптическим излучением (ОИ). По специфике воздействия на биологические объекты и растения ОИ подразделяют на УФ, видимое и ИК². УФ и ИК излучения в свою очередь условно делят на зоны А, В и С. УФ излучение зоны С (УФ-С) определяется диапазоном длин волн 100–280 нм, зоны В (УФ-В) – 280–315 нм и зоны А (УФ-А) – 315–380 нм. ИК излучение в диапазоне 780–1400 нм относят к зоне А (ИК-А)³, в диапазоне 1400–3000 нм – к зоне В (ИК-В) и в диапазоне более 3000 нм – к зоне С (ИК-С). ОИ в диапазоне между УФ (от 380 нм) и ИК (до 780 нм) излучениями определяется зоной видимого излучения. ИК и УФ излучения невидимы для человеческого глаза.

Воздействие отдельных участков спектра ОИ на приемники определяется длиной волны и энергией фотона, уровнем облученности и продолжительностью действия. Оно может быть как положительным (благоприятным), так и отрицательным (неблагоприятным). С уменьшением длины волны энергия фотона возрастает, увеличивая и усложняя его фотобиологическое взаимодействие

² В переводе с латинского языка «инфра» означает «вперед», то есть перед красным цветом излучения видимого диапазона, а «ультра» – «за», то есть за фиолетовым.

³ Деление ИК излучения на зоны А, В и С несколько условно, так как различное воздействие указанных зон излучения на приемники выражены не так четко, как для УФ.

с приемником. С увеличением длины волны фотона его энергия уменьшается и уже в диапазоне ИК излучения ее недостаточно для активизации фотобиологического действия и она, как правило, преобразуется в тепловую. Однако с увеличением длины волны фотоны способны глубже проникать в тело приемника.

Из всех видов ОИ в технологических процессах сельскохозяйственного производства наиболее широко используется видимое излучение (380–780 нм), способное непосредственно вызывать зрительные ощущения. Излучение этого диапазона применяют для создания необходимого уровня освещенности объектов видения, ускорения реакции фотосинтеза у зеленых растений и регулирования биологических ритмов сельскохозяйственных животных и птицы с целью увеличения их продуктивности.

Видимое излучение влияет и на физиологические ритмы живых организмов (размножение, смену волосяного или перового покрова и др.) При этом уровень влияния определяется не только уровнем освещенности объекта, но и режимами смены темного и светлого времени суток, их продолжительностью и спектральным составом излучения. Воздействие видимого излучения на организм происходит рефлекторно через органы зрения и частично через нервные окончания в коже, что приводит к стимуляции фотохимических процессов и улучшению функций сердечно-сосудистой системы. Видимое излучение оказывает влияние на состояние центральной нервной системы, повышает активность коры больших полушарий, усиливает функцию эндокринных органов, которые вырабатывают в значительных количествах сложные и высокоактивные вещества (гормоны).

УФ излучение (100–380 нм)⁴ отличается относительно высокой энергией фотонов, способных оказать существенное воздействие на биологические объекты.

Биологическое действие УФ излучения на организм сельскохозяйственных животных проявляется через фотохимические реакции в кожных покровах, слизистых оболочках и органах зрения, а также через воздействия озона, окислов азота, аэроионов, образующихся в воздухе при УФ облучении. При этом большое значение имеет бактерицидное действие этого излучения – уменьшение бактериального загрязнения воздуха и улучшение микроклимата в помещениях.

⁴ УФ излучение короче 100 нм интенсивно поглощается воздухом, поэтому в сельскохозяйственном производстве практически не используется.

Одной из основных фотохимических реакций, происходящих под влиянием УФ лучей, является реакция фотолиза дегидрохолестерина. Последний значительно превышает по своей антирадикальной активности витамин D_2 , имеющийся в достаточных количествах в живых организмах и корме. Наряду с образованием витамина D_3 , под влиянием УФ облучения в коже образуются и другие биологически активные продукты: ацетилхолин, гистамин, продукты окисления жирных кислот и т. д. Эти вещества, попадая в кровоток, путем сложных нейроэндокринных реакций переносят положительный эффект от УФ облучения на весь живой организм. При этом ведущая роль в реакциях принадлежит центральной нервной системе и ее рефлекторным механизмам.

Поглощенное и преобразованное УФ излучение ускоряет выработку условных рефлексов. Под его влиянием изменяется функциональная активность вегетативной нервной системы, видоизменяется гормональный статус животных, усиливается деятельность гипофиза, надпочечников, щитовидной, поджелудочной, 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, повышении резистентности организма, увеличении продуктивности животных.

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

Длинноволновое УФ излучение (315–380 нм) обладает сравнительно небольшой фотобиологической активностью, но способно вызвать пигментацию кожи человека, оказывает положительное влияние на организм животных и птицы, повышая их биологическую активность, определяет формативный эффект у растений. Излучение этого диапазона способно вызывать свечение некоторых веществ и его используют для люминесцентного анализа химического состава и биологического состояния продуктов.

Средневолновое УФ излучение (280–315 нм) оказывает тонизирующее и терапевтическое действие на живые организмы, влияет на обмен веществ, процессы дыхания, активизацию кровообращения, увеличение содержания гемоглобина в крови. Оно способно вызывать эритему и загар, превращать в организме животных необ-

ходимый для роста и развития витамин *D* в усвояемую форму, обладает мощным антирахитным действием. В тоже время излучение указанного диапазона вредно для большинства растений.

Коротковолновое УФ излучение (100–280 нм) отличается бактерицидным действием, поэтому его широко используют для обеззараживания воды и воздуха, дезинфекции и стерилизации различного инвентаря и посуды.

ИК излучение (780–10⁶ нм) характеризуется относительно небольшой энергией и высокой проникающей способностью фотонов. Глубоко проникая в поверхностные слои тканей живого организма или вещества приемника ИК излучение большую часть энергии своих фотонов расходуют на преобразование в тепловую энергию. Глубина их проникновения в тело животного достигает 2,5 мм, зерно – 2 мм, сырой картофель – 6 мм, хлеб при выпечке – 7 мм, слой воды – 30–45 мм. Излучения практически не поглощаются воздухом.

В сельскохозяйственном производстве ИК излучение используют в основном для обогрева молодняка животных и птицы, сушки и дезинсекции сельскохозяйственных продуктов (зерно, фрукты, чай, хмель и др.), пастеризации молока, сушки лакокрасочных и пропиточных покрытий.

Территория Республики Беларусь характеризуется продолжительным холодным осенне-зимним периодом, считающимся наиболее трудным для содержания животных и птицы. 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 их росте и развитии, приводят к нарушению обмена веществ, возникновению простудных заболеваний, расстройству пищеварения и даже гибели.

Необходимый температурный режим при выращивании молодняка обеспечивают общей системой обогрева помещений или комбинированной, состоящей из системы общего и местного (локального) обогрева. В системах местного обогрева кроме обогреваемых полов, ковриков и панелей широкое распространение получили ИК излучатели.

При тепловом воздействии ИК излучения в тканях животного и птицы увеличивается кровообращение, доставляя в их жизненно важные органы большее количество питающих их элементов, что способствует нормализации обмена веществ. Установлено, что после воздействия ИК излучением на кожу и глубоколежащие ткани,

в организме животных происходит активация кроветворных органов, в крови увеличивается количество эритроцитов, лейкоцитов, содержание гемоглобина, а также появляются активные продукты распада белков.

ИК облучение оказывает положительное влияние на резистентность (сопротивляемость внешним воздействиям) животных. Специфичность этого воздействия позволяет его использовать и в лечебных целях. В основе терапевтического действия излучения лежит способность вызывать активную гиперемии (тепловую эритему) кожи, 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.

Особенно перспективно применение ИК излучения совместно с УФ излучением. Использование ИК облучения в сочетании с УФ облучением позволяет повысить выход продукции на 10–15 %.

ИК излучение активно используют и в других технологических процессах сельскохозяйственного производства:

- предпосевная обработки семян, способствующая повышению всхожести, качества и урожая растений;
- пастеризация молока, при которой уничтожается за 3–4 с до 99,8 % бактерий и молоко можно хранить 8–10 суток при температуре +5 °С;
- сортировка плодов и овощей, разделяя их по стадиям зрелости;
- сушка лакокрасочных покрытий, улучшающая качество покрытия и сокращается время сушки;
- сушка сельскохозяйственной продукции (листьев табака, чая, фруктов и т. д.);
- дезинсекция упаковочной тары.

Классификация воздействия ОИ на объекты сельскохозяйственного производства в зависимости от длины волны излучения представлена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Эффект воздействие оптического излучения различных длин волн на объекты сельскохозяйственного производства

Диапазон длин волн оптического излучения, нм	Воздействие оптического излучения на объекты сельскохозяйственного производства
> 1000	Тепловое действие (нагрев, обогрев, сушка)
1000–700	Влияние на эффект вытягивания стебля растения

Окончание табл. 1.1

Диапазон длин волн оптического излучения, нм	Воздействие оптического излучения на объекты сельскохозяйственного производства
700–400	Видение окружающего нас мира (видимое излучение). Реакция фотосинтеза, при которой происходит выработка органических веществ из неорганических, являющейся основой жизни растений
400–315	Обеспечение образования формы плодов растений (формативный эффект). Преобразование в видимое излучение для обеспечения люминесцентного анализа, сортировки продукции. Обеспечение направленного перемещения насекомых и рыбы (эффект фототаксиса)
315–280	Терапевтическое действие (витальное, антирахитное, тонизирующее и т. д.). Негативное действие на большинство растений
< 280	Уничтожения бактерий и микроорганизмов (бактерицидный эффект). Губительное действие на большинство растений

1.2. Фотобиологическое действие оптического излучения

Взаимодействие ОИ с приемниками в общем случае может быть фотофизическим, фотохимическим и фотобиологическим. Технологические процессы сельскохозяйственного производства связаны главным образом с объектами живой природы. Воздействие оптического излучения на человека, животных, микроорганизмы и растения называют **фотобиологическим**. Различают следующие основные виды фотобиологического воздействия: световое, фотосинтетическое, фотопериодическое, терапевтическое, бактерицидное и мутагенное (рис. 1.1).

Световое действие заключается в способности видимого излучения, воздействуя на глаз человека или животного, вызывать зрительное ощущение – способность видеть окружающий мир и ориентироваться в пространстве.

Фотосинтетическое действие проявляется в способности листьев растений поглощать видимое и длинноволновое УФ излучение и синтезировать органические вещества.

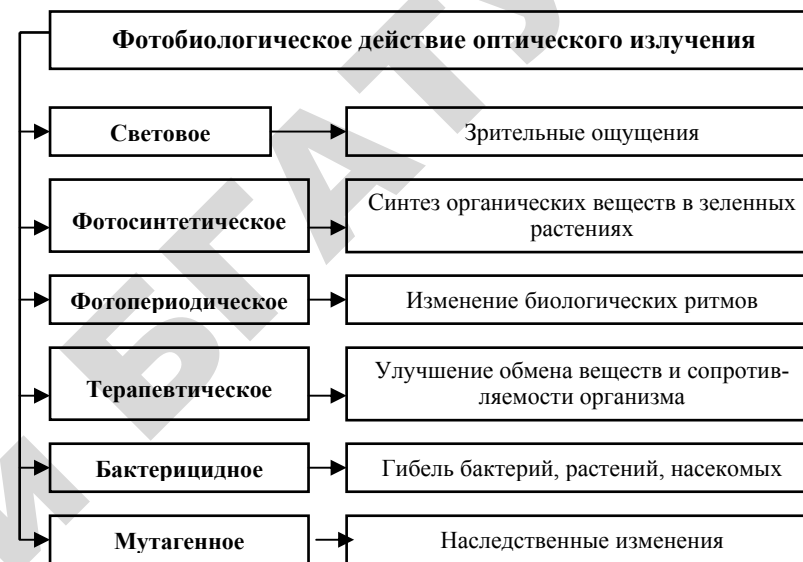


Рис. 1.1. Основные виды фотобиологического действия оптического излучения

Фотопериодическое действие вызывает изменение биологических ритмов сельскохозяйственных растений животных и птицы при изменении продолжительности светлого и темного периодов суток, а также частоты их чередования.

Терапевтическое действие (витальное, антирахитное) – тонизирующее влияние ОИ на живые организмы. Облучение людей и животных УФ, видимым и ИК излучениями улучшает обмен веществ в организме, повышает его сопротивляемость к заболеваниям.

Бактерицидное действие заключается в том, что облучение УФ, а при больших дозах видимым и ИК излучениями, приводит к гибели бактерий, микроорганизмов, растений, насекомых.

Мутагенное действие наблюдается при длительном воздействии УФ и видимым излучениями на растения и животных, что способствует наследственным изменениям, которые можно использовать для выведения сортов растений и живых организмов с новыми свойствами.

Различные области ОИ оказывают различные действия на сельскохозяйственные объекты. Так видимое излучение оказывает световое, фотосинтетическое и фотопериодическое действия, УФ излучения области А и В – витальное и антирахитное, а области С – бактери-

цидное действие. ИК излучение наиболее часто применяется с целью тонизирующего воздействия, возникающего за счет теплового эффекта в кожном покрове животных и птицы.

1.3. Закономерности взаимодействия оптического излучения с приемниками

Из всей энергии ОИ, воздействующей на приемник живой или неживой природы, только та часть может быть преобразована в другой вид энергии (электрическую, тепловую, химическую, биологическую), которая им поглощается. Отраженный или прошедший сквозь тело поток ОИ не оказывает на него никакого действия.

Поглощенный приемником поток ОИ, преобразованный в нем в другой вид энергии и вызвавший в нем какое-либо ожидаемое полезное действие, называют *эффективным потоком*. Как видим, эффективный поток отличается от поглощенного потока уровнем реакции приемника энергии излучения на него. Не весь поглощенный поток излучения оказывает эффективное действие на приемник. Некоторая его составляющая может оказывать и побочные эффекты или преобразоваться в тепловую энергию, расходуемую на нагрев приемника. К тому же спектральная чувствительность приемника, определяющая значение эффективного потока, для большинства приемников, в частности биологических, характеризуется многофакторной зависимостью от внешних условий окружающей среды.

При известной спектральной плотности потока излучения $\varphi_{e\lambda}$ и спектральной чувствительности приемника g_λ эффективный поток $\Phi_{эф}$ определяют как:

$$\Phi_{эф} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_{e\lambda}(\lambda) \cdot g_\lambda(\lambda) d\lambda, \quad (1.1)$$

или, используя относительную спектральную чувствительность приемника $K_\lambda(\lambda)$, как:

$$\Phi_{эф} = g_{\lambda, \max} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_{e\lambda}(\lambda) \cdot K_\lambda(\lambda) d\lambda, \quad (1.2)$$

где $g_{\lambda, \max}$ – максимальное значение относительной спектральной чувствительности приемника.

Графическая иллюстрация определения эффективного потока приведена на рис. 1.2, где в одномерном масштабе изображены спектральная плотность потока излучения $\varphi_{e\lambda}$ и спектральная чувствительность приемника g_λ , а эффективный поток $\Phi_{эф}$ определяется площадью заштрихованной фигуры.

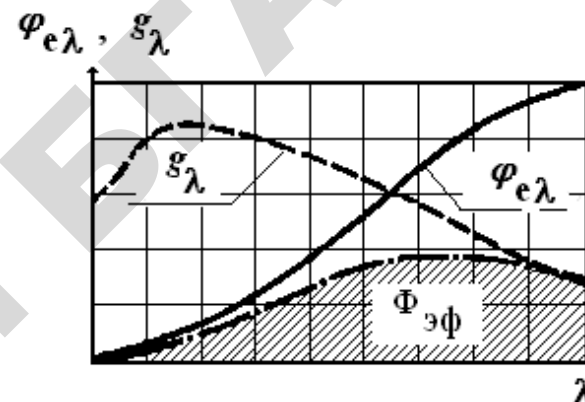


Рис. 1.2. Графическая иллюстрация определения эффективного потока

Преобразование ОИ начинается с поглощения энергии молекулами вещества и подчиняется основным законам Бугера-Ламберта, Эйнштейна, Бунзена-Роско и Арндта-Шульца.

Закон ослабления Бугера-Ламберта устанавливает взаимосвязь силы излучения I , прошедшего слой вещества среды толщиной l , и силы излучения на поверхности приемника I_0 (рис. 1.3):

$$I = I_0 e^{-k_\lambda \cdot l}, \quad (1.3)$$

где k_λ – показатель поглощения, определяемый физико-химическими свойствами вещества, т. е. величина, обратная расстоянию, на котором монохроматический поток излучения ослабляется за счет поглощения в веществе в e раз.

Учитывая, что спектральный коэффициент поглощения α_λ равен отношению поглощенного потока монохроматического излучения $(\Phi_\alpha)_\lambda$ к потоку монохроматического излучения, оказавшемуся на приемнике Φ_λ , то есть $\alpha_\lambda = (\Phi_\alpha)_\lambda / \Phi_\lambda$, а силы излучения пропорциональны соответствующим потокам, то есть $I_0 - I \equiv (\Phi_\alpha)_\lambda$ и $I \equiv \Phi_\lambda$, то после несложных преобразований имеем:

$$\alpha_\lambda = 1 - e^{-k_\lambda \cdot l}. \quad (1.4)$$

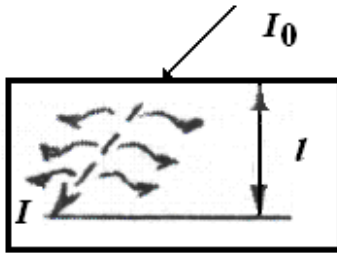


Рис. 1.3. Поглощение оптического излучения приемником

Закон квантовой эквивалентности Эйнштейна указывает на то, что каждый поглощенный фотон вызывает одну элементарную реакцию. В частности, эта реакция может быть химическим превращением либо физическим возбуждением молекул вещества.

В соответствии с законом квантовой эквивалентности Эйнштейна число прореагировавших молекул n_a определяется поглощенной энергией фотонов излучения Q :

$$n_a = \frac{Q}{h \cdot \nu}, \quad (1.5)$$

где h – постоянная Планка, равная $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, ν – частота монохроматического излучения.

Закон Бунзена-Роско определяет количественный процесс преобразования энергии излучения.

Как правило, не вся поглощенная лучистая энергия преобразуется в эффективную (полезную). Например, при облучении растений часть поглощенной лучистой энергии расходуется на процесс фотосинтеза, а часть – на нагрев листьев.

Количественно процесс преобразования энергии излучения определяют через показатель – квантовый выход η_k :

$$\eta_k = \frac{n_{\alpha \text{эф}}}{n_a}, \quad (1.6)$$

где $n_{\alpha \text{эф}}$ – количество эффективно преобразованных поглощенных фотонов;

n_a – количество поглощенных фотонов.

Так как $n_{\alpha \text{эф}} = n_a \cdot \eta_k = \frac{Q}{h \cdot \nu} \cdot \eta_k$, а $Q = \alpha_\lambda \cdot \Phi_\lambda \cdot \tau$ и $\alpha_\lambda = 1 - e^{-k_\lambda \cdot l}$, то $n_{\alpha \text{эф}} = \eta_k \cdot \frac{(1 - e^{-k_\lambda \cdot l}) \cdot \Phi_\lambda \cdot \tau}{h \cdot \nu}$. Введя коэффициент $a = \eta_k \cdot \frac{(1 - e^{-k_\lambda \cdot l})}{h \cdot \nu}$, значение которого определяется свойствами приемника, получим:

$$n_{\alpha \text{эф}} = a \cdot \Phi_\lambda \cdot \tau, \quad (1.7)$$

где τ – время воздействия ОИ на приемник, с.

Полученное выражение указывает на то, что количество эффективно преобразованных фотонов (например, при фотохимической реакции) определяется произведением мощности излучения Φ_λ на время его действия τ и не зависит от соотношения сомножителей. Из чего следует, что один и тот же эффект может быть получен варьированием значений лучистого потока или времени – уменьшением лучистого потока и увеличением времени облучения или наоборот.

Закон Арндта-Шульца указывает на существование взаимосвязи мощности воздействующего ОИ и жизнедеятельности живых организмов: слабое раздражение возбуждает, среднее – подавляет и сильное – приостанавливает жизнедеятельность, что схематически проиллюстрировано на рис. 1.4. Следует отметить, что в данном законе под понятием мощности необходимо понимать облученность и экспозицию (дозу) излучения соответствующего диапазона длин волн (см. подраздел 1.4).

1.4. Образцовые приемники и системы эффективных величин измерения оптического излучения

Количественная оценка технологического действия ОИ применительно к объектам сельскохозяйственного производства осуществляется с учетом результативности его воздействия на приемник в световой, бактерицидной, витальной и фотосинтетической системах величин. Каждая из них основана на спектральной чувствительности какого-то одного из группы близких по спектральной чувствительности приемников, который называют образцовым или эталонным⁵.

⁵ Спектральные чувствительности реальных существующих в природе приемников несколько отличаются от спектральной чувствительности образцового приемника и расчет эффективного воздействия ОИ на каждый из них с использованием той или иной системы эффективных величин является приближенным.



Рис. 1.4. Воздействие мощности оптического излучения на биологический объект

К образцовому приемнику предъявляется ряд требований:

- он должен реагировать на любое однородное излучение в пределах того участка спектра, на котором располагаются кривые спектральной чувствительности всех приемников данной группы;
- его реакция на облучение должна поддаваться непосредственному или косвенному измерению с требуемой точностью;
- эффективные величины системы, созданной на основе выбранного образцового приемника, должны обладать свойством аддитивности.

В качестве образцового приемника в *системе световых величин* принят усредненный глаз человека, максимальное значение спектральной чувствительности которого наблюдается при длине волны $\lambda_{\max} = 555$ нм (рис 1.5). Система позволяет количественно оценить способность потока ОИ создавать видимость окружающих нас предметов в условиях дневного зрения.

Система бактерицидных величин определяет способность коротковолнового УФ излучения губительно воздействовать на бактерии, приводя к их летальному исходу. Образцовый приемник, на базе которого построена система, учитывает усредненное избирательное действие излучения на различные виды бактерий. Максимальное значение спектральной чувствительности этого образцового приемника приходится на длину волны $\lambda_{\max} = 254$ нм (рис 1.5).

*Система витальных величин*⁶ оценивает общебиологическое действие УФ излучения с длиной волны 0,28–0,38 нм (антирахи-

ное, тонирующее, терапевтическое и т. д.) на организм человека и животных, сопровождаемое образованием эритемы (покраснения) на участках кожи, подвергнувшихся облучению. За образцовый приемник в этой системе принята кожа человека (рис. 1.5). Максимальное значение спектральной чувствительности кожи человека отмечается при длине волны $\lambda_{\max} = 297$ нм.

Система фотосинтетических величин оценивает эффективность реакции фотосинтеза в зеленом листе растений, в результате которой образуется биомасса растения, поглощается углекислый газ из воздуха и выделяется кислород. За образцовый приемник в системе принят усредненный лист зеленого растения, расчетная относительная спектральная чувствительность которого по И. И. Свентицкому [3, 4] приведена на рис. 1.5 (кривая 4). Максимальное значение спектральной чувствительности этого зеленого листа растений отмечается при длине волны $\lambda_{\max} = 680$ нм.

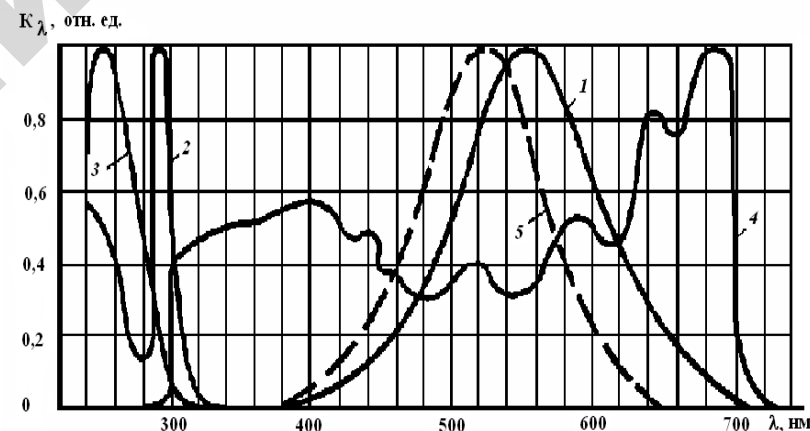


Рис. 1.5. Относительные спектральные чувствительности образцовых приемников: светоадаптированного усредненного глаза человека в условиях дневного зрения (1); кожи человека на витальное (2) и бактериальный на летальное (3) действия УФ излучения; среднего листа растений (4) и усредненного глаза человека в условиях ночного зрения (5)

Принято считать, что общее благоприятное действие УФ излучения на животных и птицу пропорционально его витальному действию. Исходной величиной в системе *витальных величин* служит витальный поток Φ_v . За единицу измерения витального потока принято воздействие монохроматического потока ОИ с длиной

⁶ Система витальных величин до 1983 года существовала под названием система эритемных величин.

волны 297 нм и мощностью 1 Вт на образцовый приемник – кожу человека. Этой единице присвоено название *вит* (тысячная доля этой единицы *милливит*, или сокращенно *мвит*).

Значение витального потока Φ_B в общем потоке оптического излучения определяется по формуле:

$$\Phi_B = \int_{280\text{нм}}^{320\text{нм}} \varphi_{\text{ел}}(\lambda) \cdot K_\lambda(\lambda) d\lambda, \quad (1.8)$$

где $\varphi_{\text{ел}}$ – спектральная плотность потока излучения;

K_λ – относительная спектральная чувствительность образцового приемника.

Пространственную плотность витального потока (*силу витального излучения*) I_B определяют отношением витального потока точечного источника Φ_B , расположенного в вершине телесного угла, к телесному углу ω , в пределах которого равномерно распределен этот поток, то есть:

$$I_B = \frac{d\Phi_B}{d\omega}. \quad (1.9)$$

Единицей измерения силы витального излучения является *вит·ср⁻¹* или *мвит·ср⁻¹*.

Отношение витального потока Φ_B , падающего на поверхность и равномерно по ней распределяющегося, к площади этой поверхности S называют витальной облученностью E_B , которая определяется как:

$$E_B = \frac{d\Phi_B}{dS}. \quad (1.10)$$

Единицей измерения витальной облученности является *вит·м⁻²* или *мвит·м⁻²*.

Количество энергии витального излучения, приходящееся на единицу площади облучаемой поверхности в течение времени ее действия t , называют витальной экспозицией или дозой витального облучения H_B и определяют по формуле:

$$H_B = \int_{t_1}^{t_2} E_B(t) dt. \quad (1.11)$$

Единица измерения витальной экспозиции – *вит·с·м⁻²* или *мвит·с·м⁻²*.

В *системе бактерицидных величин* эффективным потоком, определяемым по бактерицидному действию коротковолнового УФ излучения на различные виды бактерий, является бактерицидный поток Φ_B . Наибольшим бактерицидным действием, то есть способностью вызывать гибель бактерий, обладает УФ с длиной волны 254 нм. Поэтому за единицу бактерицидного потока – *бакт* (*бк*) – принято разрушающее действие на бактерии монохроматического излучения с длиной волны 254 нм и мощностью 1 Вт. Тысячная доля бакта называется миллибактом (*мбк*).

Остальные величины и единицы этой системы образованы аналогично вышеприведенной витальной системе (табл. 1.2). Единицей измерения *силы бактерицидного излучения* I_B является *бк·ср⁻¹* или *мбк·ср⁻¹*, бактерицидной облученности E_B – *бк·м⁻²* (*мбк·м⁻²*), а бактерицидной экспозиции (дозы бактерицидного облучения) H_B – *бк·с·м⁻²* (*мбк·с·м⁻²*).

В основе построения *фотосинтетической системы величин* лежит понятие *фитопотока*. Фитопоток Φ_F количественно определяет содержание в интегральном потоке излучения энергии, потенциально доступной растениям для осуществления реакции фотосинтеза. За единицу фитопотока принят *фит*, численно равный монохроматическому потоку ОИ мощностью 1 Вт с длиной волны 680 нм.

Таблица 1.2

Величины и единицы измерения оптического излучения

Энергетические	Световые	Витальные	Бактерицидные	Фотосинтетические
Поток излучения Φ_e , Вт	Световой поток Φ_C , лм	Витальный поток Φ_B , вит	Бактерицидный поток Φ_B , <i>бакт</i>	Фитопоток Φ_F , фит
Сила излучения I_e , Вт·ср ⁻¹	Сила света I_C , кд	Сила витального излучения I_B , вит·ср ⁻¹	Сила бактерицидного излучения I_B , бк·ср ⁻¹	Сила фитоизлучения I_F , фит·ср ⁻¹
Облученность (плотность облучения) E_e , Вт/м ²	Освещенность E_C , лк	Витальная облученность E_B , вит·м ⁻²	Бактерицидная облученность E_B , бк·м ⁻²	Фитооблученность E_F , фит·м ⁻²
Энергетическая экспозиция (доза облучения) H_e , Дж/м ²	Световая экспозиция H_C , лк·с	Витальная экспозиция H_B , вит·с·м ⁻²	Бактерицидная экспозиция H_B , бк·с·м ⁻²	Фитоэкспозиция H_F , фит·с·м ⁻²

В качестве производных величин в рассматриваемой системе используются (табл. 1.2): сила фитоизлучения I_{ϕ} (пространственная плотность фитопотока), $\text{фит}\cdot\text{ср}^{-1}$; фитооблученность E_{ϕ} , $\text{фит}\cdot\text{м}^{-2}$; фитоэкспозиция H_{ϕ} (доза фитооблучения), $\text{фит}\cdot\text{с}\cdot\text{м}^{-2}$ (табл. 1.2).

Эффективным потоком в **системе световых величин** является **световой поток**. За единицу светового потока в соответствии с международным соглашением принят люмен (лм) – световой поток, излучаемый абсолютно черным телом площадью 0,5305 мм² при температуре затвердевания платины (2042 К). Установлено, что при воздействии монохроматическим излучением с длиной волны 555 нм и мощностью 1 Вт на светоадаптированный глаз стандартного фотометрического наблюдателя создается 683 лм светового потока. Следовательно, число 683 лм·Вт⁻¹ является **световым эквивалентом мощности излучения**.

Другие величины системы световых величин, такие как сила света, освещенность, светимость, световая экспозиция, можно получить по аналогии с рассмотренными выше величинами системы витальных величин (табл. 1.2).

Эффективное тепловое действие ИК излучения оценивают в абсолютных единицах энергетической системы величин: поток ИК излучения $\Phi_{\text{ИК}}$, Вт; сила ИК излучения $I_{\text{ИК}}$, Вт·ср⁻¹; ИК облученность $E_{\text{ИК}}$, Вт·м⁻²; экспозиция (доза) ИК излучения $H_{\text{ИК}}$, Дж·м⁻².

1.5. Классификация облучательных установок

Устройства, предназначенные для получения ОИ требуемого спектрального состава и интенсивности его перераспределения в пространстве для передачи от источника к объекту, называют облучательными установками.

Облучательные установки, предназначенные для применения в технологических процессах сельскохозяйственного производства, классифицируют по следующим признакам: области генерируемого спектра ОИ, назначению, типу применяемого источника, взаимному расположению источника и приемника, способу передачи ОИ приемнику.

В зависимости от области спектра воздействующего ОИ они могут быть установками УФ, видимого, ИК или комбинированного (УФ и ИК или УФ и видимого) излучения.

По назначению их подразделяют на установки:

- для обеззараживания воды, воздуха, тары (коротковолновое УФ излучение с длиной волны 100–280 нм);
- терапевтического (витального, антирахиного) воздействия на живые организмы (средневолновое УФ излучение с длиной волны 280–315 нм);
- люминесцентного анализа (неразрушающего контроля) и сортировки продукции, фототаксиса насекомых и рыбы (длинноволновое УФ излучение с длиной волны 315–380 нм);
- предпосевной обработки семенного материала (УФ излучение с длиной волны 100–380 нм);
- досвечивания рассады и растений (видимое излучение с длиной волны 380–780 нм);
- обеспечения различения окружающих предметов (видимое излучение с длиной волны 380–780 нм);
- нагрева, обогрева и сушки (ИК излучение с длиной волны > 780 нм).

По типу применяемого источника:

- с лампами накаливания;
- газоразрядными лампами низкого давления;
- газоразрядными лампами высокого давления;
- газоразрядными лампами сверхвысокого давления;
- ИК лампами;
- твердотельными источниками (светодиодами).

По взаимному расположению источника и приемника:

- стационарные при неизменяемом расположении источника и приемника на протяжении всего периода облучения;
- переносные, в которых предусмотрена возможность перемещения до начала рабочего цикла источника по отношению к приемнику излучения;
- передвижные, в которых источник непрерывно перемещается относительно месторасположения приемника.

По способу передачи ОИ приемнику:

- постоянного облучения приемника в течение заданного времени;
- попеременного облучения приемника с заданным чередованием интенсивности и времени воздействия и нерабочих («темных») пауз;
- импульсного облучения, при котором энергия ОИ от источника к приемнику передается периодическими импульсами («вспышками») с определенной частотой и длительностью.

1.6. Облученность горизонтальной поверхности, сферы и цилиндра

Облученность определяется формой поверхности приемника (горизонтальная или наклонная, в том числе вертикальная, плоскость, цилиндр или сфера) и видом излучателя (точечный, линейный, полусфера или сфера).

Облученность в какой-либо точке M , лежащей на поверхности наклонной плоскости ΔS при известной силе излучения в заданном направлении от точечного излучателя I_α определяют как (рис. 1.6):

$$E_M = \frac{I_\alpha \cdot \cos \beta}{l^2}. \quad (1.12)$$

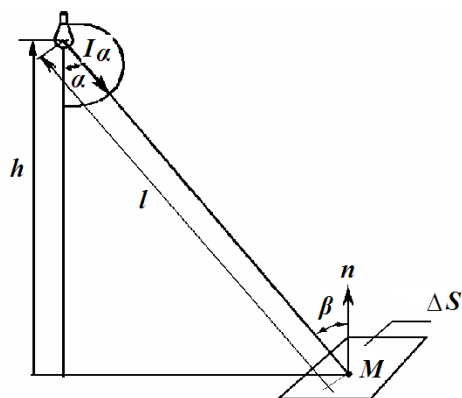


Рис. 1.6. К определению облученности поверхности при известном распределении силы излучения точечного источника

Для поверхности, расположенной горизонтально ($\alpha = \beta$, $l = h / \cos \alpha$):

$$E_M = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}, \quad (1.13)$$

или вертикально ($\cos \beta = \sin \alpha$, $l = h / \cos \alpha$):

$$E_M = \frac{I_\alpha \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}, \quad (1.14)$$

где I_α – сила излучения от точечного излучателя в направлении облучаемой точки M ;

β – угол между нормалью к поверхности и направлением силы излучения;

α – угол между направлением силы излучения и осью симметрии излучателя;

l – расстояние между излучателем и облучаемой точкой;

h – высота подвеса излучателя.

Объекты сельскохозяйственного производства при моделировании часто представляют в виде сферы или цилиндра и при расчетах определяют не облученность какой-либо конкретной точки, а среднюю облученность всей облучаемой поверхности. Средняя облученность поверхности численно равна средней плотности потока излучения, падающего на облучаемую поверхность (сферы или цилиндра), радиус которой приближается к нулю, а его центр находится в исследуемой точке.

Если объект облучения представлен в виде сферы, а точнее в виде полусферы (так как вторая половина сферы затенена), то ее среднюю облученность определяют исходя из следующих соображений (рис. 1.7).

Площадь облучаемой поверхности (полусферы) равна $S_{\text{обл}} = \frac{\pi \cdot d^2}{2}$, площадь сечения сферы – $S_{\text{сеч}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ и телесный угол

в направлении сферы – $\omega = \frac{S_{\text{сеч}}}{l^2} = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot l^2}$. Так как средняя облученность поверхности сферы $E_{\text{ср}} = \frac{\Phi}{S_{\text{обл}}}$, а значение потока излучения

$\Phi = I_\alpha \cdot \omega$ и $l = h / \cos \alpha$ то:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi}{S_{\text{обл}}} = \frac{2 \cdot I_\alpha \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l^2} = 0,5 \cdot I_\alpha \frac{\cos^2 \alpha}{h^2}, \quad (1.15)$$

где d – диаметр сферы.

Если объект облучения представлен в виде цилиндра диаметром d и длиной l_1 , то площадь его облучаемой поверхности (полуцилиндра, так как его вторая половина затенена) $S_{\text{обл}} = \frac{\pi \cdot d \cdot l_1}{2}$, площадь сечения – $S_{\text{сеч}} = d \cdot l_1$ и телесный угол – $\omega = \frac{d \cdot l_1}{l^2}$. Тогда среднюю облу-

ченность поверхности цилиндра при $E_\Phi = \Phi / S_{\text{обл}}$, значении потока излучения $\Phi = I_\alpha \cdot \omega$ и $l = h / \cos \alpha$ определим как:

$$E_{\text{сп}} = \frac{2 \cdot I_\alpha \cdot d \cdot l_1}{l^2 \cdot \pi \cdot d \cdot l_1} = \frac{2 \cdot I_\alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\pi \cdot h^2} = 0,64 \frac{I_\alpha \cdot \cos^2 \alpha}{h^2}. \quad (1.16)$$

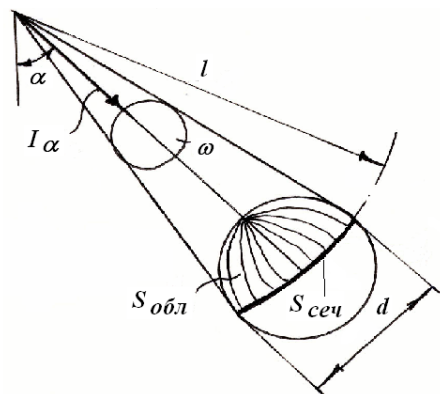


Рис. 1.7. К вопросу определения облученности сферы

Анализ формул 1.12–1.16 позволяет получить единую формулу для определения облученности различных тел от точечного излучателя:

$$E_{\text{тела}} = K_\Phi \frac{I_\alpha \cdot \cos^2 \alpha}{h^2}, \quad (1.17)$$

где K_Φ – коэффициент формы поверхности тела, равный: $\cos \alpha$ – для горизонтальной плоской поверхности; $\sin \alpha$ – вертикальной плоской поверхности; 1 – горизонтальной плоской поверхности, расположенной перпендикулярно потоку излучения; 0,5 – сферической поверхности; 0,64 – цилиндрической, расположенной горизонтально, нормально к распределению потока излучения; $0,64 \cos \alpha$ – цилиндрической поверхности, расположенной продольно к распределению потока излучения.

Излучатель, длина которого превышает половину расстояния между ним и поверхностью облучения, не может быть представлен в виде точечного. Такой излучатель называют *линейным* (или *светящейся линией*). Примером линейных излучателей являются газоразрядные лампы низкого давления.

Для определения облученности от линейных излучателей невозможно применять вышеприведенные формулы из-за значительных ошибок в расчетах (более 5%). Формулы, по которым производятся расчеты облученности, несколько видоизменяются. Методику их получения покажем на примере определения облученности плоской поверхности, расположенной параллельно линейному излучателю. За линейный излучатель примем цилиндр диаметром более чем на порядок меньше его длины, поток излучения с элемента поверхности которого подчиняется закону $I_{\alpha L} = I_{0L} \cdot \cos \alpha$, что справедливо для большинства газоразрядных лам низкого давления.

Положение расчетной точки M определяем таким образом, чтобы ее проекция на плоскость F совпала с проекцией конца линейного излучателя на расчетную плоскость S (рис. 1.8). Выделим на линейном излучателе бесконечно малый элемент dL , положение которого относительно расчетной точки M определяется высотой расположения H_p и углами φ и α .

Облученность в расчетной точке M от элемента линейного излучателя dL определим по классической формуле светотехники (1.12):

$$dE_M = \frac{dI_{\varphi, \alpha} \cdot \cos \beta}{l_i^2}, \quad (1.18)$$

где $dI_{\varphi, \alpha}$ – сила излучения элемента линейного излучателя dL в направлении точки M ;

β – угол между вектором силы излучения $dI_{\varphi, \alpha}$ и нормалью к облучаемой поверхности n в точке M ;

l_i – расстояние от элемента линейного излучателя dL до точки M .

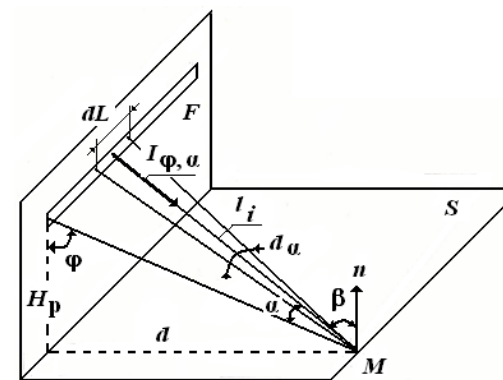


Рис. 1.8. Облученность горизонтальной поверхности от линейного излучателя

Так как $dI_{\varphi, \alpha} = I_{\varphi} \cdot dL \cdot \cos \alpha$, $\cos \beta = \frac{H_p}{l_i}$ и $dL \cdot \cos \alpha = l_i d\alpha$ имеем:

$$dE_M = \frac{I_{\varphi}}{H_p} \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \alpha d\alpha. \quad (1.19)$$

Облученность в точке M от всего линейного излучателя определяется интегрированием (1.19) по длине линии L :

$$E_M = \int_L dE_M = \frac{I_{\varphi}}{H_p} \cos^2 \varphi \int_0^{\alpha_k} \cos^2 \alpha d\alpha.$$

После подстановки $\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$ и интегрирования по $d\alpha$ имеем:

$$E_M = \frac{I_{\varphi}}{H_p} \cdot \cos^2 \varphi \left(\alpha_k + \frac{\sin 2\alpha_k}{2} \right), \quad (1.20)$$

где I_{φ} – сила излучения с единицы длины линейного излучателя в плоскости, перпендикулярной к оси линии ($\varphi = \arctg \frac{d}{H_p}$);

α_k – угол, под которым виден линейный излучатель с точки расчета;

H_p – высота расположения линейного излучателя над облучаемой поверхностью.

Силу излучения I_{φ} с единицы длины линии в плоскости, перпендикулярной к ее оси с некоторым приближением можно определить по формуле:

$$I_{\varphi} = \frac{\Phi}{\pi^2 \cdot L}, \quad (1.21)$$

где Φ – поток светящейся линии.

Следуя подобной последовательности рассуждений, могут быть получены зависимости для определения средней облученности и для других форм излучателей, например, выполненных в виде сферы или полусферы (рис. 1.9). В результате получим, что средняя облученность $E_{ср}$ для излучателя, выполненного в виде равномерно

излучающей сферы равна $E_{ср} = E_{\max}$, а для излучателя, выполненного в виде равномерно излучающей полусферы – $E_{ср} = E_{\max} / 2$, где E_{\max} – облученность участка сферы, обращенного к излучателю ($\beta = 0$).

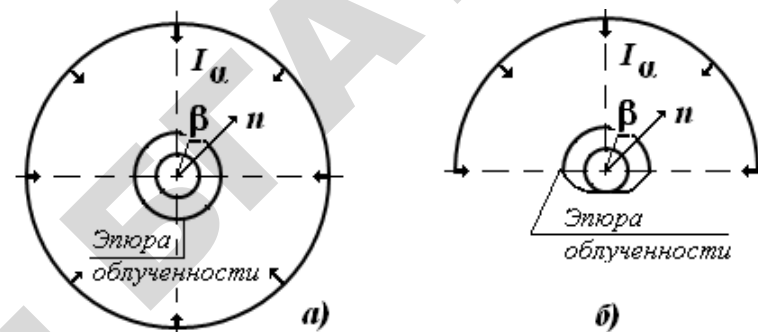


Рис. 1.9. К определению средней облученности для излучателей, выполненных в виде сферы (а); полусферы (б)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Укажите границы областей спектра ОИ и его характерных участков (зон, диапазонов). Расскажите о свойствах УФ (по зонам УФ-А, УФ-В, УФ-С), видимого и ИК излучений и приведите примеры их использования на объектах сельскохозяйственного производства.
2. Перечислите известные Вам виды фотобиологического действия ОИ и поясните, каким образом оно проявляется.
3. Разъясните физический смысл эффективного потока ОИ. Каким образом его определяют?
4. Основопологающие принципы взаимодействия ОИ с приемниками описывают законы Бугера-Ламберта, Эйнштейна, Бунзена-Роско и Арндта-Шульца. Что Вам известно об этих законах и что они определяют?
5. Какой из приемников ОИ называют образцовым или эталонным? Какие требования предъявляют к образцовому приемнику? Какие образцовые приемники Вам известны?
6. Какие системы измерения ОИ Вам известны? Какие образцовые приемники лежат в основе построения этих систем?
7. Разъясните смысл понятий в одной из приведенных систем измерения ОИ (световой, бактерицидной, витальной, фотосинтетиче-

ской): поток излучения; сила излучения; плотность облучения (облученность), доза облучения (экспозиция). Назовите единицы их измерения и приведите математические формулы их зависимости между собой.

8. По каким признакам классифицируют облучательные установки?

9. Каким образом можно определить облученность, создаваемую точечным излучателем на плоскости горизонтальной и наклонной поверхности?

10. Каким образом можно определить облученность, создаваемую линейным излучателем на плоскости горизонтальной поверхности?

11. Каким образом можно определить облученность, создаваемую точечным излучателем на поверхности сферы и цилиндра?

2. Специальные источники оптического излучения

В облучательных установках для технологических процессов сельскохозяйственного производства применяют специальные источники, генерирующие излучение УФ, видимого, ИК и смешанного (УФ и видимого) областей спектра ОИ, которые по существующей классификации относят:

- 1) к источникам теплового (ИК) излучения;
- 2) газоразрядным источникам ОИ (низкого, высокого и сверхвысокого давления) – бактерицидные, витальные и фотосинтетические лампы;
- 3) источникам смешанного (теплового и газоразрядного) излучения – витальные и фотосинтетические лампы;
- 4) твердотельным источникам (светодиодам) – ИК и видимое излучение.

2.1. Газоразрядные источники оптического излучения

В сельскохозяйственном производстве для непосредственного электротехнологического воздействия ОИ на живые организмы и растения широкое распространение получили специальные газоразрядные источники излучения в областях УФ (200–380 нм) и фотосинтетически активной (400–700 нм) части спектра. По распределению потока ОИ между различными областями УФ различают источники общего УФ (200–380 нм), преимущественно бактерицидного (200–280 нм) и витального (280–315 нм) действий.

К источникам общего УФ относят дуговые ртутные трубчатые лампы высокого давления типа ДРТ, которые представляют собой трубку из кварцевого стекла, в концы которой впаяны вольфрамовые самокалящиеся электроды (рис. 2.1). В лампу вводят дозиро-

ванное количество ртути и аргона. Для удобства крепления к арматуре они снабжены металлическими хомутами и держателями, которые соединены между собой металлической полоской, используемой для облегчения зажигания лампы. К сети переменного тока лампу присоединяют через пускорегулирующий аппарат (ПРА) посредством выступающих наружу концов молибденовых вводов.

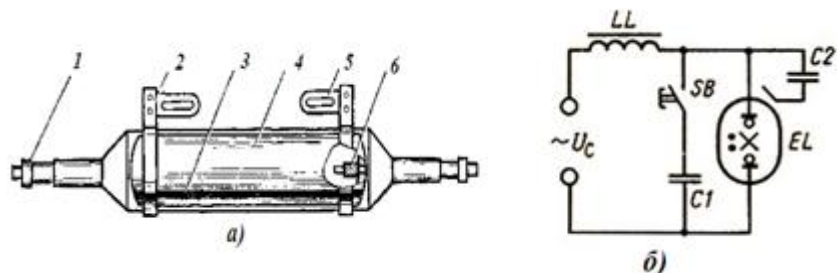


Рис. 2.1. Устройство (а) и схема включения (б) лампы ДРТ: 1 – ввод; 2 – металлический хомут; 3 – металлическая полоска; 4 – стеклянная цилиндрическая колба; 5 – держатель; 6 – вольфрамовый электрод

Схема включения лампы ДРТ в сеть содержит балластный дроссель LL , размыкающий ключ SB и два конденсатора $C1$ и $C2$. Если подать на схему напряжение и замкнуть ключ SB , то в электрической цепи (LL , SB и $C1$) появится ток, величина которого ограничивается сопротивлением дросселя и конденсатора. Резкий разрыв цепи ключом SB вызывает появление в дросселе ЭДС самоиндукции, которая прикладывается к лампе и пробивает газоразрядный промежуток. Металлическая полоска, подключаемая через конденсатор $C2$ к сети, облегчает пробой лампы. Для повышения коэффициента мощности к входу схемы обычно подключают конденсатор соответствующей емкости.

Период разгорания лампы длится 3–7 мин, в течение которого изменяются ее электрические и светотехнические параметры. Повторное зажигание погасшей лампы возможно после ее остывания (через 7–10 мин).

Лампы ДРТ изготавливают мощностью от 100 до 6000 Вт (100, 230, 400, 1000 и т. д.), из которых в сельскохозяйственном производстве в основном применяют лампы 100, 230, 400 и 1000 Вт (приложение 1). Средняя продолжительность горения ламп составляет 2000–2700 часов. К концу срока службы УФ излучение ламп составляет не менее 60 % номинальных значений.

Разновидностью ламп ДРТ являются лампы ДРП мощностью 120, 250 и 400 Вт, ДРТ2 мощностью 100 Вт и ДРП2 мощностью 250 и 400 Вт. Указанные лампы отличаются от базовой модели наличием тонкой кварцевой пленки с легирующими добавками, нанесенной на газоразрядную стеклянную колбу, которая отфильтровывает коротковолновое УФ излучение, генерируемое при электрическом разряде в парах ртути. Благодаря дополнительной пленке излучение с длинами волн 200–280 нм в общем потоке излучения лампы не превышает 5 %. Указанные лампы, а также лампы ДРТ мощностью 100, 120 и 250 Вт имеют четырехэлектродное исполнение, что обеспечивает поджигание газового разряда без каких-либо дополнительных устройств и приспособлений.

В качестве источников витального и бактерицидного излучения используют лампы ДБ (дуговая бактерицидная) и ЛЭ (люминесцентная эритемная)⁷. Эти источники относят к газоразрядным лампам низкого давления, а конструктивно они схожи с люминесцентными лампами общего назначения.

Бактерицидные лампы являются источником коротковолнового УФ излучения (диапазон УФ-С), большая часть которого (до 80 %) приходится на излучение с длиной волны около 254 нм. Отличительной особенностью конструкции лампы, в сравнении с люминесцентными лампами низкого давления, является отсутствие люминофора на внутренней поверхности колбы, изготовленной из специального увиолевого стекла с легирующими присадками, хорошо пропускающего УФ излучение диапазонов УФ-В и УФ-С. Лампы обозначают буквами ДБ и изготавливают на напряжение питающей сети 127 и 220 В⁸ номинальной мощностью 15, 30, 36 и 60 Вт. Технические параметры ламп ДБ приведены в приложении 1.

Витальные лампы типа ЛЭ являются источником средневолнового УФ излучения (диапазон УФ-В) и предназначены для компенсации УФ недостаточности. Они выполнены в виде цилиндриче-

⁷ В настоящее время вместо термина эритемная употребляется термин витальная, однако в буквенном обозначении источников это изменение не отражено. Далее в тексте придерживаемся термина витальная.

⁸ ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) [2] устанавливает стандарт напряжений 400/230 В взамен 380/220 В, однако на практике, включая ПУЭ [9], а также при обозначении параметров свето- и электротехнического оборудования, зачастую применяют устаревшую систему напряжений, то есть 380/220 В.

Далее параметры напряжения приводятся в системе, указанной заводом-производителем светотехнического оборудования.

ских трубок из увиолевого стекла, внутренняя поверхность которых покрыта слоем люминофора, излучающего в УФ области спектра с длиной волны 280–380 нм (максимум излучения в области 310–320 нм). Кроме сорта стекла, диаметра трубки и состава люминофора, лампы конструктивно не отличаются от люминесцентных ламп низкого давления.

Лампы ЛЭ выпускают мощностью 15 и 30 Вт, соответственно, на напряжение 127 и 220 В. Кроме них в промышленности изготавливаются лампы: витально-осветительные (ЛЭО), витальные рефлекторные (ЛЭР) и витально-осветительные рефлекторные (ЛЭОР). Лампы ЛЭО предназначены для одновременного освещения помещений и витального облучения, находящихся там людей, животных, птицы. Достоинством ламп ЛЭР является уменьшение эксплуатационных расходов, что повышает эффективность установок УФ облучения и обусловлено перераспределением витального потока в заданном рефлектором направлении и уменьшением временных промежутков очистки ламп от пыли, дыма и копоти.

Обозначение ламп включает буквы ЛЭ, ЛЭО, ЛЭР или ЛЭОР, после которых следуют цифры, указывающие мощность лампы в ватах. Лампы изготавливают мощностью 15, 30 и 40 Вт на напряжение питания 127 и 220 В. Их технические параметры приведены в приложении 1.

Следует отметить, что витальные (ЛЭ, ЛЭО, ЛЭР и ЛЭОР) и бактерицидные (ДБ) лампы включают в сеть переменного тока по тем же схемам и при помощи тех же ПРА, что и люминесцентные лампы соответствующей мощности.

Комбинированными источниками витального и видимого излучения являются и лампы типа ДРВЭД (дуговая ртутная вольфрамовая эритемная диффузная), по конструкции изготовления схожие с осветительными лампами типа ДРВ (рис. 2.2). В качестве активного балластного сопротивления таких ламп используется смонтированная в колбе на общей стеклянной ножке с ртутно-кварцевой горелкой вольфрамовая спираль, которая одновременно генерирует видимое излучение. Часть колбы лампы покрыта диффузно отражающим покрытием.

Достоинством ламп ДРВЭД является более благоприятный для цветопередачи состав излучения и отсутствие достаточно металлоемкого и дорогого ПРА. К недостаткам следует отнести снижение световой отдачи, срока службы и возрастание коэффициента пульсации светового потока.

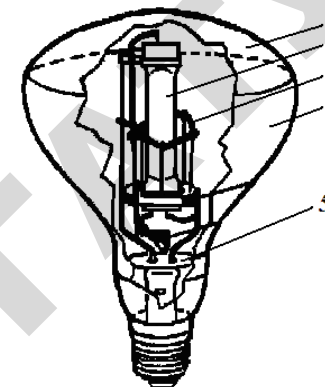


Рис. 2.2. Общий вид лампы ДРВЭД: 1 – внешняя стеклянная колба; 2 – газоразрядная трубка; 3 – вольфрамовая спираль; 4 – диффузно отражающее покрытие на внутренней стороне внешней колбы; 5 – теплоотражающий экран

Лампы ДРВЭД изготавливают небольшими партиями мощностью 160 и 250 Вт с цоколем Е27. Они подключаются к электрической сети напряжением 220 В без использования ПРА. В их обозначении после букв ДРВЭД следуют числа, указывающие на номинальное напряжение питания (В) и (через дефис) мощность (Вт), например, ДРВЭД220-250 (приложение 1).

При искусственном облучении растений применяют источники, преимущественно генерирующие ОИ в диапазоне фотосинтетически активного спектра (400–700 нм). Это могут быть лампы накаливания, в том числе галогенные, люминесцентные (ЛД, ЛБ и др.) и газоразрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ). Однако для облучения растений наиболее эффективны специально разработанные лампы с повышенной фитоотдачей: люминесцентные фотосинтетические низкого давления типа ЛФ и ЛФР; дуговые ртутные люминесцентные фотосинтетические типа ДРЛФ; металлогалогенные дуговые ртутные высокого давления типа ДРФ, ДМЗ, ДМ4, ДРОТ и др.); дуговые ртутные вольфрамовые типа ДРВ (приложение 2).

Люминесцентные фотосинтетические лампы ЛФ и ЛФР (Р – рефлекторная) по конструкции аналогичны люминесцентным лампам общего назначения. Для включения их в сеть переменного тока используют те же схемы и ПРА соответствующей мощности. Их отличительная особенность – состав люминофора, при котором

увеличивается поток излучения в диапазонах от 400 до 450 и от 600 до 700 нм, на которые приходятся максимумы спектральной чувствительности листьев зеленных растений. Лампы изготавливают мощностью: ЛФ – 40 Вт трех модификаций (ЛФ40, ЛФ40-1, ЛФ40-2) и ЛФР – 150 Вт, на напряжение питающей сети 220 В.

Дуговые ртутные люминесцентные фотосинтетические лампы высокого давления ДРЛФ сходны с 4-х электродными лампами типа ДРЛ. Их отличия заключаются в составе люминофора, обеспечивающего увеличение доли излучения в красной части спектра; наличии под слоем люминофора отражающего покрытия, обеспечивающего требуемое распределение потока излучения в пространстве; увеличенных размерах внешней колбы из термостойкого стекла, снижающих температуру на ее поверхности и повышающих устойчивость к разрушению при попадании на поверхность капель воды; отсутствии люминофора примерно на третьей части стороны колбы, противоположенной цоколю Е40. Изготавливают лампы мощностью 400 Вт.

Для дополнительного досвечивания растений применяют и лампы ДРВ мощностью 750 Вт. Внешне они практически не отличаются от ламп ДРЛ, однако в их конструкции предусмотрена смонтированная на общей стеклянной ножке с ртутно-кварцевой горелкой вольфрамовая спираль, которая используется в качестве активного балластного сопротивления при стабилизации режима газового разряда и одновременно генерирует видимое излучение. Световая отдача ламп ДРВ составляет $18\text{--}28 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$, номинальный срок службы – 3–6 тыс. часов, «красное отношение» – до 10–13 % (приложение 2).

Отметим, что использование ламп ДРВ позволяет (за счет отсутствия дополнительной ПРА) сократить капитальные затраты на облучательную установку примерно в 5–6 раз и уменьшить затененность растений естественным солнечным светом. К недостаткам следует отнести снижение в 1,8–2 раза световой отдачи, срока службы и возрастание коэффициента пульсации светового потока.

Металлогалогенные лампы высокого давления типа ДРФ по конструкции аналогичны металлогалогенным лампам высокого давления общего назначения типа ДРИ. Отличия только в наполнении кварцевой горелки ламп, форме и размерах внешней колбы из термостойкого стекла (повышающих устойчивость к растрескиванию при попадании на поверхность капель воды) и наличии на внутренней поверхности колбы диффузно-отражающего слоя из алюминия и его сплавов (перераспределяющего лучистый поток в пространстве). Для облучения

растений применяют лампы ДРФ мощностью 1000 Вт. Их срок службы составляет 1,5–2 тыс. часов, $\text{КПД}_{\text{ФАР}} = 20 \%$, фитопоток – 90–100 фит.

Если проанализировать источники с точки зрения КПД в области фотосинтетически активной радиации (ФАР), то следует отметить, что КПД ламп накаливания не превышает 8–9 %, газоразрядных ламп высокого давления – 20–30 %, люминесцентных ламп – 15–22 %.

Люминесцентные лампы дешевы, долговечны и доступны, но для них характерна низкая концентрация мощности и значительные габариты, что не позволяет создавать в фитоустановках высокие уровни облученности. Этот недостаток отчасти устранен в рефлекторных лампах ЛФР150, которые, наряду с лампами типа ЛФ, рекомендуется применять в облучательных установках стеллажной конструкции.

Достоинства ламп ДРЛФ: значительная концентрация мощности, большой срок службы, низкая стоимость, благоприятные спектральные характеристики и небольшие размеры; недостаток – низкий КПД в области ФАР. В еще большей степени это относится к лампам смешанного излучения типа ДРВ.

Наиболее высокий КПД в области ФАР имеют газоразрядные металлогалогенные (ДРФ, ДМ, ДРОТ и ДРИ) и натриевые (ДНаТ) лампы высокого давления (20–30 %), что открывает им широкие перспективы использования для светокультуры растений. КПД ламп ДРИ в области ФАР равен 30 %.

Следует обратить особое внимание на натриевые лампы высокого давления типа ДНаТ, предназначенные как для освещения, так и для досвечивания растений, особенно на их модификацию – ДНаЗ (дуговая натриевая с зеркальным отражателем). Особенностью лампы является то, что половина колбы лампы с одной из внутренних сторон покрыта зеркальным отражателем, перераспределяющего световой поток в заданном направлении.

Лампы ДНаЗ представляют собой готовую идеальную оптическую систему. Компактный эффективный зеркальный отражатель обеспечивает КПД оптической системы не менее 95 % и создает оптимальное продольное перераспределение светового потока. КПД оптической системы лампы практически не изменяется в течение всего срока службы, поскольку зеркальное покрытие изолировано от окружающей среды (находится в колбе лампы в вакууме).

Лампы ДНаЗ изготавливают мощностью 50, 70, 100, 150, 220, 250, 350, 400 и 600 Вт с цоколем Е27, Е40, PGX 22 или PGX 22/60. Их номинальный световой поток соответственно равен: 3,5; 5,6; 9,0; 14,5;

18,0; 26,5; 34,0; 46,0 (53,0 ДНаЗ супер/Reflux S 400) и 86,0 клм. Номинальный срок службы 12 000–20 000 часов. Цветовая температура 1950–2100 К. Условия эксплуатации – от –60 до +40 °С. Для досвечивания растений в основном применяют лампы мощностью 400 и 600 Вт в модификации супер/Reflux S.

2.2. Источники инфракрасного излучения

У всех источников теплового излучения основная часть лучистого потока (68–91 %) приходится на ИК излучение, поэтому в качестве источников ИК излучения широкое применение в сельскохозяйственном производстве получили лампы-термоизлучатели.

Конструкция ламп-термоизлучателей аналогична конструкции осветительных ламп накаливания общего назначения (рис. 2.3). Также как и в лампах накаливания источником ИК излучения в них является биспираль из вольфрамовой проволоки, нагреваемая в рабочем режиме до температуры 2000–2600 К. Отличительной особенностью конструкции является только форма колбы лампы, определяющая направление и равномерность распределения потока излучения, и ее окраска нижней части красным или синим термостойким лаком для уменьшения интенсивности воздействия видимого излучения на биологические объекты.

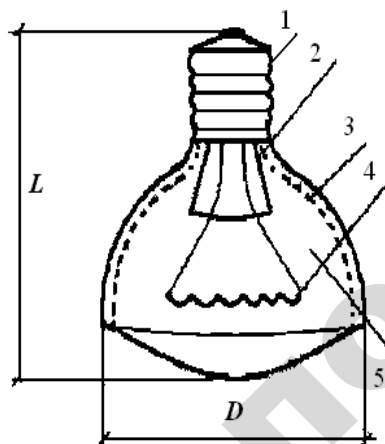


Рис. 2.3. Устройство инфракрасных зеркальных ламп-термоизлучателей:
1 – цоколь; 2 – тепловой экран; 3 – зеркальный слой;
4 – вольфрамовая спираль; 5 – смесь инертного газа (аргон и азот)

Промышленность выпускает специальные ИК лампы-термоизлучатели типов ИКЗ, ИКЗК и ИКЗС, мощностью 250 и 500 Вт, на номинальное напряжение 127 и 220 В (приложение 3).

В обозначении ламп буквы означают: ИК – инфракрасная, З – зеркальная, К или С – цвет окрашенной колбы (красная или синяя). После букв следуют цифры, указывающие номинальные значения напряжения (В), мощности (Вт) и на отличительные особенности конструкции.

Источником ИК излучения могут служить и лампы накаливания общего назначения или зеркальные осветительные лампы-светильники. В их спектре излучения ИК область занимает около 70–75 % всего лучистого потока, причем увеличить его долю можно за счет уменьшения на 5–15 % подводимого к лампе напряжения. При его понижении снижается рабочая температура вольфрамовой спирали, уменьшается световая отдача, спектр излучения смещается в ИК область, увеличивая тем самым долю излучаемого ИК потока. Понижение рабочей температуры вольфрамовой спирали способствует увеличению срока службы лампы.

Перспективными источниками ИК излучения являются галогенные лампы-термоизлучатели типов КГТ (приложение 4).

Промышленностью для ИК нагрева изготавливаются галогенные лампы-термоизлучатели типов КГ, КГТ, КГТО, КГТД на напряжение 127, 220 и 380 В мощностью 400, 600, 1000, 2200, 2500, 3300 и 3550 Вт. Условное обозначение таких ламп включает буквы и цифры: первые две буквы указывают на материал стеклянной колбы (трубки) и наличие галогенной добавки в колбе (КГ – кварцевая с галогенной добавкой); третья и последующие буквы – на область применения (Т – термоизлучатель) и (или) конструктивную особенность изготовления (О – с отогнутыми концами, Д – дифференцированное тело накала); цифры через дефис – номинальное напряжение, В, номинальную мощность, Вт, и порядковый номер разработки.

Важным преимуществом ламп-термоизлучателей является их быстродействие. В отличие от других источников требуемый температурный режим в зоне нагрева создается лампами-термоизлучателями практически сразу после включения их в сеть, так как вольфрамовая спираль нагревается до рабочей температуры в течение десятых долей секунды. Лампы-термоизлучатели имеют сравнительно большой срок службы и создают высокую плотность ИК потока. Однако они не подлежат ремонту и создаваемая ими ИК облученность неравномерна. Среди других их недостатков следует отметить то,

что из-за высокой стоимости кварцевого стекла и недостаточной технологичности изготовления они относительно дороги, к тому же длинные трубчатые лампы следует эксплуатировать только в горизонтальном положении.

Некоторая часть потока ОИ излучения ламп-термоизлучателей приходится на видимую область спектра, что затрудняет их применение в помещениях, к световому режиму которых предъявляются особые требования. В таких помещениях целесообразнее применять низкотемпературные излучатели: трубчатые электронагреватели (ТЭНы), керамические и пленочные электрические ИК излучатели, газовые ИК излучатели. Например, типа ЭИС–0,25–И1 «Ирис» – керамический плоский излучатель с параболическим отражателем и винтовым цоколем E27.

2.3. Твердотельные источники оптического излучения

Из твердотельных источников ОИ наибольший интерес и перспективы развития представляют светодиоды (светодиоды) – полупроводниковые приборы с *p-n*-переходом, излучающие некогерентный свет при пропускании через них электрического тока.

Достоинства светодиодов:

- отсутствие стеклянных колб и нитей накаливания, что обеспечивает высокую механическую прочность, ударную и вибрационную устойчивость, надежность;
- отсутствие частей с высокой температурой и высокими электрическими напряжениями гарантирует их высокий уровень электро- и пожарной безопасности;
- безинерционность при генерировании излучения делает их незаменимыми источниками в приборах и устройствах, требующих высокого быстродействия;
- миниатюрность;
- большой срок службы и высокий КПД;
- относительно низкие значения напряжения питания, потребляемые токи, энергопотребление;
- многообразие цветов свечения и направленность излучения;
- возможность регулирования интенсивности излучаемого светового потока.

Недостатки светодиодов: относительно высокая стоимость; малый световой поток от одного светоизлучающего элемента; изменение

светотехнических и эксплуатационных параметров со временем; повышенные требования к источнику питающего напряжения.

Светодиоды характеризуются основными параметрами: типом корпуса; номинальным рабочим током и напряжением или допустимыми диапазонами их изменения; спектром (цветом) излучения; углом рассеивания светового потока. Вольтамперная характеристика светодиода нелинейная и каждому значению напряжения соответствует своя величина протекающего через него тока. Чем выше напряжение, тем выше значение тока и тем больше излучаемый ими поток ОИ, так как он изменяется (a , следовательно, и регулируется) при изменении напряжения.

Применяемые для освещения светодиоды работают от источника постоянного тока напряжением 3,5–24 В. Так как светодиоды не в состоянии стабилизировать потребляемый ток, при их подключении к питающему напряжению используют токоограничивающие резисторы.

Светотехнические характеристики светодиода определяются значениями излучаемого потока и осевой силой излучения, спектром излучения и углом рассеивания потока. Сплошной спектр излучения светодиодов, как правило, расположен в видимой области, но может частично располагаться и в коротковолновой ИК области. Угол рассеивания светового потока (угол излучения) в основном определяется конструкцией, оптическими свойствами используемых конструктивных материалов и формой линзы (колбы) светодиода.

Срок службы светодиодов достигает 60 000–100 000 часов. Их световая отдача – 25–50, а у некоторых (цветные, преимущественно спектра излучения в красной области) до 100 $\text{лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$, цветовая температура T – 6000–8500 К, индекс цветопередачи R_a – до 80. Светодиоды устойчивы к воздействию низких температур.

Светодиоды на сегодняшний день находят применение в облучателях для досвечивания растений и ИК обогрева. Отметим, что при ИК обогреве в основном используется спектр излучения в красной и незначительно в коротковолновой ИК областях.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите классификацию источников, применяемых в технологических процессах сельскохозяйственного производства.

2. Как устроены газоразрядные лампы высокого давления типа ДРТ? Приведите их обозначение, типоразмеры, основных параметры и характеристики, схемы включения в сеть.

3. Какие газоразрядные источники низкого давления бактерицидного, витального и фотосинтетического излучения применяются в сельскохозяйственном производстве? Поясните их устройство, обозначение, основные параметры и отличительные особенности от осветительных люминесцентных ламп.

4. Какие источники применяют в установках досвечивания растений? Поясните их устройство, обозначение, основные параметры и отличительные особенности от ламп, применяемых для освещения.

5. Расскажите об устройстве, обозначении, номенклатуре и основных параметрах газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛФ.

6. Какие специальные источники ИК излучения применяются в сельскохозяйственном производстве? Их устройство, обозначение, номенклатура, основные параметры и характеристики.

3. Установки ультрафиолетового облучения животных и птицы

На физиологическое состояние живого организма существенное влияние оказывает УФ излучение. Недостаток естественного УФ излучения, явно ощущаемый в осенне-зимний период и ранней весной, зачастую является первопричиной нарушения обмена веществ, понижения защитных функций организма и его устойчивости к различным заболеваниям. Поэтому в системе зоотехнических и ветеринарных мероприятий при содержании сельскохозяйственных животных и птицы в закрытых помещениях предусматривают искусственное УФ облучение [3–5, 12, 13, 15].

УФ излучение с длиной волны 240–380 нм положительно воздействует на рост, развитие, обмен веществ, продуктивность и воспроизводительные функции животных и птицы. Оно интенсифицирует химические и обменные процессы в организме, повышает уровень окислительно-восстановительных реакций и устойчивость к заболеваниям, возбуждает функциональную активность нервной системы и видоизменяет гормональный статус, уменьшает бактериальное загрязнение воздуха и улучшает микроклимат в помещениях. Конечным итогом воздействия УФ излучения является улучшение клинического состояния и резистентности сельскохозяйственных животных и птиц, повышение их сохранности и продуктивности.

3.1. Конструкция установок ультрафиолетового облучения и их характеристики

Для УФ облучения сельскохозяйственных животных и птицы применяют различного рода облучатели и установки, содержащие все необходимые детали и оборудование для крепления и предохранения источника от разрушающего воздействия окружающей среды,

механических повреждений и загрязнения, присоединения к питающей сети, перераспределения потока УФ излучения источников и, при необходимости, перемещения.

Все УФ облучатели и установки подразделяют (табл. 3.1) на стационарные (ЭСР01-40, ЭО1-30М, ОЭ-1, ОЭ-2, ОЭСР02-2×40), переносные (ОРК-2, ОРКШ) и подвижные (УО-4, УОК-1).

Таблица 3.1

Технические параметры ультрафиолетовых облучателей и установок

Тип УФ облучателей и установок	Источник УФ излучения		Установленная мощность ¹⁾ , Вт	Номинальное напряжение, В	Габариты, мм	Масса, кг
	Тип	Количество				
<i>Стационарные</i>						
ЭСР01-40	ЛЭО40 ²⁾	1	40 (36)	220	1269×194×152	3,0-3,5
ЭО1-30М	ЛЭ30	1	30	220	1000×250×155	6,5
ЭСР01-30	ЛЭ30	1	30	220	985×107×146	2,9
ЭО1 и ЭО2	ЛЭ30	1	30	220	1000×250×155	6,5
ОЭСР02-2×40	ЛЭР40	1	80	220	1305×190×685	9,5
	ЛБР40	1				
<i>Переносные</i>						
ОРК-2	ДРТ400	1	400	220	340×205×215 ³⁾	3,7 ³⁾
					175×115×250 ⁴⁾	6,5 ⁴⁾
ОРКШ	ДРТ400	1	400	220	480×480×1810	25
<i>Подвижные</i>						
УО-4	ДРТ400	4	1900	380/220	516×500×240 ⁵⁾	31,5 ⁵⁾
					530×430×160 ⁶⁾	33 ⁶⁾
					714×448×1665 ³⁾	40 ³⁾
УОК-1	ДРТ400	2	1200	380/220	1290×830×2163	140

Примечания: ¹⁾ без учета потерь в ПРА; ²⁾ или TUV 36W T8 G13 (Philips); ³⁾ облучателя; ⁴⁾ питающего устройства; ⁵⁾ приводной станции; ⁶⁾ шкафа управления.

Облучатель сельскохозяйственный для профилактического УФ облучения животных и птиц **ЭСР01-40** (рис. 3.1) поставляется с лампой типа ЛЭО (ЛЭОР) мощностью 40 Вт или аналогичной ей импортной лампой, например, TUV 36W T8 G13 (Philips). Корпус и крышка облучателя изготовлены из стеклонаполненного полиамида по технологии литья под давлением. К корпусу крышка

крепится с помощью 3-х поворотных замков. Стальной диффузный отражатель окрашен белой порошковой краской, к корпусу крепится посредством 2-х поворотных замков из ударопрочного полистирола. Уплотнительный контур между крышкой и корпусом изготовлен из полиуретана. Герметичный ламподержатель (IP65) выполнен из поликарбоната, удобно защелкивается при монтаже в металлические скобы из нержавеющей стали. Поставляется в модификации 001 (с отражателем) и 101 (с отражателем и решеткой), электромагнитными или электронными ПРА.

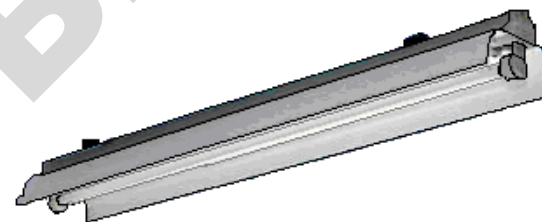


Рис. 3.1. Общий вид облучателя ЭСР01-40

Витальный облучатель ЭО1-30М выполнен в пылевлагозащищенном исполнении в виде корпуса-отражателя из тонколистовой стали, покрытой антикоррозийной краской с достаточно высоким коэффициентом отражения УФ лучей (рис. 3.2). На отражателе с помощью ламподержателей брызгозащищенного исполнения крепится защищенная металлической сеткой витальная лампа ЛЭ30-1 и ПРА (1УБИ-30/220-ВП... и два конденсатора КБГ-М1-600В емкостью 0,03 мкФ). К потолочному перекрытию или тросу облучатель крепится с помощью двух подвесок.

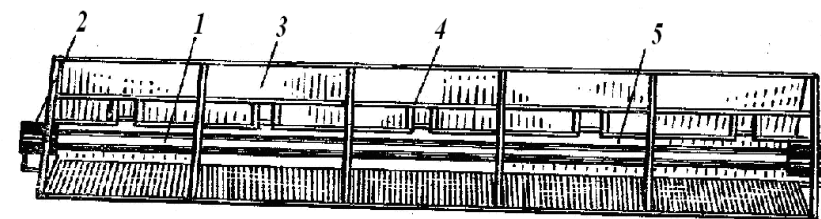


Рис. 3.2. Облучатель ЭО1-30 с лампой ЛЭ-30: 1 – витальная лампа; 2 – ламподержатель; 3 – отражатель; 4 – защитная сетка; 5 – ПРА

Разновидностью облучателя ЭО1-30М являются облучатели ЭО-1, ЭО-2 и ЭСП 01, ЭНП01-30, имеющие аналогичное конструктивное исполнение, форму и схемы включения в питающую сеть. Принципиальное отличие между ними заключается в том, что облучатель ЭО-1 выполнен в обычном, а ЭО-2 – в пылевлагозащищенном исполнении.

Светильник-облучатель ОЭСП02-2×40/П5'Х-01 (рис. 3.3) предназначен для одновременного общего освещения животноводческих помещений и облучения животных и птицы. Он рассчитан на работу с одной рефлекторной люминесцентной и одной рефлекторной витальной лампами мощностью по 40 Вт (типов ЛБР40 и ЛЭР40) в сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 В. Схема включения ламп – стартерная, независимая для разных типов ламп.

Светильник-облучатель состоит из стального штампованного корпуса с панелью, узлов подвеса, допускающую его индивидуальную установку на крюках или тросе, и экранирующей решетки. Внутренняя полость корпуса защищена от попадания пыли и влаги уплотнительной прокладкой по периметру корпуса, сальником для уплотнения сетевых проводов и заглушкой. В корпусе установлена розетка штепсельного разъема, ПРА, патроны брызгозащищенного исполнения и вилка штепсельного разъема.

Ввод сетевых проводов осуществляется с торца или сверху корпуса. При этом входящий в комплект сальник для уплотнения ввода переставляется на соответствующее место, а незанятое отверстие закрывается заглушкой. Штепсельный разъем позволяет стыковать светильники-облучатели в линию или подключать к магистральным проводам без разрезания.

Светильник-облучатель ОЭСП02-2×40/П5'Х-01 выполнен в частично пылезащищенном исполнении (класс 5'0). Его КПД – не менее 70 %, защитный угол в поперечной и продольной плоскостях – не менее 15°.

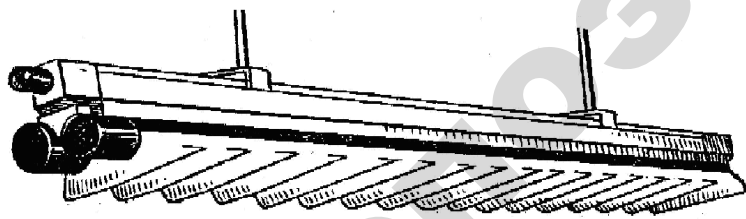


Рис. 3.3. Общий вид облучателя ОЭСП02-2×40/П5'Х-01

Для профилактического и лечебного воздействия УФ излучением на организм небольших групп животных, облучения прединкубационных яиц птицы и цыплят в первые дни после вывода используют **облучатель ртутно-кварцевый ОРК-2**, который состоит из отражателя с лампой ДРТ400 и питающего устройства с встроенным в него ПРА, соединенных между собой гибким кабелем длиной до 15 м (рис. 3.4). В питающем пускорегулирующем устройстве смонтированы дроссель, пусковой конденсатор КБГ-МН-400В емкостью 2 мкФ, два помехоподавляющих конденсатора КБГ-М₁-600В емкостью по 0,03 мкФ и автоматический выключатель.

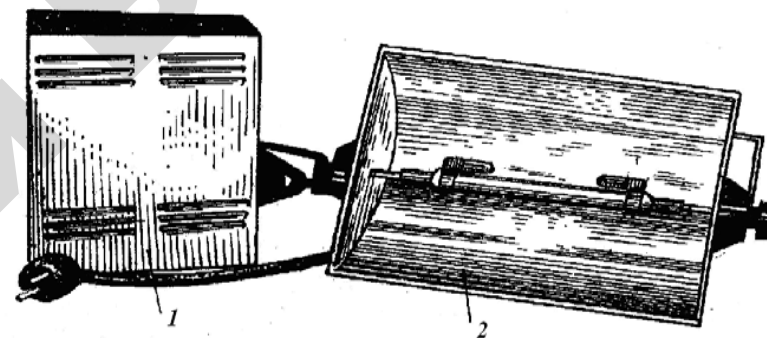


Рис. 3.4. Облучатель ОРК-2 с лампой ДРТ-400:
1 – питающее устройство с ПРА; 2 – облучатель.

Подобный ОРК-2 по конструкции облучатель (устройство, принципиальная электрическая схема и некоторые технические параметры) установлен на штативе в установке ОРКШ. Установка ОРКШ содержит платформу с колесиками для облегчения ее перемещения. В корпусе платформы крепится штатив-стойка и размещается ПРА. На штативе-стойке размещается облучатель с лампой ДРТ400. Конструкция штатива-стойки и облучателя позволяет регулировать высоту подвеса облучателя и направление излучения потока ОИ.

Электромеханизированная подвесная облучающая установка УО-4 предназначена для УФ облучения сельскохозяйственных животных и птицы в стационарных условиях при содержании в клетках или станках. Установка состоит из 4-ех рефлекторных облучателей с лампами ДРТ400, шкафа управления, приводной станции и несущей конструкции (рис. 3.5). Несущую конструкцию выполняют из стальной оцинкованной проволоки, которую закрепляют вдоль помещения

с помощью натяжных болтов, заделанных в торцевые стены. Облучатели в помещении совершают возвратно-поступательное движение при помощи троса диаметром 3,1 мм, закрепленного на натяжных роликах, приводящегося в движение от приводной станции с электродвигателем мощностью 0,27 кВт и редуктором с передаточным отношением 1:891. Длина несущей проволоки и троса рассчитана на помещение длиной до 90 м. Облучатели перемещаются со скоростью $0,3 \text{ м} \cdot \text{мин}^{-1}$ на расстояние 35–45 м. Требуемая экспозиция (доза) облучения обеспечивается изменением высоты подвеса облучателей и количества проходов над животными или птицей. Максимальная зона обслуживания одной установкой – $90 \times 6 \text{ м}$.

В шкафу управления смонтированы пакетный выключатель, предохранители, магнитные пускатели, два дросселя, конденсатор и две пусковые кнопки. Для удобства коммутации в комплект установки входит клеммный набор и кабель типа КРПТ $3 \times 2,5$ для подключения облучателей. Облучатели установки УО-4 попарно подключаются последовательно через общий дроссель на линейное напряжение 380 В (рис. 3.6). Для облегчения зажигания ламп предусмотрены дополнительные кнопки и пусковой конденсатор.

Для УФ облучения кур и цыплят при их содержании в многоярусных клеточных батареях применяют **самоходную установку УОК-1**, которая смонтирована на тележке и может передвигаться в проходах между клетками по направляющим. Ширина колеи тележки соответствует ширине колеи кормораздатчика. Тележка приводится в возвратно-поступательное движение со скоростью $0,73 \text{ м} \cdot \text{мин}^{-1}$ от электродвигателя установленной мощностью 0,27 кВт через двойной редуктор с передаточным числом 1:341, который одновременно зубчатой муфтой связан с ведущей осью механизма укладки и разматывания кабеля. Включение цепной передачи осуществляется специальным рычагом. Электрическое питание напряжением 380/220 В подводится через гибкий кабель и разъем, одна из жил которого используется для заземления. Во время движения установки кабель укладывается в бункер или разматывается из него.

На панелях установлены аппаратура управления и лампы индикации режима работы, силовая часть схемы управления. Справа в передней части установки и внизу смонтированы концевые выключатели: передний – для организации реверса, а два задних – для остановки и выключения ламп при окончании цикла облучения. В передней части тележки установлена стойка, на которой крепятся два облучателя. Зажимы облучателей позволяют регулировать высоту их подвеса

в зависимости от высоты клеток. В установке УОК-1 лампы ДРТ400 включены через общий дроссель на напряжение 380 В. Схема автоматизации установки УОК-1 (рис. 3.7) предусматривает автоматическое реверсирование (возврат) установки в исходную точку и отключение установки и ламп.

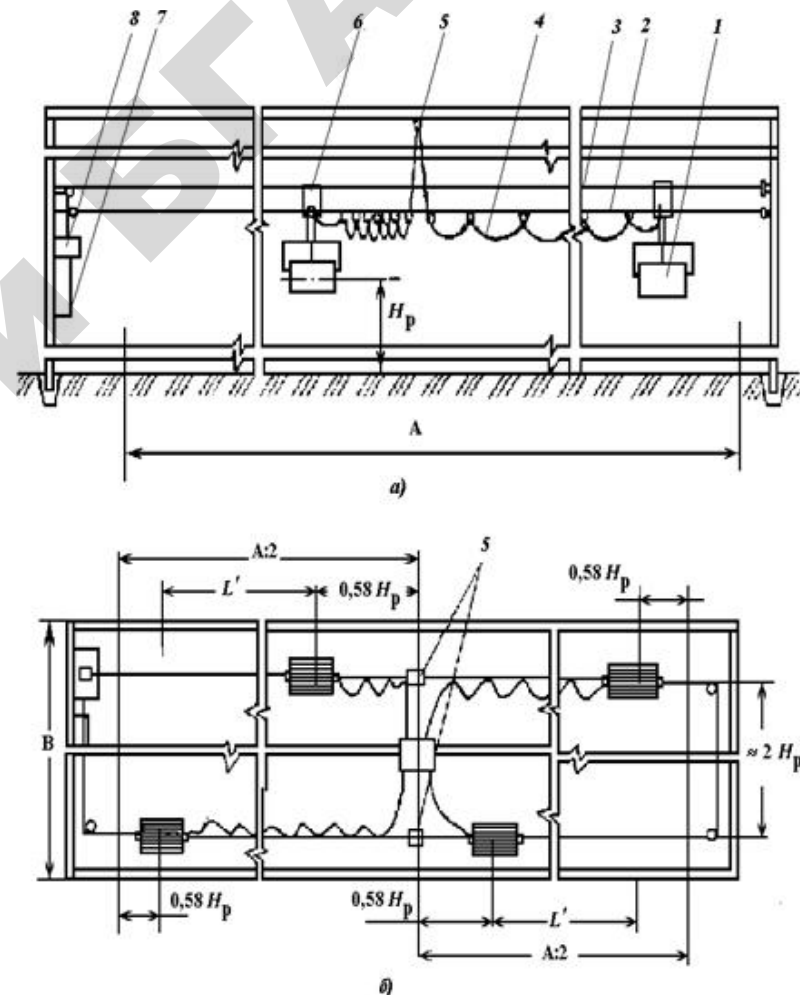


Рис. 3.5. Конструктивная схема установки ультрафиолетового облучения УО-4М (а) и план расположения облучателей (б): 1 – облучатели; 2 – оцинкованная проволока; 3 – трос; 4 – питающий шланговый кабель; 5 – распределитель; 6 – узел крепления облучателя; 7 – шкаф управления; 8 – приводная станция

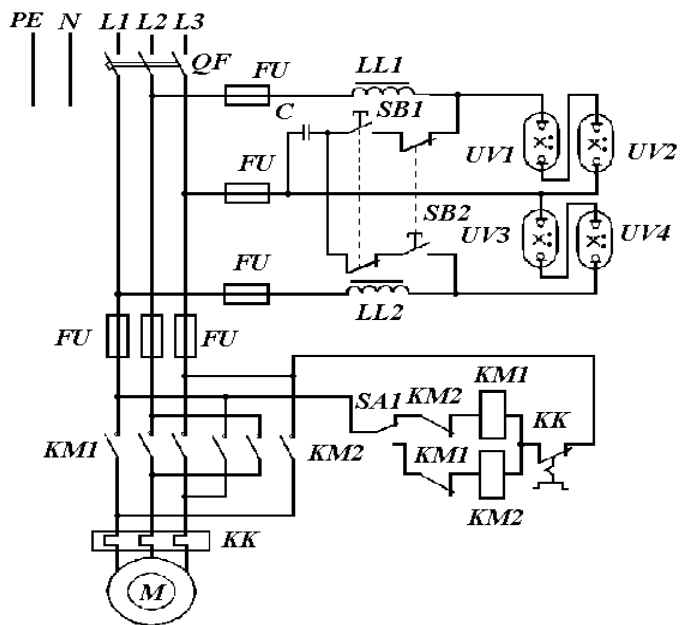


Рис. 3.6. Принципиальная электрическая схема управления установкой ультрафиолетового облучения УО-4М

Известны попытки усовершенствования самоходной облучающей установки УОК-1. Например, в одном из вариантов модернизированной установки УОК-1 предусмотрено возвратно-поступательное движение ламп вверх-вниз со скоростью $1,6 \text{ м} \cdot \text{мин}^{-1}$, для чего использован электродвигатель мощностью $0,12 \text{ кВт}$. В другом варианте – для включения ламп использована компенсационная схема, в которой токоограничивающим балластным сопротивлением для одной из ламп служит индуктивный дроссель, а для второй – активно-емкостное сопротивление, что позволило в 2–3 раза снизить пусковой ток ламп.

Из рассмотренных УФ облучателей и установок в практике сельскохозяйственного производства предпочтение отдают более надежным стационарным облучателям. Причем, как правило, сочетающих в одном устройстве источника (источников) видимого и УФ (бактерицидного и витального) излучения. При разработке таких установок используют сочетание в одном облучателе ламп видимого и УФ излучения с независимыми схемами включения, как это выполнено в облучателях типов ОЭСП02-2×40, КСО-2, КСО-3,

ОЭРБА3×30 и др. Или применяют в облучателе специальные лампы, одновременно излучающие ОИ в УФ и видимом диапазонах, как это выполнено в облучателе ЭСП01-40, в котором предусмотрена установка лампы ЛЭО или ЛЭОР.

Следует отметить, что в последнее время в поиске путей снижения доли энергозатрат в себестоимости животноводческой продукции все активнее разрабатывают и внедряют облучательные установки с современными энергоэффективными источниками ОИ, спектр которых наиболее полно совпадает со спектральным диапазоном, вызывающего максимальный биологический эффект, например, светодиодов.

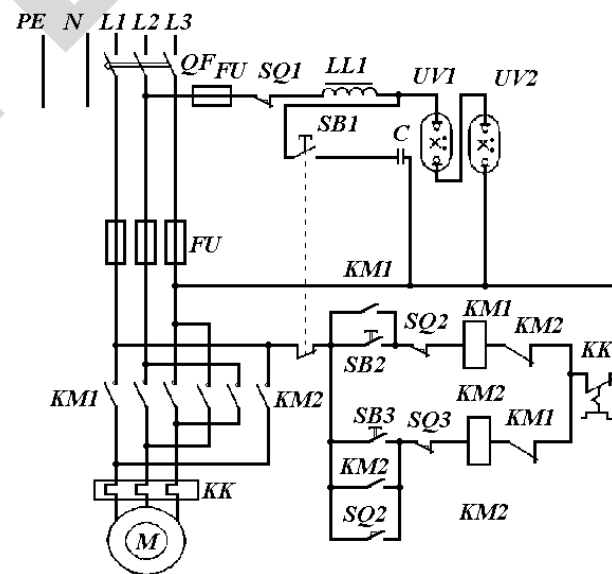


Рис. 3.7. Принципиальная электрическая схема управления установкой ультрафиолетового облучения УОК-1

Так, в РУП «Научно-практический центр по механизации сельского хозяйства» НАН Беларуси разработана установка для облучения подсосных поросят при содержании в станках. Технические параметры установки: размер облучаемой площади станка – $0,8 \times 1,2 \text{ м}$; спектральный диапазон излучения в УФ-В диапазоне – $280\text{--}315 \text{ нм}$ и в видимой области спектра – $620\text{--}660 \text{ нм}$; высота размещения облучателя над полом клетки-станка – $1,1\text{--}1,3 \text{ м}$; суммарная установленная

мощностью облучателя – 24–27 Вт; суточное потребление электроэнергии при облучении секции свинарника-маточника на 300 поросят (16 облучателей) – 0,3–0,96 кВт·час; источник питания – однофазная сеть переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 В.

Облучатели установки выполнены комбинированными с двумя типами источников ОИ – лампой типа ЛЭ и светодиодами узкополосного видимого излучения. Использование светодиодных излучателей позволило снизить потребление электроэнергии и обеспечить необходимый уровень плотности облучения на площадке молодняка.

Оборудование установки включает облучатели модульной конструкции, блок автоматизированного управления, элементы крепления облучателей. Модульный облучатель имеет двоякую конструкцию и позволяет проводить облучение двух смежных станков в одном ряду секции свинарника-маточника.

3.2. Светотехнический расчет установок ультрафиолетового облучения

Подразделение установок на стационарные и подвижные вносит определенную специфику и в методику их расчета [1, 6, 13].

Дозирование УФ облучения при стационарной установке ведется по времени ее работы при известном значении облученности на расчетной поверхности. Поэтому расчет стационарных установок УФ облучения сводится к определению количества облучателей, облученности и времени, за которое облучаемый объект получит необходимую суточную дозу (приложение 5). Для определения облученности могут быть применены известные методы расчета осветительных установок с обязательным учетом некоторых специфических особенностей УФ облучения:

– УФ лучи практически не отражаются от потолка, стен и рабочей поверхности, поэтому при расчетах коэффициенты отражения УФ лучей от названных поверхностей принимают равными нулю;

– УФ лучами облучаются животные и птица. Наиболее полную форму тела животных и птицы, как поверхности объемных тел, определяет сфера или цилиндр. Если принять, что форма поверхности тела животных или птицы незначительно отличается от сферы или цилиндра, то это отличие от горизонтальной поверхности в расчетных формулах можно учесть коэффициентом формы K_{Φ} , который принимают равным 0,5–0,64 (см. подраздел 1.6) независимо от угла падения лучей на поверхность (для сферы $K_{\Phi} \approx 0,5$; для цилиндра $K_{\Phi} \approx 0,64$);

– за расчетную точку при определении времени работы установки УФ облучения принимается точка с наибольшей облученностью, что исключает переоблучение и ожоги животных и птицы.

Метод коэффициента использования эффективного потока взят из методов расчета осветительных установок практически без каких-либо изменений. Он применим при относительно равномерном размещении объектов облучения на горизонтальной поверхности. Коэффициент неравномерности облучения – отношение максимальной облученности горизонтальной поверхности к минимальной – принимают равным не более 1,4.

Расчет установок методом коэффициента использования эффективного потока производится в следующей последовательности:

- облучатели размещают над облучаемой поверхностью, придерживаясь светотехнически наиболее выгодного относительного расстояния;
- определяют коэффициент использования эффективного потока облучательной установки и среднюю облученность;
- вычисляют время работы установки для обеспечения суточной нормированной дозы облучения.

До размещения стационарных облучателей определяют расчетную высоту подвеса облучателей над облучаемой поверхностью H_p из предположения, что:

$$H_p \geq \sqrt{\frac{I_0}{E_{\text{доп}}}}, \quad (3.1)$$

где I_0 – осевая сила витального излучения принятого облучателя, вит·ср⁻¹;

$E_{\text{доп}}$ – допустимая витальная облученность, вит·м⁻².

При известном значении расчетной высоты подвеса облучателей над уровнем облучаемой поверхности H_p не сложно определить высоту свеса облучателей (расстояние от их светового центра до перекрытия или точки подвеса) h_c (рис. 3.8):

$$h_c = H_0 - H_p - h_p, \quad (3.2)$$

где H_0 – высота помещения (или расстояние от точки подвеса светильника до пола), м;

h_c – высота свеса облучателей, м;

h_p – высота расчетной (на которой нормируется облученность) поверхности над полом, м.

Далее размещают облучатели с учетом относительного светотехнически наивыгоднейшего расстояния λ_c , предварительно определив расстояния между облучателями в ряду L_A и между рядами L_B :

$$L_{A,B} = \lambda_c \cdot H_p. \quad (3.3)$$

Светотехнически наивыгоднейшее относительное расстояние λ_c для облучателей с лампами ДРТ и ЛЭ (ЛЭО, ЛЭР, ЛЭОР) в стандартной арматуре принимают равным 1,4. При этом коэффициент неравномерности облученности z не превышает 1,15–1,25, а размещение облучателей над поверхностью можно определить по формулам (3.4–3.8).

При равномерном размещении облучателей по углам прямоугольника расстояние от крайнего облучателя в ряду l_A и крайнего ряда облучателей l_B до границы облучаемой поверхности принимают равными:

$$l_{A,B} = k_l \cdot L_{A,B}, \quad (3.4)$$

где k_l – коэффициент, определяющий отношение $l_{A,B}$ к $L_{A,B}$, равный 0,3–0,5.

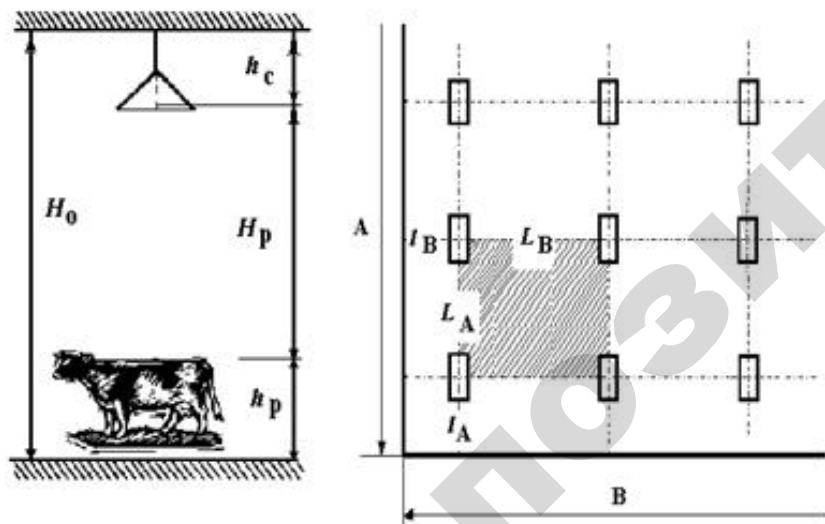


Рис. 3.8. Размещение облучателей над облучаемой поверхностью – в разрезе и на плане помещения

Тогда по известным значениям L_A , L_B , l_A и l_B , длине A и ширине B облучаемой поверхности определяют:

1) число рядов облучателей над облучаемой поверхностью N_2 :

$$N_2 = \frac{B - 2 \cdot l_{A,B}}{L_{A,B}} + 1; \quad (3.5)$$

2) число облучателей в одном ряду N_1 :

$$N_1 = \frac{A - 2 \cdot l_{A,B}}{L_{A,B}} + 1; \quad (3.6)$$

3) и, после округления N_1 и N_2 до ближайшего целого, их общее количество N_Σ :

$$N_\Sigma = N_1 \cdot N_2. \quad (3.7)$$

После определения общего количества облучателей их размещают на плане облучаемой поверхности определяют действительные расстояния l_A , l_B , L_A и L_B :

$$L_A = \frac{A}{N_1 - 2 \cdot l_A} \quad \text{и} \quad L_B = \frac{B}{N_2 - 2 \cdot l_B}. \quad (3.8)$$

Определять действительные расстояния l_A , l_B , L_A и L_B следует с учетом разумных округлений так, чтобы полученные значения удобно было использовать при монтаже.

Дальнейший расчет сводится к определению облученности, создаваемой на нормируемой поверхности, и времени облучения для получения суточной дозы (экспозиции). Для определения витальной облученности принципиально могут быть применены известные методы светотехнических расчетов – коэффициента использования эффективного потока, удельной облученности или точечный.

Основная расчетная формула метода коэффициента использования эффективного потока:

$$E_B = \frac{\Phi_B \cdot N_\Sigma \cdot \eta_\Sigma \cdot K_\Phi}{K_3 \cdot S}, \quad (3.9)$$

где E_B – средняя витальная облученность объекта, вит·м⁻²;

Φ_B – витальный поток, излучаемый одним облучателем (при наличии в облучателе нескольких источников определяется как произведение

витального потока источника на их количество в облучателе и КПД облучателя), вит;

- N_{Σ} – общее количество облучателей в установке, шт;
- η_{Σ} – коэффициент использования эффективного потока, отн. ед;
- K_{Φ} – коэффициент формы животных или птицы, равный 0,5–0,64;
- K_3 – коэффициент запаса, принимают равным 1,5–2,0;
- S – площадь облучаемой поверхности, м².

Коэффициент использования эффективного потока η_{Σ} определяется по табл. 3.2 с учетом индекса установки i , который рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{S}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (3.10)$$

где S – площадь облучаемой поверхности, м²;

A, B – размеры облучаемой поверхности, м;

H_p – расчетная высота подвеса облучателей над облучаемой поверхностью, м.

Расчетная высота подвеса облучателей над облучаемой поверхностью H_p должна удовлетворять требованию:

$$E_B \cdot K_3 \cdot z \leq E_{\text{доп}}, \quad (3.11)$$

где z – коэффициент неравномерности облучения (1,15–1,25);

$E_{\text{доп}}$ – допустимая витальная облученность, определяемая видом и возрастом животных и птицы (приложение 5), вит·м⁻².

Таблица 3.2

Значения коэффициентов использования эффективного потока (отн. ед.) в установках с ультрафиолетовыми облучателями

Индекс установки	Облучатели в стандартной арматуре с лампами		Индекс установки	Облучатели в стандартной арматуре с лампами	
	ДРТ	ЛЭ и ЛЭО		ДРТ	ЛЭ и ЛЭО
0,5	0,16	0,20	1,75	0,46	0,49
0,6	0,21	0,24	2,0	0,49	0,52
0,7	0,29	0,28	2,25	0,51	0,54
0,8	0,33	0,31	2,5	0,53	0,56
0,9	0,36	0,34	3,0	0,56	0,58
1,0	0,37	0,36	3,5	0,59	0,60
1,1	0,39	0,39	4,0	0,60	0,62
1,25	0,41	0,42	5,0	0,62	0,64
1,5	0,44	0,46			

При известной витальной экспозиции облучения H_{Σ} и средней витальной облученности E_B время облучения t , за которое облучаемый объект получит требуемую витальную экспозицию:

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_B}, \quad (3.12)$$

где H_{Σ} – рекомендуемая суточная витальная экспозиция облучения (приложение 5), вит·час·м⁻²; t – время облучения, ч.

Ориентировочно продолжительность работы стационарной установки УФ облучения можно определить по так называемому методу «удельной облученности» исходя из значения витальной облученности E_B , создаваемой источником на поверхности облучения (рис. 3.9), высоты подвеса источника H_p и нормируемой витальной экспозиции H_{Σ} . То есть:

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_B \cdot K_A}, \quad (3.13)$$

где K_A – коэффициент, учитывающий влияние арматуры на перераспределение лучистого потока в нужном направлении, (принимают равным 1,2–1,4).

Этот метод прост, но пригоден для приближенного расчета витальной облученности от единичного облучателя, когда рядом находящиеся облучатели не создают ощутимый лучистый поток, направленный на облучаемую поверхность.

При известной кривой распределения силы витального излучения облучателя для расчета стационарных облучательных установок может быть использован точечный метод. При этом в качестве расчетной точки принимают точку с наилучшими условиями облучения, что позволяет избежать переоблучения тела животного или птицы. Как правило, такой расчетной точкой является точка проекции облучателя, расположенного в центре облучательной установки, на нормируемую поверхность (точка под облучателем в центре облучаемой поверхности).

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

$$E_B = \frac{\mu \cdot K_{\Phi}}{H_p^2 \cdot K_3} \cdot \sum_{i=1}^{N_{\Sigma}} I_{\alpha_i} \cdot \cos^2 \alpha_i, \quad (3.14)$$

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

μ – коэффициент добавочной облученности, создаваемой неучтенными облучателями (принимают равным 1,1–1,3);

α_i – угол между направлением силы излучения и осью симметрии i -го излучателя, град.

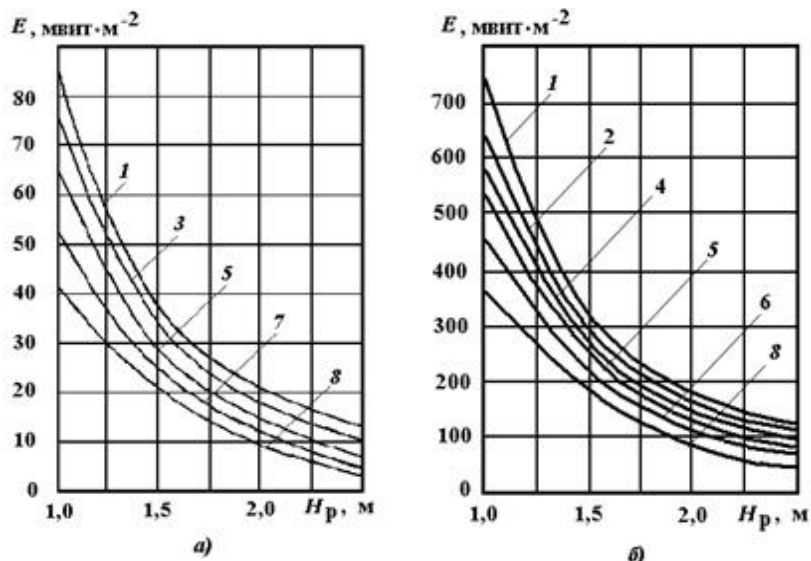


Рис. 3.9. Зависимости витальной облученности, создаваемой лампами ЛЭ30-1 (а) и ДРТ400 (б), от расстояния до облучаемой поверхности и продолжительности эксплуатации ламп: 1 – новая лампа; 2 – после 100 часов; 3 – после 150 часов; 4 – после 200 часов; 5 – после 300 часов; 6 – после 500 часов; 7 – после 600 часов; 8 – после 1000 часов

Силу витального излучения I_{α} в направлении угла α , определяют по кривым пространственного распределения силы витального излучения облучателей (рис. 3.10). Зная витальную облученность E_B определяют время работы облучательной установки (3.12).

Расчет подвижных установок УФ облучения сводится к определению витальной экспозиции за один проход облучателей и количества проходов, в результате которых будет обеспечена нормированная суточная витальная экспозиция. При этом до определения витальной экспозиции за один проход облучателей должны быть известны расчетная высота подвеса облучателей и скорость их перемещения.

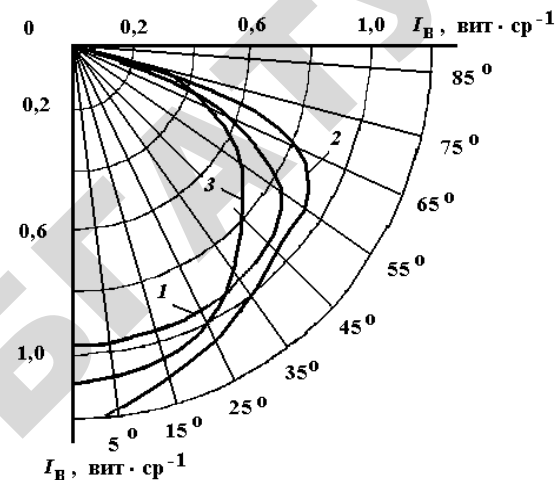


Рис. 3.10. Кривые распределения силы витального излучения облучателей установок: 1 – УО-4М; 2 – ОРК-2; 3 – аппроксимирующая кривую I по выражению $I_{\alpha} = I_0 \cdot \cos \alpha$

Расчетная высота подвеса облучателей H_p , а так же и высота свеса облучателей (расстояние от их светового центра до перекрытия или точки подвеса) h_c определяют аналогично, как и для стационарных установок (3.1 и 3.2 соответственно).

Далее на плане помещения (облучаемой поверхности) намечают трассу движения облучателей, высоту подвеса троса, места расположения шкафа управления и приводной станции (рис. 3.5). После чего определяют длину хода облучателей L' :

$$L' = \frac{A}{2} - 2 \cdot 0,58 \cdot H_p, \quad (3.15)$$

где A – длина помещения, м.

При определении длины хода облучателей необходимо учесть, что они не должны доходить до оси 0 (оси симметрии центра) и края облучаемой поверхности на расстояние $l = 0,58 \cdot H_p$ (рис. 3.5). В противном случае животное (или птица), находящееся в указанных местах, получит двойную дозу облучения.

Облучатели, передвигаясь со скоростью v на высоте H_p над расчетной точкой M , создают в этой точке изменяющуюся по значению витальную облученность, мгновенное значение которой всегда может быть определено по формуле:

$$E_{\alpha_i} = \frac{K_{\Phi} \cdot I_{\alpha_i} \cdot \cos^2 \alpha_i}{K_3 \cdot H_p^2}, \quad (3.16)$$

где I_{α} – сила витального излучения в направлении угла α_i , определяемая по кривой пространственного распределения силы витального излучения облучателей (рис. 3.10).

Витальную экспозицию за один проход облучателей определяют методами графического или математического интегрирования витальной облученности по времени облучения.

При графическом интегрировании строят кривую изменения витальной облученности в зависимости от расстояния облучателей до расчетной точки или времени перемещения облучателей (рис. 3.11). По формуле (3.16) вычисляют мгновенные значения облученности в расчетной точке в зависимости от расстояния точек 1, 2, 3... n до начального положения облучателя $l_{0-1}, l_{0-2}, l_{0-3} \dots l_{0-n}$. При этом:

$$\cos \alpha_i = \frac{H_p}{\sqrt{(H_p^2 + l_{0-i}^2)}}, \quad (3.17)$$

а значение угла α_i для определения силы витального излучения I_{α} в направлении угла α_i :

$$\alpha_i = \arccos \alpha_i. \quad (3.18)$$

Отметим, что ось абсцисс может быть представлена не только значениями l_{0-n} , но и временем перемещения облучателей t_i , так как:

$$t_i = \frac{l_{0-i}}{\nu}. \quad (3.19)$$

Площадь, ограниченная кривой изменения витальной облученности в зависимости от времени перемещения облучателей, соответствует значению витальной экспозиции (дозе облучения) при однократном проходе облучателей:

$$H_1 = 2 \cdot \sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta \tau = 2 \cdot \left[(E_{\alpha_0} + E_{\alpha_1}) \frac{(t_1 - 0)}{2} + (E_{\alpha_1} + E_{\alpha_2}) \frac{(t_2 - t_1)}{2} + \dots + (E_{\alpha_{n-1}} + E_{\alpha_n}) \frac{(t_n - t_{n-1})}{2} \right]. \quad (3.20)$$

В формуле (3.20) удвоением составляющих витальной экспозиции, учитывают то, что облучатели при перемещении отдаляются от контрольной точки M и приближаются к этой точке в случае ее расположения по пути движения, в частности в центре облучаемой поверхности.

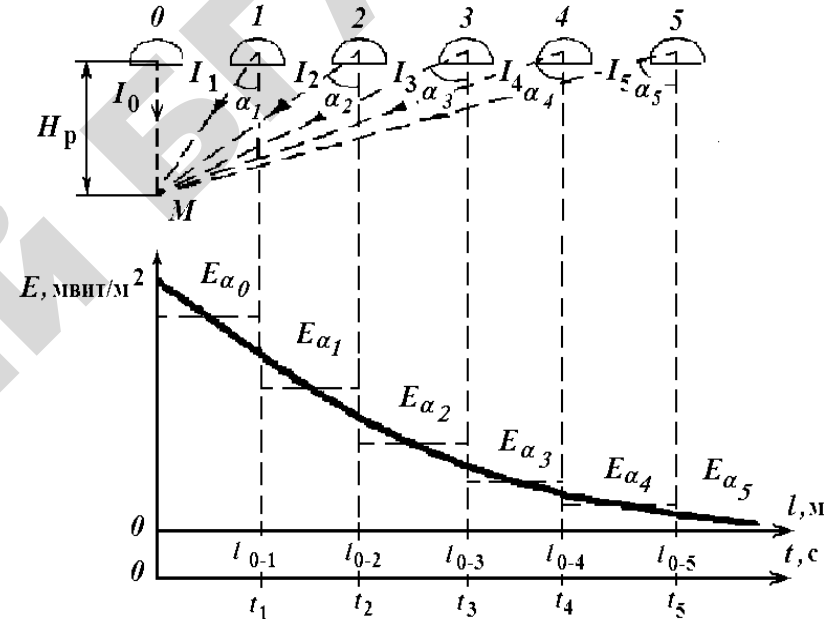


Рис. 3.11. К расчету витальной экспозиции, создаваемой в расчетной точке за один проход облучателей

Зная витальную экспозицию за один проход облучателей H_1 определяют расчетное значение количества проходов m_p , за которые объект получит нормированное значение суточной экспозиции:

$$m_p = \frac{H_{\Sigma}}{H_1}. \quad (3.21)$$

Округляя полученное значение m_p до ближайшего целого получим необходимое количество проходов m . Тогда расчетное время работы установки равно:

$$t_p = \frac{L' \cdot m}{v}, \quad (3.22)$$

где L' – длина полного хода облучателя (3.15), м.

Как видим, при определении мгновенного значения витальной облученности переменными являются значение силы витального облучения под углом α_i к вертикальной оси симметрии облучателя I_α и квадрат косинуса угла α_i . Если кривую распределения витального потока излучателя с некоторым допущением примем за косинусную, как это выполнено для облучателя установки УО-4 на рис. 3.10, и аппроксимируем формулой вида:

$$I_\alpha = I_0 \cdot \cos \alpha, \quad (3.23)$$

то общая витальная экспозиция облучения животных и птицы при однократном проходе облучателей при математическом интегрировании определится по формуле:

$$H_1 = 2 \cdot \int_0^l E_\tau \cdot dt = 2 \cdot \frac{K_\Phi}{K_3 \cdot H_p^2} \cdot \int_0^l I_\alpha \cdot \cos^2 \alpha dt. \quad (3.24)$$

Время перемещения облучателей на расстояние dl :

$$dt = \frac{dl}{v}, \quad (3.25)$$

а расстояние l можно определить как:

$$l = H_p \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (3.26)$$

Откуда

$$dl = \frac{H_p \cdot d\alpha}{\cos^2 \alpha}, \quad (3.27)$$

Подставив значение в (3.25), получим:

$$dt = \frac{H_p \cdot d\alpha}{v \cdot \cos^2 \alpha}. \quad (3.28)$$

При условии аппроксимации I_α косинусной кривой (3.23) имеем:

$$H_1 = \frac{2 \cdot K_\Phi}{K_3 \cdot H_p \cdot v} \cdot \int_0^{\alpha_k} I_0 \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = \frac{2 \cdot K_\Phi \cdot I_0 \cdot \sin \alpha_k}{K_3 \cdot H_p \cdot v}, \quad (3.29)$$

где α_k – угол между вертикальной осью симметрии и вектором силы излучения из конечного положения облучателя в направлении контрольной точки.

Угол α_k определяется защитными свойствами арматуры облучателя или расстоянием, при котором объект попадает в тень (рис. 3.12). Если объект не затеняется различного рода стенками и защитный угол невелик, то:

$$\sin \alpha_k = \frac{L'}{\sqrt{(L')^2 + H_p^2}}, \quad (3.30)$$

$$H_1 = \frac{2 \cdot K_\Phi \cdot I_0}{K_3 \cdot H_p \cdot v} \cdot \frac{L'}{\sqrt{(L')^2 + H_p^2}}. \quad (3.31)$$

Зная витальную экспозицию при однократном проходе облучателей H_1 определяют количество проходов облучателей и время работы установки УФ облучения (3.21 и 3.22 соответственно).

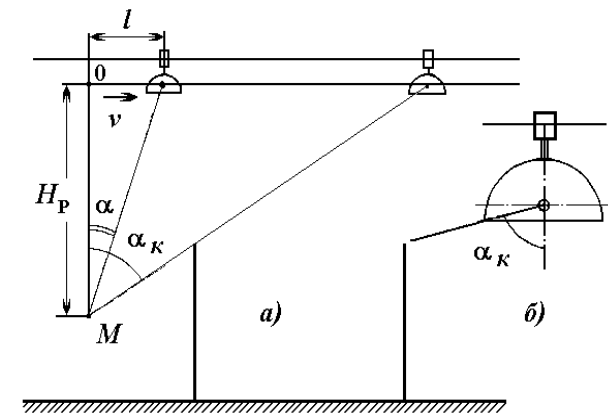


Рис. 3.12. К определению α_k при условии затенения объекта облучения стенкой станка (а) или арматурой облучателя (б)

Задачу расчета подвижных установок УФ облучения можно решать не только определяя количество проходов, но и высоту подвеса

облучателей или скорость их перемещения при заданном до расчета количестве проходов. Например, воспользовавшись формулами (3.29 и 3.21) расчетную высоту подвеса облучателей определим как:

$$H_p = \frac{2 \cdot K_{\Phi} \cdot m \cdot I_0 \cdot \sin \alpha_k}{K_3 \cdot H_{\Sigma} \cdot v}. \quad (3.32)$$

Ориентировочные значения времени работы установок УФ облучения и высоты подвеса облучателей для требуемого вида и возраста животных и птицы приведены в приложении 6.

Отметим, что при проектировании комбинированных установок витального УФ облучения и освещения расчеты производят в две стадии. В начале, применяя известные методы светотехнических расчетов, рассчитывают установку с позиции обеспечения требуемых условий видения (при известной лампе, установленной в комбинированный облучатель, определяют необходимое для создания нормируемой освещенности рабочей поверхности количество рядов, облучателей в ряду и их общее количество в помещении) и затем по известному расположению облучателей рассчитывается время работы установки УФ облучения для обеспечения требуемой экспозиции.

3.3. Особенности автоматического управления установками ультрафиолетового облучения

Важным условием результативного действия УФ излучения является строгое соблюдение его дозирования и режима. Общеизвестно, что на живые организмы оно может быть благотворным, угнетающим или губительным, в зависимости от его качества (спектрального состава) и количества. Одну и ту же экспозицию животное или птица могут получить при множестве сочетаний облученности и продолжительности облучения. Рекомендуется предпочтение отдавать увеличению продолжительности облучения в сочетании с относительно невысокой облученностью. Однако при этом продолжительность облучения не должна превышать продолжительности светового дня.

Для точного дозирования УФ облучения необходимо стремиться к автоматическому управлению работой облучательной установки: стационарной – по времени работы, подвижной – по количеству проходов. При автоматизации необходимо обратить внимание на много-

факторное воздействие на источники УФ излучения условий окружающей среды и отклонений напряжения питающей сети от номинального значения.

Облучательные установки животноводческих помещений работают в условиях химически активной окружающей среды, повышенной влажности воздуха, запыленности и т. д. Температура окружающего воздуха существенно влияет на поток УФ излучения витальных ламп. Например, наибольший витальный поток лампы типа ЛЭ излучают при температуре окружающего воздуха около +20 °С. При повышении или понижении температуры воздуха он уменьшается, снижаясь до 85 % максимального значения уже при +35 и +7 °С. При повышении относительной влажности воздуха действие УФ излучения ухудшается, что объясняет понижение витальной облученности объекта при повышенном содержании влаги в воздухе вследствие уменьшения его прозрачности.

Существенное влияние на эффективный поток оказывает запыленность помещения. В соответствии с агрозоотехническими требованиями УФ источники и облучатели должны подвергаться очистке от пыли не реже 1 раза в месяц, однако даже в этом случае витальный поток перед чисткой снижается за счет запыления на 25–28 % номинального.

На каждый процент изменения напряжения сети в 2 % оценивается изменения витального потока источников. В связи с этим для обеспечения требуемой дозы облучения при снижении напряжения сети на 10 % время облучения объекта облучателем с лампой ДРТ400 при прочих равных условиях необходимо увеличить на 45 %.

Поток УФ излучения также снижается в процессе эксплуатации источников даже в пределах номинального срока службы. Например, для лампы ДРТ400 поток УФ излучение после 100 часов работы уменьшается на 10–12 %, после 200 – на 17–20 %, 500 – на 35–40 % и к концу срока службы – более чем на 50 %. Для лампы типа ЛЭ поток УФ излучения после 200 часов работы уменьшается на 14–16 %, после 400 – на 26–28 %, 600 – на 36–40 % и к концу срока службы – на 50–55 %.

С учетом вышеизложенного витальная экспозиция облучения, получаемого объектом, может уменьшиться более чем на 30 % от первоначального к концу срока службы источников даже при выполнении всех требований по применению УФ излучения. В этом случае продуктивность облучаемых животных или птицы не только не достигнет ожидаемых величин, но может и уменьшиться. То есть,

недоучет действия перечисленных выше факторов при дозировании УФ облучения приводит к значительным отклонениям экспозиции облучения, получаемого объектом, от нормированного значения, что способно вызвать отрицательный эффект или, в лучшем случае, не вызывает никакого технологического эффекта.

Влияние указанных факторов, и в первую очередь старения источников при эксплуатации, в какой-то степени учитывается введением коэффициента запаса. Однако в этом случае для новых источников фактическая витальная облученность значительно выше, чем рассчитываемая по формулам. Поэтому продолжительность облучения и число проходов должно учитывать срок эксплуатации источников УФ излучения и при новых источниках должны быть сокращены до $t_n \approx t \cdot K_3^{-1}$ и $m_n \approx m \cdot K_3^{-1}$ соответственно.

По мере старения ламп t и m следует увеличивать с учетом изменения эффективного потока ламп. Необходимо также корректировать время облучения или количество проходов с учетом температуры, влажности и запыленности помещений, значения напряжения питающей сети.

Кроме того, программу в начале облучения животных или птицы необходимо задавать долями от полной расчетной продолжительности с перерывами в несколько суток. К полной норме можно переходить через 7–15 дней после начала облучения. Это вызвано тем, что организм животных и птицы, особенно молодняка, медленно адаптируется к УФ излучению.

Автоматическое управление стационарными установками УФ излучения витального действия, как правило, осуществляется по временной программе с использованием различных реле времени. Приведенные выше расчетные формулы показывают, что в передвижных установках количество проходов также может быть задано реле времени. Простейшая схема автоматизации при этом имеет вид, приведенный на рис. 3.13.

Однако при управлении по временной схеме возникает некоторая сложность постоянной регулировки режимов, учитывающих влияние вышеприведенных факторов при определении требуемой экспозиции облучения. Для учета всех этих влияющих факторов целесообразно применение специальных измерительных приборов, обеспечивающих измерение экспозиции облучения и управление УФ установкой, в частности дозиметра ДАУ-81, который по приведенной на рис. 3.13 схеме устанавливается вместо реле времени.

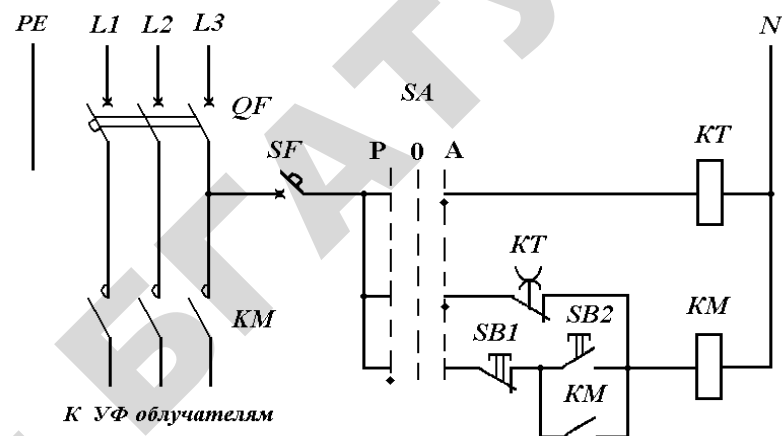


Рис. 3.13. Схема управления ультрафиолетовым облучением по временной программе

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите об устройстве и технических параметрах облучателей, используемых в стационарных установках УФ облучения (ЭСП01-40, ЭО1-30М, ОЭ-1, ОЭ-2, ОЭСП02-2×40 и др.).
2. Расскажите об устройстве и технических параметрах переносных облучательных установок, используемых для УФ облучения животных и птицы (ОРК-2, ОРКШ).
3. Расскажите об устройстве и технических параметрах передвижных установок, используемых для УФ облучения животных и птицы (УО-4, УОК-1).
4. Приведите принципиальную электрическую схему управления установкой УФ облучения УО-4М и поясните принцип ее работы.
5. Приведите специфические особенности УФ облучения, учитываемые при расчете облучательных установок.
6. Поясните методику расчета стационарных установок УФ облучения:
 - а) методом коэффициента использования эффективного потока;
 - б) методом удельной облученности;
 - в) точечным методом.
 Приведите основные расчетные формулы.

7. Поясните методику расчета подвижных установок УФ облучения методом:

- а) графического интегрирования;
- б) методом математического интегрирования.

Приведите основные расчетные формулы.

8. Какие факторы (окружающей среды и значений питающего напряжения) следует учитывать при автоматическом управлении установками УФ облучения с целью обеспечения требований к нормируемой суточной экспозиции?

9. Приведите известные Вам схемы автоматического управления стационарными и подвижными установками УФ облучения и поясните их работу.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1.

Расчет установок ультрафиолетового облучения животных и птицы

Цель: ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов и получить навыки расчета установок УФ облучения животных и птицы.

Задачи:

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

Задание для самостоятельной подготовки

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе, и рекомендуемой литературе изучить: методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете стационарных и подвижных установок УФ облучения животных и птицы методами коэффициента использования эффективного потока, точечным, графического и математического интегрирования; расчетные формулы и способы определения необходимых для проведения расчетов справочных значений параметров.

Методические указания по выполнению:

1. По выданному преподавателем индивидуальному (групповому) заданию произвести расчет стационарных установок УФ облучения животных и птицы методами коэффициента использования эффективного потока и точечным.

При выполнении задания придерживаться следующей последовательности рассмотрения вопросов:

1) приняв в первом приближении кривую силы витального излучения облучателя за косинусную, определить светотехнически наилучшее относительное расстояние между облучателями;

2) определить расчетную высоту подвеса облучателей (3.1, 3.2);

3) определить расчетное расстояние между рядами облучателей и облучателями в ряду, а также расстояние от краев облучаемой поверхности до облучателей (3.3, 3.4);

4) определить количество рядов облучателей, облучателей в ряду и общее число облучателей (3.5–3.7);

5) определить действительные расстояния между рядами облучателей и облучателями в ряду (3.8);

6) зарисовать план размещения облучателей над поверхностью облучения.

Далее *при расчете методом коэффициента использования эффективного потока*:

– рассчитать индекс установки (3.10);

– определить коэффициент использования эффективного потока (табл. 3.2);

– рассчитать среднюю витальную облученность (3.9);

– проверить выполнение требования на соответствие средней и допустимой витальных облученностей (3.11);

– определить время облучения, за которое облучаемый объект получит требуемую витальную экспозицию (3.12).

При расчете точечным методом:

– на плане размещения облучателей наметить контрольную точку с максимальной облученностью;

– наметить (пронумеровать) облучатели, которые будут учитываться при вычислении создаваемой от них облученности в контрольной точке;

– определить угол α_i между вектором силы излучения каждого i -ого облучателя, учитываемого при вычислении облученности, в направлении контрольной точки и вертикальной осью симметрии облучателя:

$$\alpha_i = \arctg(d_i / H_p), \quad (П1.1)$$

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

– по значениям угла α_i для каждого облучателя, учитываемого при вычислении облученности, определить значения силы витального излучения I_α в направлении контрольной точки (рис. 3.10);

– вычислить расчетную витальную облученность, создаваемую каждым облучателем, учитываемым при вычислении облученности (3.14). Результаты расчетов представить по форме табл. П3.1;

– проверить выполнение требования на соответствие расчетной и допустимой витальных облученностей (3.11);

– определить время облучения, за которое облучаемый объект получит требуемую витальную экспозицию (3.12).

Таблица П3.1

Расчет витальной облученности, создаваемой близлежащими облучателями в контрольной точке

Облучатель	Расстояние от контрольной точки до проекции i -ого облучателя, м	Угол α_i , град	Сила витального излучения под углом α_i I_{α_i} , мвит·ср ⁻¹	$\cos \alpha_i$	Витальная облученность от i -ого облучателя, мвит·м ⁻²
1	2	3	4	5	6
Суммарная витальная облученность в контрольной точке, мвит·м ⁻²					

2. По выданному преподавателем индивидуальному (групповому) заданию произвести расчет подвижных установок УФ облучения животных и птицы методами графического и математического интегрирования.

При выполнении задания придерживаться следующей последовательности рассмотрения вопросов:

1) определить расчетную высоту подвеса облучателей (3.1, 3.2);

2) на плане помещения (облучаемой поверхности) наметить трассу движения облучателей;

3) определить длину хода облучателей L' (3.15).

Далее *при расчете методом графического интегрирования:*

– задавшись расстоянием проекции облучателя на облучаемой поверхности до точки начала его перемещения с интервалом через 1 м ($l_{0-1} = 1$ м, $l_{0-2} = 2$ м ... $l_{0-5} = 5$ м), определить углы α_i между вектором силы излучения облучателя при его перемещении в направлении контрольной точки и вертикальной осью его симметрии, а также для каждого из найденных углов α_i значения силы витального излучения I_α в направлении расчетной точки (рис. 3.10);

– вычислить мгновенные значения витальной облученности на расчетной поверхности при различных расположениях облучателя E_α (3.16);

– построить кривую изменения витальной облученности в зависимости от расстояния облучателей до расчетной точки (рис. 3.11);

– преобразовать ось абсцисс из значений расстояний l_{0-i} в значения времени перемещения облучателей t_i (3.19);

– определить экспозицию облучения за один проход облучателей (3.20);

– определить расчетное количество проходов облучателей, за которые объект получит нормированное значение суточной экспозиции (3.21);

– вычислить расчетное время работы установки (3.22).

При расчете методом математического интегрирования:

– определить значение синуса угла, при котором облучаемый объект попадает в тень $\sin \alpha_k$ (3.30) и вычислить экспозицию облучения за один проход облучателей (3.29). Если объект не затеняется различного рода стенками и защитный угол невелик, то значение экспозиции облучения за один проход облучателей определить по формуле (3.31);

– определить расчетное количество проходов облучателей, за которые объект получит нормированное значение суточной экспозиции (3.21);

– вычислить расчетное время работы установки (3.22).

3. Сопоставить полученные значения экспозиции облучения за один проход облучателей, количества проходов облучателей и времени работы установки при расчете методами графического и математического интегрирования и сделать вывод об ошибке метода математического интегрирования.

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Как определить время работы стационарной установки УФ облучения методом коэффициента использования эффективного потока?

2. Поясните методику расчета стационарных установок УФ облучения точечным методом. Приведите основные расчетные формулы.

3. Как определить минимально допустимую высоту подвеса облучателей установок УФ облучения животных и птицы?

4. Разъясните последовательность определения витальной экспозиции объекта облучения методом графического интегрирования при однократном проходе облучателей подвижной установки УФ облучения.

5. Какое допущение положено в основу приближенного расчета витальной экспозиции объекта облучения методом математического

моделирования при однократном проходе облучателей подвижной установки УФ облучения.

6. Поясните методику расчета подвижных установок УФ облучения методом математического интегрирования. Приведите основные расчетные формулы.

7. Приведите формулы для определения количества проходов и времени работы подвижной установки УФ облучения животных и птицы. Как определяются входящие в них величины?

4. Установки ультрафиолетового обеззараживания воды и воздуха

По данным Всемирной организации здравоохранения до 80 % заболеваний передается воздушным и водным путем. В окружающем нас воздухе и воде (питьевой и используемой на технические нужды) находится большое количество микробных тел (бактерий, вирусов и паразитов), способных вызвать различные заболевания человека, животных и птицы с серьезными последствиями для их здоровья. Особенно остро эта проблема ощущается на объектах сельскохозяйственного производства, где постоянно отмечается значительная концентрация взвешенных и органических веществ, а также высокий уровень микробного загрязнения. Современный свиноводческий комплекс на 108 тыс. голов выбрасывает в час около 1,5 млрд микробных тел, 160 кг аммиака, 150 кг сероводорода, 30 кг пыли от кормов. Комплекс КРС на 10 тыс. голов в сутки выбрасывает в атмосферу более 2 т органики, а птицефабрика на 720 тыс. голов – 175 млрд микробов в час. Все это загрязняет атмосферу в радиусе 2,5–5,0 км, попадает в землю и воду и является серьезной экологической опасностью [4].

Для возведения барьеров на пути распространения микробного загрязнения воды и воздуха в технологических процессах производства сельскохозяйственной продукции должно быть предусмотрено обеззараживание воды и воздуха, и в первую очередь внутри помещений.

4.1. Способы обеззараживания воды

Современные способы очистки воды в значительной мере освобождают ее не только от механических и химических загрязнений, но и от патогенной микрофлоры, в результате чего снижается ее

бактериальная загрязненность и повышается качество. Методами очистки воды являются: хлорирование, озонирование и УФ облучение.

Несмотря на технические сложности при транспортировке, хранении и дозировании газа хлора, его высокую коррозионную активность, потенциальную опасность возникновения чрезвычайных ситуаций, процесс хлорирования широко применяется до настоящего времени. При всей распространенности метода хлорирования ему присущи и существенные технологические недостатки, в частности, недостаточная эффективность в отношении вирусов, образование в воде под действием хлора хлорорганических соединений, обладающих достаточно высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью.

Неудовлетворенность традиционной технологией хлорирования привела к тому, что с конца 60-х годов прошлого столетия активно проводятся работы, направленные на поиски новых методов обеззараживания воды. И как один из результатов подобных исследований создано оборудование по обеззараживанию воды УФ излучением, по своим технико-эксплуатационным показателям приемлемое, в том числе и для станций водоочистки большой производительности.

Способ УФ обеззараживания имеет следующие преимущества [3, 4, 10]:

- УФ облучение летально для большинства водных бактерий, вирусов, спор. Оно уничтожает возбудителей таких инфекционных болезней, как тиф, холера, дизентерия, вирусный гепатит, полиомиелит и др.;

- обеззараживание происходит за счет фотохимических реакций внутри микроорганизмов, поэтому на его эффективность, изменение физических и химических параметров воды, оказывает намного меньшее влияние, чем при обеззараживании химическими реагентами;

- в обработанной УФ излучением воде не обнаруживаются токсичные и мутагенные соединения, оказывающие негативное влияние на здоровье человека, животных и птицы. При этом сохраняется природный состав, вкусовые качества и химические свойства обеззараживаемого продукта;

- в отличие от окислительных технологий в случае передозировки отсутствуют отрицательные эффекты. Это позволяет значительно упростить контроль над процессом обеззараживания;

- время обеззараживания составляет 1–10 секунд в проточном режиме;

– в сравнении с методами хлорирования и тем более озонирования, более низкие эксплуатационные расходы. Это связано со сравнительно небольшими затратами электроэнергии (10–30 Вт·час на 1 м³, что в 2–3 раза ниже, чем при хлорировании и в 3–5 раз – озонировании) и отсутствием потребности в дорогостоящих химических реагентах;

– оборудование для УФ обеззараживания отличается сравнительно небольшой стоимостью, компактностью, простотой в эксплуатации, требует минимальных площадей, его внедрение возможно в действующие технологические процессы без их остановки с минимальными объемами строительно-монтажных работ.

Благодаря указанным преимуществам УФ обеззараживание воды находит достаточно широкое применение в сельскохозяйственном производстве.

4.2. Понятия степени обеззараживания и средней бактерицидной облученности

Процесс обеззараживания воды осуществляется при воздействии на ее коротковолнового УФ излучения с длиной волны 200–280 нм. Энергии фотона этой зоны достаточно для разрушения простейших микроорганизмов: бактерий, вирусов и спор.

При расчетах установок для обеззараживания воды, как впрочем, и воздуха, пользуются рядом понятий и определений. Так, в частности, процесс отмирания бактерий под действием УФ излучения принято моделировать экспоненциальным законом:

$$B = B_0 \cdot e^{-\frac{E_B \cdot \tau}{H_B}}, \quad (4.1)$$

где B – остаточная плотность бактерий после воздействия бактерицидной облученностью E_B в течении времени τ ;

H_B – коэффициент сопротивляемости бактерий, мкб·с·м⁻²;

B_0 – исходная плотность бактерий.

Значения B и B_0 задаются технологией обеззараживания. В соответствии с регламентирующими документами число бактерий группы кишечных палочек в 1 дм³ питьевой воды после обеззараживания не должно превышать 3, а в исходном источнике – 1000 шт⁹.

Технологический эффект обеззараживания оценивают *степенью обеззараживания* и определяют как отношение количества бактерий в объеме после обеззараживания B к их количеству до обеззараживания B_0 , то есть B/B_0 . В расчетах значение степени обеззараживания обычно принимают в пределах 0,01–0,001, а для операционных помещений – 0,00001.

Бактерицидный поток от источника пронизывает объем воздуха или воды, и в этих средах рассеивается по закону экспоненты (закон ослабления Бугера-Ламберта), что может быть представлено в виде уравнения:

$$E_h = E_0 \cdot e^{-\alpha \cdot h}, \quad (4.2)$$

где E_0 и E_h – бактерицидная облученность на поверхности среды и в среде на глубине h , мкб·м⁻²;

α – показатель поглощения (приложение 7), м⁻¹.

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

$$B/B_0 = e^{-\frac{E_{CP} \cdot \tau_{CP}}{H_B}}, \quad (4.3)$$

где E_{CP} – средняя бактерицидная облученность, мкб·м⁻²;

τ_{CP} – среднее время обеззараживания, сек.

Средняя бактерицидная облученность:

$$E_{CP} = \frac{1}{h} \cdot \int_0^h E_0 \cdot e^{-\alpha \cdot h} \cdot dh = \frac{E_0}{\alpha \cdot h} \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot h}). \quad (4.4)$$

При известной кривой распределения силы бактерицидного излучения значение средней бактерицидной облученности может быть определено при использовании приведенных в подразделе 1.6 формул.

4.3. Установки для ультрафиолетового обеззараживания воды

В настоящее время существует целый ряд воплощенных в оборудование конструктивных решений, позволяющих применять УФ излучение для обеззараживания воды. Их различают по способу расположения источников: с погруженными и непогруженными

⁹ ГОСТ 17.1.3.03–77, ГОСТ 2671-84, ГОСТ 2874-82, СанПиН 2.1.4.1074-01 и др.

(подвесными); по способу перемещения воды: с гравитационным течением воды или напорные. Они могут быть выполнены в едином корпусе или в виде отдельных модулей, размещаемых в лотках, с большим или меньшим расстоянием между источниками. Бактерицидные лампы, применяемые в разных установках, могут различаться по типу и способу ориентации относительно потока воды (параллельно или перпендикулярно к нему).

Конструкция большинства современных установок для УФ обеззараживания воды основана на применении полностью погруженных в поток воды источников бактерицидного излучения (рис. 4.1). Бактерицидные источники в таких установках расположены внутри кварцевых чехлов для их защиты от контакта с водой и обеспечения оптимального температурного режима во время работы. В установках для УФ обеззараживания воды с не погруженными источниками бактерицидные лампы располагаются в специальных отражателях над поверхностью воды, непрерывно протекающей по лотку (рис. 4.2).

Установки с погруженными источниками применяются чаще, так как они отличаются компактностью и поставляются практически в готовом для монтажа и эксплуатации виде.

Конструкции установок для обеззараживания воды должны предусматривать постоянное перемешивание воды и сетки для предотвращения попадания в них твердых предметов. В лотках установок не погруженными источниками для этого установлены сетка на входе и перегородки по ходу течения воды с отверстиями, расположенными в асимметричном порядке.

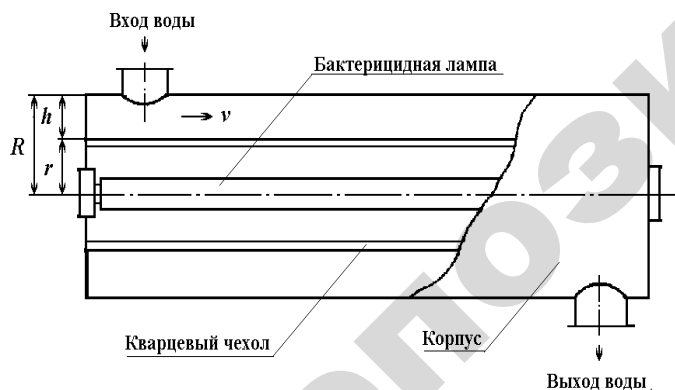


Рис. 4.1. Установка ультрафиолетового обеззараживания воды с погруженными источниками бактерицидного излучения

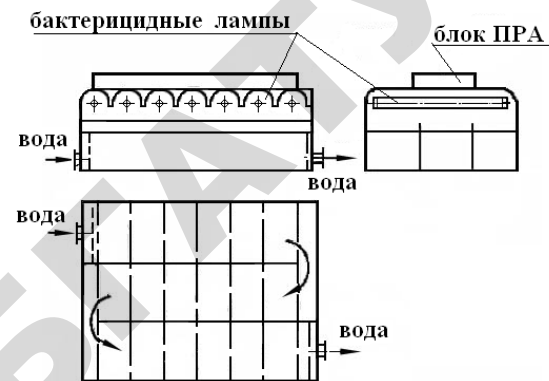


Рис. 4.2. Вариант конструкции установки ультрафиолетового обеззараживания воды с не погруженными источниками бактерицидного излучения

В качестве источников УФ излучения в установках используются бактерицидные лампы типов ДБ (ДБ30, ДБ60) и ДРТ (ДРТ400, ДРТ1000, ДРТ2500).

Выпускаемые промышленностью установки для обеззараживания воды не имеют единого стандартизированного обозначения и поставляются под марками УОВ, УДВ, ОДВ и др. При маркировке могут указываться номер серии, количество источников бактерицидного излучения, производительность ($\text{м}^3 \cdot \text{час}^{-1}$), допустимое давление воды в установке, способ расположения источников (Н — непогруженные или П — погруженные) и другие технические параметры. Примеры маркировок: УОВ-5Н, УОВ-6П (установка для УФ обеззараживания воды, количество источников и их способ расположения); УДВ-0,5/1, УДВ-1/1 (УДВ-1А95-10-40, УДВ-1А300Н-10-50-114), УДВ-5/1 (УДВ-5А300Н-10-150) и т. д. Их производительность от 1 до $2000 \text{ м}^3 \cdot \text{час}^{-1}$, однако при необходимости увеличения пропускной способности установка может собираться из отдельных модулей, устанавливаемых параллельно. Установки УДВ могут комплектоваться дополнительными элементами (УФ первичными преобразователями (датчиками), блоками промывки и др.).

При конструировании и эксплуатации установок для УФ обеззараживания воды необходимо учитывать все факторы, которые могут приводить к уменьшению экспозиции УФ облучения в камере обеззараживания. Например, то, что поверхность кварцевых чехлов, имеющая контакт с водой, подвержена обрастанию. Обрастание

может быть как органической (био пленка), так и неорганической природы (отложение солей). Степень обрастания зависит от температуры источника излучения и от показателей качества воды, таких как жесткость, щелочность, содержание железа, наличие маслянистых веществ и др. Уменьшение интенсивности излучения из-за обрастания чехлов может достигнуть до 30 %, а из-за выработки ресурса работы УФ источника – 15–35 %.

Эффективная работа УФ оборудования для обеззараживания воды может быть обеспечена только при правильном выборе типа и количества установок, грамотной их эксплуатации.

4.4. Расчет установок ультрафиолетового обеззараживания воды

Принципиальные различия в конструкции установок УФ обеззараживания воды с погруженными и не погруженными источниками излучения вносят некоторые отличительные особенности в методику их расчета [1, 6, 10].

Методику расчета установки с не погруженными источниками покажем на примере установки, конструктивная схема которой приведена на рис. 4.3. На схеме: l , b – соответственно длина и ширина лотка, м; h – толщина слоя воды, м; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения потока воды, м·с⁻¹.

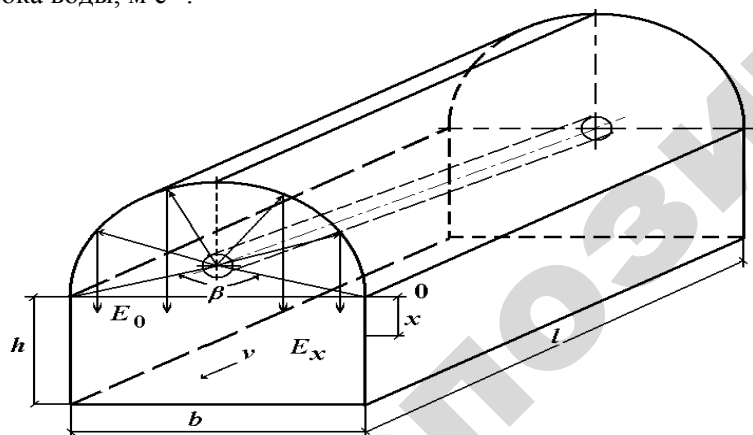


Рис. 4.3. К расчету установки УФ обеззараживания воды с не погруженными источниками

При расчетах внесем предположение, что бактерицидный поток, падающий на воду от источников, является потоком параллельных лучей. Тогда средняя продолжительность облучения воды $\tau_{\text{ср}}$ определяется длиной лотка l и скоростью протекания потока воды в нем $v_{\text{ср}}$:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{l}{v_{\text{ср}}}, \quad (4.5)$$

где l – длина пути, проходимого водой под излучателями, равная длине поверхности облучения, м.

Для канала прямоугольного сечения:

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{b \cdot h}, \quad (4.6)$$

где Q – объем облучаемой воды в единицу времени, м³·с⁻¹.

С учетом (4.3, 4.5 и 4.6) получаем уравнение для определения степени обеззараживания:

$$\frac{B}{B_0} = \exp \left\{ -E_0 \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot h)] \cdot \frac{l \cdot b}{\alpha \cdot Q \cdot H_B} \right\}. \quad (4.7)$$

Выражение $[1 - \exp(-\alpha \cdot h)]$ в (4.7) определяет коэффициент поглощения потока бактерицидных лучей (то есть своего рода коэффициент полезного действия) η_B :

$$\eta_B = 1 - \exp(-\alpha \cdot h). \quad (4.8)$$

Задавшись значением η_B из (4.8) можно определить допустимую глубину потока воды:

$$h = \frac{\ln(1 - \eta_B)}{\alpha}. \quad (4.9)$$

При определении h значение коэффициента поглощения потока бактерицидных лучей η_B , как правило, принимают равным 0,9.

Произведение $E_0 \cdot l \cdot b$ в уравнении (4.7) определяет поток бактерицидных лучей Φ_0 , падающий на поверхность облучаемой воды. Этот поток состоит из бактерицидного потока источников, непосредственно падающего на поверхность воды $\Phi_{\text{пр}}$, и потока, направленного от источников на отражатель и отраженного от него на поверхность воды $\Phi_{\text{отр}}$:

$$\Phi_0 = \Phi_{\text{ПР}} + \Phi_{\text{ОТР}}, \quad (4.10)$$

где $\Phi_{\text{ПР}}$ и $\Phi_{\text{ОТР}}$ – соответственно прямой и отраженный потоки бактерицидных лучей установки, мбк.

Если принять, что поток от источников равномерно распространяется на 360° по периметру их поперечного сечения, то:

$$\Phi_0 = \frac{\Phi_{\text{ИСТ}} \cdot \beta}{360}, \quad (4.11)$$

где $\Phi_{\text{ИСТ}}$ – поток источников бактерицидного излучения установки, мбк;
 β – угол отражения отражателя (рис. 4.3).

В этом случае отраженный поток $\Phi_{\text{ОТР}}$ может быть определен как:

$$\Phi_{\text{ОТР}} = \Phi_{\text{ИСТ}} \cdot \frac{360 - \beta}{360} \cdot \rho_{\text{ОТР}},$$

где $\rho_{\text{ОТР}}$ – коэффициент отражения бактерицидных лучей материалом отражателя.

Подставляя формулы для определения Φ_0 и $\Phi_{\text{ОТР}}$ в (4.10) получим:

$$\Phi_0 = \Phi_{\text{ИСТ}} \cdot [\beta + (360 - \beta) \rho_{\text{ОТР}}] / 360. \quad (4.12)$$

Обозначив входящее в (4.12) выражение $[\beta + (360 - \beta) \rho_{\text{ОТР}}] / 360$ как $\eta_{\text{ИСП}}$, то есть:

$$\eta_{\text{ИСП}} = [\beta + (360 - \beta) \cdot \rho_{\text{ОТР}}] / 360, \quad (4.13)$$

формулу (4.7) можем представить в виде:

$$\frac{B}{B_0} = \exp\left(-\frac{\Phi_{\text{ИСТ}} \cdot \eta_{\text{ИСП}} \cdot \eta_{\text{Б}}}{\alpha \cdot Q \cdot H_{\text{Б}}}\right). \quad (4.14)$$

После логарифмирования (4.14) имеем:

$$Q = -\frac{\Phi_{\text{ИСТ}} \cdot \eta_{\text{ИСП}} \cdot \eta_{\text{Б}}}{\alpha \cdot H_{\text{Б}} \cdot \ln \frac{B}{B_0}}, \quad (4.15)$$

$$\Phi_{\text{ИСТ}} = -\frac{Q \cdot \alpha \cdot H_{\text{Б}} \cdot \ln \frac{B}{B_0}}{\eta_{\text{ИСП}} \cdot \eta_{\text{Б}}}. \quad (4.16)$$

Зная значение необходимого бактерицидного потока источников $\Phi_{\text{ИСТ}}$ для обеззараживания заданного объема воды Q и номинальный бактерицидный поток одного источника $\Phi_{\text{Л}}$ не сложно определить количество источников и электрическую мощность установки. Однако при этом следует ввести коэффициент запаса K_3 , принимаемый равным 1,5–1,8.

Потребное количество источников бактерицидного излучения n для установки обеззараживания воды и их установленная электрическая мощность P_{Σ} равны:

$$n = \Phi_{\text{ИСТ}} \cdot K_3 / \Phi_{\text{Л}}, \quad (4.17)$$

$$P_{\Sigma} = n \cdot P_{\text{Л}} \cdot K_{\text{ПРА}}, \quad (4.18)$$

где $P_{\text{Л}}$ – номинальная электрическая мощность источника, Вт;

$K_{\text{ПРА}}$ – коэффициент, учитывающий потери электрической мощности в ПРА.

Таким образом, установки для обеззараживания воды рассчитывают, придерживаясь следующей последовательности:

1. Определяют производительность установки (потребный для обеззараживания объем воды Q).
2. По справочным данным для принятого вида источника, из которого вода поступает на обеззараживание, определяют коэффициент (показатель) поглощения α (приложение 7) и задаются коэффициентом поглощения потока бактерицидных лучей $\eta_{\text{Б}}$.
3. Определяют допустимую глубину потока воды в установке h (4.9).
4. По справочным данным определяют коэффициент отражения УФ лучей материалом отражателя $\rho_{\text{ОТР}}$ (приложение 8).
5. Вычисляют коэффициент использования бактерицидных лучей $\eta_{\text{ИСП}}$ (4.13).
6. По справочным данным определяют коэффициент сопротивления данного вида бактерий $H_{\text{Б}}$ (приложение 9) и задаются значением степени обеззараживания (4.3).
7. Вычисляют значение необходимого бактерицидного потока источников $\Phi_{\text{ИСТ}}$ (4.16).
8. Задаются усредненной скоростью протекания потока воды в лотке $v_{\text{СР}}$ и вычисляют необходимую ширину лотка b :

$$b = \frac{Q}{v_{\text{СР}} \cdot h}. \quad (4.19)$$

9. Определяют требуемое количество источников бактерицидного излучения n и установленную электрическую мощность установки P_{Σ} (4.17, 4.18).

Методику расчета установок с погруженными источниками покажем на примере установки, конструктивная схема приведена на рис. 4.1. На схеме: R , r – соответственно радиус трубы корпуса и чехла, м; h – толщина слоя облучаемой воды, м; v_{CP} – средняя скорость течения потока воды, м·с⁻¹.

За основу расчета примем два исходных уравнения (4.15, 4.16). При этом $\eta_{\text{Б}}$ определим как:

$$\eta_{\text{Б}} = 1 - \exp[-\alpha \cdot (R - r)]. \quad (4.20)$$

Так как чехол, в который устраиваются источники изготавливают, как правило, из кварцевого стекла, для которого показатель поглощения УФ лучей примерно равно 10 %, следовательно, $\alpha = 0,1$ и:

$$\eta_{\text{ИСП}} = 0,9 \cdot \Phi_{\text{ИСТ}} / \Phi_{\text{ИСТ}} = 0,9. \quad (4.21)$$

По формуле 4.9 определим размер слоя обеззараживаемой воды:

$$h = (R - r) = \frac{\ln(1 - \eta_{\text{Б}})}{\alpha}. \quad (4.22)$$

Скорость движения воды в установке найдем по формуле:

$$v_{\text{CP}} = \frac{Q}{3600 \cdot S}, \quad (4.22)$$

где $S = \pi \cdot (R^2 - r^2)$ – площадь сечения потока воды в корпусе, м²;

Q – производительность установки (объем облучаемой воды в единицу времени), м³·ч⁻¹.

Порядок расчета установки для обеззараживания воды с погруженными источниками:

1. Определяется производительность установки (потребный для обеззараживания объем воды Q).

2. Из конструктивных соображений задаются радиусом наружной поверхности кварцевого чехла r .

3. Приняв значение коэффициента поглощения потока бактерицидных лучей $\eta_{\text{Б}} = 0,9$, вычисляют толщину слоя обеззараживаемой воды (4.22).

4. Вычисляют радиус внутренней поверхности корпуса R и площадь сечения потока воды в корпусе S :

$$R = h + r \quad \text{и} \quad S = \pi \cdot (R^2 - r^2).$$

5. Вычисляют скорость движения воды в корпусе v_{CP} (4.22).

6. По справочным данным определяют коэффициент сопротивления данного вида бактерий $H_{\text{Б}}$ (приложение 9) и задаются значением степени обеззараживания (4.3).

7. Вычисляют требуемый бактерицидный поток источников установки $\Phi_{\text{ИСТ}}$ (4.16).

8. Определяют требуемое количество источников бактерицидного излучения n и установленную электрическую мощность установки P_{Σ} (4.17, 4.18).

4.5. Бактерицидные ультрафиолетовые установки для обеззараживания воздуха

УФ обеззараживание воздушной среды является санитарно-противоэпидемическим мероприятием, направленным на снижение количества микроорганизмов и профилактику инфекционных заболеваний. Его применяют в помещениях с целью снижения уровня бактериальной обсемененности и создания условий для предотвращения распространения возбудителей болезней.

УФ бактерицидные установки должны использоваться в помещениях с повышенным риском распространения возбудителей инфекций: в лечебно-профилактических, в том числе ветлечебницах, производственных и общественных помещениях с большим скоплением людей, животных и птицы.

УФ бактерицидные установки включают в себя бактерицидный облучатель (группу облучателей) с лампами ДБ15, ДБ30, ДБ36, ДБ60. В стационарных установках применяют облучатели ОБН02-30, ББП01-36, УФО01, ОБН-75, ОБН-Щ, ОБНП01, РББ01, ОБУ-1-15 или ОБУ-1-30 и др.

Облучатель бактерицидный ОБН02-30 предназначен для обеззараживания воздуха в административных и общественных помещениях. Его металлический корпус выполнен из стали, окрашенной белой краской. В облучателе предусмотрено два отражателя: диффузный – из стали, окрашенной белой краской; зеркальный с электрохимической

полировкой – из алюминия. Облучатель комплектуется электромагнитным или электронным ПРА и бактерицидными лампами типа ДБ30М (ДБ30) или HNS30WOFR (Osram), TUV30W (Philips). Облучатели крепятся на вертикальную плоскость.

Облучатель бактерицидный ББП01-36 предназначен для обеззараживания промышленных и сельскохозяйственных помещений. В облучателе корпус и крышка серого цвета изготовлены из стеклонеполненного полиамида методом литья под давлением. Крышка крепится к корпусу тремя поворотными замками. Диффузный отражатель изготовлен из стали, окрашен белой краской и крепится к корпусу двумя поворотными замками из ударопрочного полистирола. Уплотнительный контур между корпусом и крышкой изготовлен из полиуретана. Герметичный ламподержатель (IP65) изготовлен из поликарбоната, при монтаже удобно защелкивается в металлические скобы из нержавеющей стали. Облучатель комплектуется электромагнитным или электронным ПРА и бактерицидными лампами типа TUV36WT8G13 (Philips) и крепится на вертикальную плоскость.

Установки для обеззараживания воздуха чаще всего устраиваются путем крепления бактерицидных облучателей на стенке помещения, однако в сельскохозяйственных помещениях для содержания животных и птицы могут быть встроенными в систему принудительной вентиляции. Конструкция установок обеззараживания воздуха в системе принудительной вентиляции выполняется аналогично конструкции установок для обеззараживания воды (подраздел 4.3) и может быть с погруженными и не погруженными в воздушную среду источниками (рис. 4.4).

Следует отметить, что вопросы проектирования установок для обеззараживания воздуха сельскохозяйственных помещений еще недостаточно разработаны. Поэтому в расчетах используются общие нормы для обеззараживания воздуха в учреждениях [10].

Расчет установок бактерицидного обеззараживания воздуха с принудительной вентиляцией производят по методике, приведенной в подразделе 4.4 для установок по обеззараживанию воды с использованием формул (4.15) и (4.16). При этом степень обеззараживания принимают равной 10^{-2} – 10^{-3} , а коэффициент запаса в зависимости от содержания пыли, дыма и копоти в воздухе – 1,8–3,0.

В помещениях без принудительной системы вентиляции облучатели, как правило, располагают на стене поближе к центру помещения (в складах, овощехранилищах и тому подобных помещениях

их располагают равномерно). Если обеззараживание воздуха осуществляется при нахождении персонала в помещении, то облучатели устанавливают на высоте 1,8–2,0 метра с таким расчетом, чтобы они излучали бактерицидный поток вверх.

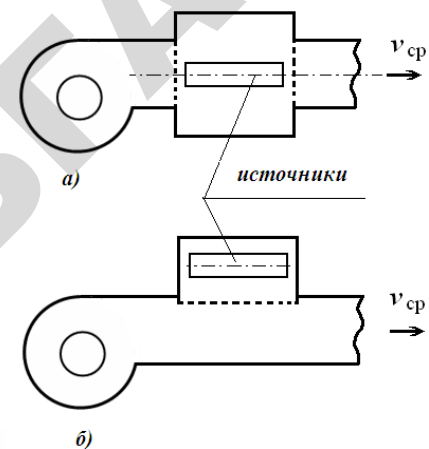


Рис. 4.4. Установки УФ обеззараживания воздуха помещений с принудительной системой вентиляции с погруженными (а) и не погруженными (б) источниками

Задачей расчета установок, в этом случае, является определение требуемого времени обеззараживания воздуха в данном объеме помещения. Методику расчета покажем на примере помещения, представленного схемой на рис. 4.5, где A , B – длина и ширина помещения, м; H_p – расчетная высота подвеса облучателя, м; l – расстояние от источника до наиболее удаленной точки пространства помещения, м.

При выводе расчетных формул примем во внимание, что бактерицидный поток распространяется от облучателя во все точки пространства. Так как облучатель установлен на стенке, то форму распространения потока можем представить в виде сферы, а точнее полусферы, так как вторая часть сферы затеняется отражателем облучателя. В этом случае:

$$E = \frac{\Phi_{ист} \cdot \eta_{исп}}{S}, \quad (4.23)$$

где S – площадь облучаемой поверхности, для рассматриваемого нами случая $S = 2 \cdot \pi \cdot l^2$.

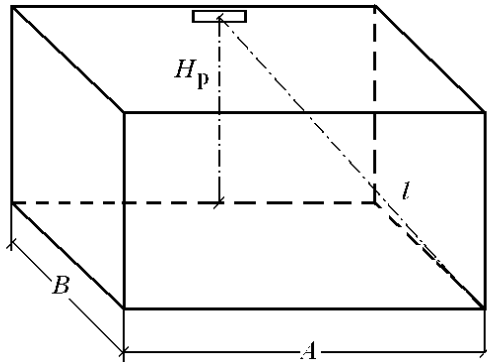


Рис. 4.5. Расчетная схема установки УФ обеззараживания воздуха помещения без принудительной системы вентиляции

Воспользовавшись выражением для определения облученности поверхности на расстоянии l от источника бактерицидного излучения (4.2) и заменив в нем h на l , получим:

$$E_0 = E \cdot e^{-\alpha \cdot l} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \cdot \eta_{\text{исп}} \cdot e^{-\alpha \cdot l}}{2 \cdot \pi \cdot l^2}. \quad (4.24)$$

Тогда значение средней облученности $E_{\text{ср}}$ (4.4) можем определить как:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \cdot \eta_{\text{исп}} \cdot e^{-\alpha \cdot l} (1 - e^{-\alpha \cdot l})}{2 \cdot \pi \cdot l^2 \cdot \alpha \cdot l} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \cdot \eta_{\text{исп}} \cdot (e^{-\alpha \cdot l} - 1)}{2 \cdot \pi \cdot l^3 \cdot \alpha}. \quad (4.25)$$

Подставив полученное выражение в уравнение степени обеззараживания (4.3) и, прологарифмировав его правую и левую части, имеем:

$$\ln \left(\frac{B}{B_0} \right) = - \frac{\Phi_{\text{ист}} \cdot \eta_{\text{исп}} (e^{-\alpha \cdot l} - 1) \cdot \tau_{\text{ср}}}{2 \cdot \pi \cdot l^3 \cdot H_B \cdot \alpha}, \quad (4.26)$$

$$\Phi_{\text{ист}} \cdot \tau_{\text{ср}} = - \frac{2 \cdot \pi \cdot l^3 \cdot H_B \cdot \alpha \cdot \ln \left(\frac{B}{B_0} \right)}{\eta_{\text{исп}} (e^{-\alpha \cdot l} - 1)}. \quad (4.27)$$

Уравнение (4.27) является основанием для определения потребного количества источников бактерицидного излучения n (4.17), их

установленной электрической мощности P_{Σ} (4.18) и требуемой продолжительности обеззараживания:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \cdot K_3}{n \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (4.28)$$

где K_3 – коэффициент запаса, зависящий от запыленности поступающего воздуха. При малом содержании пыли, дыма и копоти в поступающем воздухе коэффициент принимают равным 1,8; среднем – 2,2; большом – 3,0.

При обеззараживании воздуха следует учитывать тот факт, что минимальная бактерицидная экспозиция для полного уничтожения бактерий в воздухе должна быть не менее $8,3 \text{ мбк} \cdot \text{час} \cdot \text{м}^{-2}$, а ее максимальное значение не должно превышать $40 \text{ мбк} \cdot \text{час} \cdot \text{м}^{-2}$.

При проектировании установок обеззараживания воздуха в продуктовых складах и хранилищах овощей и фруктов, молочных, животноводческих помещений и т. п. облучатели в помещениях размещают равномерно. При этом удельная мощность установки для больших складов со скоропортящейся продукцией приблизительно должна быть равна 0,3–0,6; для малых камер – до 2,5; для вентиляционных камер – до $3,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$.

Расчет установки для обеззараживания воздуха в помещении производят в следующей последовательности:

1. Определяют расчетную высоту подвеса облучателя H_p и расстояние от облучателя до наиболее удаленной точки l .
2. По справочным данным определяют коэффициент отражения УФ лучей материалом отражателя $\rho_{\text{отр}}$ (приложение 8) и коэффициент поглощения среды α (приложение 7).
3. Приняв за условие обеззараживания воздуха на подавление определенного типа бактерий, например, типа «стафилококк», определяют коэффициент сопротивляемости бактерий H_B (приложение 9) и задаются значением степени обеззараживания (подраздел 4.2).
4. Вычисляют коэффициент использования бактерицидных лучей $\eta_{\text{исп}}$ (4.13).
5. По формуле (4.27) вычисляют значение $\Phi_{\text{ист}} \cdot \tau_{\text{ср}}$.
6. По справочным таблицам определяют номинальный бактерицидный поток встроенных в облучатель источников $\Phi_{\text{ист}}$, их потребное количество n (4.17), установленную мощность P_{Σ} (4.18) и требуемую продолжительность облучения (4.28).
7. Проверяют выполнение требований по значениям минимальной и максимальной бактерицидной экспозиции.

4.6. Расчет установок для обеззараживания поверхностей и семян

Бактерицидное действие УФ лучей применяют и для обеззараживания поверхностей, например, тары, посуды, семенного материала, расположенного на поверхности, при его предпосевной подготовке и др. При этом, при облучении тару (в зависимости от ее габаритов), посуду и семена располагают на плоской поверхности, на которую воздействуют УФ излучением. Задачей расчета является определение требуемого времени обеззараживания.

При выводе формул для расчета установок по обеззараживанию поверхностей воспользуемся (4.23), подставив в него вместо S формулу, с помощью которой может быть определена площадь, например, $S = \pi \cdot r^2$ для окружности (r – радиус окружности, м), $S = A \cdot B$ для прямоугольника (A , B – длина и ширина его сторон) и т. д.

Далее, следуя последовательности рассуждений, приведенной выше (подраздел 4.5), получаем:

$$\Phi_{\text{ист}} \cdot \tau_{\text{ср}} = - \frac{S \cdot \alpha \cdot l \cdot H_B \cdot \ln\left(\frac{B}{B_0}\right)}{\eta_{\text{ист}} \cdot (e^{\alpha \cdot l} - 1)}. \quad (4.29)$$

Откуда, как и ранее, определяют требуемое количество источников бактерицидного излучения n (4.17), их электрическую мощность P_{Σ} (4.18) и требуемую продолжительность обеззараживания (4.28).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите математическую зависимость, описывающую процесс отмирания бактерий под действием УФ излучения.
2. Каким показателем оценивают технологический эффект обеззараживания воды, воздуха, поверхностей и т. п.?
3. Как определяют облученность на расстоянии h от источника (поверхности воды, обеззараживаемой УФ лучами)?
4. Как определить среднее значение облученности в некотором объеме обеззараживаемого объекта (воды, воздуха)?
5. Какие способы обеззараживания воды Вам известны? Разъясните их преимущества и недостатки.

6. По каким критериям различают установки для обеззараживания воды? Приведите основные особенности их устройства.

7. По какой формуле определяют допустимую глубину потока воды в установках по ее обеззараживанию?

8. Какие параметры определяют коэффициент использования бактерицидных лучей установки? За счет чего может быть увеличено его значение?

9. Для чего и каким способом осуществляют обеззараживание воздуха в помещениях?

10. Приведите методику вывода формулы для определения потребного количества источников бактерицидного излучения в установке обеззараживания воздуха и требуемой продолжительности обеззараживания.

11. Приведите методику вывода формулы для определения потребного количества источников бактерицидного излучения в установке обеззараживания поверхностей (тары, семян) и требуемой продолжительности обеззараживания.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2.

Расчет установок ультрафиолетового облучения воды и воздуха

Цель: ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов и получить навыки расчета установок УФ обеззараживания воды и воздуха.

Задачи:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок УФ обеззараживания воды и воздуха.
2. Для заданных преподавателем вариантов произвести расчет установок УФ обеззараживания воды и воздуха.

Задание для самостоятельной подготовки

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе изучить: методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок УФ обеззараживания воды и воздуха; расчетные формулы и способы определения необходимых для проведения расчетов справочных значений параметров.

Методические указания по выполнению:

1. По выданному преподавателем индивидуальному (групповому) заданию произвести расчет установок УФ обеззараживания воды с не погруженными и погруженными источниками.
2. По выданному преподавателем индивидуальному (групповому) заданию произвести расчет установок УФ обеззараживания воздуха в помещении.

При выполнении заданий придерживаться изложенной в подразделе 4.4 последовательности рассмотрения вопросов.

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Поясните методику расчета установок УФ обеззараживания воды с не погруженными источниками бактерицидного излучения.

Приведите расчетные формулы и поясните, каким образом определяются необходимые для проведения расчетов справочные значения параметров.

2. Поясните методику расчета установок УФ обеззараживания воды с погруженными источниками бактерицидного излучения. Приведите основные расчетные формулы.

3. Какие особенности необходимо учитывать при расчете установок УФ обеззараживания воды с погруженными источниками бактерицидного излучения, помещенные в цилиндрический чехол из кварцевого стекла?

4. Назовите особенности проектирования стационарных установок для обеззараживания воздуха в помещениях (тары, посуды, предпосевной обработки семенного материала).

5. Поясните методику расчета установок УФ обеззараживания воздуха. Приведите основные расчетные формулы.

7. Приведите формулы для определения потребного количества источников бактерицидного излучения в установке обеззараживания воздуха и требуемой продолжительности обеззараживания.

5. Установки инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы

Одним из способов создания в холодный осенне-зимний период требуемого зоотехническими нормами температурного режима в помещении для содержания молодняка животных и птицы является их обогрев с использованием источников ИК излучения.

ИК излучение характеризуется достаточно хорошей проникающей способностью (до 7–8 мм) и при попадании в тело животных или птицы его энергия преобразуется в тепловую, повышая при этом температуру облучаемых тел и создавая комфортные условия для их содержания. Оно вызывает положительные реакции в подкожных слоях тела биологического объекта.

Поглощение ИК излучения кожным покровом – весьма сложный биологический процесс, в котором принимает участие весь организм животного (птицы) с его терморегуляторным аппаратом.

Проникая в кожу и подкожные ткани, излучение вызывает сложную реакцию организма, которая рефлекторно через тепловые рецепторы воздействует на другие органы и процессы. Воздействуя через кожу на нервную систему, ИК излучение улучшает функции желез, кровоснабжение тканей и органов. 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.

Установлено, что после воздействия ИК излучения на кожу и глубоколежащие ткани в организме животных происходит активация кроветворных органов, в крови увеличивается количество эритроцитов, лейкоцитов, содержание гемоглобина, а также появляются активные продукты распада белков. Специфичность воздействия ИК облучения позволяет использовать его в терапевтических

(лечебных) целях при лечении воспалительных процессов и заживление ран.

Особенно эффективно воздействие ИК излучения на молодняк животных и птицы, когда их недостаточно развитый терморегуляционный аппарат не способен оказать необходимое сопротивление действию низких температур, что приводит к простудным заболеваниям и даже к гибели. В этом случае прерывистый режим работы ИК излучателей при попеременном воздействии повышенных и пониженных температур на молодняк, подвергает их сосудистую систему своеобразной тренировке и приводит к закаливанию организма. Продуктивность молодняка при этом повышается в среднем на 10–15 %, а сохранность – на 5–10 %.

Следует отметить, что ИК обогрев молодняка животных и птицы наиболее эффективен в сочетании с одновременным УФ облучением. Совместное действие ИК и УФ лучей оказывает большее биологическое воздействие на животных и птицу, чем раздельное УФ облучение или ИК обогрев. Например, при использовании одновременного ИК обогрева и УФ облучения в телятниках и свинарниках на 15–20 % увеличивается прирост массы молодняка и на 10–15 % – их сохранность.

Известно, что необходимый температурный режим может быть обеспечен системой общего и комбинированного (общего и локального) обогрева [14]. С точки зрения энерго- и ресурсосбережения более целесообразно применение комбинированной системы обогрева, позволяющей создавать повышенную температуру только в небольшой ограниченной зоне нахождения молодняка в первый период выращивания. При этом предпочтительнее в системе локального обогрева применять источники ИК излучения, обладающие быстродействием и обеспечивающие требуемый температурный режим в зоне обогрева сразу после их включения.

Применяемые в установках источники ИК излучения подразделяют на «светлые» (ИК лампы) и «темные» (трубчатые электрические нагреватели, керамические панели с встроенными электронагревателями из нихромовых спиралей, газовые нагреватели). Из них в сельскохозяйственном производстве для обогрева молодняка животных и птицы наиболее широко применяют «светлые» источники – лампы ИКЗК220-250, эффективный ИК поток которых равен 163,9, ИКЗС220-250-1 – 203,4 и ИКЗ220-500 – 407,7 Вт.

5.1. Облучатели для инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы

Для защиты источников ИК излучения от механических повреждений, пыли и влаги применяют специальную арматуру (кожухи, сетки, отражатели), в которой вмонтируют устройства для крепления источников и подключения их к сети. Источник излучения вместе с арматурой называют облучателем. Из отдельных облучателей могут быть созданы установки ИК обогрева, в которых облучатели объединяются единой схемой управления.

В сельскохозяйственном производстве для обогрева молодняка животных и птицы используют облучатели: ОРИ-1 (ОРИ-2); ОВИ-1 (ОВИ-2); ССП01-250 (ССП05-250, ССП06-250, ССП09-250); ОСХ-01-1000; «ЛатВИКО»; ОКБ-1378А; ЭИ-1,0-И1; ЭИС-0,25-И1 «Ирис» и др. Их технические параметры приведены в табл. 5.1 [14, 16].

Таблица 5.1

Технические параметры инфракрасных облучателей

Тип облучателя	Тип источника ИК излучения	Габариты, мм	Масса, кг
ОРИ-1	ИКЗ220-500	340×275	1,5
ОВИ-1	ИКЗ220-500-1	320×185	1,5
ССП01-250	ИКЗК220-250 (ИКЗС220-250)	390×330	1,4
ССП05-250		230×310	0,9
ССП06-250		810×230	2,4
ССПО9-250		228×310	0,7
ОРИ-2	ИКЗК220-250, ПС-70/Е-1 1010-375	340×245	2,0
ОВИ-2	ИКЗК220-250	180×320	1,5
ОСХ-01-1000	КГТ220-1000	440×250×220	2,5
«ЛатВИКО»	КГ 220-1000, КИ-220-1000	400×250×220	2,5
ОКБ-1378А	ТЭН - 400×3 ^{*)}	500×290	0,9
ОЭИ-500	ИКЗК-220-250×2 ^{*)}	470×250×400	4,0

Примечание. ^{*)} После обозначения марки облучателя указано количество источников.

Облучатель ОРИ-1 представляет собой конический корпус из листовой стали (рис. 5.1, а). Сверху облучателя под пластмассовым

колпаком расположен фарфоровый патрон Е40 под ИК лампу мощностью 500 Вт.

Облучатель ветеринарный ОВИ-1 выпускается под малогабаритную лампу ИКЗ220-500-1 и от ОРИ-1 он отличается только размерами.

Облучатель ССП01-250 (рис. 5.1, б) состоит из пластмассового корпуса и металлического защитного кожуха, покрытого силикатной эмалью, которая легко очищается от загрязнений. Сетка внизу предохраняет лампу от повреждений.

В отличие от ССП01-250 в облучателе ССП05-250 защитный кожух выполнен из пластмассы, между ним и корпусом предусмотрено вентиляционное отверстие.

Облучатель «ЛатВИКО» (рис. 5.2, а) изготовлен из оцинкованной жести. Внутри корпуса расположен отражатель и лампа КГ 220-1000, защищенная сеткой. Облучатель крепится к тросу за проушины корпуса.

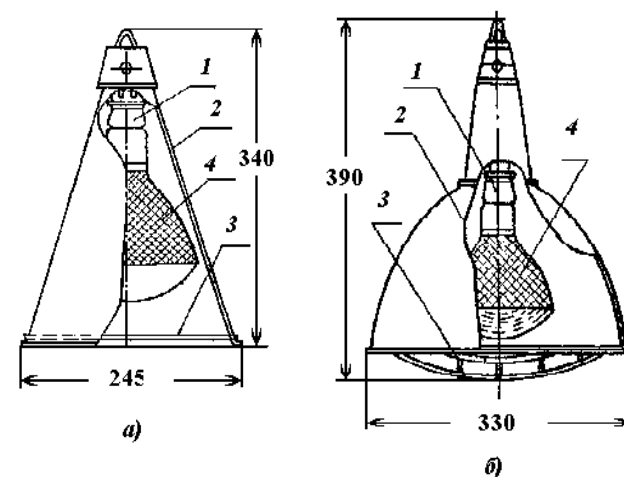


Рис. 5.1. Инфракрасные облучатели ОРИ-1 (а) и ССП01-250 (б): 1 – патрон; 2 – кожух; 3 – защитная сетка; 4 – лампа ИКЗ 220-500

Облучатель ОКБ-1378А (рис. 5.2, б) представляет собой стальной кожух, пространство, между двойными стенками которого, заполнено теплоизолятором. В кожухе закреплены три ТЭНа мощностью по 0,4 кВт. Каждый ТЭН имеет выключатель, что делает возможным трехступенчатое включение мощности облучателя.

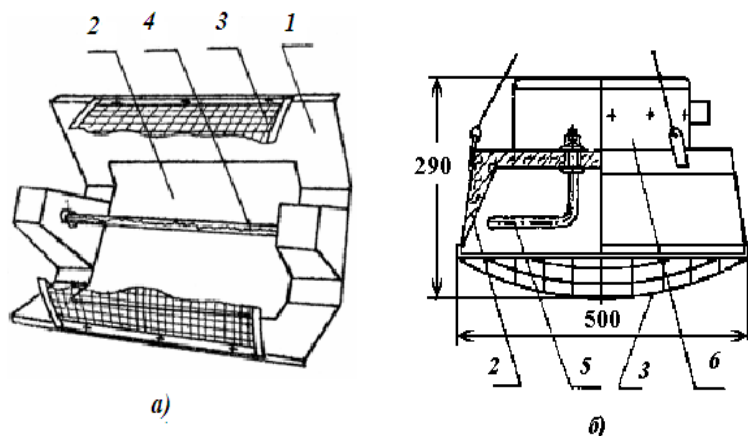


Рис. 5.2. Инфракрасные облучатели «ЛатВИКО» (а) и ОКБ-1378А (б):
 1 – корпус; 2 – отражатель; 3 – защитная сетка; 4 – лампа КГ 220-1000;
 5 – трубчатый нагреватель; 6 – коробка с оборудованием для подключений

Облучатель с керамическим излучателем ЭИС-0,25-И1 «Ирис» состоит из металлического отражателя (оцинкованная жесь), который крепится на керамическом патроне Е27. В отражателе к патрону вмонтирован ТЭН мощностью 0,25 Вт. В нижней части отражатель содержит керамический защитный экран.

Инфракрасный излучатель ЭИ-1,0-И1 представляет собой стальной хромированный отражатель, на котором закреплены два керамических нагревателя, смонтированных в защитном корпусе. Пространство между отражателем и защитным корпусом заполнено теплоизоляцией – базальтовым волокном. Выводные части нагревателей выполнены в керамических бусах. Блоки зажимов проводов питания и болт заземления смонтированы внутри защитного корпуса и закрыты крышкой. Подвеска излучателя над обогреваемым объектом осуществляется на металлическом тросе. Излучатель снабжен защитной сеткой. Нагреватель представляет собой керамическую плитку с замурованной нагревательной спиралью из проволоки сплава ОХ27Ю5А с высоким омическим сопротивлением. Два нагревателя мощностью по 500 Вт в излучателе соединены параллельно. Их питание осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 230 В. Температура на рабочей поверхности нагревателя достигает 700 °С.

При напольном содержании молодняка птицы для местного обогрева могут быть использованы подвесные электрические брудеры-зонты БП-1 (БП-1А), которые предназначены для одновременного обогрева 500–600 цыплят до 30-суточного возраста (рис. 5.3). Брудер БП-1 конструктивно выполнен в виде металлического зонта формы шестигранной усеченной пирамиды, изготовленного из оцинкованной стали, внутри которого установлены четыре трубчатых электронагревателя типа НВ-059/0,25 мощностью по 250 Вт. Его подвешивают к потолочным перекрытиям на канате с блоками. Температурный режим под брудером регулируется при помощи температурного реле (регулятора температуры) и высоты подвеса брудера над полом. В брудере БП-1 использовано двухпозиционное реле БП1-00-090, а в брудере БП-1А – двухпозиционный регулятор температуры РТБ-1.

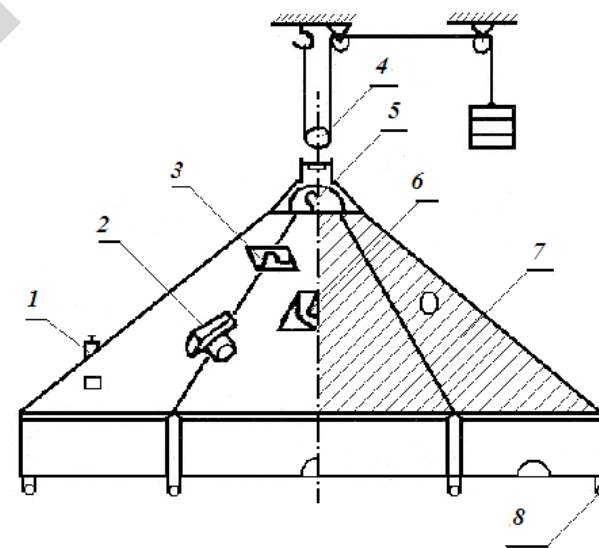


Рис. 5.3. Общий вид брудера-облучателя БП-1: 1 – контрольный термометр;
 2 – терморегулятор; 3 – ИК-излучатель; 4 – тросовая подвеска с противовесом;
 5 – сигнальная лампа перегорания ТЭНов; 6 – лампа освещения;
 7 – корпус; 8 – упоры

Выбор облучателей для ИК обогрева молодняка животных и птицы производят по следующим основным параметрам: типу, мощности, номинальному напряжению, числу и взаимному расположению

источников в облучателе; высоте подвеса облучателя; способе регулирования облученности. При этом в обязательном порядке учитывают спектр излучаемого ими ИК излучения.

Максимальная плотность ИК излучения у «светлых» источников, температура тела накала которых значительно выше, приходится на диапазон длин волн 1,1–1,2 мкм, в то время как у «темных» на – 4–5 мкм.

ИК излучение от «светлых» источников обладает большей глубиной проникновения и, следовательно, большей эффективностью, которую можно охарактеризовать коэффициентом полезного действия $\eta_{ИК}$. Коэффициент полезного действия ИК излучения $\eta_{ИК}$ представим как отношение ИК потока, поглощенного кожей животного (птицы) $\Phi_{П}$, к мощности источника ИК излучения P :

$$\eta_{ИК} = \frac{\Phi_{П}}{P}. \quad (5.1)$$

Коэффициент полезного действия ИК излучения у «светлых» источников приблизительно равен 0,66, в то время как у «темных» – 0,38. Что указывает на то, что с энергетической точки зрения «светлые» излучатели эффективнее, так как их $\eta_{ИК}$ в 1,7 раза выше, чем у «темных». Однако в спектре излучения «светлых» излучателей присутствует значительная доля видимого излучения, которое способно оказать негативное фотопериодическое действие на биологический объект. Поэтому при ИК обогреве молодняка раннего возраста рекомендуется применять лампы ИКЗК220-250 (ИКЗС220-250), у которых лакокрасочное покрытие колбы красного (синего) цвета предназначено для снижения потока видимого излучения, в то время как более мощные лампы ИКЗ220-500 обычно применяют для обогрева более взрослых особей. Кроме того, установленная мощность ИК облучателя определяется высотой их подвеса и требуемой площадью облучения. Например, средняя облученность $E_{СР}$, равная $300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, может быть обеспечена одним облучателем с лампой ИКЗК220-250 при высоте подвеса $h = 0,6 \text{ м}$ на площади $0,5 \text{ м}^2$ или же одним облучателем с лампой ИКЗ220-500 при высоте его подвеса $h = 1 \text{ м}$ на площади 1 м^2 .

Следует отметить, что четких нормативных рекомендаций по выбору типа и мощности облучателей в настоящее время не существует и при равных условиях при выборе предпочтение следует отдавать облучателям (установкам) с автоматизированным управлением.

5.2. Расчет установок инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы

При расчете установок ИК обогрева молодняка животных и птицы исходят из того, что ощущаемая температура¹⁰ в зоне их расположения T определяется как результат суммарного воздействия температуры помещения в рассматриваемой зоне $T_{П}$ и температуры $T_{ИК}$, создаваемой ИК излучателями:

$$T = T_{П} + k_1 \cdot T_{ИК}, \quad (5.2)$$

где k_1 – коэффициент «восприятия» ИК излучения организмом животного (птицы), определяемый состоянием шерстно-перьевого покрова (загрязненности, влажности, окраски).

Температуру помещения в рассматриваемой зоне $T_{П}$ определяют как результат воздействия на животных (птицу) температуры воздуха $T_{В}$ и радиационной температуры поверхностей рядом расположенных ограждений $T_{Р}$, обращенных к зоне расположения молодняка (при их наличии):

$$T_{П} = k_2 \cdot T_{Р} + (1 - k_2) \cdot T_{В}, \quad (5.3)$$

где k_2 – полученный экспериментальным путем коэффициент, зависящий от вида помещения и скорости перемещения в нем потока воздуха, и равный: 0,3 – для коровников; 0,42 – для свинарников; 0,5 – для общественных (жилых) зданий и сооружений.

Значение температуры воздуха в помещении $T_{В}$ в ряде случаев, например, когда она существенно изменяется по высоте в зоне расположения животных, что имеет место, например, при их содержании на подогреваемом полу, определяют расчетным путем как средневзвешенное значений температур воздуха и поверхности пола, то есть:

$$T_{В} = \frac{(T_{В} - T_{ПП})}{2}, \quad (5.4)$$

где $T_{ПП}$ – температура воздуха на уровне пола.

¹⁰ Термин «ощущаемая» температура означает температуру, которую ощущает облучаемый объект при воздействии на него ИК излучения и окружающей среды. Ее значение регламентируется зоотехническими нормами для заданного вида и возраста животного (птицы).

Среднюю радиационную температуру ограждений в зоне расположения животных (птицы) T_p определим как:

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{огр}_i} \cdot S_{\text{огр}_i}}{\sum_{i=1}^n S_{\text{огр}_i}}, \quad (5.5)$$

где $T_{\text{огр}}$ и $S_{\text{огр}}$ – соответственно средняя радиационная температура и площадь элементов рядом расположенных ограждений, обращенных к зоне содержания животных (птицы), в обязательном порядке включая пол. Температуру ограждений $T_{\text{огр}}$, за исключением температуры на поверхности пола, как правило, принимают равной средней температуре воздуха в помещении, то есть $T_{\text{огр}} \approx T_B$.

Так как значение температуры T задано зоотехническими требованиями, то температура $T_{\text{ИК}}$, создаваемая ИК излучателями в зоне обогрева, зависит от температуры $T_{\text{п}}$ [11]. Следовательно, необходимое значение температуры $T_{\text{ИК}}$ может быть найдено из (5.2):

$$T_{\text{ИК}} = \frac{(T - T_{\text{п}})}{k_1}. \quad (5.6)$$

Температура $T_{\text{ИК}}$ создается ИК облученностью $E_{\text{ИК}}$ на поверхности обогреваемого объекта. При известном значении $E_{\text{ИК}}$ (или $T_{\text{ИК}}$) значение второго параметра может быть приближенно определено из следующего, полученного экспериментальным путем, выражения:

$$T_{\text{ИК}} = k_3 \cdot E_{\text{ИК}}, \quad (5.7)$$

где k_3 – градуировочный коэффициент, равный $0,04 \text{ К} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Вт}^{-1}$.

В зоне ИК обогрева обычно находится группа животных (птицы), которые занимают определенную площадь $S_{\text{ж}}$ (рис. 5.4). ИК облученность $E_{\text{ИК}}$ этой площади, а, следовательно, и температуры $T_{\text{ИК}}$ будут распределены неравномерно. Их максимальные значения, как правило, будут в центре, а минимальные – по краям зоны обогрева. Очевидно, что в расчетах следует учитывать их средние значения, предусматривая при этом, чтобы диапазон между максимальным и минимальным значениям не выходил за пределы значений комфортной температуры, рекомендованной зоотехническими нормами для содержания животных или птицы заданного вида и возраста, и не оказывал заметного влияния на снижение продуктивности и сохранности.

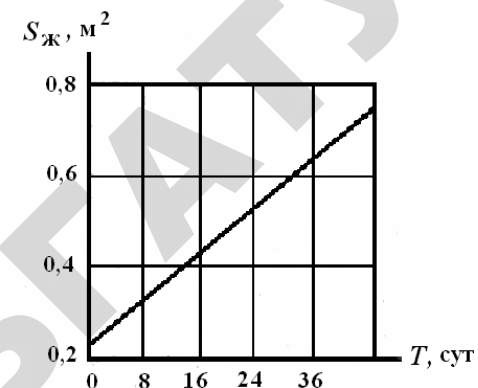


Рис. 5.4. Зависимость площади обогрева $S_{\text{ж}}$ от возраста группы поросят из 10 особей

Выбор технических средств ИК обогрева и принимаемые проектные решения по их размещению обычно осуществляются по максимальному или среднему значению ИК облученности горизонтальной поверхности. Для нахождения среднего значения ИК облученности воспользуемся тем, что распределение ИК облученности под облучателем обладает центральной симметрией (рис. 5.5). Если поле облученности, начиная от центра симметрии, разделить на ряд concentрических окружностей шириной Δr , то $E_{\text{ИК. ср}}$ определится как:

$$E_{\text{ИК. ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \pi \cdot (r_i^2 - r_{i-1}^2) \cdot E_i}{\sum_{i=1}^n \pi \cdot (r_i^2 - r_{i-1}^2)}, \quad (5.8)$$

где E_i – среднее значение ИК облученности i -ой окружности, $\text{Вт} \cdot \text{м}^2$.

При проектировании установок ИК облучения используют экспериментально полученные зависимости распределения облученности $E_{\text{ИК}}$ (температуры $T_{\text{ИК}}$), создаваемой облучателем на горизонтальной поверхности, при различной высоте подвеса облучателей или напряжении их питания (рис. 5.6, 5.7). Приведенные зависимости при известном значении необходимой ИК облученности $E_{\text{ИК}}$ (наибольшей или средней) позволяют в зависимости от условия задачи определить значение напряжения питания облучателей при заданной высоте их подвеса, либо требуемую высоту при заданном напряжении питания, а также угол наклона ИК источников к оси симметрии облучателя.

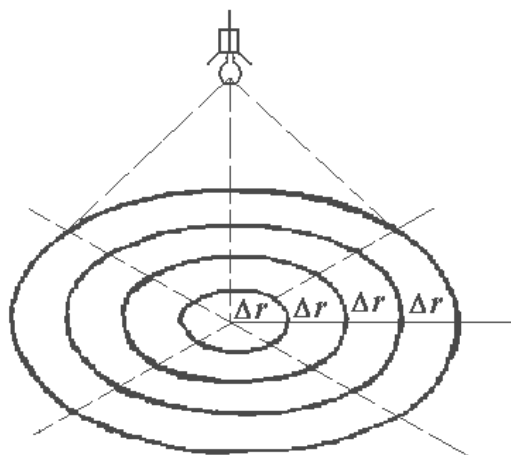


Рис. 5.5. К определению среднего значения ИК облученности горизонтальной поверхности под ИК излучателем с круглосимметричным светораспределением

Если одного облучателя недостаточно для того, чтобы создать необходимое значение ИК облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$) в зоне содержания животных, то создают (применяют при их наличии) установки из нескольких источников или облучателей. В этом случае распределение ИК облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$) под облучателем из любого числа источников может быть получена путем сложения полей от единичных источников – облученность (температура) в каждой точке поверхности может быть найдена как сумма облученностей (температур), создаваемых в этой точке каждым отдельным источником.

В некоторых случаях с целью увеличения площади поверхности обогрева источники ИК излучения располагают под углом β к оси симметрии облучателя. При этом ИК облученность в расчетной точке E_{β} определяют по формуле:

$$E_{\beta} = E_0 \cdot \cos \beta, \quad (5.9)$$

или экспериментально полученным зависимостям распределения облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$), создаваемой облучателем на горизонтальной поверхности, при различных углах расположения ИК излучателей в облучателе и высоте их подвеса (рис. 5.8).

В формуле 5.9 E_0 – ИК облученность в рассматриваемой точке при $\beta = 0$, Вт·м⁻².

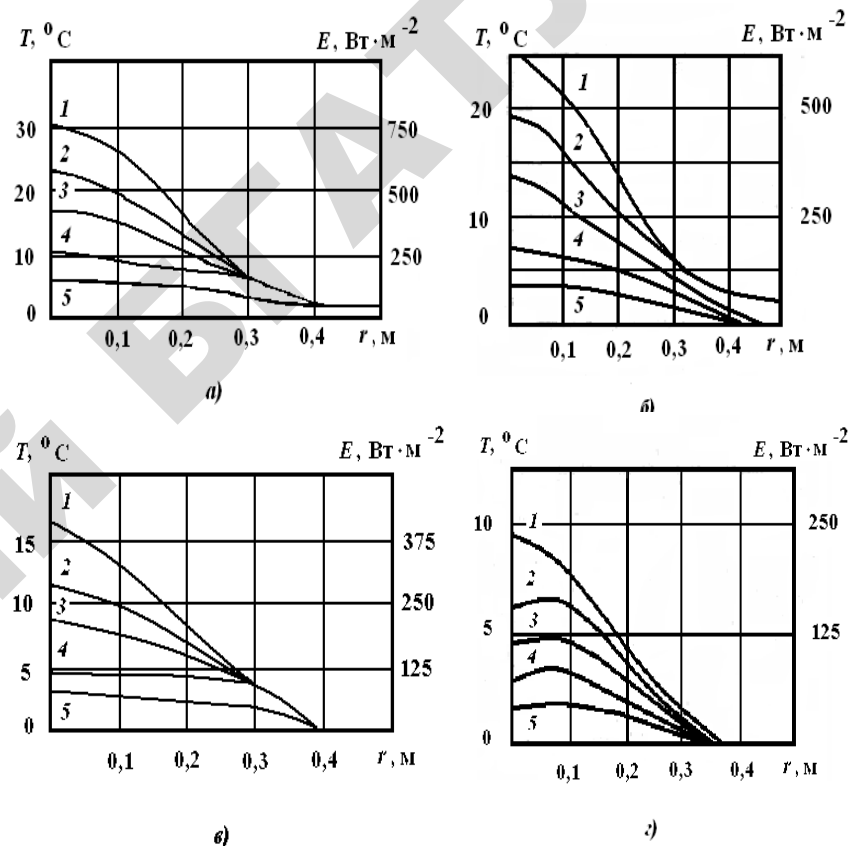


Рис. 5.6. Зависимости облученности под лампой ИКЗК220-250 от расстояния до проекции центра симметрии при: а) $U = 220$ В; б) $U = 180$ В; в) $U = 140$ В; г) $U = 100$ В; 1 – $h = 0,4$ м; 2 – $h = 0,5$ м; 3 – $h = 0,6$ м; 4 – $h = 0,8$ м; 5 – $h = 1,0$ м

Отметим, что приведенные на рис. 5.6–5.8 зависимости распределения облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$) от высоты подвеса излучателей могут быть получены и расчетным путем по светотехническим формулам (подраздел 1.6) при известных кривых распределения силы излучения источников. Для наиболее часто применяемых в облучателях источников ИК излучения (ламп ИКЗК-220-250, ИКЗС220-250-1 и ИКЗ220-250) кривые распределения силы излучения приведены на рис. 5.9.

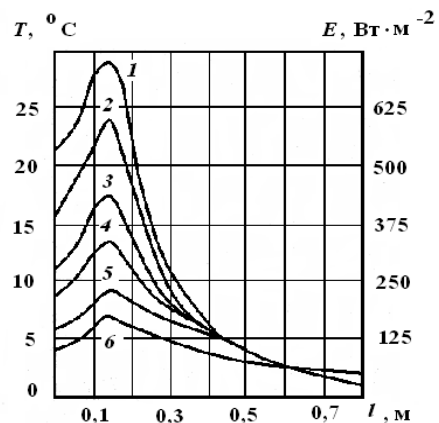


Рис. 5.7. Зависимости облученности под лампой ИК3220-500 от расстояния до проекции центра симметрии при $U = 220$ В: 1 – $h = 0,7$ м; 2 – $h = 0,8$ м; 3 – $h = 0,9$ м; 4 – $h = 1,0$ м; 5 – $h = 1,3$ м; 6 – $h = 1,4$ м

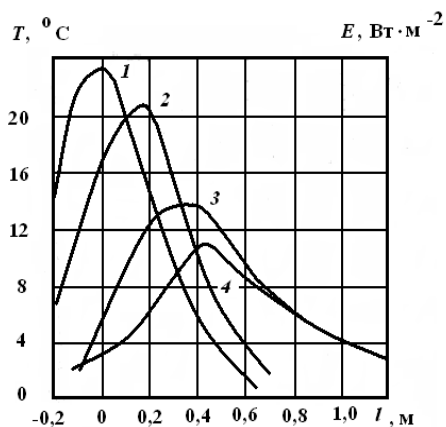


Рис. 5.8. Зависимости облученности при различных углах расположения лампы ИК3220-250 в облучателе при $h = 0,5$ м и $U = 220$ В: 1 – $\beta = 0^\circ$; 2 – $\beta = 20^\circ$; 3 – $\beta = 45^\circ$; 4 – $\beta = 60^\circ$

К тому же требуемую ИК облученность можно определить и по эмпирической формуле [4]:

$$E_{\text{ИК}} = (E_0 - G \cdot T) \cdot \left(1 - \frac{D}{L}\right), \quad (5.10)$$

где T – температура содержания животных, $^\circ\text{C}$;

E_0 – оптимальная ИК облученность для новорожденных животных и птицы, находящихся при температуре T (табл. 5.2);

G – температурный градиент облученности, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$, принимается равным $25 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$ (для ягнят – $13 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$);

D – возраст животного (птицы), сут.;

L – число дней полной температурной адаптации животного (птицы), в среднем равный 100 сут.

Таблица 5.2

Оптимальная ИК облученность для новорожденного молодняка сельскохозяйственных животных и птицы

Начальная облученность, $E_0, \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$	Вид животных					
	Цыплята	Поросята	Телята	Ягнята	Индюшата	Гусьята и утята
	825	700	500	3380	900	710

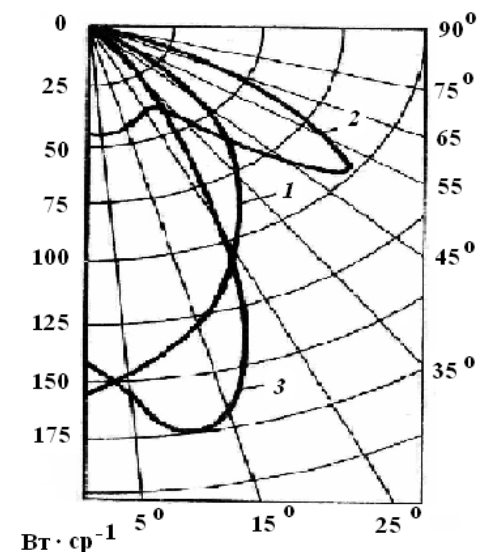


Рис. 5.9. Кривые силы ИК излучения ламп: 1 – ИКЗК220-250; 2 – ИКЗС220-250-1; 3 – ИК3220-250

Приведенная эмпирическая формула (5.10) позволяет получить значение высоты подвеса облучателя h над спинкой животного (птицы) для заданного возраста:

$$h = \sqrt{\frac{I_{\alpha_0} \cdot \eta_{\text{Л}} \cdot P_{\text{Л}}}{1000 \cdot E_{\text{ИК}} \cdot z}}, \quad (5.11)$$

где L_{α} – сила ИК излучения источника в направлении угла $\alpha = 0$, Вт·ср⁻¹;

$P_{\text{Л}}$ – мощность лампы, Вт;

$\eta_{\text{Л}}$ – КПД ИК излучения лампы, примерно равный 0,7–0,85;

z – коэффициент неравномерности облучения, для кривой силы ИК излучения косинусного (Д) и глубокого (Г) светораспределения, равный 1,4–1,6; широкого (Ш) светораспределения – 1,0.

Принимая значение силы ИК излучения источника I_{α_0} по рис. 5.9 (приведена для конкретного источника в абсолютных единицах измерения) формула (5.11) может быть упрощена:

$$h = \sqrt{\frac{I_{\alpha_0}}{E_{\text{ИК}} \cdot z}}. \quad (5.12)$$

При расчете установок ИК облучения молодняка животных и птицы рекомендуется придерживаться следующей последовательности рассмотрения вопросов:

1. По зоотехническим нормам в зависимости от вида и возраста животных (птицы) определяют регламентированное значение температуры T в зоне их расположения.

2. Из норм технологического проектирования для данного вида помещения определяют значение температуры воздуха в помещении $T_{\text{В}}$, которое должно быть обеспечено системой общего обогрева. При существенном изменении температуры воздуха по высоте в зоне расположения животных вычисляют средневзвешенное значение температуры воздуха (5.4).

3. Вычисляют площадь ограждений, рядом расположенных с зоной содержания молодняка, например, ограждений секций или станков, и площадь пола в зоне обогрева.

4. Вычисляют среднюю радиационную температуру ограждений в зоне расположения животных (птицы) $T_{\text{Р}}$ (5.5).

5. Вычисляют температуру помещения в рассматриваемой зоне $T_{\text{П}}$ (5.3).

6. Определяют температуру, которая должна быть обеспечена ИК обогревателями (5.6), и необходимую для ее создания среднюю ИК облученность (5.7, 5.8).

7. Пользуясь зависимостями распределения облученности $E_{\text{ИК}}$ (температуры $T_{\text{ИК}}$), создаваемой принятым облучателем на горизонтальной поверхности при различной высоте подвеса облучателей, различном напряжении их питания или угле расположения ИК излучателя в облучателе (рис. 5.6–5.8), определяют, в зависимости от условий поставленной задачи, значение одного из приведенных выходных параметров при зафиксированных двух оставшихся, например, значения напряжения питания облучателей при заданной высоте их подвеса и угле наклона ИК источников к оси симметрии облучателя.

8. Определяют ИК облученность и создаваемую температуру в центре и на границе зоны обогрева, проверяют соответствие полученных значений с допустимыми зоотехническими требованиями и отклонениями от диапазона значений комфортной температуры для данного вида и возраста животных (птицы).

9. Учитывая, что значение комфортной температуры T в зоне расположения животных (птицы) зависит от возраста по зоотехническим нормам определяют эту зависимость и проводят аналогичные расчеты для различных возрастных групп. Результатом расчетов должно стать принятие решения, каким образом следует изменять режимы работы ИК облучателей – увеличивать высоту их подвеса при переводе животных (птицы) в другую возрастную группу, изменять напряжение питания облучателей или иное. Принятое решение оформляется в виде графиков или таблиц, иллюстрирующих зависимость параметров установки ИК обогрева от возраста животных (птицы).

5.3. Комбинированные установки инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения животных и птицы

Для одновременного ИК обогрева и УФ облучения молодняка сельскохозяйственных животных и птицы разработаны и серийно выпускают стационарные автоматизированные установки ИКУФ-1, ИКУФ-1М, «Луч», «СОЖ» и «ЭРИКО-1». Указанные установки предназначены для местного обогрева поросят-сосунов до 45–60-дневного возраста, телят до 45–120-дневного, ягнят до 60-дневного, молодняка птицы (цыплят, индюшат, утят, гусят) до 20–30-дневного возраста и их витального облучения в течение всего времени содержания. Установки комплектуются 20, 40, 60 или 80

облучателями и шкафом управления. Каждый облучатель содержит две лампы ИКЗК 220-250 и одну (две) УФ (ЛЭ15, ЛЭО15, ДРТ100 или ДРТ2-100). 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. Программу на реле устанавливают в соответствии с зоотехническими требованиями.

Облучатели установок ИКУФ-1 и ИКУФ-1М незначительно отличаются по конструктивному исполнению и представляют собой жесткий металлический корпус, на обоих концах которой размещены лампы ИКЗК220-250, а между ними – витальная лампа ЛЭ15 (ЛЭО15) с отражателем (рис. 5.10, 5.11). ПРА витальной лампы установлен сверху на облучателе в закрытом кожухе. В кожухе также размещены три переключателя, позволяющие включать (отключать) лампы и изменять режим работы ИК ламп. Снизу облучатель закрыт сеткой. Посредством трехпроводного кабеля и штепсельного разъема он подключается к сети. Подвешивают их над зоной отдыха молодняка на тросе или подвесках из стальной проволоки за специальные дужки. Габаритные размеры облучателей установки ИКУФ-1 – 270×200×900 мм, напряжение питания – 230 В, установленная мощность – 520 Вт.

Схема управления работой установки ИКУФ-1 предусматривает два режима работы: автоматический и ручной. В автоматическом режиме программное включение (отключение) облучателей задается реле времени 2РВМ.

Отличие облучателей установок ИКУФ-1 и ИКУФ-1М в том, что использование герметических патронов и держателей стартера, а также применение резиновых сальниковых уплотнений делает конструкцию облучателей ИКУФ-1М пылевлагозащищенной, на них отсутствуют переключатели, предназначенные для индивидуального управления ИК обогревом и УФ облучением молодняка. Общий вид облучателя установки ИКУФ-1М представлен на рис. 5.10.

В универсальной автоматизированной установке «Луч» облучатель представляет собой жесткую стальную конструкцию овальной формы. В облучателе на кронштейнах смонтированы две инфракрасные лампы ИКЗК220-250 и одна витальная лампа ЛЭ15 (ЛЭО15) с отражателем (рис. 5.10, 5.11). На облучателе под защитным кожухом расположена ПРА витальной лампы. Снизу облучатель закрыт металлической сеткой. Патроны для включения ИК ламп уплотнены специальными резиновыми манжетами, ламподержатели витальной

лампы выполнены в брызгозащищенном исполнении. В арматуре облучателя имеется приспособление для его подвески и вводное устройство для питающего кабеля. К сети облучатель подключается через осветительные коробки брызгозащищенного исполнения. Габариты облучателей – 520×400×245 мм, напряжение питания – 230 В, установленная мощность – 520 Вт.

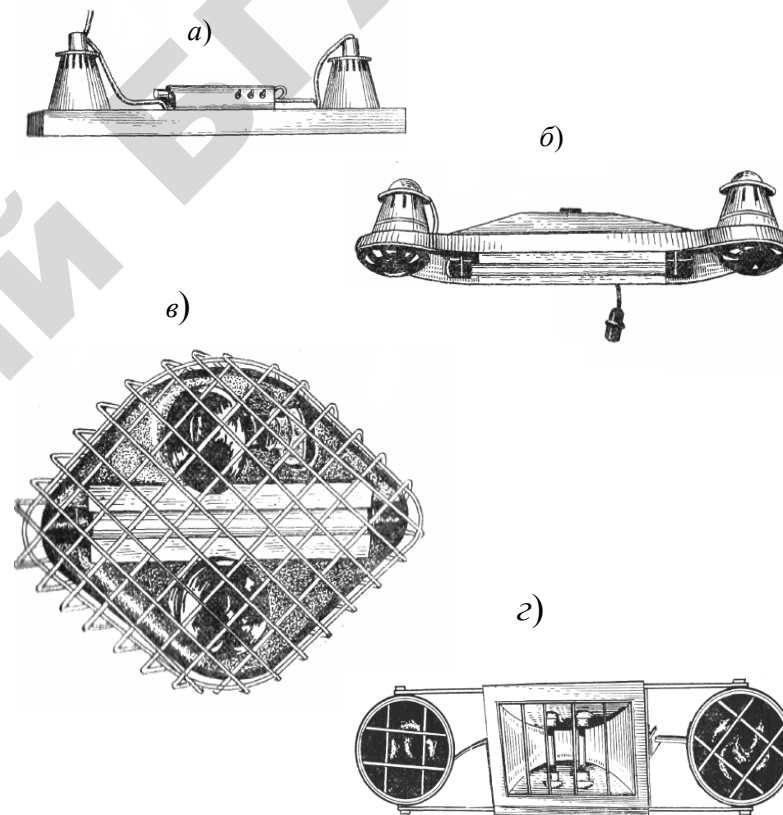


Рис. 5.10. Общий вид облучателей установок ИКУФ-1 (а), ИКУФ-1М (б), «Луч» (в), «СОЖ» (г) 250

Конструкция крепления ИК ламп в облучателях установки «Луч» позволяет устанавливать их под углом 45, 68 и 90° к обогреваемой поверхности, что дает возможность более эффективно использовать ИК поток и более равномерно его распределять

по облучаемой поверхности. Для изменения температурного режима по мере роста молодняка животных или птицы в установке «Луч» используются регуляторы напряжения питания ИК ламп – трансформаторы АТ-10 или тиристорный регулятор напряжения. Для питания витальных ламп в схеме управления предусматривается специальный понижающий трансформатор 220/127 В, аналогичный используемому в установке ИКУФ-1.

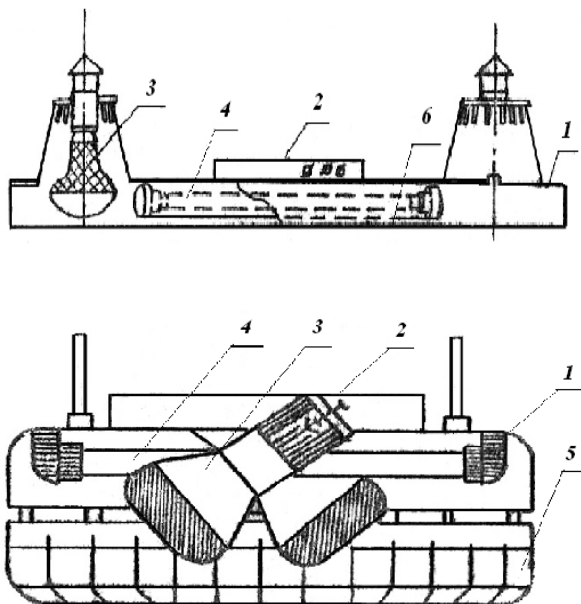


Рис. 5.11. Элементы конструкции облучателей установок ИКУФ-1 и «Луч»:
1 – корпус; 2 – коробка с ПРА; 3 – лампа ИКЗК220-250;
4 – лампа ЛЭ-15 с отражателем; 5 – защитная сетка

Дальнейшее совершенствование установок ИКУФ-1, ИКУФ-1М и «Луч», направлено на улучшение их эксплуатационных качеств, отработку наиболее целесообразных рабочих режимов и доработку конструкции облучателей – дополнение облучателей высоковольтными ионизаторами воздуха, в том числе с маломощными вентиляторами, замену ламп ЛЭ15 (ЛЭО15) на более мощные, например ЛЭ30 (ЛЭО30), или лампы типа ДРТ небольшой мощности, например, ДРТ 100, ДРТ2-100, ДРП250 и др., питаемые от сети переменного тока напряжением 230 В и излучающие УФ лучи всего диапазона

(от 200 до 380 нм), ламп ИКЗК220-250 на керамические термоизлучателями типа ЭИС-0,25-И1 «Ирис».

На основе УФ ламп ДРТ100 и ДРТ2-100 разработана установка «СОЖ» предназначенная для локального ИК обогрева и УФ облучения молодняка. Облучатель установки «СОЖ» имеет две лампы ИКЗК220-250 и бактерицидную лампу ДРТ 100 для обеззараживания воздуха и мест содержания молодняка и витальную лампу ДРТ2-100 (рис. 5.10). Корпуса с лампами ИКЗК220-250 могут отклоняться от вертикального положения на угол до 30°.

Заданный режим работы установки «СОЖ» поддерживается программным устройством, которое вместе с электромагнитными пускателями и коммутирующей аппаратурой расположено в пульте управления. В схемах управления предусмотрено одновременное использование ламп ИКЗК220-250 в качестве балластных сопротивлений ламп ДРТ100 и ДРТ2-100. Такое решение позволило отказаться от балластных дросселей, понижающих трансформаторов и компенсирующих конденсаторов, что снизило энергоемкость и материалоемкость в сравнении с установкой ИКУФ-1. Масса облучателя установки «СОЖ» – 5,6 кг, пульта управления – 44 кг. Габариты облучателя – 800×210×240 мм, пульта управления – 560×245×805 мм. Напряжение питания – 400/230 В.

Для ИК обогрева и УФ облучения до 4000 подсосных крольчат, находящихся с самками, 120 свиноматок с поросятами или 120 телят, а также одновременного освещения помещения разработана комбинированная установка «ЭРИКО-1», состоящая из 125 ИК облучателей, 70 пылевлагозащищенных витально-осветительных облучателей с лампами ЛЭ30-1 и ЛБ30, 10 светильников дежурного освещения и шкафа управления.

Для УФ облучения 200 коров, 12 тыс. кур-несушек или 25 тыс. цыплят при напольном и одноярусном клеточном содержании, искусственного освещения 1600–1800 м² площади помещения и одновременной дезинфекции воздуха в птичниках и коровниках разработана комбинированная установка «ОЭРБА», состоящая из 100 витально-осветительных бактерицидных облучателей типа ОЭРБА 3×30 с лампами ЛЭ30-1, ЛБ30 и ДБ30-1, 10 светильников дежурного освещения и шкафа управления. В установках «ЭРИКО-1» и «ОЭРБА» лампы ЛЭ30-1 и ЛБ30 можно заменить витально-осветительными лампами смешанного излучения типа ЛЭО30.

При эксплуатации установок УФ облучения и ИК обогрева высота подвеса облучателей определяется видом и возрастом животных

и птицы, а также температурой воздуха в помещении. Например, при обогреве поросят установками ИКУФ-1 и ИКУФ-1М в помещениях при наличии системы общего обогрева один облучатель, как правило, размещают над двумя смежными станками, а при отсутствии системы – по одному облучателю на каждое станкоместо. Высота подвеса облучателей над полом при обогреве поросят в возрасте 1–20 сут и температуре воздуха в помещении 12–14 °С составляет 0,5–0,6 м, при 16–18 °С – 0,6–0,7 м, а при 20 °С – 0,7–0,8 м; в возрасте 20–25 сут и температуре воздуха в помещении 8–10 °С – 0,7 м, 12–14 °С – 0,8 м, 16–18 °С – 0,9 м, 20 °С – 1,0 м. При этом режим ИК обогрева рекомендуется следующий: в первые 3 дня ИК лампы включены постоянно; с 3-го до 10-го дня – 45 мин обогрева и 15 мин паузы; с 10-го до 45-го дня – по 30 мин обогрева и паузы [11].

При содержании телят в клетках один облучатель установки используют для обогрева двух смежных клеток, а при групповом содержании оборудуют обогреваемую площадку из расчета один облучатель на 4 м² площади. Рекомендуемый режим обогрева – прерывистый с выключением на 30 мин после каждый час–полтора часа работы. Допускается также непрерывный обогрев телят с тремя часовыми перерывами во время кормления – утром, днем и вечером. Высота подвеса облучателей над полом при обогреве телят в возрасте 1–45 сут и температуре воздуха в помещении 5–6 °С составляет 1,2 м, 7–8 °С – 1,3 м, 9–10 °С – 1,4 м, 11–13 °С – 1,5 м, а в возрасте 45–120 сут и температуре воздуха в помещении 5–6 °С – 1,4 м, 7–8 °С – 1,5 м, 9–10 °С – 1,6 м, 11–13 °С – 1,7 м. В первые два-три дня жизни, когда телята больше лежат, высота подвеса облучателей должна быть уменьшена на 0,4–0,5 м.

В овчарнях помещения для ягнения овец оборудуют облучателями из расчета 25 Вт установленной мощности на одну матку с приплодом, а для искусственного выращивания ягнят – 250 Вт на 10 ягнят. Ягнят обогревают до 15–20-дневного возраста, а при температуре в овчарне ниже 10 °С до 45–60-дневного возраста. Первые три-четыре дня ягнят обогревают в режиме 3 часа обогрев, 45 мин пауза. Паузы целесообразно совмещать со временем кормления. В последующие дни – 1 час обогрева и 30 мин пауза [11].

Высота подвеса облучателей над полом при обогреве ягнят в возрасте 1–20 сут и температуре воздуха в помещении –5 °С составляет 0,8 м, 0 °С – 0,9 м, 5 °С – 1,0 м, 10 °С – 1,1 м, а в возрасте 21–60 сут и температуре воздуха в помещении –5 °С – 1,1 м, 0 °С – 1,2 м, 5 °С – 1,3 м. При использовании установки ИКУФ-1 высота подвеса

облучателей может оставаться неизменной, а с увеличением возраста ягнят ИК лампы выключателями, установленными на облучателях, переключаются с параллельного соединения на последовательное.

При обогреве молодняка птицы целесообразно использовать низкотемпературные керамические ИК излучатели с параболическим отражателем ЭИС-0,25-И1 «Ирис», а при отсутствии оных, только лампы ИКЗК и ИКЗС. ИК обогрев молодняка птицы в возрасте 1–30 сут применяют при содержании птицы на полу, в одноярусных клеточных батареях и в многоярусных со «стартовым» ярусом. Одним источником ИК излучения мощностью 250 Вт можно обогреть 100–120 цыплят, 60–80 индюшат, гусят или утят первого возраста. Исходя из этих рекомендаций и определяют количество облучателей в помещении. Их высота подвеса над полом или поликом клеток определяется в соответствии с рекомендациями, приведенными в приложении 10. Режим обогрева, как правило, непрерывный, хотя к 20–30-дневному возрасту целесообразно устраивать паузы после 45–105 мин обогрева. В процессе выращивания молодняка необходимо периодически наблюдать за поведением и физиологическим состоянием птицы. При появлении симптомов перегрева следует ИК облучатели поднять выше или уменьшить напряжение на ИК лампах, если же наблюдается скучивание – опустить облучатели или увеличить напряжение.

При эксплуатации установки «Луч» угол наклона ИК ламп и высота подвеса облучателей остаются неизменными. В зависимости от температуры воздуха в помещении, возраста и вида животных и птицы изменяют мощность ИК ламп с помощью трансформатора или тиристорного регулятора напряжения. В приложении 11 приведены рекомендуемые значения питающего напряжения для различных видов и возрастных групп животных и птицы, высоты подвеса облучателей, угла наклона ИК ламп, температуры воздуха в помещении. Количество облучателей определяется по аналогии с вышеприведенными рекомендациями для установок ИКУФ-1 и ИКУФ-1М. В облучателях целесообразнее установить углы наклона ламп ИК обогрева 45° или 68°, так как в этом случае распределение ИК облученности по поверхности обогрева более равномерное, чем при наклоне под углом 90°, увеличивается зона полезного действия облучателя и возрастает КПД установки.

Продолжительность УФ облучения молодняка животных и птицы в течение суток зависит от высоты подвеса облучателей и определяется расчетным путем по формулам, приведенным в подразделе 3.2. При использовании ламп ЛЭО15 значения максимальной витальной

облученности следует уменьшить в 3 раза. Для поросят-сосунов суточное время облучения при высоте подвеса облучателей 0,6 м составляет 80 мин, 0,7 м – 100 мин, 0,8 м – 120 мин, для поросят-откормочников, соответственно, 120, 150 и 180 мин. При УФ облучении телят и высоте подвеса облучателей 1,2 м над полом время облучения составляет 2 часа, 1,2 м – 4 часа, 1,4 м – 5 часов и 1,5 м – 6 часов в сутки. При лампах ЛЭО15 указанное суточное время УФ облучения необходимо увеличить в 3 раза.

Следует помнить, что животных и птицу к УФ облучению надо приучать постепенно. Например, при облучении поросят лампы ЛЭ15 в первый день включают на 20 мин, во второй – на 40 мин, в третий – на 60 мин, а с 3-го до 45-го дня – постепенно доводят до нормы (3 раза по 40 мин ежедневно в дневное время).

Расчет комбинированных облучательных установок осуществляют в несколько стадий, так как при их эксплуатации необходимо одновременно обеспечить необходимый уровень освещенности рабочей поверхности и витальной облученности («ЭРИКО-1»), ИК обогрева и УФ облучения молодняка животных и птицы (ИКУФ-1, ИКУФ-1М, «Луч», «СОЖ»), бактерицидного обеззараживания воздуха («СОЖ», «ОЭРБА»). При предназначении облучательной установки для одновременного освещения рабочей поверхности, ИК обогрева и УФ облучения, бактерицидного обеззараживания воздуха в помещении расчет производят в следующей последовательности – вначале рассчитывают осветительную установку, используя известные методы светотехники [1, 3–6, 13, 15], затем последовательно производят расчет установок для ИК обогрева (подраздел 5.2), УФ облучения (подраздел 3.2) и обеззараживания воздуха (подраздел 4.5). Так при расчете установок типа ИКУФ-1 или «Луч» вначале производят расчет ИК обогрева, а затем – УФ облучения. При расчетах составляющих комбинированных облучательных установок пытаются отыскать компромиссное решение максимально удовлетворяющее всем нормативным требованиям.

5.4. Особенности управления установками инфракрасного обогрева

При эксплуатации установок ИК обогрева следует организовать их управление для обеспечения изменения ИК облученности $E_{ИК}$ в зависимости от возраста молодняка животных и птицы путем

изменения напряжения питания, высоты подвеса облучателей или угла установки ламп в облучателе. При этом необходимо предусмотреть и временное включение (отключение) ИК излучателей по определяемому возрастом молодняка графику, адаптирующему его терморегуляционный аппарат.

Анализ возможностей управления установками ИК обогрева позволяет сделать вывод, что с экономической точки зрения предпочтительнее использовать автоматизированное управление изменением напряжения питания, так как другие два способа являются более трудоемкими, хотя и требуют для их реализации меньших материальных затрат. По своей сути способы изменения ИК облученности путем изменения высоты подвеса облучателей или угла установки ламп в облучателе являются элементами ручного управления, а не автоматизированного.

При организации управления изменением напряжения питания ИК источников необходимо определить зависимость значения напряжения питания излучателей U от заданной зоотехническими требованиями комфортной температуры содержания животных T , определяемой температурой помещения в рассматриваемой зоне $T_{П}$ (5.3) и возрастом молодняка $T_{Ж}$ (подраздел 5.2), то есть $E_{ИК} = f(U) = \psi(T, T_{П}, T_{Ж})$. Так как комфортная температура содержания животных T может быть принята постоянной для заданного вида и возраста молодняка $T_{Ж}$ и задана зоотехническими требованиями, то поставленная задача по своей сути сводится к определению зависимости $U = f(E_{ИК}, T_{П})$.

Из уравнений (5.6 и 5.7) следует, что:

$$E_{ИК} = \frac{T - T_{П}}{k_1 \cdot k_3}. \quad (5.13)$$

Зависимость $E_{ИК} = f(U)$, как правило, определяют экспериментально для принятого типа облучателя и высоты его подвеса $h = \text{const}$. Обычно она имеет нелинейный характер (рис. 5.12) и для упрощения закона регулирования, реализуемого в регуляторе, ее принимают за линейную (линеаризуют, например, по методу наименьших квадратов), представляя в виде:

$$E_{ИК} = E_{CP} + k_4 \cdot (U - U_{CP}), \quad (5.14)$$

где k_4 – коэффициент линеаризации, связывающий $E_{ИК}$ и U , равный $k_4 = \arctg \alpha, \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{В}^{-1}$.

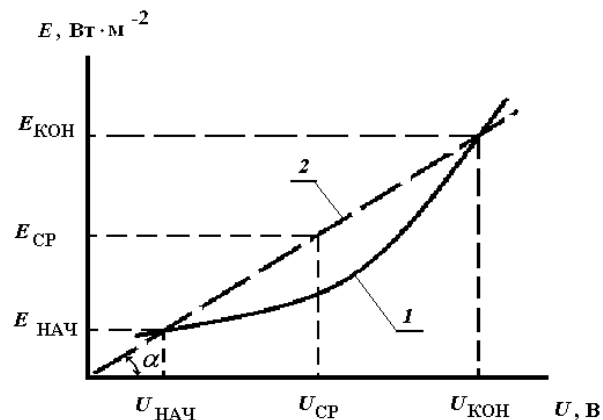


Рис. 5.12. Зависимости ИК облученности под облучателем от напряжения питания лампы при $h = \text{const}$: 1 – экспериментальная; 2 – линейризованная

Приравняв правые части уравнений (5.13) и (5.14), получим:

$$E_{\text{СР}} + k_4 \cdot (U - U_{\text{СР}}) = \frac{T - T_{\text{П}}}{k_1 \cdot k_3}. \quad (5.15)$$

Из (5.15) получаем закон регулирования напряжения питания U в зависимости от температуры помещения $T_{\text{П}}$ в рассматриваемой зоне $U = f(T_{\text{П}})$:

$$U = \frac{1}{k_4} \cdot \left(\frac{T - T_{\text{П}}}{k_1 \cdot k_3} - E_{\text{СР}} \right) + U_{\text{СР}}. \quad (5.16)$$

Получив закономерность управления (5.16) подбирают (разрабатывают) подходящий регулятор напряжения и схему автоматического управления, учитывая, что основное назначение установки ИК обогрева – создание в зоне нахождения животных (птицы) регламентированной зоотехническими нормами температуры T , регулируемой в зависимости от их возраста и вида $T_{\text{Ж}}$, а также температуры помещения в рассматриваемой зоне $T_{\text{П}}$. При работе схемы автоматического управления должны решаться следующие локальные задачи:

- включение (отключение) ИК обогревателей по временному графику, учитывающему возраст животных (птицы);
- задание программным устройством блоку управления режима ИК обогрева, определяемого видом и возрастом животных (птицы);

- отслеживание первичными преобразователями уровня ИК облученности в зоне содержания животных и температуры помещения в этой зоне и передача для сравнения блоку управления;
- оценку блоком управления соответствия заданному значению ощущаемой температуры ИК облученности в зависимости от температуры помещения в зоне расположения животных (птицы), их вида и возраста;
- изменение регулятором напряжения питания ИК ламп в зависимости от величины и знака сигнала, поступающего от блока сравнения.

Один из вариантов функциональной схемы управления ИК обогревом молодняка животных и птицы, реализующей указанные задачи, приведен на рис. 5.13.

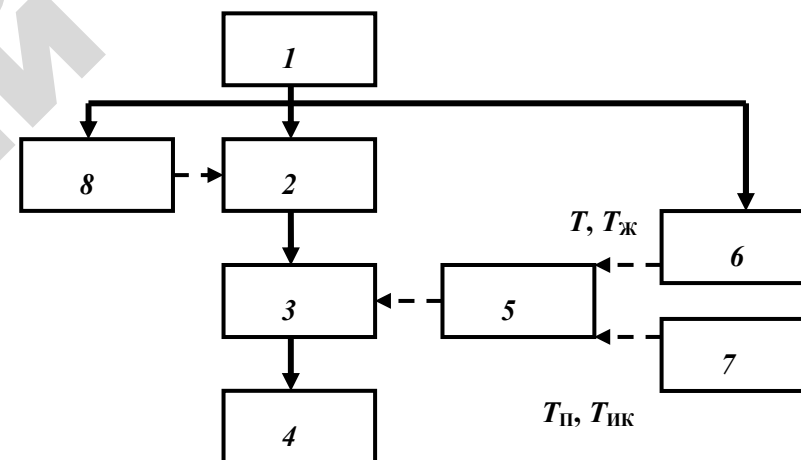


Рис. 5.13. Функциональная схема управления установкой ИК обогрева: 1 – источник питания; 2 – блок включения (отключения) облучателей; 3 – регулятор напряжения инфракрасных ламп; 4 – инфракрасные лампы; 5 – блок управления; 6 – программное устройство задания T и $T_{\text{Ж}}$; 7 – первичные преобразователи $T_{\text{П}}$ и $T_{\text{ИК}}$ в сигнал обратной связи; 8 – реле времени

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите преимущества использования ИК обогрева в сравнении с другими способами обеспечения содержания молодняка животных и птицы.

2. Расскажите об устройстве известных Вам ИК облучателей, применяемых для обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы. Какие ИК излучатели в них устанавливают?

3. Какие параметры определяют температуру помещения в зоне размещения животных и птицы? Как они определяются?

4. Как определить среднюю радиационную температуру поверхностей близлежащих ограждений, обращенных к зоне содержания животных и птицы?

5. Как определить среднее значение ИК облученности, создаваемой круглосимметричным облучателем на горизонтальной поверхности, при известном ее распределении на облучаемой поверхности?

6. Как изменится ИК облученность поверхности, если круглосимметричный излучатель установить под углом к вертикали?

7. Какие параметры определяют значение минимальной, средней и максимальной ИК облученности поверхности при обогреве молодняка животных и птицы?

8. Приведите методику и последовательности рассмотрения вопросов при расчете установок ИК обогрева молодняка животных и птицы. Какие формулы при этом используются?

9. Какие установки для ИК обогрева и УФ облучения животных и птицы Вам известны? Приведите отличительные особенности их конструкций.

10. Каким способом задаются режимы в автоматизированных комбинированных установках ИК обогрева и УФ облучения животных и птицы?

11. Приведите особенности и порядок расчета комбинированных установок ИК обогрева и УФ облучения животных и птицы?

12. По каким параметрам осуществляется автоматизированное управление установками ИК обогрева молодняка животных и птицы? Какие задачи при этом решаются?

13. Приведите методику получения закономерности изменения напряжения питания источников для разработки схемы автоматического управления установкой ИК обогрева молодняка животных и птицы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1.

Исследование распределения инфракрасной облученности, создаваемой облучателями на горизонтальной поверхности

Цель: изучить принципы регулирования ИК облученности, устройство и основные параметры облучателей для ИК обогрева молодняка животных и птицы.

Задачи:

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и основные характеристики представленных в лаборатории облучателей для ИК обогрева молодняка животных и птицы.
2. Исследовать зависимость ИК облученности и «ощущаемой» температуры от напряжения и высоты подвеса облучателя.
3. Для заданного преподавателем варианта (вида и возраста молодняка) определить закономерность изменения напряжения питания ИК облучателей при изменении в заданных пределах температуры помещения в зоне расположения животных.

Задание для самостоятельной подготовки:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе изучить:
 - устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные параметры ИК облучателей, применяемых для обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы;
 - методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок ИК обогрева молодняка животных и птицы;
 - методику получения закономерности изменения напряжения питания источников для разработки схемы автоматического управления установкой ИК обогрева молодняка животных и птицы.
2. В соответствии с требованиями нижеприведенного подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета, в которой

привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и основных параметрах ИК облучателей, схему экспериментального стенда для проведения исследований, форму таблицы для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования изменения ИК облученности, создаваемой облучателями на горизонтальной поверхности, при изменении напряжения питания и высоты подвеса облучателей (рис. Л1.1).

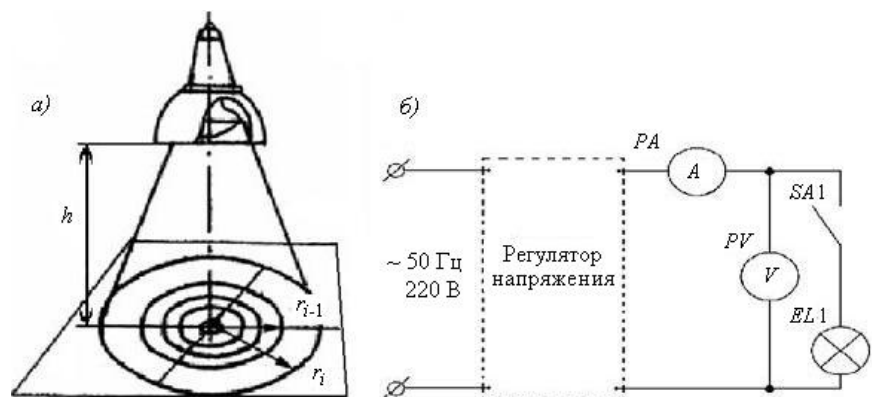


Рис. Л1.1.1. Конструктивная (а) и принципиальная электрическая схемы (б) экспериментального лабораторного стенда

2. По представленным в лаборатории образцам ознакомиться с устройством, принципом действия, обозначением и основными параметрами ИК облучателей (ОРИ-1, ССП01-250, ССП05-250 и др.).

3. На лабораторном экспериментальном стенде с ИК облучателями, приборами для измерения напряжения, тока и ИК облученности, а также линейных размеров, исследовать изменения ИК облученности, создаваемой облучателями на горизонтальной поверхности, при изменении напряжения питания и высоты подвеса облучателей. Для этого исследуемые облучатели подвесить на кронштейне на требуемой высоте, включить облучатель в сеть с заданным напряжением и измерить ИК облученность в контрольных точках горизонтальной поверхности. Изменяя регулятором напряжение повторить измерения.

ИК облученность измерять термостолбиком, подключенным к милливольтметру. Показания милливольтметра перевести в облученность по градуировочной кривой. Высоту подвеса облучателей изменять в пределах 0,4–0,8 м, напряжение питания – 140–230 В. Результаты измерений записать по форме табл. Л1.1.

Таблица Л1.1

Зависимость ИК облученности от напряжения питания и высоты подвеса облучателя

h, м	U, В	Облученность (Вт/м ²) на расстоянии от центра проекции излучателя (м)					E _{ср} , Вт/м ²	T _{ИК} , °С
		0	0,1	0,2	0,3	0,4		
0,4	140							
	160							
	180							
	220							
0,6	140							
	160							
	180							
	220							

Примечание. В таблице: h – высота подвеса облучателя, м; U – напряжение питания облучателя, В; E_{ср} – средняя облученность, Вт/м²; T_{ИК} – температура, создаваемая ИК облучателем, °С.

4. Построить графические зависимости $E_{ср} = f(h)$ при $U = const$ и $E_{ср} = f(U)$ при $h = const$.

5. Воспользовавшись результатами исследований $E_{ср} = f(U)$ для произвольно принятой высоты подвеса облучателя и заданного преподавателем варианта (вида и возраста молодняка) определить закономерность изменения напряжения питания ИК облучателей при изменении в заданных пределах температуры помещения в зоне расположения животных.

6. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений

Среднюю ИК облученность поверхности $E_{ср}$ рассчитать по формуле (5.8), значение температуры, создаваемой ИК облучателем, $T_{ИК}$ – (5.7).

Для получения закономерности изменения напряжения питания ИК облучателей при изменении в заданных пределах колебания температуры помещения в зоне расположения животных (5.16) воспользоваться изложенной в подразделе 5.4 методикой.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основных параметрах ИК облучателей, применяемых для обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы.
3. Конструктивная и электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.
4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. Л1.1).
5. Графические зависимости: $E_{CP} = f(U)$ при $h = \text{const}$ и $E_{CP} = f(h)$ при $U = \text{const}$.
6. Аналитическая зависимость $U = f(T_{II})$.
7. Выводы по результатам проделанной работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Объясните механизм воздействия ИК излучения на организм животных и птицы.
2. Какие величины и единицы их измерения служат для оценки действия ИК излучения?
3. Расскажите об устройстве известных Вам ИК облучателей, применяемых для обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы.
4. Как определить среднее значение ИК облученности, создаваемой круглосимметричным облучателем на горизонтальной поверхности, при известном ее распределении на облучаемой поверхности?
5. Поясните физический смысл термина «ощущаемая» температура.
6. Какими способами регулируется ИК облученность рабочей поверхности?
7. Приведите методику получения закономерности изменения напряжения питания источников при разработке схемы автоматического управления установкой ИК обогрева молодняка животных и птицы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.

Исследование режимов работы комбинированных установок для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения

Цель: изучить устройство и основные параметры комбинированных установок для ИК обогрева и УФ облучения молодняка животных и птицы, принципы автоматического управления ими.

Задачи:

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и основные характеристики представленных в лаборатории комбинированных установок для ИК обогрева и УФ облучения молодняка животных и птицы.
2. Изучить работу схем управления установками ИКУФ-1, ИКУФ-1М и «Луч».
3. Определить изменение ИК и УФ облученностей в продольной и поперечной плоскостях от напряжения и высоты подвеса облучателей исследуемых установок.

Задание для самостоятельной подготовки:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе изучить:
 - устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные параметры комбинированных установок для ИК обогрева и УФ облучения молодняка животных и птицы;
 - работу схем управления установками ИКУФ-1, ИКУФ-1М и «Луч».
2. В соответствии с требованиями нижеприведенного подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и основных параметрах комбинированных установок для ИК обогрева и УФ облучения молодняка

животных и птицы, формы таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования изменения ИК и УФ облученностей, создаваемой облучателями на горизонтальной поверхности, при изменении напряжения питания и высоты подвеса облучателей.

2. По представленным в лаборатории образцам ознакомиться с устройством, принципом действия, обозначением и основными параметрами комбинированных установок для ИК обогрева и УФ облучения молодняка животных и птицы (ИКУФ-1, ИКУФ-1М и «Луч»).

3. На лабораторном экспериментальном стенде с облучателями и станцией управления установками для ИК обогрева и УФ, приборами для измерения напряжения, ИК и УФ облученностей, а также линейных размеров, исследовать изменения ИК и УФ облученности, создаваемой облучателями на горизонтальной поверхности, при изменении напряжения их питания и высоты подвеса.

Определить кривые распределения ИК и УФ облученности в контрольных точках продольной и поперечной плоскостей, проходящих через центр проекции облучателей на горизонтальную плоскость рабочей поверхности, которая отстоит от облучателя на расстоянии $h = 0,6; 0,8$ и 1 м. Напряжение питания ИК ламп по показанию вольтметра принять равным $220, 180, 140$ и 100 В, изменяя переменным резистором $R18$ при нахождении тумблера $S44$ в положении «Р – ручное» (см. принципиальную схему управления, расположенную на лабораторном стенде). ИК облученность измерять термостолбиком, подключенным к милливольтметру. Для перевода показаний милливольтметра (мВ) в ИК облученность воспользоваться переводным коэффициентом $k_{ИК} = 43 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{мВ}^{-1}$. Поскольку облучатели имеют оси симметрии в продольных и поперечных плоскостях, измерения достаточно провести в правой или левой полу-плоскости от центра. УФ облученность измерить люксометром с фотоэлементом без насадки. Переводной коэффициент принять $k_{УФ} = 2,54 \text{ мвит} \cdot \text{м}^{-2}$.

Результаты измерений представить по форме таблиц Л.2.1–Л.2.3.

4. По результатам расчетов средних облученностей для продольной и поперечной плоскостей построить графические зависимости $E_{ИК\text{ ср}} = f(h)$ при $U = 220$ В (табл. Л.2.1), $E_{ИК\text{ ср}} = f(U)$ при $h = 1$ м (табл. Л.2.3) и $E_{УФ\text{ ср}} = f(h)$ при $U = 220$ В (табл. Л.2.2).

5. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений

Среднюю ИК облученность поверхности в продольной и поперечной плоскостях $E_{ИК\text{ ср}}$ рассчитать по формуле 5.8.

Таблица Л.2.1

Зависимости распределения ИК ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$) облученности на рабочей поверхности от высоты подвеса облучателей исследуемых установок при номинальном напряжении 220 В

Расположение контрольных точек на оси	Высота подвеса облучателя h , м	Расстояние от центра, м						Средняя облученность
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
Облучатель установки								
Продольное	1,0							
Поперечное								
Продольное	0,8							
Поперечное								
Продольное	0,6							
Поперечное								

Таблица Л.2.2

Зависимости распределения УФ ($\text{мвит} \cdot \text{м}^{-2}$) облученности на рабочей поверхности от высоты подвеса облучателей исследуемых установок при номинальном напряжении 220 В

Расположение контрольных точек на оси	Высота подвеса облучателя h , м	Расстояние от центра, м						Средняя облученность
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
Облучатель установки								
Продольное	1,0							
Поперечное								
Продольное	0,8							
Поперечное								
Продольное	0,6							
Поперечное								

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основным параметрам установок для ИК обогрева и УФ облучения молодняка животных и птицы.
3. Принципиальная электрическая схема управления установками ИКУФ-1 и «Луч».

4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. Л2.1–Л2.3).

5. Графические зависимости по п. 4 указаний по выполнению работы.

6. Выводы по результатам проделанной работы.

Таблица Л.2.3

Зависимости распределения ИК ($\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$) облученностей на рабочей поверхности от напряжения питания ИК источников облучателей исследуемых установок при $h = 1 \text{ м}$

Расположение контрольных точек на оси	Напряжение питания ИК ламп, В	Расстояние от центра, м						Средняя облученность
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
Облучатель установки								
Продольное	220							
Поперечное								
Продольное	180							
Поперечное								
Продольное	140							
Поперечное								
Продольное	100							
Поперечное								

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Какие установки для ИК обогрева и УФ облучения сельскохозяйственных животных и птицы Вам известны? Приведите отличительные особенности их конструкции.

2. Расскажите об устройстве и назначении установки ИКУФ-1 (ИКУФ-1М).

3. Расскажите об устройстве и назначении установки «Луч».

4. Расскажите об устройстве и назначении установки «СОЖ».

5. Как определить среднее значение ИК облученности, создаваемой круглосимметричным облучателем на горизонтальной поверхности, при известном ее распределении на облучаемой поверхности?

6. Каким способом задаются режимы в автоматизированных комбинированных установках ИК обогрева и УФ облучения животных и птицы?

7. Объясните работу схемы управления установками ИКУФ-1 и «Луч».

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3.

Расчет установок инфракрасного обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы

Цель: ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов и получить навыки расчета установок ИК обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы.

Задачи:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок ИК обогрева животных и птицы.

2. Для заданного преподавателем варианта произвести расчет установки ИК обогрева.

Задание для самостоятельной подготовки

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе, и рекомендуемой литературе изучить: методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок ИК обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы, расчетные формулы и способы определения необходимых для проведения расчетов справочных значений параметров.

Методические указания по выполнению

По выданному преподавателем индивидуальному (групповому) заданию произвести расчет установки ИК обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы. При выполнении задания придерживаться изложенной в подразделе 5.2 последовательности рассмотрения вопросов.

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Какие параметры окружающей среды в зоне размещения животных и птицы необходимо учитывать при расчете установки ИК

обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы? Как они определяются?

2. Приведите методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок ИК обогрева молодняка животных и птицы. Какие формулы при этом используются и как определяются необходимые для проведения расчетов справочные значения параметров?

3. Как определить среднее значение ИК облученности, создаваемой круглосимметричным облучателем на горизонтальной поверхности, при известном ее распределении на облучаемой поверхности?

4. Как определить среднюю радиационную температуру поверхностей близлежащих ограждений, обращенных к зоне содержания животных и птицы?

5. Какие параметры определяют значение минимальной, средней и максимальной ИК облученности поверхности при обогреве молодняка животных и птицы?

6. Какие параметры определяются в результате расчета установки ИК обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы.

6. Установки для облучения растений в условиях защищенного грунта

В климатических условиях Беларуси выращивание свежих овощей, цветов и рассады осенью, зимой и ранней весной возможно только в условиях защищенного грунта – теплицах и других специальных культивационных сооружениях. Снижение доли естественной освещенности и сокращение продолжительности светового дня в это время необходимо компенсировать дополнительным искусственным досвечиванием растений.

Следует отметить, что искусственное облучение растений в промышленных, селекционных, репродукционных, вегетационных и других теплицах и оранжереях не может быть заменено каким-либо другим агротехническим приемом или способом выращивания, так как нормальное углеродное питание и формирование растений под действием ОИ – основа их существования и получения урожая. Только под действием ОИ может протекать одна из распространенных в природе фотобиологических реакций – реакция фотосинтеза, при которой энергия ОИ в присутствии молекул воды и углекислого газа трансформируется в химическую энергию органических соединений растений с выделением кислорода – основного, если не единственного, фактора формирования земной атмосферы и жизни на земле, постоянного поддержания кислородного баланса.

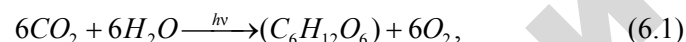
В сельскохозяйственном производстве искусственное облучение применяют для продления короткого естественного светового дня, дополнительного повышения фотосинтетически активной радиации (ФАР) солнечного излучения, создания фитооблученности, достаточной для нормального развития растений в климатических камерах и темных теплоизолированных помещениях. Искусственное облучение применяют также для выполнения ряда технологических задач: ускорения роста и развития рассады; выращивания овощей; выгонки

овощных растений для получения зеленой массы (салат, петрушка, укроп, луковичные и др.); выращивания зеленой подкормки для животных; разведения и выращивания цветочных культур при одновременном фотопериодическом воздействии на сроки их цветения; ускоренного выращивания древесных саженцев; ускоренного выведения новых сортов сельскохозяйственных культур и размножения ценного посевного материала в селекционных центрах.

Для создания установок искусственного облучения необходимы определенные дополнительные капитальные вложения, примерно 50–65 % которых приходится на облучатели, из них немногим менее половины – на источники, 20–30 % – на подстанции и распределительные устройства, 14–22 % – на электрические сети. Однако достаточно большие капиталовложения, как правило, окупаются в достаточно короткие сроки, так как обеспечение требуемой светокультуры при выращивании растений позволяет увеличить урожай: огурцов на 20–40 %; томатов на 15–20 %; салата и других овощных растений при получении зеленой массы на 50–70 %. При этом первые плоды томатов получают в марте-апреле, а огурцов в феврале-марте при посадке в декабре-январе.

6.1. Фотосинтез и требования, предъявляемые к тепличным облучателям

ОИ улавливается всеми фотосинтетическими пигментами (наиболее эффективно хлорофиллами). Суммарная биохимическая реакция при этом может быть представлена как:



где $h\nu$ – энергия поглощенного фотона ОИ частотой ν ;
 h – постоянная Планка.

Фотосинтез – важнейший физиологический процесс, при котором растение из неорганических веществ (углекислоты и воды) создает различные органические соединения (углеводы, белки, жиры), используемые людьми и животными. Следует отметить, что фотосинтез – сложная многоступенчатая реакция, которая протекает только при наличии излучения видимой части спектра.

Из всего спектра ОИ на рост и развитие растений превалирующее действие оказывает излучение с длиной волны от 300 до 1000 нм.

ОИ с длиной волны менее 300 нм, как правило, вредно воздействует на рост и развитие растений, а более 1000 нм оказывает только тепловое воздействие. В зависимости от роли отдельных участков спектра в процессах жизнедеятельности растений внутри указанного диапазона можно выделить спектральные поддиапазоны со следующими физиологически характеристиками:

1) 300–400 нм (УФ излучение) – играет регуляторную роль в развитии растений и плодов, участвует в их формировании. Присутствие излучения указанных длин волн целесообразно в общем лучистом потоке в небольших количествах (несколько процентов);

2) 400–700 нм (видимое излучение) – основная для жизнедеятельности растений область спектра оптического излучения, обеспечивающая протекание реакции фотосинтеза. При этом:

– 400–500 нм («синий свет») – обладает как субстратным, так и регуляторным воздействием и должен входить в состав спектра ФАР при выращивании растений;

– 500–600 нм («зеленый свет») – не является абсолютно необходимым для обеспечения фотосинтеза растений, но благодаря своей высокой проникающей способности полезен для обеспечения фотосинтеза оптически плотных листьев и густых посевов растений;

– 600–700 нм («красный свет») – обладает ярко выраженным субстратным и регуляторным воздействием. Должен входить в состав общего излучения для обеспечения высокого фотосинтеза. Но монохроматический (однородный) красный свет может приводить к аномальному росту и развитию, а в ряде случаев и к гибели некоторых видов растений;

3) 700–760 нм (длинноволновый «красный свет») – обладает ярко выраженным регуляторным действием. В небольших количествах (несколько процентов) должен входить в состав общего лучистого потока;

4) 760–1000 нм (коротковолновое ИК излучение) – определяет эффект формирования и вытягивания стебля.

Кроме спектрального состава излучения к наиболее влияющим параметрам ОИ на растения следует отнести облученность, количество облучения (экспозицию) и продолжительность суточного облучения (фотопериодизм), временную и пространственную структуру светового поля в зоне нахождения растений.

Излучение в спектральном диапазоне 400–700 нм, играющее важнейшую роль в протекании реакции фотосинтеза, получило название *фотосинтетически активной радиации* (ФАР). Его фо-

тометрическая оценка основана на энергетической, эффективной (фотосинтетической), оценивающей излучение с помощью селективной функции эффективности фотосинтеза, или световой системы величин (подраздел 1.4). Система фотосинтетических величин обладает рядом преимуществ, свойственных системам эффективных величин, однако ее практическую ценность для светокультуры растений существенно снижает отсутствие в ряде случаев прямой корреляции между интенсивностью фотосинтеза и продуктивностью растений.

В энергетической системе величин применительно к спектральной области ФАР иногда используют следующие основные и производные величины и единицы их измерения: поток излучения ФАР, Вт; сила излучения ФАР, Вт·ср⁻¹; облученность ФАР, Вт·м⁻²; количество (экспозиция, доза) облучения ФАР, Вт·м⁻²·с. При этом, энергетическая и фотосинтетическая системы величин не связаны друг с другом какими-либо общими математическими зависимостями, позволяющими производить пересчет отдельных величин и единиц их измерения из одной системы в другую без учета спектральных интенсивности излучения источников и чувствительности приемников.

Следует отметить, что энергетическая система оценки излучения приписывает равнозначное действие излучения любого спектрального диапазона в пределах спектральной области ФАР на растения. Однако каждый диапазон спектра, как показано выше, оказывает избирательное воздействие на растения и, учитывая избирательность действия отдельных диапазонов спектра, энергетическая система оценки не может быть принятой за универсальную систему, так как принцип универсальности в этом случае не обеспечивает принцип максимальной эффективности. Например, в видимом спектре присутствует излучение, например, фиолетового цвета, который не может быть признан максимально эффективным по своему спектральному составу для обеспечения наивысшей продукционной деятельности некоторых растений. Так, растения, погибающие при длительном воздействии «красного» света (например, огурцы), требуют для обеспечения наивысшей продукционной деятельности ограничения доли красных лучей в спектре излучения, в то время как другие, например томаты, активно растут и плодоносят в красных лучах.

Специальные исследования показали, что поиск функций спектральной чувствительности для каждого вида растений, по-видимому, не имеет смысла, так как многие виды растений имеют близкие

требования к спектру и интенсивности ФАР. Однако оптимальное сочетание цветов в общем спектре излучения, задействованного при облучении растений, должно учитываться при разработке специализированных источников. Например, для облучения огурцов допустимое соотношение в области ФАР «синего», «зеленого» и «красного» излучения лежит в соотношении 20:40:40 %, а для томатов – 20:15:65 %. Отметим также, что спектр излучения источников, приближающийся к сплошному, предпочтительнее линейчатого, так как наличие мощных отдельных спектральных линий может выводить процесс фотосинтеза на нелинейный и даже деструктивный уровень. В общем излучении облучательных светотехнических установок, используемых в теплицах, по-видимому, целесообразно соблюдать соотношение ФАР и ИК излучения на уровне, близком к 1:1.

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

- спектр излучения применяемых в облучателях ламп должен соответствовать спектру, при котором максимально эффективно для данного вида растений протекает фотосинтез, и не содержать угнетающих излучений;
- облученность, создаваемая на поверхности растений, должна быть равномерной и достаточной для их развития и роста;
- облучательная установка не должна перегревать растения;
- конструкция установки должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к электроустановкам, работающим в помещениях с особой опасностью поражения персонала электрическим током;
- конструкция установки не должна затенять растения от естественного солнечного света;
- установка должна быть экономически рентабельной.

6.2. Облучатели и установки для облучения растений в условиях защищенного грунта

В настоящее время промышленностью предлагается широкий ассортимент облучателей и установок для облучения растений, разнообразных по конструкции и типу источников ОИ. Основные параметры источников оптического излучения, применяемых в этих облучателях и установок, приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Источники оптического излучения, применяемые в облучателях и установках для облучения растений в условиях защищенного грунта

Тип источника оптического излучения	Мощность, Вт	Напряжение питания, В	Габариты (диаметр×длина), мм	КПД в области ФАР, %	Номинальный срок службы, час
Люминесцентные лампы	18	220	26×590	19	12 000
	36		26×1199	23	15 000
	58		26×1525	28	15 000
	40		40×1199	15	12 000
	150		40×1525	15	12 000
Ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью	125	220	91×184	10	12 000
	400	220	152×368	12	7000
Ксеноновые трубчатые лампы	10 000	220	26×1190	12	800
Натриевые лампы высокого давления	250	220	48×250	28	15 000
	400		48×278	33	20 000
	600		48×278	36	20 000
	1000		65×400	31	10 000
Металлогалогенные лампы высокого давления	400	220	227×91	24	10 000
	1000		208×342	20	2000
	1000	380	208×342	30	3000
	2000		100×420	30	2000
	3000		190×470	24	1500
	3500		100×460	30	1500

Люминесцентные лампы нашли применение для облучения растений на стеллажах и лотках, в боксах и камерах, а также при выращивании рассады или цветочных культур в офисных и домашних оранжереях. Они имеют КПД ФАР до 28 %, дешевы, долговечны, доступны, отличаются относительно небольшой температурой колбы в рабочем режиме, что позволяет их размещать на небольшом расстоянии от растений. Однако для них характерны относительно большие габариты, металло- и материалоемкость, малая удельная мощность, которая не позволяет создать высокие уровни облученности. Отметим, что специальные люминофоры, используемые

для повышения эффективности излучения этих ламп, существенно расширяют область их использования (лампы ЛФ, ЛФР).

Значительное применение в промышленных и селекционных теплицах получили специальные ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью, выполненные в эллипсоидной колбе, внутренняя поверхность верхней (к цоколю) половины которой покрыта люминофором с преимущественной красной люминесценцией. Их достоинство – большая концентрация мощности, высокий срок службы и низкая стоимость. Основным недостатком ламп – повышенное излучение в ближней УФ части спектра и низкий КПД ФАР.

Ксеноновые трубчатые лампы типа ДКсТ (ДКсТЛ, ДКсТВ) благодаря большой мощности, обеспечивают высокие облученности ФАР. К достоинству этих ламп относится их экологическая чистота, а к недостаткам – низкая средняя продолжительность горения, большие габариты, а также небольшое значение КПД ФАР ($\approx 12\%$). В теплицах защищенного грунта применяются редко.

Натриевые и металлогалогенные лампы высокого давления отличаются наиболее высоким КПД ФАР, повышенным сроком службы, благоприятным для фотосинтеза спектром излучения, что обеспечивает им расширяющиеся масштабы использования в облучателях и установках для облучения растений. КПД ФАР натриевых ламп достигает 25–35 %. Благодаря чему, а также большой средней продолжительности горения, натриевые лампы высокого давления получили широкое применение в теплицах, в основном, в период недостаточного солнечного (естественного) излучения. Основным недостатком ламп – малое излучение в синей части спектра, не превышающее 8 %.

Металлогалогенные лампы лишены этого недостатка. Так, в спектре излучения металлогалогенных ламп с йодидами *Sc* и *Na* содержится излучение натрия (желто-оранжевая часть спектра), скандия (синее, красное) и ртути (синее, зеленое и желтое). Широкий спектр излучения, регулируемый соответствующими светящимися добавками, высокий КПД ФАР (25–30 %), большой диапазон мощностей (от 250 Вт до 3,5–4 кВт) позволяют эффективно использовать их при крупномасштабном выращивании овощной, цветочной и другой сельскохозяйственной продукции, а также в селекционно-генетических исследованиях.

Из многообразия стационарных тепличных облучателей, изготавливаемых для установок искусственного облучения растений, отметим

только наиболее часто применяемые: ЖСП30 с лампами ДНаЗ¹¹ (ДНаТ) мощностью 400 или 600 Вт; ЖСП59 и ЖСП70 с лампами ДНаЗ400 (ДНаТ400); ЖСП64 с лампами ДНаЗ600 (ДНаТ600); ЖСП62 и ЖСП70 с лампами ДНаТ400; ЖСП61 с лампами ДНаТ600; ГСП30 с лампами ДРИ модификации 6 мощностью 1000 и 2000 Вт. В тепличных комбинатах можно встретить еще тепличные облучатели: ОТ-400 с лампой ДРЛФ400; ОТ-1000 с лампой ДРФ1000; ГСП26-400 и ГСП26-1000 с лампами ДРИ400 и ДРИ1000; ОТ-2000 с лампой ДРОТ2000; РСР15-2000 с лампой ДРЛ2000; ССП03-750 с лампой ДРВ750; РСР26-125 с лампой ДРЛ125; ЖСП18-400 с лампой ДнаТ400; серии ОГС01 «Фотос» с лампами ДРИ1000, 2000, 3500 и ДМЗ 3000; облучатели с лампами ЛФ и ЛФР, смонтированными в рамках-кассетах, например, ОТ 6×40, и др.

Сварной корпус тепличного облучателя ЖСП30-400(600)-010У5, его козырек и крышка выполнены из листовой стали и окрашены порошковой краской (рис. 6.1). Электромагнитный дроссель залит полиуретановым двухкомпонентным компаундом. Напряжение питания – 220 В переменного тока частотой 50 Гц, номинальный ток лампы – 4,6 (400 Вт) и 6,2 (600 Вт) А, потребляемый ток – 2,2 (400 Вт) и 3,2 (600 Вт) А, коэффициент мощности – 0,9. Высота подвеса – 2,0–2,5 м. Светораспределение – П, тип кривой силы света – Ш, КПД – 90 %. Климатическое исполнение – УХЛ1, УХЛ4. Степень защиты – IP 53. Кривые силы света облучателей серии ЖСП30 приведены на рис. 6.2, а их технические параметры – в табл. 6.2.

Облучатели ОТ-400 отличаются простотой конструкции и надежностью в эксплуатации. Состоят из корпуса, снабженного узлом подвеса в виде стальной скобы, фарфорового патрона с уплотнением из термостойкой силиконовой резины, газоразрядной лампы высокого давления типа ДРЛФ400, одного или двух отрезков кабеля КРПТ 3×2,5, один из которых оснащен трехштырьковой вилкой, а второй – трехштырьковой розеткой (рис. 6.3). В корпусе размещается индуктивное или индуктивноемкостное балластное устройство. Облучатели подразделяются на две модификации: ОТ-400И или ОТ-400МИ и ОТ-400Е или ОТ-400МЕ. Модификации имеют коэффициент мощности около 0,5–0,55, но в одной ток отстает от напряжения, а в другой опережает его, что позволяет при одновременном использовании обеих модификаций получать коэффициент мощности облучающей установки близким к единице.

¹¹ Лампа ДНаЗ – газоразрядная лампа высокого давления, натриевая, зеркальная (одна половина по оси симметрии колбы имеет зеркальное покрытие).

Облучатели подключают к однофазной сети напряжением 220 В через вилки и розетки, попарно образуя герметизированные обрезиненные разъемы и допускающие объединение в группу с последовательным питанием и заземлением корпусов до пяти облучателей. КПД облучателей – не менее 90 %, масса вместе с ПРА – не более 8 кг. Габариты облучателей определяются их модификацией. Например, для облучателя ОТ-400МИ (без лампы ДРЛФ400) они составляют 250×150×115 мм.

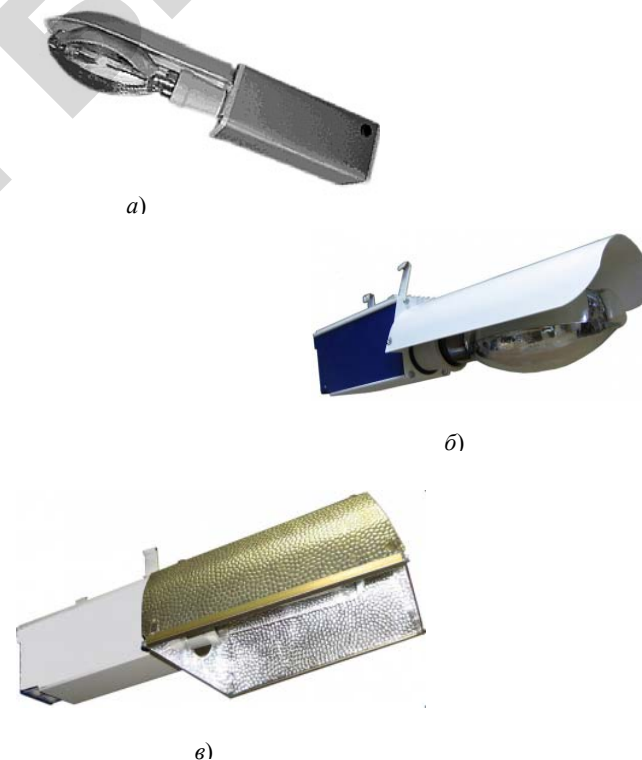


Рис. 6.1. Общий вид тепличных облучателей: а) ЖСП30-400(600); б) ЖСП64-600; в) ЖСП61-600

Подобную конструкцию имеют также облучатели ОТ-1000И (ОТ-1000МИ). Его технические параметры: напряжение питающей сети – 220 В, КПД – не менее 90 %, масса (вместе с ПРА) – не более

15 кг. Габариты (без лампы ДРФ1000) – 660×170×120 мм. В корпусе облучателя вместе с индуктивным балластным устройством установлено универсальное импульсное зажигающее устройство типа УИЗУ-220.

Таблица 6.2

Технические параметры тепличных облучателей серии ЖСПЗ0

Марка облучателя	Световой поток, клм	Удельная мощность установки, Вт/м ²	Сила света (I_0/I_{45}), кд	Масса, кг
ЖСП 30-400-010У5	50	82-83	10242/26157	8,4
ЖСП 30-600-010У5	74	85-86	16054/34544	10,0

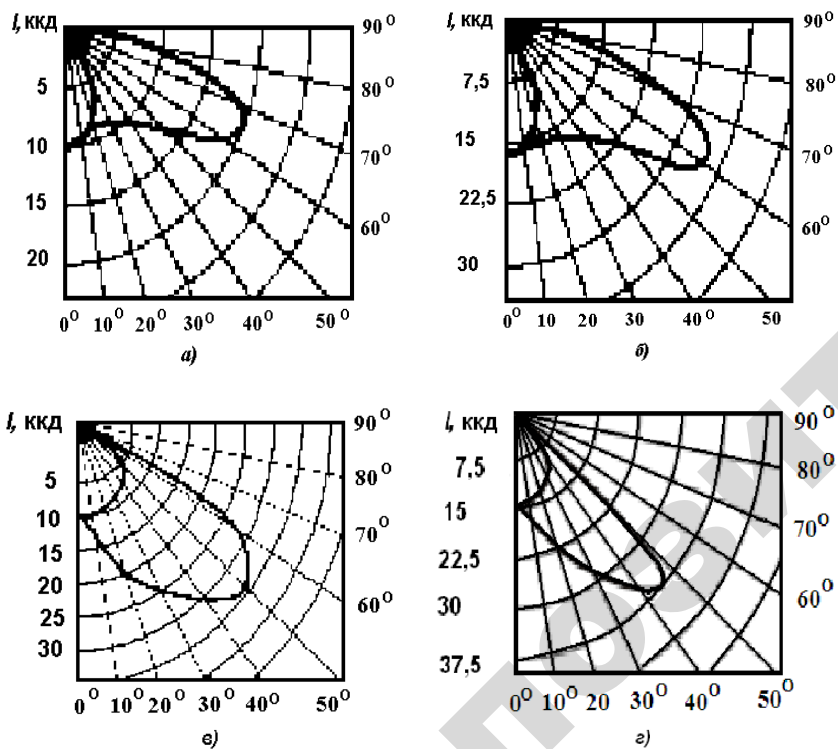


Рис. 6.2. Кривые силы света облучателей серии ЖСПЗ0 и ГСПЗ0 с лампами: а) ДНаЗ400; б) ДНаЗ600; в) ДНаТ400; г) ДНаТ600

Облучатель ССП03-750 также унифицирован в некоторых комплектующих деталях с облучателем ОТ-400. Номинальное напряжение питания облучателя – 220 В переменного тока, КПД – не менее 85 %, масса – не более 3,5 кг, габариты – 440×330 мм (вместе с коробкой, венчающей корпус облучателя и без лампы ДРВ750). Коробка применяется для обеспечения герметичного ввода сетевого шлангового кабеля и состоит из двух крышек, между которыми расположена цилиндрическая прокладка. Облучатель снабжен кабельным разъемом для подключения к магистральной сети через разветвительные коробки, по одной на шесть облучателей.

Светильники-облучатели ГСП26-400 и ГСП26-1000 содержат единый, унифицированный для обоих вариантов, корпус со скобами для монтажа и оригинальным устройством для одновременного крепления к нему распределительной коробки и патрона. В зависимости от мощности лампы они комплектуются круглосимметричным отражателем, промежуточным фланцем и Г-образными скобами, обеспечивающими вентиляционный зазор и крепление отражателя к корпусу. Требуемая степень защиты обеспечивается кольцевым уплотнением лампы из термостойкой резины. Независимое ПРА ламп может быть установлено на расстоянии более 4 м от светильника-облучателя. Габариты светильника-облучателя ГСП26-400 (в скобках приведены для ГСП26-1000) – 540×440 (660×600) мм, масса без ПРА – 2,8 (3,5) кг, масса ПРА – 7,5 (13,0) кг, коэффициент мощности – не менее 0,5, КПД – 70 %, класс светораспределения и тип кривой силы света – П и Д соответственно, степень защиты – 5'1, напряжение сети – 220 (380) В, срок службы – 10 лет.

Общий вид облучателя РСП15-2000 показан на рис. 6.3. Облучатель состоит из корпуса, отражателя, независимого ПРА и лампы ДРЛ2000. В корпусе закреплен фарфоровый патрон и клеммная колодка. Номинальное напряжение питания облучателя – 380 В переменного тока, КПД – не менее 75 %, масса (без ПРА) – не более 5 кг, габариты – 650×660 мм.

В облучателе ЖСП18-400 корпус выполнен с зеркальными отражателями: основными – цилиндрической формы, и вспомогательными – торцевыми в виде вертикально расположенных плоскостей. На корпусе или отдельно от него крепится блок ПРА с универсальным импульсным поджигающим устройством УИЗУ-220. Узел крепления позволяет подвешивать облучатель на гибком шнуре, тросе, цепи, трубе с помощью хомута. К сети

переменного тока напряжением 220 В облучатель подключают с помощью кабеля сечением жилы 2,5 мм². КПД облучателя – не менее 75 %, масса – не более 11 кг, габариты – 450×375×280 мм, степень защиты – IP 53. Облучатель комплектуется при поставке лампой ДНаТ400.

Облучатель ОТ-2000 в отличие от ОТ-400 характеризуется достаточной единичной мощностью и высокой световой отдачей источника, спектр излучения которого более эффективен для выращивания растений. Он состоит из диффузного отражателя и зажигающего устройства, объединенных в одном корпусе. Поверхность отражателя покрыта теплостойкой кремнийорганической эмалью. Зажигающее устройство расположено рядом с лампой, что уменьшает длину высоковольтных проводов. Конструкция патронов для лампы обеспечивает ее надежное крепление, а также легкую смену. Отражатель обеспечивает защиту лампы от воды и ее интенсивную естественную вентиляцию. Корпус облучателя выполнен из алюминия. Снижению его массы способствует также размещение балластного дросселя на удалении. В качестве источника света в облучателе ОТ-2000 использована высокоэффективная металлогалогенная лампа ДРОТ2000. КПД облучателя – не менее 70 %; КПД ФАР лампы – не менее 25 %; напряжение питания – 380 В, 50 Гц; потребляемая мощность – 2000 Вт при коэффициенте мощности равном 0,6; масса облучателя – 7 кг, ПРА – не более 23 кг; габариты облучателя – 680×470×320 мм, блока ПРА – 230×160×300 мм.

Тепличные облучатели ОГС01 серии «Фотос» рассчитаны для работы от трехфазной сети переменного тока с глухозаземленной нейтралью частотой 50 Гц с номинальным напряжением 380/220 В. Они состоят из корпуса, блока пускорегулирующей аппаратуры с импульсным зажигающим устройством и блока с компенсирующими конденсаторами типа ЛСМ-400-7,8У1. Блок ПРА соединяется с корпусом кабелем длиной 4 м с обрезиненным разъемом.

Облучатели выпускают в трех модификациях: «Фотос-2» с лампой ДРИ1000-6 (масса облучателя – 3,3 кг, блока ПРА – 11,1 кг, габариты облучателя – 500×300×310 мм); «Фотос-4» с лампой ДРИ 2000-6 (масса облучателя – 3,4 кг, блока ПРА – 23,5 кг, блока конденсаторов – 3,8 кг; габариты: облучателя – 570×420×340 мм, блока ПРА – 327×162×255 мм, блока конденсаторов – 115×200×158 мм); «Фотос-6» с лампой ДРИ3500-6 и ДМЗ 3000 (масса облучателя – 4,0 кг, блока ПРА – 36,5 кг; габариты облучателя – 600×429×350 мм).

Они могут эксплуатироваться в закрытых помещениях при температуре 10–35 °С и относительной влажности воздуха до 95 %. Степень защиты облучателей – 5'1, КПД – не менее 75 %. Общий вид облучателя ОГС01 «Фотос-4» представлен на рис. 6.3.

Номенклатура и технические параметры тепличных облучателей и установок постоянно совершенствуются. На смену низкоэффективному и недостаточно комплектному светотехническому оборудованию разрабатывается и поставляется новое. Так, облучатели с лампами ДНаТ и ДРИ типов ЖСП30, ЖСП59, ЖСП62, ЖСП64, ЖСП70, ГСП26, ГСП30, ОГС01 «Фотос» позволяют с меньшими примерно в 2 раза затратами электрической энергии (в сравнении с облучателями ОТ-400 и ССПОЗ-750) обеспечить необходимые для интенсивной светокультуры уровни облученности в области ФАР. Облучательные установки с зеркальными газоразрядными лампами высокого давления или зеркальными отражателями позволяют (в сравнении с лампами ДРЛФ400, ДРФ1000, ДРВ750) на 40–50 % снизить удельную установленную мощность, в 4 раза – затраты труда на обслуживание, примерно в 2,6 раза – прямые издержки на эксплуатацию.

Полноценное развитие растений возможно только при обеспечении требуемого уровня искусственной облученности, обязательно учитывающего условия естественной освещенности. Для территории Беларуси при выращивании рассады овощных культур уровень искусственной облученности в области ФАР может быть принят на уровне 25 Вт·м⁻² для огурцов и 30 Вт·м⁻² для томатов (6,5 и 7,5 тыс. лк или 8,5 и 10 фит·м⁻² соответственно). Продолжительность облучения рассады – не менее 12–16 час/сут. Примерный срок облучения рассады огурцов – 30–40 дней, томатов – 45–50 дней [7].

Уровень облученности растений в фазе плодоношения несколько выше и для условий Беларуси должен составлять: для огурцов – не менее 40 Вт·м⁻², томатов – не менее 48 Вт·м⁻² ФАР (10 и 12 тыс. лк или 13,7 и 16,4 фит·м⁻² соответственно). Продолжительность облучения огурцов составляет 12–14, томатов – 14–16 час/сут. Для цветочных и декоративных растений необходимо обеспечить уровень облученности в области ФАР до 15–30 Вт·м⁻², а в селекционных теплицах, фитотронах и фитокамерах без естественной освещенности – 100–300 Вт·м⁻² и более в зависимости от продолжительности облучения, сроков выращивания, назначения растений и других специальных агротехнических требований [7].

6.3. Расчет установок для облучения растений

При искусственном облучении растений требуются весьма высокие уровни облученности – 25–50 Вт·м⁻², 8–17 фит·м⁻², 7–13 тыс. лк. ОИ должно достаточно равномерно распределяться по поверхности, не перегревать растения и не мешать уходу за ними. Выполнение подобных требований возможно только при внимательном подходе к проектированию облучательной установки – размещению облучателя по высоте и в плане стеллажа или теплицы.

Расчеты по размещению облучателей в установках светокультуры растений отличаются от общепринятых в светотехнике методов своим специфическим подходом. В их основу положены кривые силы света излучения тепличных облучателей (рис. 6.4) и рекомендуемые значения высоты подвеса над растениями: ЖСП30 – 2–2,5 м; ОТ-1000, РСП15, ЖСП18 – 1,6–2,2 м; РСП26 – 1,5–1,8 м; ОГС01 «Фотос», ОТ-2000 – 1,8–2,4 м; ГСП26 – 2,3–2,5 м; ОТ-400, ССП03-750 – 0,8–1,2 м.

Поскольку установки для досвечивания растений могут быть изготовлены из облучателей с круглосимметричным светораспределением (светораспределение которых после аппроксимации может быть принято за круглосимметричное) или люминесцентными лампами, монтируемыми в кассеты, то и методики их расчетов должны быть различными.

Облучатели с круглосимметричным светораспределением при расчете установок для досвечивания растений принимают за точечные. Для таких установок расчет предусматривает определение высоты подвеса облучателей и расстояний между ними. При этом расчет может быть произведен исходя из понятий горизонтальной или сферической облученности (подраздел 1.6).

Горизонтальную облученность $E_{\text{ФГ}}$ определяют по несколько видоизмененной формуле 1.12:

$$E_{\text{ФГ}} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha \cdot K_{\text{Фит}}}{h^2}, \quad (6.2)$$

где $K_{\text{Фит}}$ – переводной коэффициент, вводимый тогда, когда расчет производят в фотосинтетической системе величин и единиц измерения, а значение силы света I_{α} приняты по кривым силы света, построенным в единицах измерения световой системы, фит/лм.

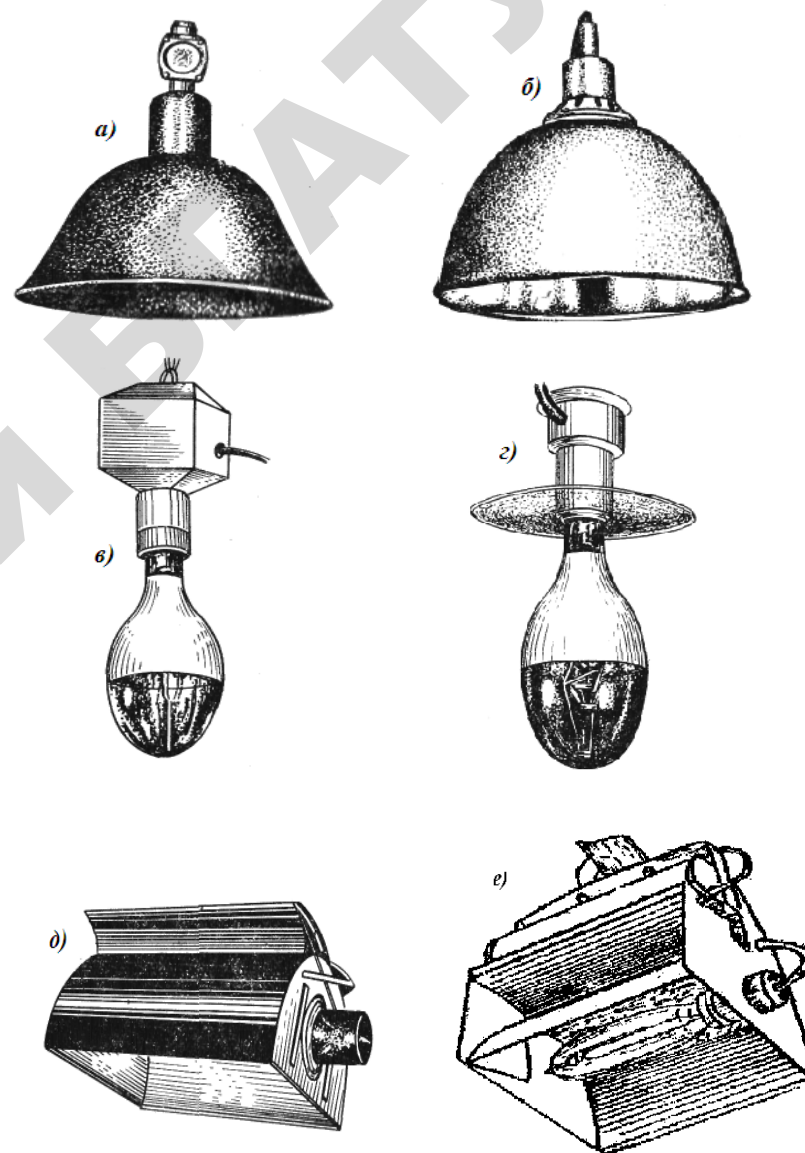


Рис. 6.3. Основные элементы конструкции тепличных установок: а) – ГСП26-400 (ГСП26-1000); б) – РСП15-2000; в) – ОТ-400МИ; г) – ССП03-750; д) – ОГС01 «Фотос-4»; е) – ЖСП18-400

При расчете сферической облученности $E_{\text{ФСФ}}$ за основу принимают расчетную формулу 1.16 с учетом, при необходимости, переводного коэффициента $K_{\text{ФИТ}}$, то есть:

$$E_{\text{ФСФ}} = \frac{0,25 \cdot I_{\alpha} \cdot \cos^2 \alpha \cdot K_{\text{ФИТ}}}{h^2} \quad (6.3)$$

Коэффициент 0,25 при определении сферической облученности (6.3) учитывает, что на лист растения поток излучения попадает не только от излучателя на его верхнюю часть, но и на его обратную сторону, отразившись от других листьев или предметов.

В расчетах достаточно точные результаты по определению расстояния между облучателями при заданной высоте подвеса дает графоаналитический метод, заключающийся в следующем: облучатель для установки выбирают с учетом технико-экономических соображений и, воспользовавшись рекомендуемым диапазоном значений высоты подвеса облучателя принятого типа, задают значение высоты его подвеса h с таким расчетом, чтобы облученность в точке проекции облучателя на облучаемую поверхность была больше нормируемой облученности для заданного вида и возраста растений $E_{\text{Н}}$, то есть выполнялось условие:

$$h \leq \sqrt{\frac{I_0 \cdot K_{\text{ФИТ}}}{E_{\text{Н}}}} \quad (6.4)$$

В прямоугольной системе координат строят зависимость облученности на расчетной поверхности $E_{\text{ФГ}}$ (или $E_{\text{ФСФ}}$) от расстояния r между проекцией оси симметрии облучателя на поверхность и рассматриваемой точкой (рис. 6.5). Облученность определяют по формуле 6.2 (или 6.3) с использованием справочной кривой силы для принятого облучателя (рис. 6.4).

По предварительному расположению облучателей на плане теплицы или стеллажа (рис. 6.6) намечают контрольные точки, в которых облученность может оказаться минимальной, например, точки A , B и C . Расстояние l от кромки облучаемой поверхности до крайнего ряда облучателей и расстояние между облучателями L , определяют из условия, что облученность в любой точке расчетной поверхности $E_{\text{АВС}}$ должна быть больше или равна $z \cdot E_{\text{Н}}$, где $E_{\text{Н}}$ – нормируемая облученность для заданного вида и возраста растений, лк; z – коэффициент неравномерности облучения, значение которого следует принимать в пределах 0,8–0,9.

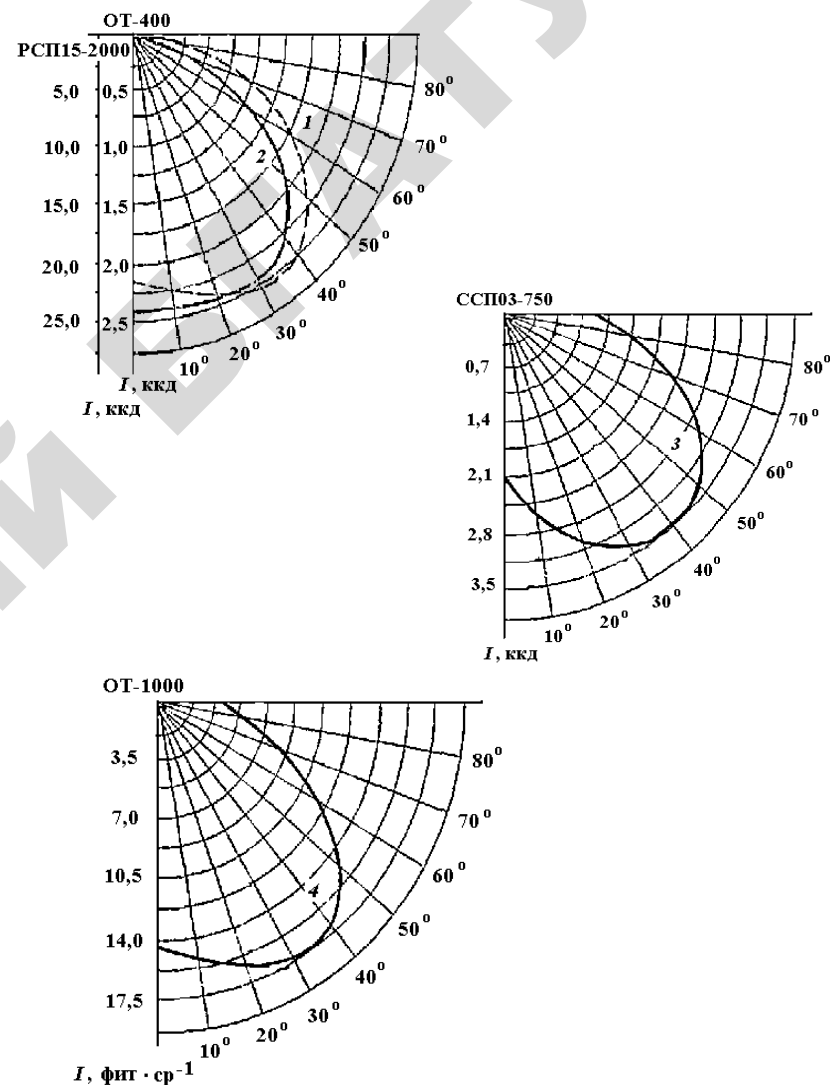


Рис. 6.4. Кривые распределения силы света тепличных облучателей:
1 – OT-400; 2 – РСП15-2000; 3 – ССП03-750; 4 – OT – 1000

Для определения расстояния l предположим, что на значение облученности в точке A максимальное воздействие оказывает один «близлежащий» облучатель. Найдем облученность в точке A по формуле

$E_A = z \cdot E_H$ и по кривой $E = f(r)$ (рис. 6.5) определим расстояние r_A , при котором обеспечивается требуемая облученность E_A , и равное по значению l (рис. 6.6).

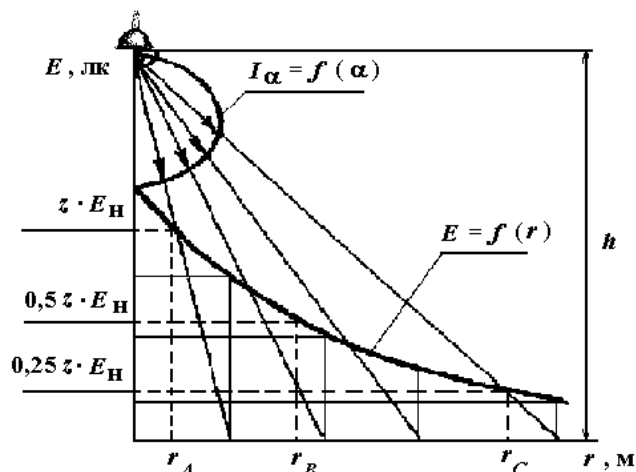


Рис. 6.5. Изменение облученности в зависимости от расстояния между точкой проекции облучателя на облучаемую поверхность и рассматриваемой точкой

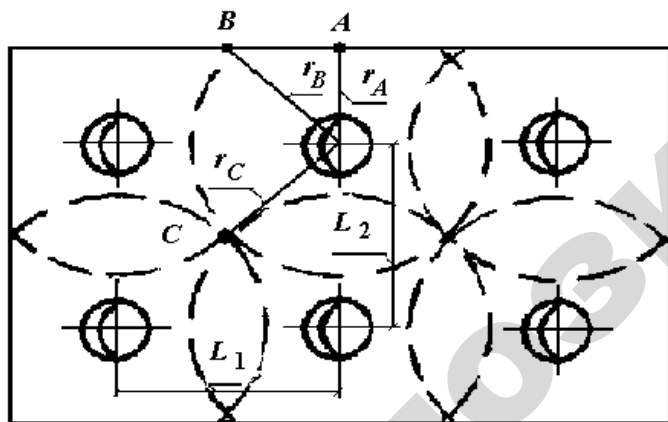


Рис. 6.6. Схема плана размещения облучателей над облучаемой поверхностью

Расстояние L , также определим из требования обеспечения в контрольных точках B и C условия $E_{BC} \geq z \cdot E_H$. Для чего по кривой

$E = f(r)$ находим расстояние r_B , при котором в точке B облученность $E_B = 0,5 \cdot z \cdot E_H$ (суммируется от двух источников) и r_C , при котором в точке C $E_C = 0,25 \cdot z \cdot E_H$ (суммируется от четырех облучателей). Значение L определяем из решения прямоугольных треугольников со сторонами r_A , r_B и r_C , то есть:

$$L_1 = 2 \cdot \sqrt{r_B^2 - r_A^2} \quad \text{и} \quad L_2 = 2 \cdot \sqrt{r_C^2 - r_B^2 + r_A^2}, \quad (6.5)$$

и принимаем равным меньшему из двух полученных результатов.

Зная расстояния l и L komponуем облучательную установку, рассчитывая требуемое количество рядов облучателей N_1 , облучателей в одном ряду N_2 , суммарное количество облучателей в установке N_Σ , их монтажные расстояния и суммарную установленную мощность P_Σ (с учетом потерь в ПРА).

В стационарных облучательных установках нашли применение и линейные источники излучения (люминесцентные или фотосинтетические лампы), которые собирают в специальные рамки-кассеты. Задачей расчета подобных установок является определение необходимой высоты подвеса h и числа ламп n в рамке-кассете на единицу длины рамки.

В расчетах используют формулу зависимости облученности под люминесцентными лампами от конструктивных параметров рамки-кассеты:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot (n-1) \cdot K_{\text{фит}} \cdot \eta_{\text{исп}}}{L \cdot l \cdot K_3}, \quad (6.6)$$

где $E_{\text{ср}}$ – средняя облученность расчетной поверхности под облучающей установкой, фит·м⁻²;

n – количество ламп в рамке-кассете на единицу ее длины, шт·м⁻¹;

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

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

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение потока излучения при старении ламп (принимается равным 1,2–1,3);

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

Обозначив $(n-1) \cdot \eta_{\text{исп}} = e_{\text{ф}}$ и $\frac{\Phi_{\text{л}} \cdot K_{\text{фит}}}{L \cdot l \cdot K_3} = \mu$ формулу 6.6 представим в виде:

$$E_{\text{ср}} = \mu \cdot e_{\phi}, \quad (6.7)$$

где e_{ϕ} – относительная облученность, зависящая от числа ламп в блоке-кассете и высоты их подвеса h (рис. 6.7);

μ – постоянная величина, зависящая от каталожных данных источника и параметров стеллажа.

Значение $e_{\phi} = f(n)$ определяют по справочным данным (рис. 6.7).

Расчет стационарных облучательных установок с линейными источниками излучения осуществляют в следующем порядке:

1. Определяют значение μ , приняв значение l равным длине принятой лампы и $L = 1$ м.
2. Находят требуемое значение e_{ϕ} (6.7), приняв $E_{\text{ср}} = E_{\text{н}}$.
3. По справочным данным (рис. 6.7) для заданной высоты подвеса h определяют n .
4. Задаются размерами рамки-касеты и определяют общее количество рамок-кассет и ламп.

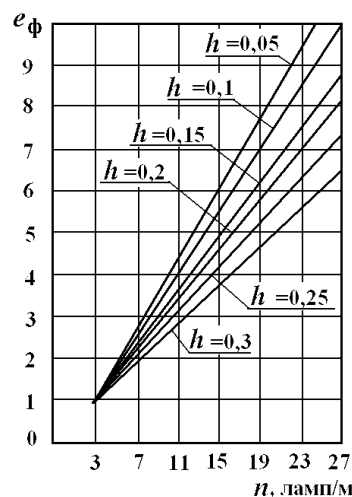


Рис. 6.7. Зависимости относительной облученности от числа ламп в рамках-кассетах на единицу ее длины

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите диапазон волн ОИ, оказывающих влияние на рост и развитие растений.
2. Какие единицы измерения применяют для оценки действия оптического излучения на растения? Назовите величины их измерения.

3. Укажите примерное значение требуемого уровня облученности, создаваемой при искусственном облучении томатов и огурцов при их выращивании в защищенном грунте в климатических условиях Беларуси.

4. Перечислите известные Вам облучатели и источники, используемые для искусственного облучения растений. Приведите отличительные особенности их конструкций.

5. Поясните методику расчета установки с круглосимметричными облучателями для искусственного облучения растений.

6. Как определить зависимость облученности в точке от расстояния между осью симметрии и рассматриваемой точкой при расчете установки с круглосимметричными облучателями?

7. В какой системе эффективных величин и единиц их измерения осуществляют расчет установок для облучения растений в условиях защищенного грунта? Какие формулы при этом используются для расчета?

8. Поясните методику расчета стационарных облучательных установок с линейными источниками излучения, применяемых для искусственного облучения растений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.

Исследование электрических и светотехнических характеристик тепличных облучателей

Цель: изучить устройство, схемы включения и основные параметры облучателей, применяемых в установках искусственного облучения растений, ознакомиться с особенностями конструктивного исполнения применяемых в них источников. Исследовать электрические и светотехнические параметры облучателей и их изменение при включении.

Задачи:

1. Изучить устройство, принцип действия, схемы включения, обозначение и основные характеристики представленных в лаборатории тепличных облучателей.
2. Получить практические навыки исследования электрических и светотехнических параметров тепличных облучателей.

Задание для самостоятельной подготовки:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе, рекомендуемой литературе и практикуме к лабораторным занятиям, изучить устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные параметры тепличных облучателей и применяемых в них источников.

2. В соответствии с требованиями нижеприведенного подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и основных параметрах тепличных облучателей, схему экспериментального стенда для проведения исследований, форму таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования электрических и светотехнических параметров тепличных облучателей (рис. ЛЗ.1).

2. По представленным в лаборатории плакатам и образцам изучить устройство, основные характеристики и схемы включения облучателей и источников, применяемых для облучения растений.

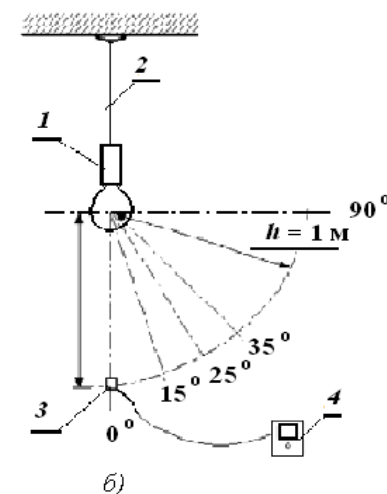
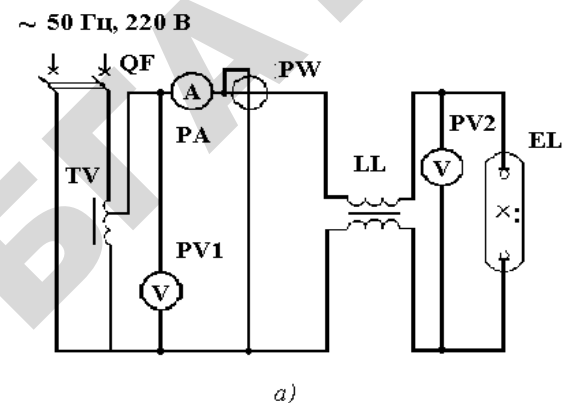


Рис.ЛЗ.1. Принципиальная электрическая (а) и конструктивная (б) схемы экспериментального стенда: 1 – облучатель; 2 – подвес; 3 – фотоэлемент люксметра; 4 – люксметр

3. На экспериментальном стенде исследовать светораспределение указанных преподавателем облучателей, для чего облучатели поочередно подвесить в затемненном пространстве таким образом, чтобы расстояние от его светового центра до фотоэлемента люксметра составило 1 м.

Включить облучатель в сеть и после разгорания лампы (5–8 минут), перемещая специальным приспособлением фотоэлемент люксметра вокруг облучателя по окружности (радиусом $r = 1$ м), измерить в заданных точках пространства освещенность, создаваемую облучателем. Результаты измерений записать в табл. ЛЗ.1.

Не выключая облучатель повторить измерения в этих же точках пространства, измеряя радиометром энергетическую облученность, создаваемую облучателем.

Таблица ЛЗ.1

Результаты исследований светотехнических параметров тепличных облучателей

Угол направления излучения α , град	E_α , лк	E_φ , Вт/м ²	K_Φ , Вт/лм	Сила света I_α , кд	Сила энергетического излучения I_α , Вт/ср	Световой поток Φ_C , лм	Энергетический поток Φ_Σ , Вт	КПД η , %
Облучатель _____								
0								
5								
15								
...								
180								

4. Для каждого из углов направления излучения вычислить значения переводного коэффициента K_Φ от системы световых величин к системе энергетических величин, силы света I_α и энергетического излучения I_φ , световой поток Φ_C и энергетический поток излучения Φ_Σ для соответствующих телесных углов.

Результаты расчетов представить в виде таблицы (табл. ЛЗ.1).

5. Построить в полярных координатах кривые силы света и силы энергетического излучения [$I_\alpha = f(\alpha)$ и $I_\varphi = f(\alpha)$].

6. Вычислить световой Φ_C и энергетический Φ_Σ потоки облучателя, направленные в нижнюю $\Phi_{C\downarrow}$ ($\Phi_{\Sigma\downarrow}$) и верхнюю $\Phi_{C\uparrow}$ ($\Phi_{\Sigma\uparrow}$) полусферы.

7. Определить КПД облучателя η , %.

8. Исследовать изменение электрических и светотехнических параметров тепличного облучателя во время разгорания, для чего облучатель после остывания (не менее 7 мин) включить в сеть и фиксировать данные (напряжение сети U_C и на лампе U_L , ток I , потребляемый схемой и освещенность в расчетной точке на расстоянии 1 м от облучателя E) в момент включения ($\tau = 0$) и через каждые 30 секунд ее работы до стабилизации всех параметров.

Для соответствующих интервалов времени вычислить полную мощность S (ВА), потребляемую облучателем. Результаты измерений и расчетов представить по форме табл. ЛЗ.2.

Построить графически зависимость тока I и напряжения на лампе U_L в функции времени разгорания τ .

Таблица ЛЗ.2

Временные изменения параметров тепличного облучателя _____

Время разгорания τ , с	Напряжение сети U_C , В	Напряжение на лампе U_L , В	Ток лампы I , А	Освещенность E , лк	Полная мощность S , ВА
0					
30					
60					
...					
420					

9. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

1. Для вычисления значения переводного коэффициента K_Φ , Вт·лк/м² перехода от системы световых величин к системе энергетических величин воспользоваться формулой:

$$K_\Phi = \frac{E_\varphi}{E_\alpha}, \quad (\text{ЛЗ.1})$$

где E_α и E_φ – соответственно значения освещенности, измеренные люксметром, лк, и энергетической облученности, измеренные радиометром, Вт/м².

2. Значение силы света I_α и силы энергетического излучения I_φ определить по формуле:

$$I_{\alpha(\varphi)} = \frac{E_{\varepsilon(\varphi)} \cdot r^2}{\cos\beta}, \quad (\text{ЛЗ.2})$$

где $E_{\alpha(\varphi)}$ – освещенность (энергетическая облученность) плоскости, перпендикулярной рассматриваемому направлению α , лк (Вт/м²);

r – расстояние от источника до точки замера, м;

β – угол падения потока излучения на фотоприемник (в работе $\beta = 0^\circ$).

3. Поток для соответствующего телесного угла: $\Phi_5 = I_5 \cdot \omega_{0-10}$, $\Phi_{15} = I_{15} \cdot \omega_{10-20}$... $\Phi_{85} = I_{85} \cdot \omega_{80-90}$ и т. д., где I_i – значение силы света и силы энергетического излучения в заданном направлении, кд (Вт/ср); $\omega_{(i-5)-(i+5)}$ – значение телесного угла в интервале меридианного угла, ср.

4. Световой поток Φ_C (энергетический Φ_{Σ}) облучателя, направленный в нижнюю $\Phi_{C\downarrow}$ ($\Phi_{\Sigma\downarrow}$) или верхнюю $\Phi_{C\uparrow}$ ($\Phi_{\Sigma\uparrow}$) полусферы равен:

$$\Phi_{C(\Sigma)\downarrow} = \Phi_5 + \Phi_{15} + \Phi_{25} + \dots + \Phi_{75} + \Phi_{85}, \quad (\text{ЛЗ.3})$$

$$\Phi_{C(\Sigma)\uparrow} = \Phi_{95} + \Phi_{105} + \Phi_{115} + \dots + \Phi_{165} + \Phi_{175}, \quad (\text{ЛЗ.4})$$

5. КПД облучателя равен:

$$\eta_C = (\Phi_{C\downarrow} + \Phi_{C\uparrow}) / \Phi_{\text{ист}}, \quad (\text{ЛЗ.5})$$

где $\Phi_{\text{ист}}$ – световой поток лампы в облучателе (приложение 2).

6. Полная мощность S облучателя, ВА:

$$S = U_C \cdot I. \quad (\text{ЛЗ.6})$$

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основным параметрам тепличных облучателей.
3. Конструктивная и электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.
4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. ЛЗ.1 и ЛЗ.2).
5. Графические зависимости:
 - кривые силы света и силы энергетического излучения [$I_\alpha = f(\alpha)$ и $I_\Phi = f(\alpha)$];
 - тока I и напряжения на лампе U_L в функции времени разгорания τ [$I = f(\tau)$ и $U_L = f(\tau)$].
6. Выводы по результатам проделанной работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Поясните устройство исследуемых Вами облучателей, используемых для искусственного облучения растений.

2. Какие источники ОИ применяют для искусственного облучения растений. Приведите их характеристики и отличительные особенности конструкции.

3. Как при известной кривой силы излучения определить поток и КПД облучателя?

4. Как и почему изменяются светотехнические и электрические параметры исследуемых Вами источников ОИ при разгорании?

5. Какие единицы измерения применяют для оценки действия ОИ на растения? Назовите величины их измерения.

6. Что характеризует переводной коэффициент и как его определить при переходе от системы световых величин к системе энергетических величин?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4.

Расчет тепличных облучательных установок

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

Задачи:

1. Освоить методики расчета установок для облучения растений.
2. Для заданного преподавателем варианта произвести расчет стационарных установок для облучения растений.

Задание для самостоятельной подготовки

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе изучить: методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок для облучения растений в условиях защищенного грунта; расчетные формулы и способы определения необходимых для проведения расчетов справочных значений параметров.

Методические указания по выполнению:

По выданному преподавателем индивидуальному (групповому) заданию произвести расчет установок для облучения растений, выполненных облучателями с газоразрядными лампами высокого и низкого давления, определить размеры, необходимые для размещения облучателей, их количество и суммарную установленную электрическую мощность.

При выполнении задания придерживаться изложенной в подразделе 6.3 методики и последовательности рассмотрения вопросов.

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Поясните методику расчета стационарных установок для облучения растений в условиях защищенного грунта, выполненных круглосимметричными облучателями с газоразрядными лампами высокого давления. Приведите расчетные формулы и поясните,

каким образом определяются необходимые для проведения расчетов справочные значения параметров.

2. Приведите последовательность рассмотрения вопросов при расчете стационарных облучательных установок с линейными источниками излучения для искусственного облучения растений.

3. Приведите формулы для определения потребного количества рядов облучателей N_1 , облучателей в одном ряду N_2 , суммарное количество облучателей в установке N_{Σ} , их монтажные расстояния и суммарную установленную мощность установки для облучения растений P_{Σ} (с учетом потерь в ПРА).

7. Перспективы использования оптического излучения в технологических процессах сельскохозяйственного производства

В последнее время ОИ всех частей спектра (УФ, видимое и ИК) активно применяется во многих процессах сельскохозяйственного производства, например, для сушки и нагрева сырья, продукции и материалов, при люминесцентном анализе качества и сортировки продукции, предпосевной обработке семян, в процессах фототаксиса, дезинфекции и дезинсекции. При этом получают технологический, энергетический и экономический эффект, зачастую недостижимый при использовании других видов энергии.

7.1. Использование инфракрасного излучения в технологических процессах сушки, нагрева и переработки продукции

Сушка и нагрев сельскохозяйственной продукции ИК излучением обладают рядом неоспоримых преимуществ в сравнении с контактными и конвекционными способами. ИК излучение обладает хорошей проникающей способностью и в процессе теплового преобразования энергия его поглощенного фотона превращается в энергию колебательного движения молекул приемника. Объемный характер поглощения ИК излучения приводит к тому, что температура внутри материала может оказаться выше температуры его поверхности. При этом возникающий градиент температуры, направленный изнутри материала приемника, способствует интенсификации процесса удаления влаги или растворителя красок, сокращению времени обработки. В процессах сушки лакокрасочных покрытий кроме того в самом покрытии протекают сложные физико-химические процессы (полимеризация, поликонденсация),

что способствует повышению качества сушки и формированию поверхностной пленки.

При сушке свежееубранного зерна перед закладкой его на хранение рационально использовать ИК излучение в дополнение к конвекционной технологии сушки. В этом случае энергия ИК излучения расходуется на быстрый нагрев зерна до температуры 40–50 °С, а горячий воздух в конвекционной сушилке осуществляет интенсивное удаление влаги, снижая влажность зерна до кондиционной нормы (14–15 %). При прочих равных условиях подобная технология комбинированной сушки в 2 раза производительнее конвекционной сушки. Расход электрической энергии при такой технологии сушки составляет 0,5 кВт·час/кг испаренной влаги или 35 кВт·час/кг³ зерна при сьеме влаги до 6 %. Следует отметить, что при ИК обработке зерна одновременно происходит и его дезинсекция (уничтожение вредителей и их яиц), на 5–10 % повышается энергия прорастания и всхожесть.

В ремонтном производстве ИК излучение в основном применяется для сушки лакокрасочных покрытий, где ИК лучи благодаря достаточной глубине проникновения интенсифицируют процесс, сокращая время сушки и повышая качество поверхности.

Хороший технологический эффект достигается при использовании ИК излучения в ряде других процессов, например, при сушке листьев табака, хмеля, чая, зерен кофе и какао, выпечке хлеба; обработке материалов животного происхождения, например, рыбы; сушке яблок и фруктов и др. ИК технология сушки при сокращении продолжительности позволяет получать сухие продукты со сниженной массой и объемом, с почти полным сохранением питательных веществ (кислот, сахаров, каротина, ферментов), витаминов (до 80–90 %), вкуса, цвета и аромата.

Некоторые технологические показатели ИК сушки фруктов приведены в табл. 7.1.

ИК сушка солода (ячменного и ржаного) в пивоваренной промышленности не только снижает время процесса, но способствует повышению качественных показателей (вкус, цвет, аромат, ферментативная активность). При сушке рекомендуется переменный режим с постоянным повышением температуры воздуха от 50 до 85 °С и снижением влажности с 20 до 3–5 %. Целесообразно применять прерывистое облучение импульсами 2–6 с, чередующимися с периодом отлежки материала (20–60 с), когда через него продувают предварительно нагретый воздух. 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 °С, расстояние до высушиваемого слоя – 200 мм.

Таблица 7.1

Технологические показатели сушки фруктов

Показатели	Чернослив	Абрикос	Персики	Яблоки	Груша	Айва
Характеристика плода	Целый плод	Половина плода	Половина плода	Ломтики	Ломтики	Ломтики
Продолжительность сушки, мин	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

Перспективно применение ИК излучения при пастеризации молока, позволяющее уменьшить в нем количество микроорганизмов на 99 % при обеспечении хороших вкусовых и питательных качеств. Время пастеризации при этом сокращается в 2 раза в сравнении с его чисто тепловой обработкой. Однако лучший эффект достигается при комбинированной обработке молока ИК и УФ излучениями.

Для ИК нагрева и сушки продуктов применяют установки камерного (объект на заданное время помещается в камеру с источниками ИК излучения) или конвейерного (объект размещается на конвейере и облучается ИК излучением) типа, в которых в качестве источников ИК излучения используют лампы типа ЗС и керамические плиты, нагреваемые электрическими спиралями, или газ. Обработку обычно ведут на конвейерных сушилках, в которых лента с продуктом продвигается под панелью источников ИК излучения, которые располагают в линию или в шахматном порядке при расстоянии между осями 0,3 м. Удельная установленная мощность источников, отнесенная к площади конвейера, составляет около 2,25 кВт/м².

В основу приблизительного расчета (определения дозы облучения) установок сушки и нагрева материалов (покрытий, смесей) положен закон сохранения энергии:

$$Q_0 = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{исп}}, \quad (7.1)$$

где Q_0 – энергия, подведенная к образцу от ИК излучателя;

$Q_{\text{нагр}}$ – энергия, расходуемая на нагрев объекта;

$Q_{\text{пот}}$ – энергия, теряемая объектом за счет конвекции, теплопередачи и излучения;

$Q_{\text{исп}}$ – энергия, расходуемая на испарение влаги или растворителя.

Расчет установок сушки и нагрева осуществляют с целью определения необходимой ИК облученности $E_{\text{ИК}}$ и количества источников ИК излучения $N_{\text{ИК}}$.

При расчете установок с технологией установившегося режима нагрева уравнение (7.1) представляют в виде:

$$\alpha \cdot E_{\text{ИК}} \cdot S_0 = \alpha_m \cdot S_T \cdot (T_K - T_{\text{OC}}), \quad (7.2)$$

где α – интегральный коэффициент поглощения ИК лучей [4], отн. ед.;

$E_{\text{ИК}}$ – интегральная ИК облученность, создаваемая источниками на поверхности объекта, Вт/м²;

S_0 – площадь миделева сечения (площадь тени), м²;

α_m – усредненный коэффициент теплоотдачи (конвекцией и излучением), Вт/(град·м²) [4];

S_T – площадь теплоотдающих поверхностей объекта, м²;

T_K – конечная температура нагрева объекта, град;

T_{OC} – температура окружающей среды, град.

Тогда требуемые ИК облученность:

$$E_{\text{ИК}} = \frac{\alpha_m \cdot S_T \cdot (T_K - T_{\text{OC}})}{\alpha \cdot S_0} \quad (7.3)$$

и поток ИК излучения $\Phi_{\text{ИК}} = E_{\text{ИК}} \cdot S_0$, Вт:

$$\Phi_{\text{ИК}} = \frac{\alpha_m \cdot S_T \cdot (T_K - T_{\text{OC}})}{\alpha}. \quad (7.4)$$

Необходимое число ИК источников в установке:

$$N_{\text{ИК}} = \frac{\Phi_{\text{ИК}}}{\Phi_{\text{ИС}}}, \quad (7.5)$$

где $\Phi_{\text{ИС}}$ – ИК поток одной лампы, Вт.

В режиме сушки преобладающими затратами энергии, как правило, являются затраты на испарение влаги или растворителя. Следовательно, уравнение 7.1 может быть представлено как:

$$\alpha \cdot E_{\text{ИК}} \cdot S_0 \cdot \tau = \left(\sum_{i=1}^n c_i \cdot m_i \cdot dT + q_p \cdot m_p \right) / \eta, \quad (7.6)$$

где τ – время сушки, с;

c_i и m_i – удельная теплоемкость, Дж/(кг·град), и масса, кг, компонентов высушиваемой смеси;

n – количество компонентов, шт;

q_p и m_p – удельная теплота испарения растворителя, Дж/кг, и его масса, кг;

η – КПД нагревательной части установки (принимается равным 0,80–0,95).

Тогда требуемые ИК облученность:

$$E_{\text{ИК}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot m_i \cdot (T_K - T_H) + q_p \cdot m_p}{\alpha \cdot S_0 \cdot \tau \cdot \eta} \quad (7.7)$$

и поток ИК излучения:

$$\Phi_{\text{ИК}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot m_i \cdot (T_K - T_H) + q_p \cdot m_p}{\alpha \cdot \tau \cdot \eta}, \quad (7.8)$$

а необходимое число ИК источников в установке определяется по формуле 7.5.

7.2. Использование оптического излучения при люминесцентном анализе сельскохозяйственной продукции

Люминесцентный анализ сельскохозяйственных продуктов основан на использовании явления фотолюминесценции, которое характеризуется свечением вещества под воздействием ОИ, в частности УФ.

Известно, что свойства вещества определяются строением внешнего электронного слоя его молекул и атомов. Поглощение веществом фотонов ОИ приводит к изменению энергии связи внешних электронов молекул и атомов с ядром. При достаточной энергии фотоны способны возбудить молекулы и атомы, в результате

чего электроны из внешнего слоя переходят на более высокий энергетический уровень. Если такие молекулы и атомы в течение времени существования в возбужденном состоянии (менее 10^{-8} с) не испытывают внешних воздействий, то они спонтанно люминесцируют (излучают ОИ), переходя вновь в равновесное состояние.

Большинство продуктов люминесцирует как в УФ, так и в видимой областях спектра. Однако наиболее удобно в качестве возбуждающего фактора использовать УФ излучение, которое не смешивается с видимым излучением, возникающим в результате люминесценции.

Наблюдаемые при люминесценции спектры излучения 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. Возбужденный цвет люминесценции в зависимости от состояния вещества (качества продуктов) имеет различный спектральный состав и интенсивность, определяемые их химико-биологическим состоянием и составом молекул вещества (продуктов).

Степень изменения спектрального состава и интенсивности фотолюминесценции определяет глаз наблюдателя или специальный прибор. В первом случае люминесцентный анализ называют субъективным, во втором – объективным. Субъективный анализ менее точен, требует большого навыка, но устройство приборов для его проведения значительно проще. При субъективном анализе состояние вещества (качество продуктов) определяют путем сравнения фактических спектрального состава и интенсивности фотолюминесценции с описанием характерных спектров люминесценции (приложение 12).

Принципиальная схема прибора для субъективного анализа качества сельскохозяйственных продуктов приведена на рис. 7.1. Он состоит из камеры 1, в которой установлен источник ОИ (чаще всего ртутно-кварцевая лампа) 3, зеркального отражателя 2 и светофильтра 4. ОИ источника через светофильтр подается на исследуемый объект 5, и излучение люминесценции воспринимается глазом наблюдателя 6.

При субъективном люминесцентном анализе сельскохозяйственных продуктов применяют приборы «Люминоскоп Фили», «Луч», «Малютка», «Ультрасвет» и др.

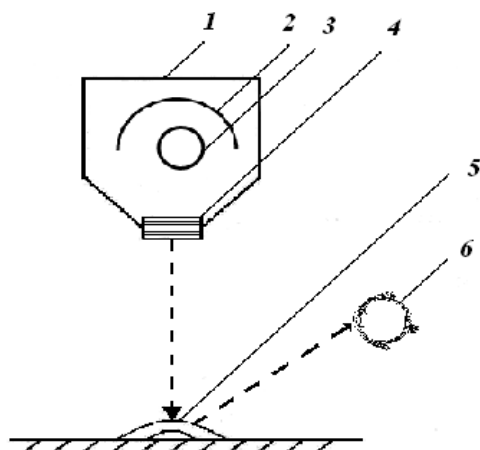


Рис. 7.1. Принципиальная схема устройства прибора для люминесцентного анализа: 1 – камера; 2 – зеркальный отражатель; 3 – ртутно-кварцевая лампа; 4 – светофильтр; 5 – исследуемый объект; 6 – глаз наблюдателя

В переносном приборе «Малютка» в качестве источника УФ излучения использована миниатюрная дуговая ртутная лампа УФО-4А, работающая от постоянного тока напряжением 26 В. Прибор питается от сети переменного тока напряжением 230 В, напряжение на лампу подается через понижающий трансформатор и двухполупериодный полупроводниковый выпрямитель.

В приборе «Луч» применена ртутно-кварцевая лампа СВД-120А номинальной мощностью 120 Вт, которая является источником излучения в видимой и УФ частях спектра, однако на исследуемый объект через светофильтр подается только УФ излучение. Лампа состоит из кварцевой колбы с электродами: двумя вольфрамовыми рабочими и одним поджигающим. Напряжение на лампе в рабочем режиме 125 В, ток – около 1 А, излучаемый световой поток – 4200 лм.

Лампа может работать в любом положении. При эксплуатации лампы в горизонтальном положении или с наклоном до 45° к горизонту рекомендуется ее устанавливать поджигающим электродом вверх. Температура воздуха на расстоянии 50 мм от стенок рабочей лампы не должна превышать 250 °С. Нормальное зажигание и разгорание лампы происходит при температуре окружающей среды не ниже 20 °С и напряжения сети не ниже 210 В. Повторное зажигание лампы после отключения от сети возможно только после ее полного остывания, то есть через 10–15 минут.

7.3. Энергоэффективные технологии использования оптического излучения в процессах сельскохозяйственного производства

С целью экономии топливно-энергетических ресурсов ОИ успешно применяют во многих процессах сельскохозяйственного производства, например, при предпосевной обработке семян, сортировке сельскохозяйственной продукции, для дезинсекции продуктов и тары, обработки гидролизно-дрожжевых сред и др.

Предпосевная обработка семян. Для повышения всхожести и энергии прорастания семенного материала его подвергают предпосевной обработке ОИ (видимым, ИК и УФ). При обработке активизируются ферменты зародыша, что повышает энергию прорастания семян и урожайность зерновых культур. Общий технологический эффект при этом достигает 5–25 % (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Показатели технологического эффекта от предпосевной обработки семенного материала ОИ

Объект облучения	Технологический эффект	Эффективность % при длине волны λ , нм		
		380–760	> 760	280–320
Зерно	Урожайность. Ускорение созревания на 3–5 дней	–	10–15	5–20
		7–25	–	–
Картофель	Урожайность	7–25	–	–

Технология предпосевной обработки семян реализована в различного вида установках. Так для предпосевной обработки семян зерновых культур УФ и видимым излучением разработана установка УОЗ-2, технологическая схема которой приведена на рис. 7.2. В качестве источников ОИ в установке использованы лампы ДРТ1000 (9 штук), размещенные над поверхностью вибрирующей скатки на высоте 0,65 м. Электрическая мощность установки – 12,5 кВт; производительность – 1–1,5 т·ч⁻¹.

Технология предпосевной обработки семян зерновых культур видимым и ИК излучением реализована в установке ЭМПОС-2, технологическая схема которой аналогична с установкой УОЗ-3 (отличие в конструкции вибрирующей скатки и типе источников ОИ). В качестве источников ОИ в установке применены лампы

накаливания мощностью 300 Вт, включенные на напряжение 380 В попарно-последовательно и обеспечивающие освещенность на вибрирующей скатке – 40–60 клк ($16,76 \text{ Дж/см}^2$). Электрическая мощность установки – 16 кВт; продолжительность обработки семенного материала – 40–60 с; температура зерна в конце периода обработки – 48–58 °С; производительность – 0,5 т/ч; удельный расход электрической энергии – 25–40 кВт ч·т⁻¹.

Установка для предпосевной обработки семенного картофеля видимым излучением смонтирована на базе сборного транспортера картофелесортировочного пункта КСП-15Б. В установке использованы лампы типа ДРЛФ-400, обеспечивающие облученность на поверхности транспортера 214 Вт/м².

Для уменьшения твердосемянности при предпосевной обработке семян вместо воздушно-теплового или солнечного обогрева применяют ИК облучение. При этом экспозиция ИК облученности семян составляет 2 мин вместо 5–7 дней при воздушно-тепловом обогреве, облученность на поверхности зерновой насыпи – 40–50 Вт/м², температура нагрева семян – 50–55 °С.

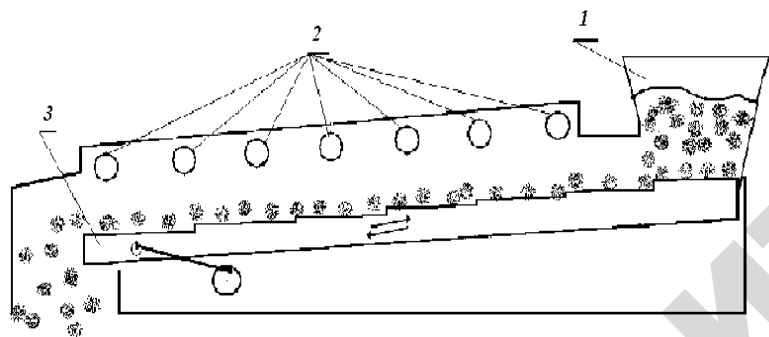


Рис. 7.2. Технологическая схема установки УОЗ-3:

1 – бункер; 2 – источники ОИ (лампы ДРТ 1000); 3 – вибрирующая скатка

Сортировка сельскохозяйственной продукции. При сортировке плодов, овощей и ягод учитывается их отличия в окраске (зрелых от незрелых) и форме (поврежденных от неповрежденных). Поэтому принцип действия сортировальных электрических машин основан на оценке оптических свойств исследуемого объекта: отражения, пропускания и поглощения им ОИ различных длин волн, чаще всего видимых и ИК.

Технологическая схема простейшей сортировальной машины приведена на рис. 7.3.

Объект, подлежащий сортировке, помещается на ленту конвейера и, находясь на ней, подвергается облучению монохроматическим ОИ различных длин волн (например, при сортировке томатов применяют излучение с длинами волн 550, 640 и 660 нм). Отраженное от исследуемого объекта ОИ оценивается в специальном устройстве (анализаторе) по цвету или коэффициентам отражения, после чего в зависимости от полученной информации поступает команда на один из исполнительных механизмов, например, электромагнитный привод толкателя или заслонки, перемещающий объект, в зависимости от его качества, в заданную емкость (контейнер, ящик).

На данном принципе промышленностью разработаны фотоэлектрические машины для сортировки томатов по зрелости, яблок по механическим повреждениям, отделения картофеля от пораженных клубней, комков земли и камней.

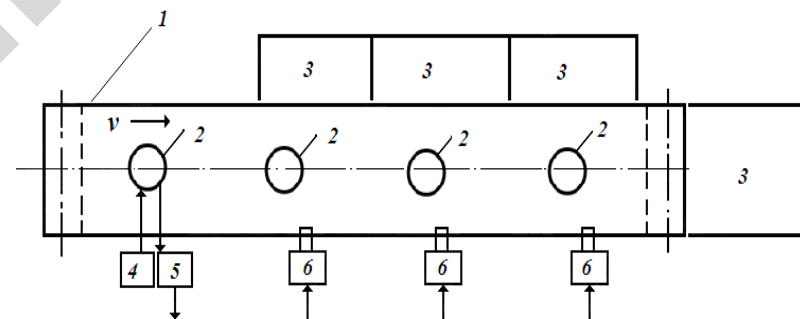


Рис. 7.3. Технологическая схема электрической сортировальной машины:

1 – лента конвейера; 2 – сортируемый объект; 3 – емкости для хранения отсортированного продукта различного качества (сорта); 4 – источник ОИ; 5 – анализатор отраженной составляющей ОИ; 6 – исполнительные механизмы

Процессы фототаксиса¹². ОИ успешно применяют для привлечения (направленного перемещения) таких биологических объектов как насекомые и рыба. Для привлечения насекомых с целью их дальнейшего уничтожения используют УФ излучение (диапазона 290–380 нм) и отдельные участки видимого излучения диапазона

¹² Фототаксис – фотоиндуцирование направленного движения свободных биологических объектов (насекомых, рыб).

450–515 нм: 450–480; 465–515; 480–510 и 510–515 нм. Достаточно высокий уровень эффекта «приманивания» рыбы наблюдается в области видимого излучения (460–620 нм), при этом наибольший эффект приходится на ее сине-зеленую область (500 нм).

Процесс фототаксиса в южных районах используют в основном при выращивании фруктов и борьбы с насекомыми-вредителями как во время цветения деревьев (яблонь, груш, вишен и др.), так и во время плодоношения вплоть до сбора урожая. Насекомых в ночное время оптическим излучением привлекают 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 типов ЛЭ, ДБ и ДРТ.

Для борьбы с насекомыми на больших площадях ловушки с источниками ОИ размещают на мобильной технике, например, тракторе, подключая засасывающий вентилятор, использующийся для уничтожения насекомых, и синхронный генератор переменного тока, необходимый для питания источников ОИ, к валу отбора мощности трактора. Следует отметить, что подобная технология, используемая взамен химических методов борьбы с насекомыми-вредителями, является экологически безопасной и в сравнении с химическими методами позволяет на 30 % снизить затраты на обработку продукции во время ее выращивания и в 3,8 раза количестводохимикатов в плодах.

Дезинсекция продуктов и тары. Обеззараживание зерна и круп различных культур (овса, пшеницы, проса и др.) эффективно методом дезинсекции ИК лучами, оказывающих селективное воздействие на обрабатываемый материал, его окружающую микрофлору и насекомых-вредителей. Следует отметить, что спектр поглощения ОИ составляющими микрофлоры и насекомых-вредителей приходится на ИК область. Поглощенные ИК лучи нагревают тело облучаемого биологического объекта до температуры сворачивания белка, что приводит к его летальному исходу. ИК облучение почти полностью уничтожает вредную микрофлору на поверхности зерна. В зерне, нагретом ИК лучами в течение 1–2 мин до 50–55 °С, погибают во всех стадиях своего развития такие вредители, как клещ, долгоносик, брухус, мукой и др., при этом семенные и продовольственные качества зерна не изменяются.

Технология уничтожения амбарных вредителей и подсушки зерна ИК излучением реализована в установке, технологическая схема

которой приведена на рис. 7.4. Мощность установки – 40 кВт, производительность при обработке зерна – 1 т/ч. В качестве источника ИК излучения используется вольфрамовая спираль (нагревается протекающим током до температуры 800 °С). Длительность обработки зерна – до 2 минут, при этом зерно прогревается до температуры 44–52 °С, а вредители уничтожаются из-за более высокого поглощения ими ИК излучения.

Дезинсекция может подвергаться не только зерно и крупы, но и тара, например, мешки для хранения сельскохозяйственных продуктов. Для дезинсекции мешкотары разработан передвижной дезинсектор. Установка состоит из корпуса с тепловой изоляцией и бесконечного цепного транспортера с крючками, на которые подвешиваются мешки. Вертикальные плоские ИК излучатели из нихромовой проволоки нагревают до 100 °С мешки в течение 70 с, и насекомые, находящиеся в ткани, уничтожаются. Потребная мощность дезинсектора 12,6 кВт. Производительность – 600–700 мешков в час.

Использование радиационной термометрии в зоотехнии и ветеринарии. Радиационная термометрия базируется на преобразовании ИК излучения (невидимого для человеческого глаза) в соответствующее ему видимое изображение. Методы радиационной термометрии широко применяются при диагностике заболеваний животных, например, исследовании переломов, вывихов, ушибов, нарушений периферического кровообращения и наблюдения за ходом заживления поврежденных тканей.

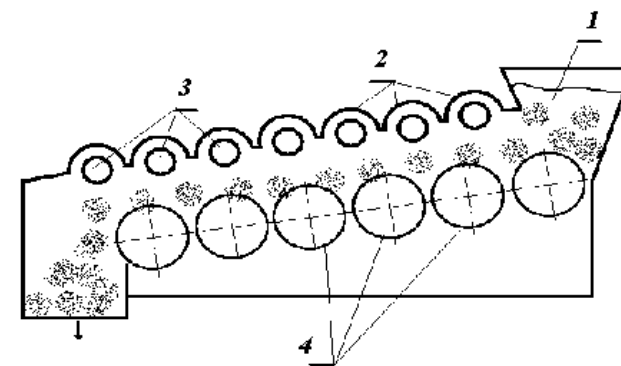


Рис. 7.4. Технологическая схема установки уничтожения амбарных вредителей ИК излучением: 1 – бункер; 2 – отражатели; 3 – нихромовые спирали; 4 – наклонный ряд ребристых барабанов

В зоотехнии и ветеринарии применение получили радиационные термометры – приборы, воспринимающие тепловое излучение с того участка тела, на которое направлен их объектив, и воспроизводящие значение радиационной температуры на соответствующем индикаторе, в частности, тепловизионное контрольное устройство с цветовой индикацией теплогрмм типа ВКУ-ЦТ. На индикаторе устройства ВКУ-ЦТ приводится теплогрмм, на которой перепаду температуры на поверхности исследуемого объекта в 1 °С соответствует изменение цветового тона.

Для контроля температуры животных может быть использован прибор ИМП-3, с помощью которого может быть исследован диапазон температур от –5 до +125 °С с точностью ±0,5 °С.

Проведение тепловизионных исследований радиационного теплообмена животных показало, что они могут быть использованы и при обосновании оптимальных температур содержания животных. Так исследования указывают, что распределение температурного поля по поверхности животного зависит от температуры окружающего его воздуха. 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 перепад составляет только +1,5 °С.

Тепловизорами¹³ можно контролировать состояние электрических установок во время их работы, выявляя места с опасным превышением температуры, и теплотери зданий и сооружений, выявляя места наибольших теплотерь для дальнейшего их снижение за счет усиления теплоизоляции.

Обработка гидролизно-дрожжевых сред. УФ излучение успешно применяется при производстве белка, в частности синтеза микроорганизмами растительного белка.

В настоящее время 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 слабокислового гидролиза отходов растениеводства в гидролизате наряду с образованием моносахаров накапливаются и продукты их распада. Для удаления этих вредных продуктов применяют вакуум-охладительные

¹³ Устройства, с помощью которых ИК излучение нагретых тел превращается в соответствующее ему видимое изображение, называют тепловизорами.

установки, в которых отходы продувают воздухом, паром, разбавляют питательную среду водой. Все эти приемы энергоемки и требуют специального сложного оборудования.

Технология производства кормовых дрожжей из отходов растениеводства и животноводства намного упрощается при использовании УФ излучения диапазона 250–300 нм, которое иницирует образованием свободных радикалов в питательной среде.

Применение УФ излучения для этих целей экономически и энергетически оправдано, так как для обработки 1 м³ среды озонотом нужно затратить около 15 кВт·ч электроэнергии, паром – 18 кВт·ч, а УФ излучением – всего около 1 кВт·ч. Средняя производительность установки для обработка гидролизно-дрожжевых сред УФ излучением – 10 м³/ч. За сутки потребление электроэнергии составляет 250 кВт·ч при непрерывном и 50 кВт·ч при прерывистом облучении.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем обусловлена эффективность сушки, нагрева и переработки продукции ИК излучением?
2. В каких известных Вам технологических процессах применяется сушка, нагрев и переработка продукции ИК излучением?
3. На каком законе базируется расчет установок сушки и нагрева материалов (покрытий, смесей)? Приведите его расчетную формулу.
4. Поясните методику и приведите основные расчетные формулы определения требуемых ИК облученности, потока ИК излучения и числа источников в установке с технологией установившегося режима нагрева материалов.
5. Поясните методику и приведите основные расчетные формулы определения требуемых ИК облученности, потока ИК излучения и числа источников в установке сушки материалов.
6. На каком принципе основана технология люминесцентного анализа качества продуктов?
7. Поясните устройство (принципиальную конструктивную схему) приборов для субъективного анализа качества сельскохозяйственных продуктов.
8. Поясните технологию предпосевной обработке семян ОИ. В чем преимущества установок, реализованных с использованием

указанной технологии? Как они устроены и приведите их основные технические параметры.

9. Поясните технологию сортировки сельскохозяйственной продукции с использованием ОИ. В чем преимущества установок, реализованных с использованием указанной технологии? Как они устроены?

10. На каком принципе работают установки для привлечения (направленного перемещения) и уничтожения насекомых-вредителей? В чем их преимущества и как они устроены?

11. На каком принципе работают установки для дезинсекции продуктов и тары? В чем их преимущества и как они устроены?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.

Исследование рабочих параметров установок для люминесцентного анализа сельскохозяйственной продукции

Цель: изучить устройство и принцип действия установок для субъективного люминесцентного анализа, ознакомиться с методикой и получить практические навыки определения качества сельскохозяйственных продуктов.

Задачи:

1. Ознакомиться с принципом люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов.
2. Изучить устройство и принцип действия приборов для субъективного люминесцентного анализа типов «Люминоскоп Фили», «Луч» и «Малютка».
3. Изучить устройство и принцип действия ламп типов СВД-120А и УФО-4А.
4. Освоить метод и получить практические навыки субъективного люминесцентного анализа качества сельскохозяйственных продуктов.

Задание для самостоятельной подготовки:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе, рекомендуемой литературе и практикуму к лабораторным занятиям, изучить устройство и принцип действия газоразрядных ламп СВД-120А, УФО-4А и приборов для субъективного люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов, а также методику люминесцентного анализа продуктов.
2. В соответствии с требованиями нижеприведенного подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве и принципе действия газоразрядных ламп СВД-120А,

УФО-4А и приборов для субъективного люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов, форму таблицы для регистрации результатов измерений.

Методические указания по выполнению:

1. По натурным образцам изучить устройство и схемы включения в сеть газоразрядных ламп СВД-120А и УФО-4А (рис. Л4.1 и Л4.2), применяемых в приборах для субъективного люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов.

2. По натурным образцам изучить устройство приборов «Люминескоп Фили», «Луч» и «Малютка» для субъективного люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов.

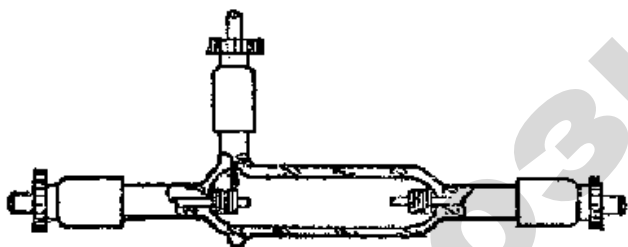
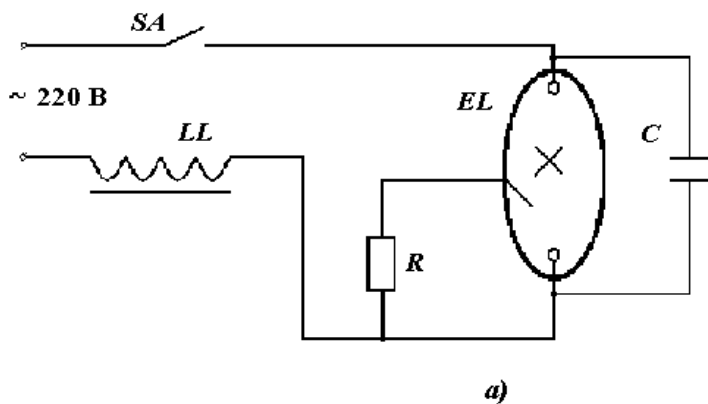


Рис. Л4.1. Принципиальная схема включения (а) и устройство (б) ртутно-кварцевой лампы СВД-120А

3. С помощью прибора «Люминескоп Фили» («Луч» или «Малютка») провести люминесцентный анализ имеющихся в лаборатории продуктов. Для чего после включения и прогрева (5–10 мин) лампы продукт поместить на предметный столик под выходным отверстием камеры. Сравнивая характер свечения продукта с данными, приведенными в приложении 12, сделать выводы об их качестве. Результаты исследования представить по форме табл. Л4.1.

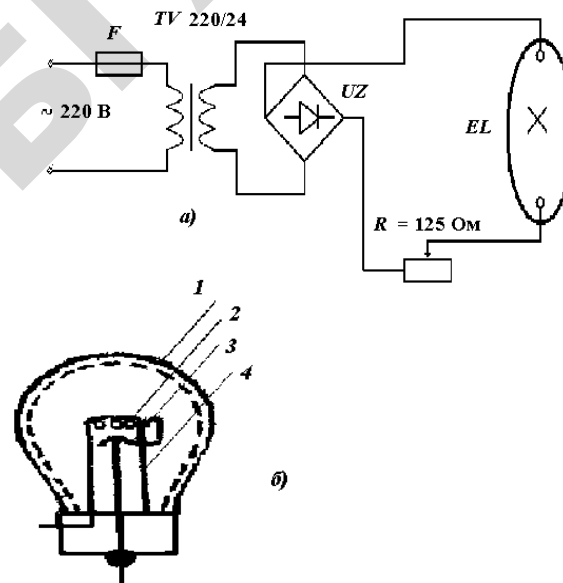


Рис. Л4.2. Принципиальная схема включения (а) и устройство (б) лампы УФО-4А: 1 – колба; 2 – анод; 3 – катод; 4 – биметаллическая пластина

Таблица Л4.1

Результаты люминесцентного анализа продуктов

Вид продукта	Характеристика свечения	Заключение о качестве

4. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Эскизы конструкции ламп СВД-120А и УФО-4А, их технические характеристики и схемы включения в сеть (рис. Л4.1 и Л4.2).

3. Краткие сведения об устройстве приборов для субъективного люминесцентного анализа продуктов «Люминоскоп Фили», «Луч» и «Малютка» и их оптические схемы.

4. Результаты люминесцентного анализа продуктов и заключение об их качестве (табл. Л4.1).

5. Выводы по результатам проделанной работы (эффективности использования люминесцентного анализа при определении качества продуктов).

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. В чем состоит принцип люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов?

2. Чем вызвана различная люминесценция материалов?

3. Расскажите об известных Вам методах люминесцентного анализа, их преимуществах и недостатках.

4. Каково назначение светофильтра в установке для люминесцентного анализа?

5. Расскажите об устройстве, принципе действия и работе схемы включения лампы СВД-120А (УФО-4А).

6. Как устроен прибор для субъективного люминесцентного анализа продуктов «Люминоскоп Фили» («Луч», «Малютка»).

7. Чем объясняется эффективность применения люминесцентного анализа сельскохозяйственных продуктов?

8. Особенности эксплуатации облучательных установок

Облучательная установка не может оставаться эффективной, если за ней не будет обеспечен регулярный уход. Старение источников и связанное с этим уменьшение излучаемого ими потока УФ, видимого и ИК излучения, накопление пыли и грязи на отражающих и рассеивающих поверхностях облучателей и источников, способствуют постепенному снижению эффективного потока излучения, достигающего заданной поверхности, а, следовательно, и уровня ее облученности. Снижения уровня облученности рабочей поверхности приводит к уменьшению дозы облучения (лучистой экспозиции), что чревато неполучению ожидаемого технологического эффекта от применения установки или, что еще хуже, получением отрицательного воздействия излучения на объект.

Эксплуатация облучательных установок осуществляется энергетической службой предприятия (хозяйства), укомплектованной соответствующим по квалификации электротехническим персоналом. Это, как правило, те же лица, которые эксплуатируют установки искусственного освещения предприятия.

Эксплуатация облучательных установок осуществляется по тем же правилам, что и осветительных установок, которые подробно изложены в учебном пособии «Светотехника» [15].

В указанном издании приведен материал по вопросам организации работ по эксплуатации, определению численности персонала для обслуживания, приемке в эксплуатацию установок, порядке и объемам работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Тем не менее, эксплуатация облучательных установок имеет некоторые отличительные особенности в части приема в эксплуатацию установок, выполнения операций по техническому обслуживанию и ремонту, соблюдения требований охраны труда и техники безопасности. На этих отличительных особенностях эксплуатации облучательных установок остановимся более подробно.

8.1. Особенности приема в эксплуатацию, обслуживания и ремонта облучательных установок

Организация эксплуатации начинается с приемки новой или реконструированной (подвергшейся капитальному ремонту) облучательной установки, которая должна производиться в соответствии с установленным порядком допуска, а также правилами пользования электрической энергией и ПУЭ [9].

Комиссия обязана проверить:

- соответствие выполненных работ проектно-сметной документации и исполнительным чертежам;
- качество строительно-монтажных работ;
- данные о результатах индивидуального апробирования оборудования;
- результаты комплексного апробирования.

Результаты работы комиссии отражаются в письменном заключении о готовности объекта к эксплуатации, в котором приводятся, при их наличии, дефекты и недоделки, допущенные в ходе строительства и монтажа, а также дефекты оборудования, выявленные в процессе приемосдаточных и пусконаладочных испытаний.

Сдачу-приемку облучательной установки в эксплуатацию оформляют после получения технической документации от заказчика, монтажной и наладочной организаций. В комплект технической документации должны входить рабочие чертежи: планы помещений с нанесенными на них облучателями, электрическими сетями, распределительными щитами, аппаратами защиты и управления; план, а в необходимых случаях и принципиальная схема, питающей сети с указанием электрических нагрузок, характеристик коммутационных и защитных аппаратов, маркировки, длины, сечений и марок проводов, кабелей и способов прокладки; характерные разрезы помещений для зданий со сложными строительными решениями, необходимые для правильного понимания чертежей; указания относительно предусмотренных способов и средств эксплуатации установки, содержащие перечень приспособлений и устройств для доступа к узлам установки (облучателям, коробкам разветвления, сетям и др.). При этом все возникшие в процессе выполнения монтажных работ отклонения от рабочих чертежей должны быть отражены в рабочих чертежах.

В процессе приемки комиссия обязана провести выборочные замеры напряжения на ближайших и наиболее удаленных участках

сети (со стороны питания на облучателей), провести контрольные замеры облученности на рабочей поверхности, выбрать и нанести на чертежи контрольные точки, в которых периодически будет измеряться облученность в процессе эксплуатации установки, проверить наличие и исправность приспособлений и технических средств доступа к облучателям и элементам электрической сети.

После устранения замеченных дефектов составляется акт сдачи-приемки. К этому документу прилагаются протоколы измерения сопротивления изоляции электропроводов и кабелей, исполнительские чертежи.

Перед эксплуатацией облучательной установки необходимо:

- 1) очистить щеткой-сметкой облучатели и установки от пыли и протереть их обтирочным материалом;
- 2) снять смазку с законсервированных деталей обтирочным материалом, смоченным уайт-спиритом;
- 3) убедиться в отсутствии поврежденных деталей, проводов и кабелей;
- 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 магистралью заземления, которое должно быть не более 0,1 Ом;
- 6) проверить соответствие щитков, выключателей, применяемых источников ОИ напряжению сети;
- 7) проверить надежность крепления выключателей, щитков, источников ОИ и других электрических приборов и устройств;
- 8) проверить работу выключателей, автоматических выключателей, разъединителей путем их включения и выключения (должны включать и выключать электрическую цепь без заедания);
- 9) проверить уровень масла в редукторе приводной станции и при необходимости долить масло;
- 10) проверить и при необходимости дополнить смазку в подшипники натяжных роликов и колес;
- 11) выполнить операции по подготовке к работе электродвигателя приводной станции;
- 12) включить облучатель или установку и убедиться в их исправной работе;
- 13) в контрольных точках произвести измерения создаваемой облученности.

– для установок по досвечиванию растений – фитофотометром фитооблученность (или люксметром освещенность) на нормируемом для растений уровне, которая должна соответствовать нормативам;

– для установок УФ облучения животных и птицы – уфиметром УФ облученность на уровне нахождения животных (птицы) и рассчитать требуемую продолжительность работы установки;

– для ИК обогрева молодняка животных и птицы – температуру воздуха на уровне нахождения животных (птицы) и при необходимости отрегулировать путем изменения высоты подвеса облучателей.

Обслуживание облучательных установок во время эксплуатации осуществляется путем периодического проведения осмотров их состояния и планово-предупредительных ремонтов. Осмотр состояния оборудования и электропроводки, испытание и измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и заземляющих устройств проводятся при вводе установки в эксплуатацию и в дальнейшем по графику, утвержденному ответственным за электрохозяйство.

Техническое обслуживание облучательной установки состоит в регулярной чистке облучателей, замене перегоревших источников, мелком ремонте, производимым по заранее разработанным графикам, а также в период профилактического осмотра и планово-предупредительного ремонта. Периодичность работ по чистке облучателей и проверке технического состояния установок устанавливается ответственным от потребителя за электрохозяйство с учетом местных условий. Типовые операции по техническому обслуживанию и ремонту облучательных установок приведены в табл. 8.1 и 8.2.

Неисправности в облучателях и установках должны быть устранены сразу же после их обнаружения, так как неисправный элемент может явиться причиной пожара или выхода из строя других элементов. Работы по осмотру, проверке и ремонту облучателей и установок должны быть приурочены ко времени их чистки. Если пришедшая в негодность часть облучателя не может быть заменена, заменяется весь облучатель.

Все работы по техническому обслуживанию и ремонту облучательной установки и ее элементов в обязательном порядке должны проводиться при полном соблюдении требований Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей [8]. Любой вид технического обслуживания или ремонта необходимо производить при снятом напряжении с групповой линии и элементов

установки (облучатели, выключатели, переключатели и т. п.), которые подвергается обслуживанию или ремонту. Если конструкция облучателя обеспечивает возможность отключения от питающих проводов всего облучателя или его части, допускается обслуживать отсоединенный облучатель или его часть при наличии напряжения в групповой сети.

Таблица 8.1

Типовые операции при техническом обслуживании облучателей и установок

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 моющим раствором, затем чистой водой и просушить. Протереть источники 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 источников, замена вышедших из строя	Проверить соответствие источника типу облучателя. Если источник не работает, проверить ее, включив в исправную цепь облучателя. Если источник не работает в исправной цепи облучателя – заменить новым
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 прокладок	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 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 8.2

Типовые операции при ремонте облучателей и установок

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 и смазка техническим вазелином
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 мегомметром	Замена проводов и изоляционных конструкций
5. Коррозия металлических поверхностей	Осмотр	Зачистка и окраска поверхностей

После текущего ремонта необходимо произвести испытание облучательной установки, для чего включить облучатель и убедиться в исправности его работы, а так же проверить уровень облученности и сравнить его с нормируемым или расчетным значением.

При контроле над работой облучательной установки составляют график ее работы. При отклонении напряжения на облучателях от номинального более чем на 5% – корректируют режим их работы с целью достижения требуемой экспозиции. Если уровень облученности после чистки и ремонта облучателей менее 30 % нормируемого значения, то производят замену источников ОИ.

8.2. Особенности охраны труда и техники безопасности при обслуживании и эксплуатации установок

Лица, обслуживающие облучательные установки, должны иметь квалификацию по технике безопасности не ниже III группы и периодически в установленном порядке проходить проверку соответствующих знаний. Каждый работник, осуществляющий эксплуатацию и обслуживание установок, обязан знать и выполнять требования

по охране труда, относящиеся к обслуживаемому оборудованию и организации труда на рабочем месте. Персонал должен быть обеспечен спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с нормами в зависимости от характера выполняемых работ и обязан ими пользоваться во время производства работ. Средства защиты, инструмент и приспособления, применяемые при обслуживании и ремонте электроустановок, должны подвергаться осмотру и испытаниям в соответствии с правилами и удовлетворять требованиям соответствующих государственных стандартов и других технических нормативных правовых актов [8].

При работе с действующими установками УФ излучения, особенно с лампами типов ДРТ и ДБ, персоналу, находящемуся в зоне их работы, необходимо надевать очки из дымчатого или толстого бесцветного стекла и избегать облучения незащищенных частей тела. Помещения, в которых работают источники УФ 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 воды могут привести к разрушению раскаленных до высокой температуры колб ламп ДРИ, ДНаТ и им подобных.

Для защиты от возможного поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены меры защиты при косвенном прикосновении в виде защитного заземления или зануления. К частям, подлежащим заземлению, относят: корпуса электрических машин, аппаратов, трансформаторов, облучателей и т.п.; металлические конструкции распределительных устройств, щитов, щитков и шкафов управления; другие металлоконструкции, на которых установлено электрооборудование, кожухи шинопроводов, лотки, короба; тросы, струны и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода; металлические оболочки силовых и контрольных кабелей, проводов и изоляционных трубок, металлические гибкие рукава, стальные трубы с электропроводкой;

вторичные обмотки измерительных трансформаторов; электрооборудование, размещенное на движущихся частях установок и их механизмов; металлические корпуса передвижных и переносных облучателей и установок и др.

При монтаже облучателей на тросах их заземляют (зануляют) не менее чем в 2 точках по концам линии путем присоединения троса к нулевому или заземляющему проводу гибким медным проводником. При использовании ответвительных коробок гибкий проводник с нулевым проводом соединяют в крайних коробках линии. Соединение гибкого проводника с тросом выполняют с помощью ответвительного сжима. Допускается заземлять трос (струну) присоединением (сваркой) свободных концов концевых петель, оставляемых при заготовке тросовой линии и присоединяемых к ответвлениям от магистрали заземления или зануления. Прочие металлические элементы тросовых проводок – вертикальные подвески несущего троса и облучателей, анкерные устройства и натяжные муфты, детали крепления ответвительных коробок, закрепляемые к заземленному несущему тросу, отдельного заземления не требуют.

8.3. Энергосбережение при эксплуатации облучательных установок

Задача рационального использования электроэнергии и снижения затрат на искусственное облучение должна относиться электротехнической службой предприятия (хозяйства) 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 их анализа и обоснованности расходов, а также поиска путей, обеспечивающих наиболее эффективное использование.

Экономия электрической энергии без ущерба для качества работы облучательной установки, как правило, решается за счет:

- реконструкции физически или морально устаревших облучателей и установок;
- применения энергоэкономичных источников ОИ, электронных пускорегулирующих аппаратов и облучателей с оптимальным светораспределением, кривой силы света и высоким значением коэффициента полезного действия;

- обеспечения гибкости управления установками или ее отдельными участками;

- организации качественного технического обслуживания, включающего регулярную чистку облучателей, источников и своевременную их замену;

- принятие мер по снижению перенапряжений в электрической сети.

Мероприятия по рациональному использованию электрической энергии в облучательных установках необходимо реализовывать на всех стадиях их существования – от проектирования новой или реконструируемой, в период эксплуатации и технического обслуживания и до вывода из строя. При этом экономия ни в коем случае не должна решаться путем уменьшения уровня облученности ниже нормируемых и сокращения времени работы установок.

Нельзя достигать мнимой «экономии» электроэнергии за счет отключения части облучателей, сокращения времени работы установок или применения различных регуляторов, уменьшающих потребляемую установками мощность. Любые подобные мероприятия приведут к снижению продуктивности животных (птицы) и эффекта от применения установок, а технологические потери будут значительно превосходить стоимость «экономленной» таким образом электрической энергии.

Важным элементом экономии электрической энергии и снижения затрат в облучательных установках является совершенствование схем питания и распределения электрической энергии, обеспечивающих рациональное размещение пунктов питания и трасс прокладки электропроводов, применение рациональных систем автоматического управления, позволяющих осуществлять своевременное полное или частичное включение и отключение установки при обязательном обеспечении требуемой экспозиции облучения с учетом изменения параметров электрической сети.

Повышение эффективности использования электроэнергии на облучение может быть достигнуто только при условии организации правильной эксплуатации установок на необходимом техническом уровне. Без четко действующей службы эксплуатации любые совершенные установки быстро приходят в негодность и теряют свою первоначальную эффективность.

При обосновании того или иного варианта облучательной установки производят их технико-экономическое сравнение. Методика выполнения технико-экономических расчетов в учебном пособии «Светотехника» [15].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью организуется эксплуатация облучательных установок, и какие проблемы она решает?
2. Какие работы выполняются при техническом обслуживании облучательной установки? Кем устанавливается их периодичность обслуживания, и какими факторами она определяется?
3. Приведите характерные неисправности оборудования облучательных установок и способы их устранения.
4. Приведите известные Вам операции, выполняемые при ремонте облучателей и установок.
5. Поясните основные меры электробезопасности, производственной санитарии и экологии, которые необходимо соблюдать при эксплуатации облучательных установок.
6. За счет проведения каких мероприятий повышается эффективность использования и рациональная экономия электрической энергии в облучательных установках?

ЛИТЕРАТУРА

1. Баев, В. И. Практикум по электрическому освещению и облучению: учебное пособие / В. И. Баев. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 286 с.
2. ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) Стандартные напряжения.
3. Жилинский, Ю. М. Электрическое освещение и облучение: учебное пособие / Ю. М. Жилинский, В. Д. Кумин. – Москва : Колос, 1982. – 272 с.
4. Козинский, В. А. Электрическое освещение и облучение: учебное пособие / В. А. Козинский. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 239 с.: ил.
5. Лямцов, А. К. Электроосветительные и облучательные установки / А. К. Лямцов, Г. А. Тищенко. – Москва : Колос, 1983. – 224 с.
6. Николаенок, М. М. Расчеты осветительных и облучательных установок сельскохозяйственного назначения: учебное пособие / М. М. Николаенок, Е. М. Заяц. – Минск : Лазурек, 2000. – 154 с.
7. Общесоюзные нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады. ОНТП-С.Х. 10–81. – Москва : Колос, 1982. – 74 с.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок / Л. Г. Лунина, Я. В. Шафинович. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
9. Правила устройства электроустановок (седьмое издание). – Москва : Омега-Л, 2007. – 268 с.
10. Р 3.5.1904-04 Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях. Санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации. – Москва : Технорматив, 2005.
11. Рекомендации по инфракрасному обогреву молодняка сельскохозяйственных животных и птицы. – Москва : Колос, 1979. – 31 с.

12. Рекомендации по применению ультрафиолетового излучения в животноводстве и птицеводстве. – Москва : Колос, 1979. – 32 с.

13. Степанцов, В. П. Светотехническое оборудование в сельскохозяйственном производстве: справочное пособие / В. П. Степанцов. – Минск : Ураджай, 1987. – 216 с.: ил.

14. Степанцов, В. П. Электрооборудование и автоматизация животноводческих и птицеводческих помещений / В. П. Степанцов. – Ленинград : Колос, 1983. – 88 с.

15. Степанцов, В. П. Светотехника: учебное пособие / В. П. Степанцов, Р. И. Кустова – Минск : БГАТУ, 2012. – 568 с.: ил.

16. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве / Д. Н. Быстрицкей, Н. Ф. Кожевников, А. К. Лямцов, В. П. Муругов. – Москва : Энергия, 1981. – 152 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица

Технические параметры витальных и бактерицидных ламп низкого давления

Тип лампы	P, Вт	U, В	I, А	Поток			Срок службы, тыс.ч	Размеры, мм	
				Фс, лм	Фв, мвигт	Фб, мбк		Длина	Диаметр
ЛЭ15	15	127	0,33	40	30	55	5,0	451,1	30
ЛЭ015	15	127	0,33	650	110	-	5,0	451,1	30
ЛЭ30	30	220	0,365	110	750	125	5,0	908,8	30
ЛЭ030	30	220	0,365	1350	270	-	5,0	908,8	27
ЛЭ040	40	220	0,43	1850	370	-	5,0	1213,6	40
ЛЭР40	40	220	0,43	120	1600	-	3,0	1213,6	40
ДБ15	15	127	0,33	60	-	2500	5,0	451,6	30
ДБ30-1	30	220	0,36	140	35	6600	5,0	908,8	30
ДБ36	36	220	0,38	-	-	10500	7,5	860	16
ДБ60	60	220	0,7	180	41	8000	5,0	908,8	30
ДРТ230	230	127	3,25	-	-	6700	2,0	190	20
ДРТ400	400	220	3,8	8000	4750	10 000	2,0	265	22
ДРТ1000	1000	220	7,5	3300	16 500	39 500	2,7	350	32
ДРВЭД2 20-160	160	220	-	1600	350	-	1,5	190	127
ДРВЭД2 20-250	250	220	-	3250	600	-	1,5	190	127

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица

Технические параметры ламп для досвечивания растений

Тип лампы	P, Вт	U, В	Поток			Срок службы, тыс.ч	КПД ФАР, %	Размеры, мм	
			Фс, клм	Фв, фит	Фб, фит			Длина	Диаметр
ЛФ40-1	40	220	1,68	4,22	12,0	15,0	1199,4	40	
ЛФ40-2	40	220	1,6	4,35	5,0	15,0	1199,4	40	
ЛФР150	150	220	-	*)	6,0	15,0	1524	40	
ДРЛФ400	400	220	16,0	17,6	6,0-7,0	10,0	368	152	
ДРФ1000	1000	220	-	90-100	1,5-2,0	20,0	342	208	
ДРЛ2000	2000	380	120,0	-	6,0	15,0	445	187	
ДРВ750	750	220	24,0	22	2,0	7,0-8,0	368	152	
ДРИ1000-1	1000	220	70,0	-	3,0	-	405	80	
ДРИ2000-2М	2000	380	155,0	204	1,0	30,0	485	100	
ДРИ2000-6	2000	380	190,0	294	1,5	29,0	420	100	
ДРОТ2000	2000	380	120,0	204	3,0	20,6	-	-	
ДМ33000	3000	380/220	240,0	497	1,5	28,5	470	190	
ДМ46000	6000	380/220	540,0	-	-	25,0	-	-	
ДНТ400	400	220	46,0	62	0,5	27,0	240	58	
ДЖсТ10000	10 000	220	250,0	-	0,8-1,0	13	1260	26	

Примечание. *) Сила света 11,5 ккд.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица

Технические параметры ИК ламп-термоизлучателей

Тип лампы	U, В	P, Вт	Размеры, мм		Срок службы, тыс. ч	Тип цоколя
			Диаметр	Длина		
ИКЗК127-250	127	250	130	195	6	E27
ИКЗС127-250-1	127	250	130	195	6	E27
ИК3127-250	127	250	130	215	6	E40
ИК3127-500	127	500	180	267	6	E40
ИК3127-500-1	127	500	130	215	6	E40
ИКЗК220-250	220	250	130	195	6	E27
ИКЗС220-250-1	220	250	130	195	6	E27
ИК3220-250	220	250	130	215	6	E40
ИК3220-500	220	500	180	267	6	E40
ИК3220-500-1 ^{*)}	220	500	130	215	6	E40

Примечание. ^{*)} Лампа ИК3220-500-1 имеет уменьшенные размеры – такие же, как у инфракрасных ламп-термоизлучателей мощностью 250 Вт.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица

Технические параметры галогенных ламп-термоизлучателей

Тип лампы	U, В	P, кВт	Срок службы, тыс. ч	Размеры, мм	
				Диаметр	Длина
КГТ220-600	220	0,6	2,0–2,4	12	500
КГТ220-1000	220	1,0	–	12	500
КГТ220-1000-1	220	1,0	10,0	12	375
КГТ220-1500	220	1,5	2,0–2,4	10,75	400
КГТД220-600	220	0,6	2,0–2,2	12	500
КГТД220-1000	220	1,0	2,0–2,2	12	500
КГТО220-2500	220	2,5	2,0–2,2	12	375
КГТО220-2500-1	220	2,5	2,0	12	440
КГТО220-2500-2	220	2,5	2,0–2,2	12	470

Примечание. Для ламп-термоизлучателей типа КГТО длина приведена без учета отогнутых концов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица

Рекомендуемые суточные дозы экспозиции сельскохозяйственных животных и птицы

Вид животных и птицы	Витальная экспозиция, мвит·ч·м ⁻²	Допустимая витальная облученность, мвит·м ⁻²
Коровы и быки-производители	270–290	930
Телята старше 6 месяцев	160–180	570
Телята до 6 месяцев	120–140	430
Телки и нетели	180–210	570
Поросята-сосуны	20–25	83
Поросята отъемыши	60–80	230
Поросята на откорме и свиноматки	60–80	–
Куры-несушки при содержании на полу	20–25	–
Куры несушки при клеточном содержании	40–50	150
Цыплята при содержании на полу	15–20	58
Цыплята при содержании в клетках	20–25	58
Овцематки	245–260	–
Ягнята от 3-ох дневного возраста и до отбивки	220–240	–

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица

Рекомендуемые значения времени работы и высоты подвеса ультрафиолетовых облучателей и установок

Вид и возрастная группа животных и птицы	Облучатели типа ЭО1-30М, ЭО-1, ЭО-2 и им подобные		Облучатель ОЭС102-2х40 и ему подобные		Облучатели ОРК-2, ОРКШ и им подобные		Подвижные установки (например, типа УО-4) и им подобные	
	ВП от пола	ДЛ	ВП от пола	ДЛ	ВП от спины	КП	ВП от спины	КП
Телята до 6 месяцев	2,0–2,2	3,0–3,5	2,2–2,5	2,0–2,5	1,5	15–20	1,5	2
Телята старше 6 месяцев	2,0–2,2	3,5–4,0	2,2–2,5	2,5–3,0	1,5	20–25	1,5	2
Телки и нетели	2,0–2,2	4,0–4,5	2,2–2,5	3,0–3,5	1,0	15–20	1,0	3
Коровы и быки	2,0–2,2	4,5–5,0	2,2–2,5	3,0–4,0	1,0	25–30	1,0	3
Поросята-сосуны	1,8–2,0	1,0–1,5	–	–	1,5	5	–	–
Поросята отъемыши	1,8–2,0	2,0–2,5	–	–	1,5	10	1,5	1
Поросята на откорме и свиноматки	1,8–2,0	2,5–3,0	–	–	1,5	10	1,5	1
Ягнята от 3-ох дневного возраста и до отбивки	1,8–2,0	4,0–5,0	–	–	1,5	30–35	–	–
Овцематки	1,8–2,0	5,0–6,0	–	–	1,5	35–40	1,5	4
Цыплята при содержании на полу	2,0–2,2	1,0–1,5	–	–	2,0	5	2–2,2 (от пола)	1 через сутки
Куры-несушки при содержании на полу	2,0–2,2	2,5–3,0	–	–	2,0	10	2–2,2 (от пола)	1
Облучение яиц перед инкубацией	–	–	–	–	0,8 (от лотка)	2–3	–	–
Птица в первые дни после выведения	–	–	–	–	1	5 ^{*)}	–	–

Примечания: 1) ВП от пола – высота подвеса облучателей от пола, м; ДЛ – длительность облучения в сутки, час; ВП от спины – высота подвеса от спины животных, м; КП – количество проходов в сутки.
2) ^{*)} После выемки из инкубатора и повторно перед отправкой

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица

Показатель поглощения среды

Среда	Источник	Показатель поглощения, м ⁻¹
Вода	Родник, колодец с хорошей фильтрацией	15
	Артезианские колодцы, глубокие горизонты	10
	Поверхностные источники	20–30
Воздух	Нормальная среда	0,05–0,07
	Запыленная среда	0,02–0,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Таблица

Значения коэффициентов отражения бактерицидных лучей с длиной волны 253,7 нм

Материал отражателя	Коэффициент отражения, отн. ед.
Алюминий:	
– необработанная поверхность	0,40–0,60
– обработанная поверхность	0,60–0,90
– нанесенный на стекло	0,75–0,85
Краска алюминиевая	0,55–0,75
Сталь нержавеющая	0,25–0,30
Жесть белая	0,25–0,30

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Таблица

Ориентировочные расчетные значения
коэффициента сопротивляемости бактерий

Тип бактерий и спор	Значение коэффициента сопротивляемости бактерий H_b , $\text{мкб} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$
«Коли»	$2,4 \cdot 10^4$
«Грибок кониды»	$6,6 \cdot 10^4$
«Сенная палочка»	$10,7 \cdot 10^4$
«Стафилококк»	$4,7 \cdot 10^4$
«Плесень»	$9,9 \cdot 10^4$

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Таблица

Рекомендуемая высота подвеса облучателей установок ИКУФ-1 и ИКУФ-1М
над полом или поликом клеток при выращивании молодняка птицы, м

Вид и возраст молодняка, сут	Температура воздуха в помещении, °С			
	16–18	20	22	24–26
Цыплята				
1–5	0,6	0,6	0,7	0,8
6–12	0,6	0,7	0,8	0,9
13–21	0,7	0,8	0,9	1,0
22–30	0,8	0,9	1,0	–
Индюшата				
1–5	–	0,6	0,6	0,7
6–10	0,6	0,6	0,7	0,8
11–15	0,6	0,7	0,8	0,9
16–30	0,7	0,8	0,9	1,0
Утята				
1–10	0,7	0,8	0,9	1,0
11–20	0,8	0,9	1,0	–
21–30	0,9	1,0	–	–
Гусята				
1–20	0,7	0,8	0,9	1,0
21–30	0,8	0,9	1,0	–

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Окончание таблицы

Таблица

Зависимость напряжения питания инфракрасных ламп от их высоты подвеса, угла наклона, вида и возраста животных и птицы

Вид животных и птицы	Возраст в днях	T, °C	Значение напряжения*) питания при угле наклона инфракрасных ламп								
			45°			68°			90°		
			Высота подвеса облучателей над спинкой животных и птицы, м								
			0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Утята	1-10	18-20	3	5	5	3	3	5	3	5	
		21-22	1	1	3	1	1	3	1	3	
		23-24	-	-	1	-	-	1	-	1	
Цыплята	1-5	20	5	-	-	5	-	-	5	-	
		22	3	5	-	3	5	-	3	5	
		24	3	5	5	1	3	5	1	3	
	6-12	18	5	-	-	5	5	-	5	5	
		20	3	5	5	1	3	5	1	3	
		22	1	3	5	1	3	3	-	1	
	1-21	16	5	-	-	5	-	-	5	5	
		18	3	5	5	3	3	5	3	3	
		20	1	3	3	1	1	3	-	1	
Индюшата	1-5	22	5	-	-	5	-	-	5	-	
		24	5	5	5	3	5	5	3	5	
		26	3	3	5	3	3	5	3	3	
	6-12	20	5	-	-	5	-	-	5	5	
		22	3	5	5	3	5	5	3	3	
		24	3	3	5	3	3	5	1	3	
Гусята	1-10	18	3	3	5	3	3	5	3	5	
		20	1	1	3	1	1	3	1	3	
		22	-	1	1	-	-	1	-	1	
Поросята	1-13	10-15	5	-	-	5	-	-	5	-	
		16-18	3	5	-	3	5	-	3	5	
		20	1	3	5	1	3	3	2	3	
	> 14	8-10	5	-	-	5	-	-	5	-	
		12-14	3	5	-	3	5	-	3	5	
		15-18	1	3	5	1	3	5	1	3	
		20	-	1	3	-	1	3	-	1	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поросята	Отъемыши	8-10	5	5	-	5	-	-	5	-
		12-14	3	5	5	3	5	-	3	5
		15-18	1	3	3	1	3	5	1	3
		20	-	1	3	-	1	3	-	1
Телята	1-20	5-7	5	-	-	5	-	-	5	-
		8-10	3	5	5	3	5	5	3	5
		11-14	1	3	5	-	3	3	1	3
	> 20	5-7	5	5	-	5	5	-	5	5
		8-10	3	3	5	3	3	5	3	3
		11-14	-	1	3	-	1	-	-	1
Ягнята	1-10	5-6	5	-	-	5	5	-	5	5
		7-8	3	3	5	1	3	3	1	3
		9-10	1	1	3	-	1	1	-	1
	> 10	11-14	-	1	1	-	-	1	-	1
		0	5	5	-	5	5	5	5	5
		5-6	3	3	5	1	3	3	1	5
7-8	-	1	3	-	1	1	-	1		

Примечания: 1) T, °C – температура воздуха в помещении. 2) *) Цифрами 1, 3 и 5 обозначено напряжение питания инфракрасных ламп: 1 – 130 В ± 10 %; 3 – 170 В ± 10 %; 5 – 210 В ± 10 %.

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Окончание таблицы

Таблица

Спектр люминесценции сельскохозяйственных продуктов под воздействием ультрафиолетового излучения

Наименование продукта	Цвет люминесценции	Характеристика продукта
Зерно пшеницы	Зеленый Синий, голубой Желтый	Свежее зерно нового урожая Хорошее зерно Неполноценное зерно, пострадавшее от сырости
Зерно овса	Золотисто-желтый Коричневый	Сорт «Золотой сорт» «Коммунар»
Зерно гороха	Розовый С коричневыми зернами Серый	Здоровое зерно Смесь гороха с пелюшкой Подмоченное зерно
Зерно кукурузы	Ярко-голубой Буро-коричневый	Здоровое зерно Подмоченное зерно
Фасоль	Белое свечение Темные пятна	Нормальная Пораженная серой гнилью
Мука пшеничная	Фиолетовый С темно-оранжевыми точками	С присутствием спорыньи
Мука ржаная	Синеватый	С частицами спорыньи
Мука ячменная	Матово-белый	Нормальная
Масло подсолнечное	Голубой с зеленоватым оттенком	Нормальное
Масло льняное	Бледно-голубой	Нормальное
Масло сливочное	Канареечно-желтый	Нормальное
Свиное сало	Не флюоресцирует	Нормальное
Говядина	Темно-красный С ярко-розовыми точками	Нормальное Мясо, зараженное личинками ленточных глистов
Рыба (лещ, треска, севрюга)	Яркий белый цвет Оранжевые участки и пылающие красные пятна	Лежалая рыба Явная порча

Наименование продукта	Цвет люминесценции	Характеристика продукта
Куриные яйца	Красный Слабое голубое свечение	Свежеснесенные Лежавшие не менее двух недель
Лук (луковица в разрезе)	Однородное фиолетовое свечение Неоднородное, желтовато-беловатый цвет	Нормальный Заболевание серой гнилью
Картофель в разрезе	От ярко-желтого до серовато-коричневого Отдельные места среза светятся ярко-голубым цветом Черные пятна с голубыми краями	Здоровый Скрытое заболевание фитофторой, при обычном свете не заметное. К хранению не пригоден. Сильная степень поражения фитофторой

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Воздействие отдельных участков спектра оптического излучения на живые организмы и растения	6
1.1. Воздействие оптического излучения на живые организмы и растения, сфера его использования в сельскохозяйственном производстве	6
1.2. Фотобиологическое действие оптического излучения	11
1.3. Закономерности взаимодействия оптического излучения с приемниками	13
1.4. Образцовые приемники и системы эффективных величин измерения оптического излучения	16
1.5. Классификация облучательных установок	21
1.6. Облученность горизонтальной поверхности, сферы и цилиндра	23
Контрольные вопросы	28
2. Специальные источники оптического излучения	30
2.1. Газоразрядные источники оптического излучения	30
2.2. Источники инфракрасного излучения	37
2.3. Твердотельные источники оптического излучения	39
Контрольные вопросы	40
3. Установки ультрафиолетового облучения животных и птицы	42
3.1. Конструкция установок ультрафиолетового облучения и их характеристики	42
3.2. Светотехнический расчет установок ультрафиолетового облучения	51
3.3. Особенности автоматического управления установками ультрафиолетового облучения	63
Контрольные вопросы	66

Практическое занятие 1. Расчет установок ультрафиолетового облучения животных и птицы	68
--	----

4. Установки ультрафиолетового обеззараживания воды и воздуха	73
4.1. Способы обеззараживания воды	73
4.2. Понятия степени обеззараживания и средней бактерицидной облученности	75
4.3. Установки для ультрафиолетового обеззараживания воды	76
4.4. Расчет установок ультрафиолетового обеззараживания воды	79
4.5. Бактерицидные ультрафиолетовые установки для обеззараживания воздуха	84
4.6. Расчет установок для обеззараживания поверхностей и семян ..	89
Контрольные вопросы	89

Практическое занятие 2. Расчет установок ультрафиолетового облучения воды и воздуха	91
--	----

5. Установки инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы	93
5.1. Облучатели для инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы	95
5.2. Расчет установок инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы	100
5.3. Комбинированные установки инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения животных и птицы	108
5.4. Особенности управления установками инфракрасного обогрева	115
Контрольные вопросы	118

Лабораторная работа 1. Исследование распределения инфракрасной облученности, создаваемой облучателями на горизонтальной поверхности	120
--	-----

Лабораторная работа 2. Исследование режимов работы комбинированных установок для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения	124
--	-----

Практическое занятие 3. Расчет установок инфракрасного обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы	128
--	-----

6. Установки для облучения растений в условиях защищенного грунта	130
6.1. Фотосинтез и требования, предъявляемые к тепличным облучателям	131
6.2. Облучатели и установки для облучения растений в условиях защищенного грунта	134
6.3. Расчет установок для облучения растений	143
Контрольные вопросы.....	149
Лабораторная работа 3. Исследование электрических и светотехнических характеристик тепличных облучателей	151
Практическое занятие 4. Расчет тепличных облучательных установок.....	157
7. Перспективы использования оптического излучения в технологических процессах сельскохозяйственного производства	159
7.1. Использование инфракрасного излучения в технологических процессах сушки, нагрева и переработки продукции	159
7.2. Использование оптического излучения при люминесцентном анализе сельскохозяйственной продукции	163
7.3. Энергоэффективные технологии использования оптического излучения в процессах сельскохозяйственного производства	166
Контрольные вопросы.....	172
Лабораторная работа 4. Исследование рабочих параметров установок для люминесцентного анализа сельскохозяйственной продукции	174
8. Особенности эксплуатации облучательных установок	178
8.1. Особенности приема в эксплуатацию, обслуживания и ремонта облучательных установок.....	179
8.2. Особенности охраны труда и техники безопасности при обслуживании и эксплуатации установок	183
8.3. Энергосбережение при эксплуатации облучательных установок.....	185
Контрольные вопросы.....	187
Литература	188
Приложения	190

Учебное издание

Степанцов Вячеслав Павлович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *В. П. Степанцов*

Редактор *В. А. Гошко*

Компьютерная верстка *В. А. Гошко*

Подписано в печать 20.04.2012 г. Формат 60×84^{1/16}.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 12,09. Уч.-изд. л. 9,45. Тираж 300 экз. Заказ 415.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет».

ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.

ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.

Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.