

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ ПЕТРА ВАСИЛЕНКО**

**КУНДЕНКО Н. П.,  
ГАВРИЛОВ П. В.  
КУНДЕНКО А. Н.**

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ  
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ  
КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

**Монография**

**Харьков  
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ ПЕТРА ВАСИЛЕНКО

КУНДЕНКО Н. П.,  
ГАВРИЛОВ П. В.  
КУНДЕНКО А. Н.

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ  
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ  
КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

Монография

*Рекомендовано*

*использовать на широкий круг читателей: студентов ВУЗов и техникумов  
сельскохозяйственного профиля, аспирантов, научных сотрудников*

Харьков  
2017

**УДК 631.172**

**ББК 40.76**

**Е 45**

Выписка из протокола ученого совета Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко от 2 апреля 2017 г № 5

**Рецензенты:**

**Червинский Л. С.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электропривода и электротехнологий Национального университета биоресурсов и природоиспользования Украины (г. Киев)

**Яковлев В. Ф.**, к.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехнических систем в АПК и физики Сумского национального аграрного университета (г. Сумы)

**ISBN**

**Е 45 Разработка и внедрение технологий и технических средств рационального использования оптического излучения на фермах и комплексах крупного рогатого скота: монографія / Н. П. Кунденко,**

**П. В. Гаврилов**, А. Н. Кунденко. – Харків: ТОВ «Планета-прінт», 2017. – 231 с.

Проведен системный анализ использования энергии ОИ в основных технологических процессах содержания КРС. Разработаны методики и экспериментальные светотехнические установки и проведено комплексное исследование по определению влияния уровней освещенности и длительности облучения на основные показатели продуктивности и здоровья животных. Созданы комбинированные светотехнические приборы, которые наряду с выполнением основных функций используются для приманки и уничтожения летающих насекомых. Предложено новое оборудование, позволяющее провести автоматическое опознание животных в доильных залах и устройства для создания комфортных условий труда животноводов, работающих в энергосберегающих режимах. Разработан и экономически обоснован наиболее выгодный интервал периодичности чисток ламп и светильников, соответствующий 1 разу в месяц. Предложены наиболее быстро реализуемые в настоящих условиях способ и схема утилизации газоразрядных ртутесодержащих ламп. Разработаны специальные устройства и установки для выращивания зеленой подкормки, пастеризации молока, санитарной обработки вымени коров, в которых решены вопросы утилизации тепла.

Монография рассчитана на широкий круг читателей: студентов ВУЗов и техникумов сельскохозяйственного профиля, аспирантов, научных сотрудников.

**УДК 631.172**

**ISBN 978-617-7229-99-4**

© Кунденко Н. П., Кунденко А. Н.,  
Гаврилов П. В

© Харьковский национальный  
технический университет  
сельского хозяйства имени Петра  
Василенко (г. Харьков), 2017.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ.....	15
1.1 Предпосылки использования оптического излучения на животноводческих фермах при производстве молока.....	15
1.2 Анализ результатов использования оптического излучения на молочных фермах.....	16
1.3 Основные технологические операции на фермах при производстве молока.....	21
1.4 Источники оптического излучения и светотехнические приборы для животноводческих помещений.....	24
1.5 Состояние осветительных установок помещений ферм молочного направления.....	31
1.6 Действие оптического излучения на животных.....	36
1.7 Цель и задачи диссертационной работы.....	43
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОКА.....	45
2.1 Методика оценки действия оптического излучения на животных.....	45
2.2 Методика оценки действия оптического излучения на человека.....	46
2.3 Экспериментальные осветительные установки помещений для беспривязного содержания молочных коров.....	47
2.4 Устройство экспериментальных установок для привязного содержания молочных коров.....	52
2.5 Экспериментальные осветительные установки доильных залов.....	54
2.6 Экспериментальные осветительные установки телятников.....	58
2.7 Электрические схемы управления экспериментальными светотехническими установками.....	60
2.8 Моделирование технологических процессов облучения животных на фермах крупного рогатого скота.....	67
2.9 Планирование экспериментальных исследований.....	71
2.10 Заключение (выводы).....	72

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРС И РАЗРАБОТКА НОВЫХ СПОСОБОВ ОСВЕЩЕНИЯ.....	73
3.1 Результаты экспериментальных исследований по воздействию оптического излучения на молочных коров при беспривязном содержании и способ их освещения.....	73
3.2 Разработка способа освещения молочных коров привязного содержания.....	82
3.3 Результаты исследований по определению влияния уровней освещенности на операторов машинного доения.....	84
3.4 Способ освещения телят.....	87
3.5 Разработка способов стимуляции молочных коров во время доения.....	91
3.6 Применение когерентного излучения в доильных залах молочных ферм.....	93
3.7 Математическое моделирование влияния уровней освещённости на технологические процессы содержания молочных коров.....	101
3.8 Заключение (выводы).....	107
4. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ НОРМИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	108
4.1 Общие положения.....	108
4.2 Облученность плоской поверхности точечным и линейным излучателями.....	110
4.3. Облученность цилиндрической поверхности от точечного и линейного излучателя.....	114
4.4 Сила излучения ИК-излучателей.....	120
4.5 Сравнение расчетных полей облученности с экспериментальными данными.....	122
4.6 Расчет коэффициента теплоотдачи от облучаемых поверхностей.....	124
4.7 Нормирование облученности биологических объектов при облучении инфрокрасным излучением.....	128
4.8 Заключение (выводы).....	129
5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТОК НОВЫХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕХНОЛО-ГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ.....	130
5.1. Сопоставительный анализ и выбор перспективных схем	

включения источников излучения.....	130
5.2 Разработка экономичных схем включения ламп в светотехнических установках.....	134
5.3 Светотехнические установки для динамического изменения параметров осветительных установок.....	140
5.4 Заключение (выводы).....	147
6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ФЕРМ И КОМПЛЕКСОВ КРС.....	148
6.1 Установление экономически целесообразной периодичности чисток светильников в коровниках.....	148
6.2. Разработка рекомендаций по ремонту светильников и утилизации разрядных ламп в условиях сельскохозяйственного производства.....	151
6.3. Новые способы эксплуатации светотехнических установок сельскохозяйственного назначения.....	155
6.4 Новые функции пускорегулирующих аппаратов в светотехнических приборах сельскохозяйственного назначения.....	158
6.5 Экономическая эффективность использования новых технологий и технологических светотехнических средств на фермах и комплексах крупного рогатого скота.....	160
6.6 Заключение (выводы).....	161
7. РАЗРАБОТКА НОВЫХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И УСТАНОВОК.....	163
7.1 Новые светотехнические приборы.....	163
7.2 Приборы и устройства для повышения эффективности действия оптического излучения.....	167
7.3 Светотехнические приборы для уничтожения летающих насекомых.....	171
7.4 Светотехническое оборудование и установки для доильных залов.....	178
7.5 Разработка и совершенствование индуктивно-емкостных схем включения ламп с групповыми элементами пускорегулирующей аппаратуры.....	188
7.6 Новые эффективные схемы включения разрядных ламп.....	191
7.7 Разработка светотехнических устройств для выращивания зеленой подкормки.....	193
7.8 Устройство для пастеризации молока с помощью инфракрасного излучения.....	197
7.9 Устройство для санитарной обработки вымени.....	199
7.10 Новые функции пускорегулирующих аппаратов, применяемых в светотехнических приборах и установках на фермах.....	200
7.11 Заключение (выводы).....	201
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	202
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ПЕРВОИСТОЧНИКОВ.....	204

ПРИЛОЖЕНИЯ	218
ПРИЛОЖЕНИЕ А СХЕМА МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЖИВОТНЫХ ПРИ ИХ ОБЛУЧЕНИИ.....	219
ПРИЛОЖЕНИЕ Б МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОЛОЧНЫХ КОРОВ ПРИВЯЗНОГО СОДЕРЖАНИЯ.....	220
ПРИЛОЖЕНИЕ В СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПУЛЬТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ ТЕЛЯТНИКА НА 600 ГОЛОВ.....	221
ПРИЛОЖЕНИЕ Г ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЖИВОТНЫХ ПРИ БЕСПРИВЯЗНОМ СОДЕРЖАНИИ.....	223
ПРИЛОЖЕНИЕ Д РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ УРОВНЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ 10, 150 И 300 ЛК НА МОЛОЧНЫХ КОРОВ ПРИ ПРИВЯЗНОМ СОДЕРЖАНИИ И АВТОМАТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ СТУ.....	226
ПРИЛОЖЕНИЕ Е К РАСЧЕТУ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	229

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

СХП – сельскохозяйственное производство,  
ОИ – оптическое излучение,  
УФИ – ультрафиолетовое излучение,  
ИК – инфракрасное излучение,  
СТУ – светотехнические установки,  
СТП – светотехнические приборы,  
КРС – крупный рогатый скот,  
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом,  
ОУ – осветительная установка,  
НД – низкого давления,  
ВД – высокого давления,  
ЛН – лампа накаливания,  
РЛ – разрядная лампа,  
ОП – осветительный прибор,  
ЛЛ – люминесцентная лампа,  
ПРА – пускорегулирующие аппараты,  
ПАУ – пульт автоматического управления,  
ЭУИ – электроустановочные изделия,  
ИОИ – источник оптического излучения,  
УОИ – устройство обмена информации,  
СМ – силовой модуль,  
П – программатор,  
Т – температура,  
ВВ – влажность воздуха,  
ЗГ – загазованность,  
ЗП – запыленность,  
СДВ – скорость движения воздуха,  
МЗ – микробная загрязненность,  
А – акустика,  
Мж – живая масса,  
Мт – масса тела,  
ССИ – спектральный состав излучения,  
И – интенсивность,  
ДО – длительность облучения,  
Д – доза,  
ППИ – пульсация потока излучения,  
НО – неравномерность облучения,  
ОО – ослепленность объекта,  
Я – яркость,  
СИ – стабильность излучения,  
К – кормовые параметры,  
Э – эксплуатационные параметры,

С – социальные параметры,  
Е – освещенность,  
П – показатели,  
М<sub>д</sub> – машинное доение,  
И<sub>м</sub> – интенсивность молоковыведения,  
Р<sub>д</sub> – ручной додой,  
В<sub>н</sub> – валовый надой,  
Р<sub>э</sub> – расход электроэнергии,  
У – утомляемость,  
БАТ – биологически активные точки,  
ЛИ – лазерное излучение,  
Р<sub>к</sub> – расход кормов.

## ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая потребность в качественных сельскохозяйственных продуктах, в частности, молоке и мясе, привела к необходимости концентрации большого количества животных в закрытых помещениях современных ферм и комплексов.

Получение исходного мясомолочного продукта начинается в сфере сельскохозяйственного производства (СХП) и сопряжено с решением целого ряда связанных между собой технологических операций, обеспечивающих его количественные и качественные показатели: кормления, доения, обеспечения необходимых параметров микроклимата и экологической чистоты, борьбы с заболеваниями и летающими насекомыми и т.д.

Решение вопросов кормовой базы как одной из основ получения на молочных фермах главного продукта – молока, ставит задачи по выявлению дополнительных резервов повышения продуктивности, показателей здоровья животных и санитарно-гигиенических норм. В этом плане существенное значение имеет состояние микроклимата внутри помещений, причем оптическое излучение (ОИ) занимает одно из ведущих мест и является наименее изученным фактором. Парадоксальность данной ситуации заключается в том, что фотобиологическое действие ОИ на биологические объекты достаточно широко изучено на различных уровнях как биофизиками, так и зоологами (М. Юрков, П. Г. Костюк, Д. М. Гроздинский, Л. С. Червинский, 1980 - 1995), однако широкого применения теоретические и экспериментальные исследования последних лет в практике не нашли. Для этого достаточно проанализировать нормативные документы, регламентирующие применение ОИ при получении мясомолочной продукции и действующие в настоящее время.

К таким документам относятся отраслевые нормы освещенности СХ помещений и рекомендации по применению ультрафиолетового (УФ) и инфракрасного (ИФ) излучений (1979 г.).

Во-первых, эти документы практически не связаны между собой, что не позволяет говорить о реальном рациональном использовании ОИ и электроэнергии в светотехнических установках (СТУ) для животноводства.

Во-вторых, не установлены рациональные пределы интенсивности излучений, отсутствуют достоверные сведения о связях облученности и заболеваемости молодняка, освещенности и молочной продуктивности коров, прироста массы телят, что не позволяет осуществить рациональные технологии содержания животных, улучшить зооветеринарные показатели при обеспечении максимального выхода продукции и создать комфортные условия труда человеку.

В-третьих, практически отсутствуют надежные СТУ и светотехнические приборы (СТП), обеспечивающие надлежащие уровни освещения и облучения, при которых животные гарантированно выдавали бы максимум продукции.

В-четвертых, известно, что применение ОИ на вспомогательных операциях технологических процессов производства молока, однако такие СТУ

и устройства не связаны с общими технологическими процессами, протекающими в здании.

В-пятых, практически полностью не использовано воздействие ОИ на человека, как фактор, стимулирующий производительность труда. Световая среда помещений для производства молока не является комфортной для человека, что не реализует его возможностей и отрицательно сказывается на состоянии здоровья трудящихся.

Следует отметить, что в работах ряда исследователей описано много экспериментов по установлению отмеченных выше связей (А. К. Лямцов, Л. К. Алферова, Е. Ф. Кожевникова, 1980, В. М. Юрков, 1991), однако практического завершения эти работы не нашли, так как исследователи пытались разработать СТП и СТУ универсальными, с возможностью применения в любых сельскохозяйственных помещениях. Такой подход не учитывает особенностей технологических процессов получения молока, говядины, свинины, птицы и т.д.

Кроме того, отсутствуют данные о влиянии УФ излучения на продуктивность молочных коров в сочетании с уровнями видимого излучения, а применяемые в технологических процессах СТП и облучатели отличаются низким к.п.д., малой надежностью в работе, высоким энергопотреблением, малыми сроками службы и являются весьма трудоемкими в обслуживании.

На основе вышеизложенного можно утверждать, что проведение комплексных исследований, направленных на выявление взаимосвязей по воздействию ОИ на животных и человека с учетом вопросов энергосбережения, экологии при использовании в закрытых помещениях, являются актуальными.

**Цель и задачи работы.** Целью настоящей работы является научные обоснования, разработка и внедрение новых технологий и светотехнических средств для различных способов содержания животных при производстве молока и создание комфортных условий труда человека, увеличение продуктивности животных, показателей здоровья с минимальными затратами электроэнергии.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести системный анализ использования энергии ОИ в основных технологических процессах при производстве молока и существующих технологических средств их обеспечения с учетом энергозатрат, вопросов экологии и производственной деятельности человека;

- разработать методики и экспериментальные установки для определения эффективности действия ОИ широкого диапазона спектра на сельскохозяйственных животных при производстве молока и работе человека с учетом требований энергоснабжения, минимума расхода материальных ресурсов и сохранения экологически чистой окружающей среды и конечной продукции;

- провести экспериментальные исследования по определению воздействия ОИ на показатели продуктивности сельскохозяйственных

животных и производительности труда человека при различных способах содержания КРС, разных режимов освещения и облучения;

- обосновать рациональные режимы освещения и облучения в помещениях КРС при различных способах содержания животных с учетом труда человека;

- разработать математические модели влияния уровней освещения и облучения в помещениях КРС при различных способах содержания животных с учетом труда человека;

- разработать технические требования к СТУ для их реализации;

- разработать новые технологические операции с использованием ОИ для повышения продуктивности животных, снижения энергозатрат и повышения производительности труда человека;

- разработать и внедрить новые конструкции осветительно-облучательной техники, пускорегулирующих аппаратов и устройств для управления СТУ в ручном и автоматическом режимах для использования технологического графика производственных операций на фермах при производстве молока;

- оценить эффективность применения новых способов содержания животных и светотехнических средств на фермах и комплексах КРС, разработать предложения для включения нормативно-технической документации.

Объект исследования: влияния ОИ на молочных коров и человека.

Предмет исследований: экспериментальное обоснование новых технологий и технических средств облучения.

**Методы исследования.** При выполнении работы использованы:

- теоретические методы электротехники, светотехники, экономического прогнозирования;

- анализ и научные положения первоисточников научно–технических материалов по теории энерго- и ресурсосбережения, моделирования и прогнозирования научно–технического прогресса;

- методики анализа животноводческих электротехнологий на основе единых критериев оценки эффективности источников и систем облучения животных;

- методики санитарно–гигиенического воздействия ОИ на человек.

**Научная новизна полученных результатов:**

- впервые в результате комплексных экспериментальных исследований на фермах КРС молочного направления на основе обобщённого подхода проведено упорядочение и созданы принципиально новые технологические операции и структуры светотехнических средств по использованию ОИ;

- впервые экспериментально обоснованы системы интегральных показателей продуктивности молочных коров в функции уровня облучённости для нормирования и выбора условий и способов их содержания, создания комфортных условий работы человека, что позволяет по единым критериям сравнивать и прогнозировать использование источников режимов и систем облучения в области СХП;

- полученные энергетические характеристики энергосберегающих режимов и систем облучения на основе новых схем включения и способов обслуживания светотехнического оборудования и установок при эксплуатации их в коровниках;

- впервые предложены аналитические выражения для описания и выбора способов освещения молочных коров, как технологического фактора в общем, процессе получения молока;

- получили дальнейшее развитие методы исследований и средства обеспечения энерго- и ресурсосберегающего облучения в животноводческих электротехнологических, которые позволяют оценить и прогнозировать технико-экономическую эффективность режимов, систем обучения, установить взаимосвязь между параметрами облучения и продуктивностью молочных коров, при которых достигается наиболее эффективное использование электрической энергии, уменьшения материальных затрат;

- предложена новая методика исследований, в основу которой положены взаимосвязанные факторы (показатели животных, светотехнические показатели установок и показатели работоспособности человека) с единой целью – определения базовых технико-экономических показателей и на их основе – прогнозирование, расчёт, проектирование и эксплуатация систем обслуживания в коровниках;

- обоснован, разработан проект новых отраслевых норм освещения помещений коровников;

- обоснованы параметры и режимы эксплуатации систем облучения животных в стойловый период содержания;

- обоснованы технико-экономические показатели электротехнологий животноводства, позволяющие проводить анализ, моделирование, прогнозирование эффективных источников, режимов и установок облучения животных.

Результаты исследований являются основой расчётов, научного обоснования, нормированного выбора и проектирования современных СТУ животноводческих помещений, что существенно снижает затраты на разработку и практическое использование новых электротехнологий в СХП.

**Основные результаты, выносимые на защиту.** На защиту выносятся:

- системный подход к изучению воздействия ОИ на показатели продуктивности и здоровья животных, содержащихся в закрытых помещениях, показатели работоспособности человека с учетом требований энергосбережения и экологической чистоты производства на фермах КРС;

- результаты экспериментальных исследований, новые технические средства применения ОИ при различных способах содержания сельскохозяйственных животных и технологические операции, обеспечивающие повышение продуктивности КРС, производительности труда и улучшения условий работы человека;

- апробированы новые комплексные системы и технические средства комбинированного освещения и облучения животных, обеспечивающие экономию электроэнергии, снижение материалоемкости и стоимости,

упрощение обслуживания и повышение надежности работы СТУ, рекомендации по их устройству и эксплуатации в условиях промышленных ферм и комплексов КРС;

- результаты внедрения на фермах КРС нового разработанного светотехнического оборудования и новых технологических операций освещения и их экономическая эффективность.

**Практическая ценность работы.** В результате проведенных исследований осуществлено комплексное решение крупной научно-технической проблемы создания для молочно-товарных ферм массовых и высокоэффективных СТУ с энергоэкономичными источниками ОИ, позволяющих обеспечить повышение продуктивности и показателей здоровья животных и человека, существенно уменьшить материальные, энергетические и трудовые затраты на производство единицы продукции - молока. По полученным результатам разработаны новые технологические операции с использованием ОИ.

Совокупность теоретических и практических результатов диссертационной работы создает объективные предпосылки для широкого и эффективного применения новых светотехнических устройств в составе самых различных СТУ агропромышленного комплекса, что имеет важное народно-хозяйственное значение на новом качественном уровне.

Практическую ценность работы представляют также рекомендации по рациональным способам освещения животных, способам автоматического управления СТУ в составе АСУ ТП хозяйства, методы схемных решений пускорегулирующих аппаратов, световых приборов и установок, защищенных 46 авторскими свидетельствами на изобретения, апробации новых способов содержания животных и новых светотехнических средств, ставших доступными в результате выполнения настоящей работы; опыт проектирования, монтажа и эксплуатации новых СТУ в различных областях Украины и странах СНГ.

**Личный вклад автора.** Новые научные результаты диссертации получены соискателем лично. Приведено в [11,26,111,112,144,186,191,199,201,212]. В научных трудах, выполненных в соавторстве, личное участие соискателя заключается в следующем: в научных трудах [47,73,80,81,83,84,85-89,93-94,104-121,123-129,131-151,184-191,193,195-208,211-212] автору принадлежит постановка задачи и теоретическое обоснование направлений исследований; в научных трудах [74,82,192] участие автора заключается участие в экспериментальных исследованиях, обсуждений результатов исследований и принятия окончательных решений.

Как научный руководитель, автор принимал как непосредственное участие на всех этапах внедрения в производство результатов исследований, подготовки публикаций.

**Реализация и внедрение.** Результаты работы были получены и реализованы в процессе выполнения плановой тематики НИР и ОКР ХГТУСХ при непосредственном руководстве и участии автора ( ГР 01860039089, ГР 81097982, ГР 81087892). Новые светотехнические приборы, установки и

способы освещения молочных коров внедрены в хозяйствах Харьковской, Сумской, Донецкой областях, на предприятиях - изготовителях светотехнической продукции. (Акты о внедрении прилагаются.)

**Апробация работы.** Результаты научных исследования доложены и обсуждены на международных, всесоюзных и республиканских конференциях, семинарах и совещаниях: "Повышение качества продукции в условиях автоматизированного производства", Харьков, 1988; "Повышение эффективности использования электропривода в сельскохозяйственном производстве", Челябинск, 1989; "Новое в технологии содержания высокопродуктивных коров", Тарту, 1989; "Проблемы интенсификации производства молока", Минск, 1991; "Исследования, конструирование и технология осветительных приборов, Тернополь, 1991; "Многоскоростной и электронизированный электропривод", зерноград, 1990; "Актуальные вопросы обеспечения АПК", Херсон, 1993; "Новое в методиках зоотехнических исследований", Харьков, 1992; технические совещания МСХ СССР 1985-1991 гг. и МСХ Украины, 1996; конференции ХГТУСХ, 1995-2002, ХГАГХ, 1999, Мелитополь ТДАТА, 2001.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 42 работы, из них 30 статей, 8 тезисов докладов и 3 авторских свидетельства на изобретения. Кроме того, во ВНИИЦ зарегистрировано 3 отчета по госбюджетным и хоздоговорным темам, выполненным по теме диссертации при непосредственном участии автора. На основе материалов диссертационной работы утверждены и зарегистрированы в МСХ Украины необходимые требования к светотехническим изделиям сельскохозяйственного назначения Вв N 46.16.38.81-96, Вр N 46, 16,35.04-96, Вр N 46.16.03-94.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов, списка использованных первоисточников и приложения.

Наши исследования проводились с 1982 по 2001 гг. в тесном сотрудничестве с учеными и специалистами ряда ведущих научных институтов и учреждений (ВИЭСХ, ИЖУААН, ВИЭВ, ВНИСИ, ЛАУ) и на базе разноплановых ферм и комплексов крупного рогатого скота различного направления по конечной продукции.

## **1. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ**

Целью настоящего раздела работы является определение реального состояния дел по применению ОИ на фермах и комплексах при производстве молока, установление известных зависимостей показателей продуктивности и здоровья животных от уровней и длительности освещения, технических средств, формулирование цели и задач диссертационной работы.

### **1.1 Предпосылки использования оптического излучения на животноводческих фермах при производстве молока**

Энергия Солнца, вырабатываемая в диапазоне длин волн от 200 до 10000 нм, называется оптическим излучением и является жизненно необходимой для всех биологических объектов, в том числе и для молочных коров.

Современная наука считает, что существует прямое и косвенное воздействие ОИ на животных. Прямое воздействие осуществляется через глаза и кожные покровы животных, а косвенное - через корма, воздух. Считается, что основной путь прохождения ОИ видимой части спектра состоит из цепочки: глаза - кора головного мозга - эпифиз, гипофиз, гипоталамус - эндокринные железы. Другой путь - через поверхностные части тела: фоточувствительные части (элементы) поверхности кожи - нервные клетки - головной мозг. При этом возможно поглощение света непосредственно кровью за счет присутствия в ней гематопорфирина [1-4], (приложение А).

При исследованиях по установлению влияния ОИ на животных определялось действие трех основных факторов: спектрального состава излучения, его интенсивности и длительности облучения. Три основные области спектра ОИ (ультрафиолетовая, видимая и инфракрасная) оказывают различное воздействие на молочных коров. Инфракрасные излучения (ИКИ), как правило, используется только для обогрева животных. Ультрафиолетовое излучение (УФИ) создает терапевтическое, антирахитное и бактерицидное воздействие. Область видимого излучения (ВИ) обладает информационным и регуляторным действием. При этом изменение интенсивности и длительности излучения побуждает животных к изменению суточных ритмов жизни, активизирует или затормаживает деятельность организма при возрастании или убывании светового дня.

При освещении молочных коров с помощью искусственных источников света оказывается возможным влиять на длительность лактации, сокращать период вхождения животных в охотку, получать здоровое наследство, добиваться увеличения потребления корма, более активной его переработки и усвояемости питательных элементов и, как следствие, получение дополнительных привесов и удоев [1, 10].

Таким образом, применение оптического излучения на фермах и комплексах крупного рогатого скота (КРС) можно рассматривать как один из существенных резервных факторов повышения продуктивности и эффективности животноводства.

## **1.2 Анализ результатов использования оптического излучения на молочных фермах**

Предварительный анализ научно-технической литературы и патентных материалов в области применения ОИ на фермах по производству молока показал, что внедрение в технологические процессы содержания животных нового светотехнического оборудования позволяет повысить молочную продуктивность животных на 3...20 %. Детальное изучение основных работ по использованию ОИ при производстве молока позволило определить основные показатели, по которым исследователи оценивали эффективность действия ОИ: молочная продуктивность, снижение заболеваемости, повышение резистентности организма животных, расход кормовых единиц на количество полученного молока, прирост массы телят, производительность труда операторов машинного доения.

В табл. 1.1 приведены результаты, полученные различными авторами и сгруппированными по показателям [2, 7, 11-16].

Анализ сводных результатов показывает, что исследованию подвергалось влияние практически пороговых значений освещенностей от 50 до 100 лк. При этом исследователями зафиксировано увеличение молочной продуктивности на 3...20 % при сокращении расхода кормовых единиц на 10..12 %. Одновременно установлено снижение заболеваемости животных на 15...20 %. В ряде работ отмечается существенное увеличение производительности труда операторов машинного доения, которая при освещенности в 200...300 лк возрастает на 5...15 %. Анализируя последний показатель можно предположить, что в отмеченных работах неверно указан данный параметр. Судя по всему, речь идет не о повышении производительности труда, а об улучшении показателей, характеризующих работоспособность человека при различных уровнях освещенности. При этом совершенно неясно связаны ли полученные результаты с возрастом работающих. Таким образом, поскольку производительность труда человека имеет важное значение при различных уровнях ОИ и это обстоятельство требуется установить путем экспериментальных исследований.

Подробное изучение первоисточников не позволило выявить причины, по которым исследователи получили столь высокие разбросы результатов, так как во всех работах практически отсутствуют сведения об изменении электрических и светотехнических параметров СТУ и приборов в процессе экспериментов и о методиках этих исследований. Отсутствие таких сведений, очевидно, сопряжено с отсутствием единого системного подхода к проведению комплексных исследований, выбором различных единиц и величин оценки ОИ и приборов для его измерения [18-22].

Отсутствие единого научного подхода к исследованиям по определению эффективности воздействия ОИ на показатели продуктивности и здоровья животных не позволяет решить вопросы рационального использования, как оптического излучения, так и расхода электроэнергии.

В табл. 1.2 приведены результаты анализа рекомендуемых доз УФ - облучения животных стандартными различными облучателями [23, 24].

Таблица 1.1 - Результаты исследований влияния ОИ на показатели животных и человека при производстве молока

Показатель	Освещенность, лк	Продолжительность, ч	Увеличение показателя, %	Литература
1.Молочная продуктивность коров	80-100	-	7-14	7
	100	16	20	15
	70-80	-	4-14	16
	60-80	-	3-9	13
	50-100	16	20	17
	50-80	-	4-14	2
2.Снижение заболеваемости и повышение сохранности телят	100	12-14	15-20	15
	50-100	-	20	2
3.Снижение расхода кормовых единиц	100	16	10	15
	50-100	16	20	17
4.Прирос массы телят	70-80	-	9-12	2
5.Производительность труда операторов машинного отделения	100	9	5-7	14
	200-300	-	10-15	12
	60-80	-	8-12	13

На рис. 1.1 представлены основные направления использования ОИ на молочных фермах. Выделяются три основные области спектра: видимое, УФ и ИК. Эти области составляют единое целое, однако в нормативной документации они регламентированы тремя не связанными между собой документами [23-25]. Для каждой области разработаны свои типоразмерные ряды светотехнических приборов и установок. Так, например, освещение в технологическом процессе носит утилитарный характер, что резко сокращает его возможности. Сказанное обусловлено широкой перспективой, открывающейся при использовании ВИ в технологических целях, то есть в конкретных технологических операциях по производству конечной продукции на ферме КРС.

Таблица 1.2 - Энергозатраты на один облучатель, кВт

Доза облучения в сутки, мэр ч/м	Облучатели с лампами низкого давления			Облучатели с лампами высокого давления		
	за неделю	за месяц	за год	за неделю	за месяц	за год
120/160	0,72/0,84	2,8/3,3	17/43	0,75/0,9	3/4	39/52
160/180	0,84/0,94	3,3/3,8	43/49	0,9/1,2	4/4,9	52/64
180/210	0,96/1,08	3,8/4,3	50/56	0,75/1,0	3/4	39/52
270/290	1,00/1,20	4,3/4,8	56/62	1,20/1,5	5/6	64/72
20/25	0,24/0,36	0,9/1,4	12/18	0,25	1,0	18.1

Примечание. Числитель - минимальная, знаменатель - максимальная допустимые дозы облучения.

Из табл. 1.2 видно, что отсутствие точного нормирования доз оптического излучения может приводить к перерасходу электроэнергии на 6...12 кВт из расчета на один облучатель с лампой низкого давления (НД) и на 12...13 кВт с лампой высокого давления (ВД).

Дальнейшие исследования первоисточников научно-технической литературы и патентных материалов позволили определить основные виды и области применения ОИ на фермах для получения молока и мяса [26].

"Отраслевые нормы...", предусматривающие применение видимого излучения, регламентируют: уровень освещенности для ламп накаливания (ЛН) или для разрядных ламп (РЛ), плоскость, в которой устанавливается освещенность, как правило, горизонтальная и место (кормушки, проходы, транспортеры, пол), где зафиксированы нормативы. В действующих нормах уровни освещенности не связаны с технологическими процессами, протекающими в конкретных помещениях и с конкретными животными, так как наряду с отсутствием связей освещенности со спектральным составом излучения, длительности процессов освещения нет связи с общим технологическим процессом получения молока и мяса. Животных обслуживает человек, следовательно, существует группа операций, когда СТУ должна работать на обеспечение зрительных функций человека, обеспечивать комфортность его работы.

Согласно данным исследований различных авторов, животным в различные часы суток целесообразно подавать различные уровни освещенности с изменяющимися интервалами времени. Кроме того, для освещения помещений для содержания КРС в различных странах рекомендованы различные уровни освещенности. Так для телят по странам СНГ рекомендована освещенность 100 лк, в ФРГ – 14 лк; для молочных коров: по СНГ – 75 лк, ФРГ – 110 лк; Румыния – 60 лк. Особо выделяются осветительные установки доильных залов, где освещенность колеблется от 300 лк (по странам СНГ) до 1500 лк (в США). [15, 91]

Анализ номенклатуры светотехнических изделий, предназначенных для устройства СТУ помещений для производства молока, показал, что при проектировании зданий ферм используется четыре типа осветительных приборов (ОП) с люминесцентными лампами (ЛЛ), три типа - с лампами накаливания и один светильник - облучатель комбинированного типа. Для облучения животных рекомендуется применять четыре типа облучателей с УФ лампами, пять типов облучателей с ИК лампами и три типа комбинированных облучателей.

Работы по нормированию ОИ, созданию соответствующей светотехнической техники выполнялись в соответствии с заданием 16.03 координационного плана МСХ СССР (1976...1985 г.г.), заданием 06.07 и 0.51.21 ГКНИ (1986...1990 г.г.) под руководством академиков И. А. Будзко и Л. Г. Прищепа. Автор настоящей работы участвовал в проведении данных

исследований и показал, что современные нормы освещения животноводческих помещений требуют всестороннего пересмотра и не отвечают требованиям современного уровня техники и технологии производства молока по сравнению с ведущими странами.

Для включения СТУ с разрядными лампами рекомендуется использовать традиционные электромагнитные пускорегулирующие аппараты (ПРА), которые широко применяются в промышленных и бытовых ОП.

Данное обстоятельство сделало невозможным проведение работ по снижению потребления электроэнергии и материалоемкости ПРА, так как не учитывалась специфическая особенность и технологические отличия процессов производства молока. Возможности ПРА сводились к выполнению стандартных функций: зажиганию РЛ, обеспечению заданного переходного режима разгорания ламп, стабилизации и управления режимами их работы.

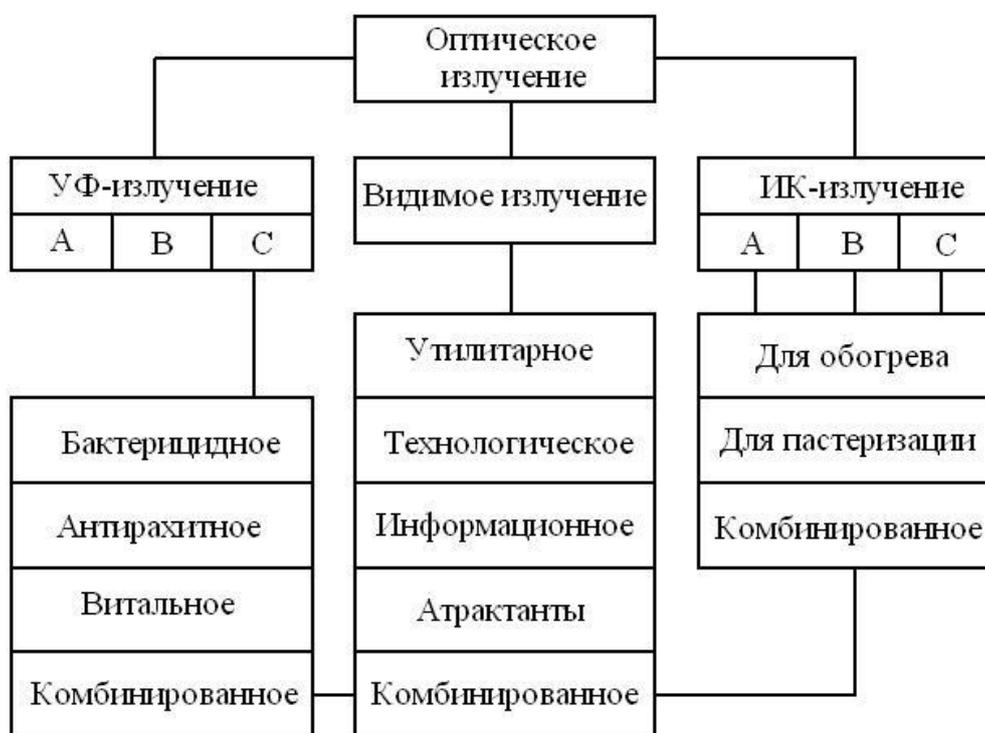


Рисунок 1.1 - Основные виды оптического излучения, применяемые на фермах при производстве молока

При устройстве СТУ животноводческих помещений не учитывались режимы и распорядок работы обслуживающего персонала. Кроме того, ручное управление освещением приводит к перерасходу электроэнергии, а недостаточное освещение - к недополучению конечного продукта за счет снижения активности животных: ухудшение потребления и переваривания пищи, роста заболеваемости, снижение половой деятельности. Сказанное позволяет сделать вывод о необоснованности дозирования ОИ при производстве молока.

Особо следует отметить узко ограниченную направленность применения светотехнических приборов и установок, которые, как правило, рассчитаны на выполнение только одной функции, например, освещения или облучения. Технологические потребности процессов по производству молока на животноводческих фермах значительно шире.

В состав обязательных технологических операций входят такие, которые могут быть выполнены с использованием ОИ: санация помещения, уничтожение летающих насекомых, пастеризация молока, обработка и подготовка вымени животного, подготовка животного к доению.

На рис. 1.2 представлен перечень основных осветительно-облучательных установок и приборов технологического назначения, которые применяются на фермах.

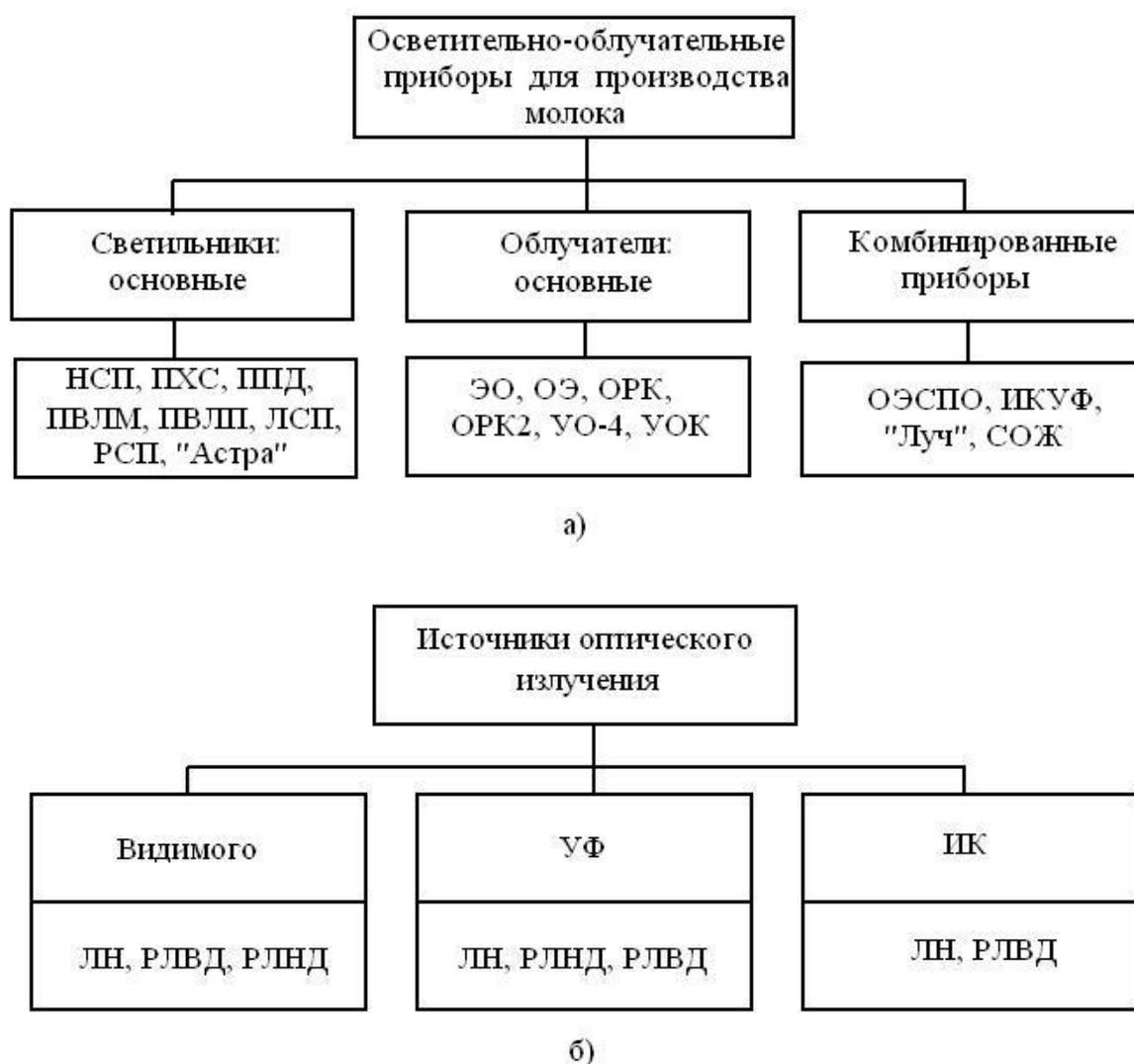


Рисунок 1.2 - Перечень основных осветительно-облучательных приборов (а) и источников оптического излучения (б), применяемых на фермах КРС

На рис. 1.3 приведены основные СТУ, которые могут быть использованы при производстве молока.

Данные приборы и установки могут быть применены как в основных помещениях, где непосредственно происходит процесс получения молока, так и во вспомогательных помещениях фермы.

Особым вопросом при решении задач обновления сельскохозяйственной светотехники является вопрос экологии. Применение для производственных помещений СТУ с эффективными и энергоэкономичными РЛ сопряжено с защитой пищевых продуктов, людей и животных, утилизацией самих ламп. Нами установлено, что основной способ "утилизации" ртутесодержащих ламп, который распространен на практике, является уничтожение ламп на навозоуборочных транспортерах или на улице вблизи помещений, что недопустимо. Согласно действующим стандартам ртуть из ламп должна быть извлечена и нейтрализована. Эти операции в условиях животноводческого комплекса или молокоперерабатывающего предприятия осуществить невозможно из-за отсутствия дорогостоящего демеркуризационного оборудования.

В результате невыполнение этих условий ставит под угрозу здоровье человека и животного и сказывается на качестве производимой продукции.

Таким образом, анализ первоисточников научно-технической литературы и нормативных документов по использованию оптического излучения на фермах и комплексах КРС показал необходимость установления точных значений зависимости основных параметров продуктивности животных и работоспособности человека от уровня и длительности воздействия ОИ. Определение таких зависимостей возможно экспериментальным путем, на что указывают работы Юркова В., 1991, Знаменского В. Г., 1983, Петруши Е. З., 1998.

### **1.3 Основные технологические операции на фермах при производстве молока**

В практике содержания молочных коров на промышленных фермах в Украине используются различные технологии и технологические операции. Наиболее распространенными являются привязный, беспривязный, боксовый и комбибоксовый способы содержания молочных коров [27-32]. Каждый из известных способов имеет свои достоинства и недостатки. При этом общим для них являются типовые помещения на 50, 100, 200, 400, 600, 800 голов скота.

Во всех вариантах часть технологических операций протекает в закрытых помещениях: кормление животных, доение, удаление навоза, очистка животных, отдых животных, пастеризация и охлаждение молока и т. д.

Раздача кормов животным производится, как правило, с помощью механизмов - кормораздатчиков и происходит практически без непосредственного участия человека. По окончании этой операции осуществляется подборка корма, очистка помещения. Данная операция происходит при большом выделении пыли (раздача сухих кормов) или высокой влажности (при зимней раздаче распаренного корма).

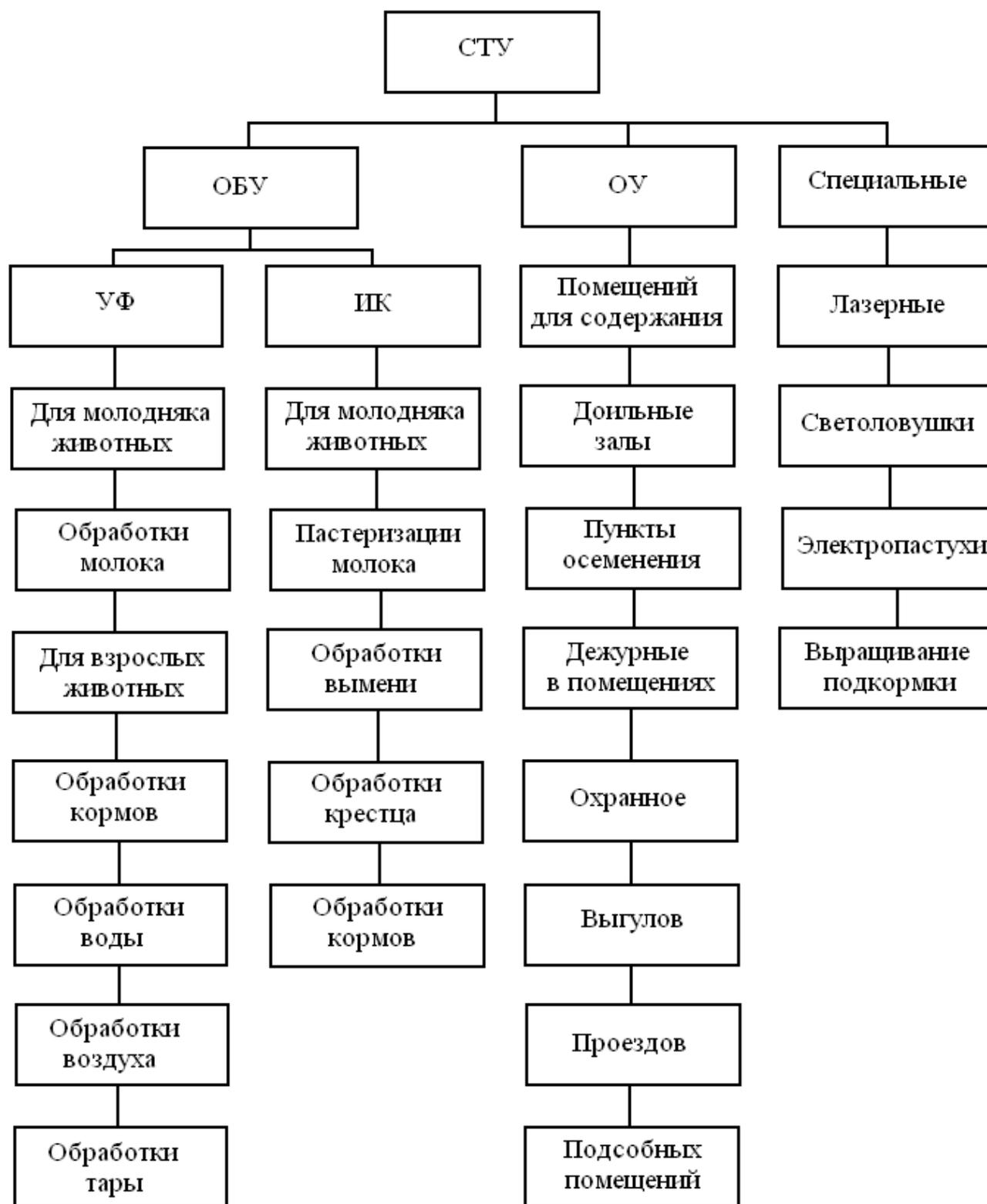


Рисунок 1.3 - Основные светотехнические установки, применяемые на фермах при производстве молока

Второй важной операцией является доение животных, которое производится в доильных блоках или непосредственно в стойлах. Эта часть технологического процесса характеризуется высокими требованиями к качеству освещения, так как процесс доения сопровождается рядом дополнительных обязательных операций: осмотр животных, омывание и

массаж вымени, осушивание, сдаивание первых струек молока и т.д. При этом и в данном помещении существует высокая влажность и запыленность, если в процессе доения производится подкормка животных концкормами.

Третья операция - непосредственно процесс доения животного и транспортировка молока в молочный блок на последующую переработку и хранение.

Четвертая операция - очистка помещения от навоза. Данная операция не требует значительного зрительного напряжения, однако также сопровождается выделением пыли и влаги.

Пятая операция - отдых животного - проходит в дневное или ночное время, практически при отсутствии обслуживающего персонала (за исключением дежурных).

В табл. 1.3 приведены нормированные значения параметров микроклимата помещений для содержания животных [28].

Как видно из табл. 1.3, технологические процессы получения молока протекают при высокой влажности, загазованности и запыленности воздуха, что обязательно должно быть учтено при создании специальных светотехнических приборов и установок.

Таблица 1.3 - Нормированные параметры микроклимата помещений для содержания молочных коров

Параметр	Значения параметра микроклимата в помещении					
	Привязное	Беспривязное	Родильное отделение	Профилактических	Молодняк	
					до 60 дней	старше 60 дней
1. Температура	10	5-8	16	20	15-17	15
2. Относительная влажность, %	70	85	70	70	70	70
3. Воздухообмен на 1 ц массы, м/ч:						
зимой	17	17	17	-	-	-
летом	70	70	70	-	-	-
4. Подвижность воздуха, м/с:						
зимой	0.3-0.4	0.3-0.4	0.2	0.1	0.1	0.2
летом	0.8-1.0	0.8-1.0	0.5	0.3-0.5	0.3-0.5	1.0
5. Допустимая концентрация вредных газов:						
углекислый газ, %	0.25	0.25	0.15	0.15	0.15	0.25
аммиак, мл/л	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.015
сероводород, мл/л	0.01	0.01	0.005	0.005	0.005	0.01

Освещение в животноводческих помещениях регламентировано отраслевыми нормами [28]. Значения освещенностей приведены в табл. 1.4.

Данные табл. 1.4 показывают, что для обеспечения технологических процессов в помещениях для животных нормируется только горизонтальная освещенность на полу или в зоне расположения кормушек на уровне 50...75 лк. При доении коров, а также в родильном отделении освещенность должна соответствовать 150 лк.

Анализ нормируемых уровней освещенности показывает, что освещенность  $E_n=50$  лк является пороговой освещенностью, ниже которой при использовании газоразрядных ламп наступает эффект сумеречности [33, 34]. В результате чего, в реальных СТУ существует значительная вероятность возникновения указанного эффекта при снижении величины сетевого напряжения, запылении светильников, при старении или частичном отказе ламп.

Кроме того, отраслевые нормы не регламентируют длительность работы СТУ, так как ручное управление освещением подразумевает произвольное включение и выключение ламп по мере необходимости обслуживающим персоналом. Отмеченное позволяет сделать вывод, что существующие СТУ имеют утилитарный характер и не вносят практического вклада в технологический процесс получения конечного продукта.

Анализ показывает, что при эксплуатации СТУ практически не учитываются значительные возможности динамического освещения с учетом вклада естественного света, что явно снижает их эффективность [35-39].

Таким образом, можно констатировать, учитывая п. 1.2, что современные СТУ не участвуют в технологическом процессе получения конечного продукта, обеспечивают минимальные значения освещенности и не регламентированы во времени. Следовательно, возникла необходимость разработки новых, более эффективных технологических средств, преобразования ОИ для такой специфической подотрасли СХП, как молочное скотоводство с учетом современных достижений мировой светотехнической науки.

#### **1.4 Источники оптического излучения и светотехнические приборы для животноводческих помещений**

Основная номенклатура источников ОИ светотехнических приборов, рекомендованных для применения в СТУ животноводческих помещений в отраслевых нормах и справочных книгах [25, 33, 39, 40].

Для целей освещения рекомендуется использовать лампы накаливания типа Б, БК, Г и В мощностью 60...150 Вт на напряжение 220 В. Применение ЛН мало эффективно из-за низкой световой отдачи и малого срока службы (1000...1300 ч.).

Более перспективно использовать РЛНД мощностью 40...80 Вт. Нормами предусматривается использование ЛЛ и типа ЛБ в светильниках ЛСП, ПВЛМ и ПВЛП. Недостатком таких СТУ является высокая трудоемкость обслуживания

светильников и низка надежность работы, связанная с недоработками конструктивных узлов.

Таблица 1.4 - Нормированные значения освещенности животноводческих помещений

Помещение, участок, отделение	Рабочая поверхность, для которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Освещенность, лк		Дополнительные указания
			при РЛ	при ЛН	
1. Помещения для содержания коров и ремонтного молодняка: - зона кормления; - стойла, боксы, секции	Пол, зона кормушек	Горизонтальная	75	30	Во время доения освещенность должна быть не менее 150 лк
	Пол	- / -	50	20	
2. Помещения для содержания быков–производителей	Пол, зона кормушек	- / -	75	30	
3. Помещения родильного отделения: - для отела коров; - для санитарной обработки вымени; -профилакторий для содержания телят	Пол	- / -	150	100	
	Пол	- / -	75	50	
	Пол	- / -	100	50	
4. Телятники	Пол	- / -	100	50	

Для освещения помещений при подвесе светильников на тросе рекомендовано использовать лампы типа ЛБР с отражающим рефлекторным слоем. Указанные лампы могут быть использованы в любых типах люминесцентных светильниках без специальных отражателей.

Особенностью применения РЛНД является то, что светильники для их использования, как правило, являются двухламповыми и для их включения использована схема с "расщепленной фазой". Однако отсутствие балластных конденсаторов привело к необходимости комплектовать такие светильники

обычными индуктивными ПРА с индивидуальной компенсацией реактивной мощности. Как следствие, это привело к увеличению коэффициента пульсации светового потока и, соответственно, освещенности, что снижает качество освещения. РЛНД включается в сеть со специальными ПРА, содержащие балластные элементы, блоки зажигания и регулировки режимов разгорания и работы. Основные функции ПРА достаточно полно описаны в [41 - 44].

Основная схема ПРА, которая используется в рекомендованных светильниках, относится к стартерным вариантам и для зажигания ламп применяются стартеры тлеющего разряда типа СК 20...80/220. Стартеры тлеющего разряда имеют ограниченный срок службы и их пусковые характеристики, как и самой лампы, существенно зависят от параметров окружающей среды: чем ниже температура воздуха в помещении, тем больше попыток совершает стартер для запуска лампы. При этом, соответственно, сокращается срок службы электродов РЛ, снижается прозрачность стекла и увеличивается спад светового потока.

При эксплуатации РЛНД со стартерными схемами включения, следует иметь в виду, что по мере старения газоразрядной лампы напряжение перезажигания газового разряда в ней увеличивается, а величина, при которой зажигается стартер, понижается. В результате наступает момент, когда напряжение перезажигания РЛНД становится равным напряжению зажигания стартера. В этом случае лампа переходит в аварийный режим работы, который сопровождается резкой видимой пульсацией светового потока, вызывающей дискомфорт.

Сваривание контактной группы стартера тлеющего разряда также приводит к аварийному режиму работы, заключающемуся в подключении балластного элемента непосредственно на сетевое напряжение. Если в качестве балласта используется дроссель, то его температура значительно повышается. Заканчивается данный режим, как правило, перегоранием электродов лампы или обмотки дросселя.

Описанные выше аварийные режимы стартерного светильника сопровождаются существенным расходом электроэнергии.

Третья группа светильников и облучателей выполняется на базе РЛВД типа ДРЛ, ДНаТ, ДРИ, ДРТ мощностью от 30 до 1000 Вт. Для производственных помещений эти лампы используются в светильниках типа РСП, ЖСП, РКУ и т.д.

Отличительной особенностью РЛВД является их малогабаритность и высокая единичная мощность. Данные лампы включаются в сеть с дросселями, зажигающими устройствами или с полупроводниковыми высокочастотными ПРА. Чем выше мощность РЛВД, тем ниже потери мощности в балласте [45, 46].

Лампы высокого давления имеют высокую световую отдачу и нейтральны к изменениям температуры окружающей среды в широком диапазоне. Недостатком РЛВД является невозможность их повторного зажигания при кратковременном отключении напряжения питания без

специального высоковольтного зажигающего устройства. Повторное зажигание РЛВД возможно только через 3...15 минут, после ее выключения.

В табл. 1.5 для наглядности приведены основные параметры и характеристики ламп, применяемых в СТУ животноводческих помещений. Анализ сведений представленных в табл. 1.5 показывает, что самым дешевым источником света являются лампы накаливания, однако, низкие светотехнические показатели и малый к.п.д. делают их неконкурентоспособными по отношению к РЛ. При сопоставлении РЛВД и РЛНД следует иметь ввиду, что ЛЛ, которые относятся к группе РЛНД, имеют значительную протяженность, что позволяет создавать высокую равномерность облучения при минимальных тенеобразованиях и перепадах яркости. Лампы ВД приближаются к точечным излучателям. В результате СТУ с такими лампами отличаются высокой неравномерностью распределения освещенности. При этом снижение неравномерности освещения достигается уменьшением единичной мощности ламп при одновременном увеличении их количества.

Следует отметить, что в первоисточниках научно-технической литературы отсутствует обоснование перехода СТУ животноводческих помещений на конкретный тип ламп, поэтому в действующих нормах приводится только подкласс - газоразрядные. Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что ассортимент светотехнических изделий для СТУ, применяемых в помещениях при производстве молока и мяса, весьма ограничен и не отражает современных достижений светотехнической науки, а отраслевые нормы требуют серьезной доработки.

Для расчета электрических схем с газоразрядными лампами используется ряд методов [102 - 103].

**Метод гармонического анализа.** В данном методе разрядная лампа представляется генератором высших гармонических составляющих, а её напряжение аппроксимируется выражением вида:

$$U_{Л} = \frac{U_{C\max}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{0.5(\phi_1 + \phi_2) + 0.25(\sin 2\phi_1 + \sin \phi_2) + (\pi - \phi_1 - \phi_2) \sin^2 \phi}, \quad (1.1)$$

где  $U_{C\max}$  - максимальное значение сетевого напряжения;

$\phi_1$  и  $\phi_2$  - соответственно фазы токовых пауз.

В результате действующее значение тока через лампу определяется как:

$$I_{Л} = \frac{U_{c\max}}{z\sqrt{2\pi}} \sqrt{(\pi - 2\phi)(2\cos 2\phi - 3\sin 2\phi)}, \quad (1.2)$$

где  $z$  - сопротивление балластного элемента, Ом.

Выражение для сопротивления лампы соответственно имеет вид:

$$R_{Л} = \frac{z\sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{2}{\pi} \left( \frac{1}{2}\phi - \frac{1}{4}\sin 2\phi \right) + \left( \frac{\pi}{2} - \phi \right) \sin^2 \phi}}{\sqrt{(\pi - 2\phi)(2 - \cos 2\phi - 3\sin 2\phi)}}, \quad (1.3)$$

и используется в дальнейших расчетах.

Таблица 1.5 - Основные параметры источников видимого излучения, рекомендованных к применению в СТУ животноводческих помещений

Параметры	Источники света		
	ЛН	РЛНД	РЛВД
1. Светотехнические			
1.Спектральный состав	сплошной	линейчатый	линейчатый
2.Интенсивность излучения, лм	490-2100	82-5250	32-32000
3.Световая отдача, лм/Вт	12-14	40-65	40-80
4.Световой к.п.д.	1.5-4.0	20-21	17-25
2. Электрические			
1.Мощность лампы, Вт	40-100	15-80	80-400
2.Рабочий ток, А	0.18-1.5	0.37-0.86	0.8-7.8
3.Косинус $\varphi$	1.0	0.5	0.3-0.6
4.Потери мощности ПРА, % от мощности лампы	-	22-26	20-18
5.Коэффициент мощности лампы	1	0.94-0.96	0.87-0.79
6.Коэффициент амплитуды тока	1.42	1.43-1.57	1.44-1.58
3. Эксплуатационные			
1.Срок службы, тыс.ч	1.0-1.3	6.0-12.0	10.0-15.0
2.Спад светового потока к концу срока службы, %	10	40-60	40-60
3.Коэффициент нестабильности мощности по напряжению	1.2-1.5	1.1-1.2	1.1-1.2
4.Усредн. стоим. смены ламп, %	100	200	100
5.Усреднённая стоимость очистки ламп, %	100	250	100
6.Температура окружающей среды при которой обеспечивается работа лампы, °С	не регламентировано	5-40	-20 +40
7.Изменения мощности лампы при изменении сетевого напряжения на +10% от номинального значения, %	15	10-20	20
8.Измерение сетевого тока лампы при изменении сетевого напряжения на +10% от номинального значения	40	25	25
9.Уменьшение срока службы лампы при увеличении сетевого напряжения на +10% от номинального значения, %	60	25	25
10.Стоимость лампы, %	100	1000	3200

**Метод "припасовывания".** В данном методе напряжение на лампе аппроксимируется выражением вида:

$$u_{л}(\omega t) = U_{г.ср} \left( 1 + \delta - 2\delta \frac{\omega t}{\pi} \right), \quad (1.4)$$

где  $U_{г.ср}$  - среднее значение напряжения горения разрядной лампы;

$\delta$  - коэффициент, учитывающий относительный спад напряжения на лампе.

Для расчета электрических схем с газоразрядными лампами используется ряд методов [102, 103], которые можно использовать для доказательства целесообразности и эффективности внедрения новых технических средств.

**Метод гармонического анализа.** В данном методе разрядная лампа представляется генератором высших гармонических составляющих, а ее напряжение аппроксимируется выражением вида:

$$U_{л} = \frac{U_{с\max}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{0,5(\phi_1 + \phi_2) + 0,25(\sin 2\phi_1 + \sin \phi_2) + (\pi - \phi_1 - \phi_2) \sin^2 \phi}, \quad (1.5)$$

где  $U_{с\max}$  - максимальное значение сетевого напряжения;

$\phi_1$  и  $\phi_2$  - соответственно фазы токовых пауз.

В результате действующее значение тока через лампу определяется как:

$$I_{л} = \frac{U_{с\max}}{z\sqrt{2\pi}} \sqrt{(\pi - 2\phi)(2 \cos 2\phi - 3 \sin 2\phi)}, \quad (1.6)$$

где  $z$  - сопротивление балластного элемента, Ом.

Выражение для сопротивления лампы соответственно имеет вид:

$$R_{л} = \frac{z\sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{2}{\pi} \left( \frac{1}{2}\phi - \frac{1}{4}\sin 2\phi \right) + \left( \frac{\pi}{2} - \phi \right) \sin^2 \phi}}{\sqrt{(\pi - 2\phi)(2 - \cos 2\phi - 3 \sin 2\phi)}}, \quad (1.7)$$

и используется в дальнейших расчетах.

**Метод "припасовывания".** В данном методе напряжение на лампе аппроксимируется выражением вида:

$$u_{л}(\omega t) = U_{г.ср} \left( 1 + \delta - 2\delta \frac{\omega t}{\pi} \right), \quad (1.8)$$

где  $U_{г.ср}$  - среднее значение напряжения горения разрядной лампы;  
 $\delta$  - коэффициент, учитывающий относительный спад напряжения на лампе.

**Метод гармонического анализа и синтеза** [102]. Метод основан на разложениях формы напряжения на лампе в ряд Фурье с последующим использованием конечных сумм абсолютно и равномерно сходящихся рядов.

В частности, выражение для определения напряжения на лампе имеет вид:

$$u_{л}(\omega t) = \frac{4U_{г.ср}}{\pi\alpha} \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n-1)\alpha}{(2n-1)} \sin(2n-1)\omega t - \frac{\delta}{(\pi-2\alpha)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\pi-2\alpha) - \pi \cos(2n-1)\alpha}{(2n-1)} \cos(2n-1)\omega t \right] \quad (1.9)$$

где  $\alpha$  - момент времени, соответствующий перезажиганию разрядной лампы, рад;

$n$  - номер гармонической составляющей.

**Метод составления дифференциальной математической модели электрических параметров ламп** [154]. Данный метод позволяет, в отличие от вышеприведенных, учесть инерционность разрядных процессов газового разряда и его предысторию развития. В основе данного метода лежит построение системы уравнений вида:

$$\frac{dg_{л}}{di_{л}} = g_{л} M(u_{л}) = F_1(u_{л}; g_{л}); \quad (1.10)$$

$$G_{л} = \frac{i_{л}}{u_{л}} = \frac{g_{л}}{[1 + K_1(\frac{|U_{л}|}{U_0} - 1)]}; \quad (1.11)$$

$$\frac{U_0}{U_{0ПOT}} = \left(\frac{g_{л}}{g_{ЛH}}\right)^{0,93\rho}, \quad (1.12)$$

где  $g_{л}$  - приведенная проводимость лампы (при  $U_{л} = U_0$ );

$U_{л}$  - напряжение на лампе;

$U_0$  - установившееся напряжение на лампе при постоянном токе;

$i_{л}$  - мгновенное значение тока через лампу;

$M_1(U_{л})$  - нелинейная функция, аппроксимируемая выражением вида:

$$M_1(U_{л}) = a_0 \left(\frac{U_{л}}{U_0}\right)^2 - a_1 \frac{|U_{л}|}{U_0} - a_2, \quad \text{при } |U_{л}| \leq U_0; \quad (1.13)$$

$$M_1(U_{Л}) = b_0 \left\{ \frac{|U_{Л}|}{U_0} - b_1 + b_2 \exp[-b_3 \left( \frac{|U_{Л}|}{U_0} - 1 \right)] \right\}, \quad \text{при } U_{Л} \geq U_0,$$

где  $a_0, b_0, a_1, a_2, b_1, b_2, b_3$  - коэффициенты модели;

$G_{Л}$  - проводимость лампы;

$K_1$  - коэффициент, лежащий в пределах 0,3...0,4 для люминесцентных ламп.

Недостатком первых трех методов расчетов цепей с разрядными лампами является невозможность учета инерционности разряда и предыстории его развития, а использование четвертого метода для многоламповых схем включения РЛ сопряжено со значительными трудностями, связанными с необходимостью составления соответствующего количества уравнений для  $n$ -ного количества ламп. Однако с учетом метода гармонического анализа и синтеза и доказать эффективность новых схем вполне возможно.

### 1.5 Состояние осветительных установок помещений ферм молочного направления

С целью установления реального состояния СТУ в помещениях мясомолочных ферм была разработана форма светотехнического паспорта и проведено обследование 112 хозяйств в 14 областях Украины и 5 областях России. В результате было паспортизировано 124 фермы: 91 - привязного содержания, 9 - беспривязного содержания и 24 - боксового содержания животных [47].

По полученным данным установлено, что 81,2 % СТУ (здесь и далее в процентах указывается отношение ко всему количеству обследованных помещений) работают в помещениях, где постоянно находятся животные. При этом параметры микроклимата помещений соответствовали следующим интервалам: запыленность воздуха на фермах (76,6 %) находилась в пределах от 5 до 15  $мг/м^3$ , относительная влажность воздуха составляла 65...85 %, концентрация аммиака в воздухе помещения лежала в пределах от 10 до 25  $мг/м^3$ . Такие условия работы приводят к быстрому загрязнению рассеивателей и отражателей, снижают стойкость изоляции, вызывают преждевременный отказ контактов в осветительных приборах и облучателях.

Обследованные помещения имели стандартные габариты в пределах: длина 72...84 м, ширина 18...24 м, высота 3,5...5,0 м. Установленная мощность СТУ составляла 2,1...5,0 кВт на 58,1 % ферм, меньшую мощность имело 16,1 % ферм и установленную мощность до 10 кВт - 25 %. При этом 80,3 % СТУ оказались укомплектованными осветительными приборами с ЛН и лишь пятая часть установок была оснащена светильниками с РЛНД. Применение для освещения светильников с РЛВД зафиксировано не было.

В результате обследования СТУ установлено, что лишь 20 % СТУ удовлетворяли требованиям действующих отраслевых норм освещения, 26,8 %

установок обеспечивали освещенность на уровне 15...20 лк, а 53,2 % СТУ создавали освещенность на уровне 5...10 лк, т.е. работали в режиме дежурного освещения.

Вопрос о режимах работы СТУ также решался неоднозначно. В большинстве случаев включение и выключение СТУ производилось в 5...6 часов утра и в 16..18 часов вечера (22 %). Установки, которые работали постоянно с 5 часов утра и до 21 часа составляли 12.7 %, а в остальных случаях включение и выключение СТУ производилось по мере необходимости.

Работа СТУ во всех случаях регулировалась в режиме ручного управления. При этом количество электроэнергии, которое тратится на освещение, ни в одном хозяйстве точно не регистрировалось. Последнее говорит о полной бесконтрольности ее расхода.

Проведенные обследования СТУ помещений для производства молока и мяса позволило сделать вывод о практическом несоответствии действующих светотехнических установок отраслевым нормам освещения и о нерешенности вопросов рационального расхода электроэнергии. При этом целесообразно, учитывая морально устаревшие нормы “Отраслевые нормы освещения...” пересмотреть в плане современных технологий содержания животных, новых эффективных источников ОИ и общей мировой тенденции в отношении использования ОИ на молочных фермах и комплексах как составной части микроклимата, воздействующего на животных и человека.

Для установления эксплуатационных параметров светильников и облучателей ферм провели систематические исследования срока службы светильников в условиях микроклимата животноводческого помещения.

С этой целью исследовали причины отказов светильников с ЛЛ мощностью 40 Вт блочной конструкции типов ЛСП 15, ЛСП 23 на 6 специальных ОУ, смонтированных в производственных помещениях КРС. Всего установили 56 светильников типа ЛСП 23 и 79 светильников типа ЛСП 15 с одной и двумя включенными лампами, общее число исследованных ламп составило 268 штук. Установки эксплуатировали на протяжении 35164 ч (8 месяцев работы ОУ). Результаты исследований приведены в табл. 1.6.

Основным видом отказов светильников (77 %) явилось перегорание электродов ЛЛ. За весь период исследований перегорело 237 ламп, реальный срок службы составил 3 3,5 тыс. ч.

Установлено, что частое перегорание ламп было вызвано повышенным напряжением питания (до 235...240 В) во время отключения силовых технологических установок ферм (электронных водонагревателей, электродвигателей и т. д.). На рис. 1.4 приведены зависимости величины относительного срока службы ламп от перенапряжения. Снижение срока службы ламп влечет за собой увеличение эксплуатационных расходов. Так стоимость сменяемых ламп в светильниках и облучателях сельскохозяйственных предприятий определяется по [210]:

$$C_{л} = n_{л} K_{лз} (C_{л} + C_{з}),$$

где  $n_{Л}$  – количество ламп в светильнике, шт.;

$K_{ЛЗ}$  – коэффициент замены ламп ( $K_{ЛЗ} = T_{Г}/T_{Л}$ );

$T_{Г}$  – число часов использования СТУ в год, ч/год;

$T_{Л}$  – срок службы лампы, ч;

$T_{ЛФ}$  – срок службы лампы фактический, ч;

$C_{Л}$  – цена одной лампы, грн.;

$C_3$  – удельная стоимость замены лампы с учетом стоимости доступа, грн./шт.;

$C'_3$  – удельная стоимость замены лампы без учета сложности доступа, грн./шт.;

$A_0$  – коэффициент, учитывающий сложность доступа к осветительно-облучательным приборам.

Таблица 1.6 - Причины отказов светильников с ЛЛ мощностью 40 Вт блочной конструкции типов ЛСП 15, ЛСП 23 на 6 специальных ОУ

Причина отказа светильника	Количество отказов	В отношении к общему к-ву, %	Затраты времени на ремонт, мин
<b>Светильники ЛСП-23</b>			
Перегорание ламп с ПРА:			
- индуктивным	30	–	–
- емкостным	51	–	–
- всего	81	68,7	521
Самопроизвольное открывание замков корпуса ПРА	16	13,6	41
Отказ дросселя	4	3,3	103
Отказ стартеров	10	8,5	28
Отказ патронов стартера	2	1,6	20
Нарушение контактов на вводе (отсодинение патронов лампы)	5	4,3	28
Всего	116	100	741
<b>Светильники ЛСП 15</b>			
Перегорание лампы с ПРА:			
- индуктивным	88	–	–
- емкостный	68	–	–
- всего	156	82,1	1032
Отказ дросселя	5	2,6	94
Отказ конденсатора	1	0,6	10
Отказ стартеров	28	14,7	121
Нарушение контактов на вводе	Практически при всех чистках светильников		
Всего	190	100,0	1361
Итого	306	–	2102

В [210] параметр  $K_{лз}$  не учитывает снижение срока службы ламп в процессе эксплуатации от перенапряжения  $\Delta U$  в сети (кривая 1). В равных условиях оказалось, что для газоразрядных ламп данная зависимость представляется кривой 2, а для ламп накаливания кривой 3.

С учетом полученных зависимостей коэффициент замены ламп следует рассчитывать по выражению:

$$K_{лз} = T_{г} / (K_n T_{л}),$$

где  $K_n$  – коэффициент, учитывающий сокращение срока службы ламп от перенапряжения сети, значения которого равны:

$$K_{нлн} = -0,096\Delta U + 0,956 \text{ - для ламп накаливания};$$

$$K_{нлл} = -0,03\Delta U + 1,002 \text{ - для люминесцентных ламп}.$$

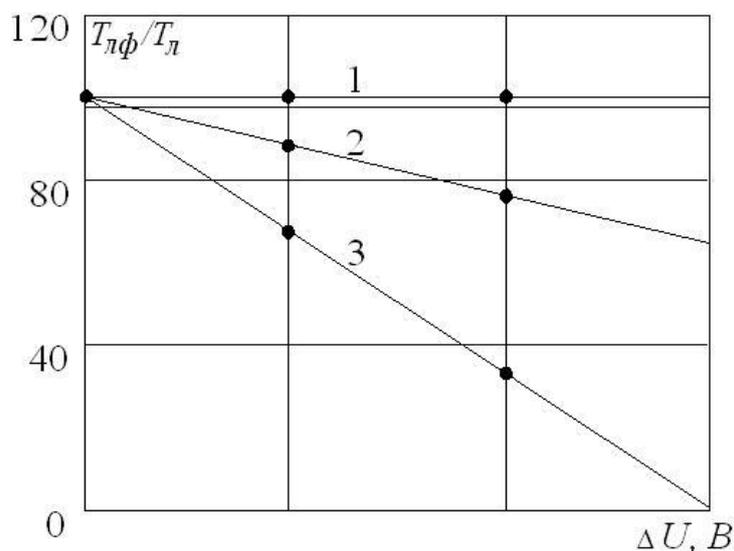


Рисунок 1.4 - Зависимость относительного срока службы ламп от перенапряжения в сети животноводческих помещений

Вторым существующим видом отказов (13 %) явились стартеры, в которых происходило сваривание контактов и снижение напряжения зажигания. В свою очередь это приводило к переходу ламп в импульсный режим работы или включению дросселя непосредственно на сетевое напряжение (в индуктивных схемах) и возникновению аварийного режима работы ОУ при значительном непроизводительном расходе электроэнергии. В экспериментальных СТУ неисправные стартеры заменяли с интервалом 1...2 недели.

При действующем нормативе обслуживания ОУ – 1 раз в 3 месяца, отказ одного статора при 16-часовом режиме работы дает потерю электроэнергии 0,056 кВт·ч и приводит к ускоренному старению дросселя и конденсатора.

На практике ремонт ОУ в животноводческих помещениях осуществляется, как правило, еще реже: по Украине – 1 раз в год; после окончания стойлового периода (май - июль) или при подготовке к зимнему сезону (август - сентябрь).

Отказ светильников в следствии нарушения контактов между накидными патронами и токовыводами ламп (спад контактов) имеет место преимущественно в светильниках типа ЛПС – 15; расстояние между патронами и держателями в них слишком мало, разъединение цепи питания ламп происходит даже при небольших вибрациях блока, что в 6 случаях привело к выходу из строя ламп вследствие возникновения дугового разряда между токовыводами ламп и патронов. К прочим видам отказов относим: отказы патронов стартеров, нарушение уплотнительных прокладок корпуса ПРА, отказы конденсаторов, крепежных деталей.

На устранение причин всех 306 отказов в экспериментальных ОУ затрачено примерно 2100 мин., т.е. 35 ч. Среднее время замены ламп составляло 6 мин., замена стартера 3.4 мин., дросселя – до 20 мин. и более. Устранения раскрытия коробов светильников типа ЛСП 23 требовало до 3 мин., восстановление патронов и их контактов – до 10 мин. Прочие неисправности в светильниках устраняли примерно 5..15 мин.

Трудность устранения отказа или профилактического ремонта и обслуживания светильников серии ЛСП обусловлена не совсем удачной конструкцией. При длине светильника более метра, при отсутствии маркировки на корпусах с ПРА и установка ПРА в два корпуса, во время ремонта необходимо переставлять несколько раз стремянку. Кроме того, проведение работ на высоте 2,5...3,0 м занимает примерно в два раза больше времени по сравнению с выполнением тех же операций на полу. Кроме того при проектировании и разработке конструкции светильников сельскохозяйственного назначения необходимо учитывать наличие животных, над которыми они размещаются.

Внешний и внутренний осмотр светильников после завершения исследований позволил определить сильное загрязнение внутренностей блоков из-за нарушений герметичности прокладок и самопроизвольного раскрытия.

Блоки ПРА в светильниках ЛСП 15 более надежны, однако и они покрываются жировым налетом. Затраты на чистку одного светильника составляет 10..15 мин.

Таким образом, проведенные эксплуатационные испытания существующих типов приборов сельскохозяйственного назначения показывают, что основной причиной отказов является выход из строя ламп, а время для их ремонта составляет 5..15 мин. Устранение этих недостатков может быть осуществлено как изменением конструкции светильников, так и усовершенствование электрических схем ПРА.

## 1.6 Действие оптического излучения на животных

Основные пути проникновения ОИ в организм животных и его влияние на животных представлены в структурной схеме рис. 1.5.

Современная наука считает, что существует прямое и косвенное воздействие ОИ на животных. Прямое воздействие осуществляется через глаза и кожные покровы животных, и косвенное – через корма и воздух. Основным путем прохождения видимой части ОИ состоит из цепочки: глаза – кора головного мозга – эпифиз, гипоталамус – эндокринные железы. Вторым путем – через поверхность кожи – нервные клетки – головной мозг. При этом поглощение света непосредственно кровью осуществляется за счет присутствия в ней *гемтопорфина* [213-216]. Влияние на организмы животных в плане резистентности и продуктивности оказывает видимое и ультрафиолетовое излучение, а инфракрасное излучение вызывает, в основном, тепловые колебания молекул из-за недостаточности их энергии для прохождения фотохимических реакций [217-219].

Поглощение оптического излучения биологическими объектами сопровождается стимуляцией процессов биосинтеза, ростом и делением клеток, однако при больших дозах это излучение приводит к отрицательным эффектам: разрушению клеток и их уничтожению [220-226].

Кванты оптического излучения поглощаются фотопигментами и инициируют в молекулах элементарные процессы, приводящие к биологическим изменениям и соответствующим химическим реакциям, биологические продукты которых распространяются по организму, обеспечивая образование витамина *D* и усиление белкового обмена у животных. На это указывают многочисленные исследования различных авторов [227-233].

Световой поток, достигающий поверхности биологического объекта частично отражается, и частично поглощается кожными покровами животных. При этом наблюдается различие в реакциях на излучение пигментированной и непигментированной кожи.

Пигментированная кожная поверхность обладает большой поглощающей способностью по сравнению с непигментированной. При этом, чем больше длиной волны, тем больше проникновение излучения в тело животного. Например, инфракрасное излучение проникает в ткани на глубину 4...5 см., а ультрафиолетовое только примерно на 1 мм.

Биологическое действие ОИ возникает тогда, когда лучистая энергия поглощается кожными покровами животных или воспринимается зрительно нервной системой [250].

Видимое излучение вызывает рефлекторное воздействие на центральную нервную систему через рецепторный аппарат и зрительный анализатор. В результате в тканях и органах животных происходит усиление физико-химических реакций (метаболические процессы). Установлено, что красная и оранжевая части видимого излучения стимулируют функции эндокринной

системы (гипофиз, половые железы, надпочечники и щитовую железу) и центральной нервной системы.

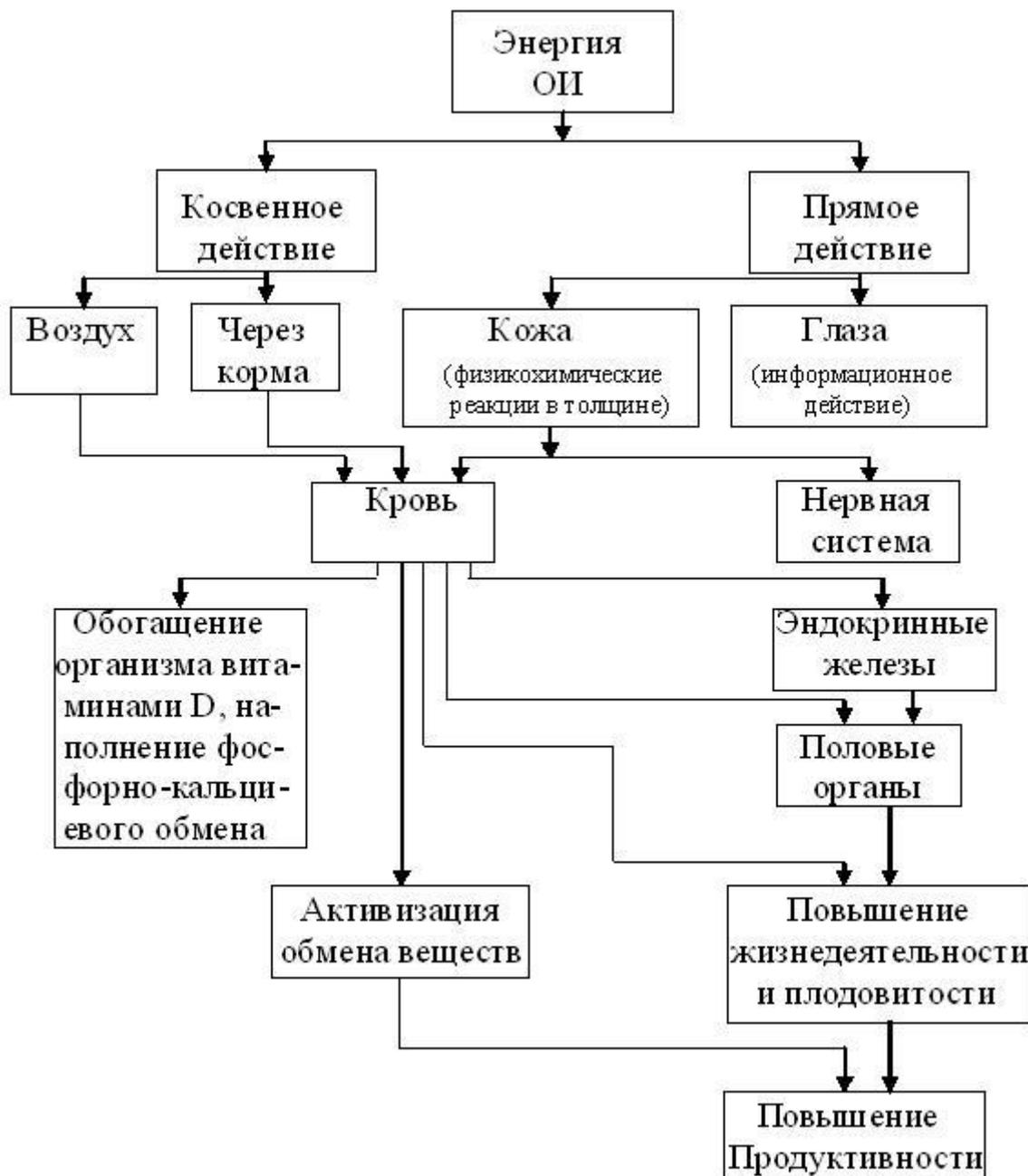


Рисунок 1.5 - Структурная схема механизма действия оптического излучения на организм животных при их облучении

Видимое излучение положительно влияет на двигательную и реактивную функции центральной нервной системы, красная зона ВИ оказывает возбуждающее действие, а синяя и зеленая зоны – успокаивающее. ИК – излучение (длинноволновое излучение) активизирует колебательные и вращательные движения атомов и молекул без существенных электрохимических изменений. При этом происходит ускорение физико-химических реакций. УФ – излучение обеспечивает фотохимические и

фотоэлектрические эффекты. Возбужденные атомы и молекулы тканей обладают высокой степенью окислительно-восстановительной активности.

Спектральный состав и интенсивность видимого излучения воздействуют на метаболические процессы в организме животных.

В общем случае, поглощенная живым организмом энергия ОИ частично переходит в тепловую энергию и вызывает фотоэлектрический эффект в тканях. Образующиеся вследствие этих процессов электроны и ионы изменяют физико-химические свойства командно-дисперсионных систем, тканевой среды и ее жизнедеятельность. Освобождающиеся электроны создают вокруг себя электромагнитное поле, кинетическая энергия которого гасится излучением в окружающую среду в виде короткой электромагнитной среды (вторичное излучение). В результате у крови под воздействием ОИ изменяется спектр поглощения, что подтверждается изменением её физико-химических свойств (повышается количество нейтрофилов, лейкоцитов и т.д.).

Под воздействием ОИ наблюдается увеличение минутного объема сердца животного, усиливается легочная вентиляция. ОИ стимулирует белковый, углеводный и витаминно-минеральный обмен, улучшает функцию пищеварения, усиливает обмен веществ, регенерацию и репарацию тканей, снимает спазмы.

Следует отметить, что ответной реакцией кожных покровов на действие ОИ является ее пигментация. Кожный пигмент, относящийся к группе меланинов, способен принимать темную окраску в результате окисления бесцветного тирозина. Наиболее стойкая пигментация кожи происходит при воздействии ОИ сего диапазона спектра. Значимую роль в механизмах воздействия ОИ играет фотосенсибилизация, которая проявляется в повышении чувствительности организма животных к облучению [234-240].

Исследователи отмечают, что восприятие ОИ происходит через зрительные анализаторы и кожные покровы. Во втором случае существенное значение имеет окрас шкуры животных, который имеет различные оптические характеристики. На рис. 1.6 представлены спектральные характеристики коэффициентов для животных с темной и светлой шкурой и для воды [240, 241]. Причем процесс преобразования лучистой энергии кожными покровами действительно сложен [242-244].

Анализируя приведенные графические зависимости, следует обратить внимание на то, что в известном диапазоне длин волн от 700 до 3000 *нм* максимумы коэффициентов отражения кожных покровов животных совпадают с минимальными коэффициентами отражения воды и наоборот (длины волн  $\lambda \approx 1000 \dots 1200$  *нм*, 1400...1600 *нм*). При этом следует отметить и тот факт, что по мере увеличения длины волны ОИ коэффициенты отражения шкур животных падают, а коэффициенты пропускания специфических слоев кожного покрова имеют явно выраженный максимум в диапазоне от 400 до 1000 *нм*, причем, как это видно из рис. 1.6–1.9 основная часть видимого излучения поглощается на глубине 0,03...0,1 *мм*. [240,245,246].

На основе анализа приведенных результатов исследований различных авторов можно следующим образом представить путь прохождения ОИ через

поверхность животного: шерстный покров → шкура → рецепторы организма → кровь.

Анализируя результаты исследований по воздействию лазеров с длиной волны 1060 нм и 694 нм авторы [248...250], отмечают, что облучение кожи излучением с длинной волны 1060 нм может сопровождаться явлением коагуляции некроза эпидермиса, заменой всех волосяных фолликулов, их внутренней структуры, повреждение волосяных фолликулов до атрофии. При этом действие излучения с длиной волны 632,8 нм сопровождалось активностью элементов энергетического обмена в клетках **ПИХВЫ** волосяных фолликулов по отношению к клеткам кожи.

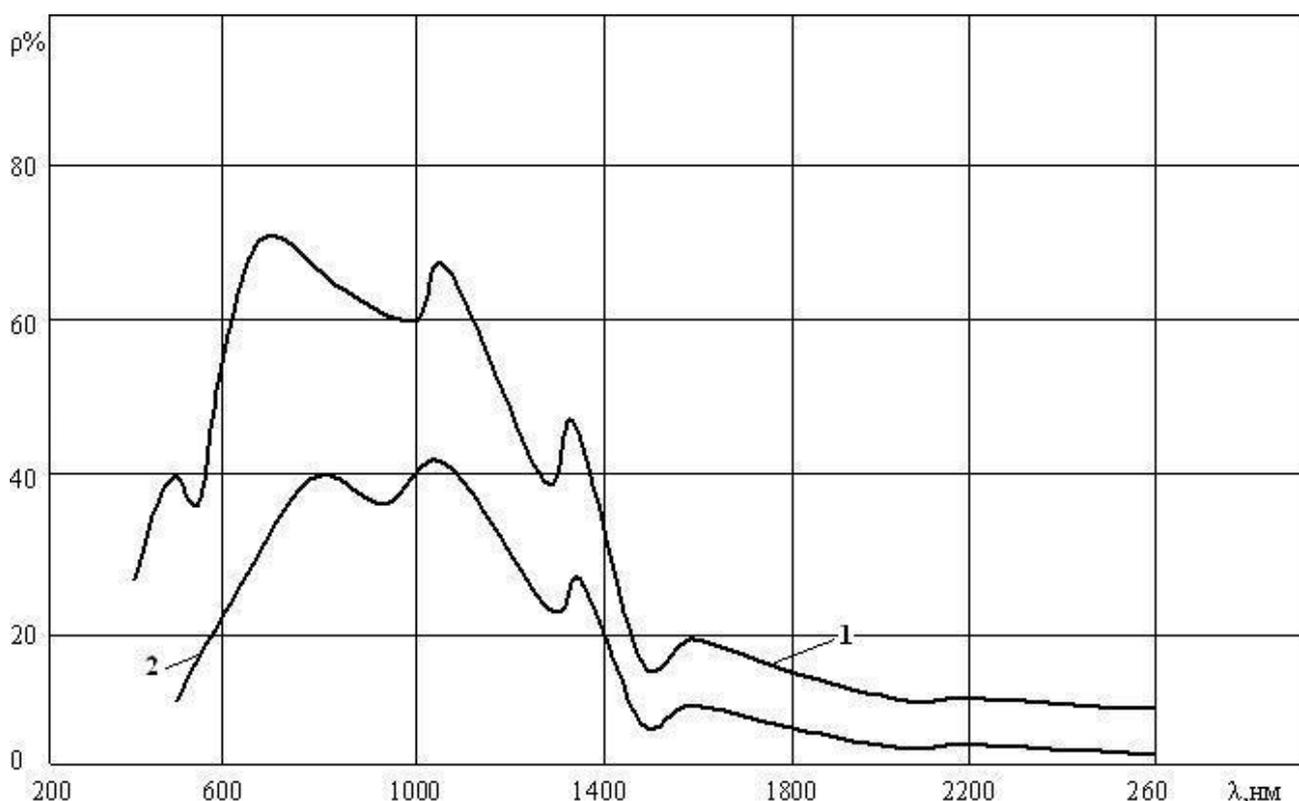


Рисунок 1.6 - Спектральные коэффициенты отражения ОИ светлой (1) и темной (2) кожи, воды (3)

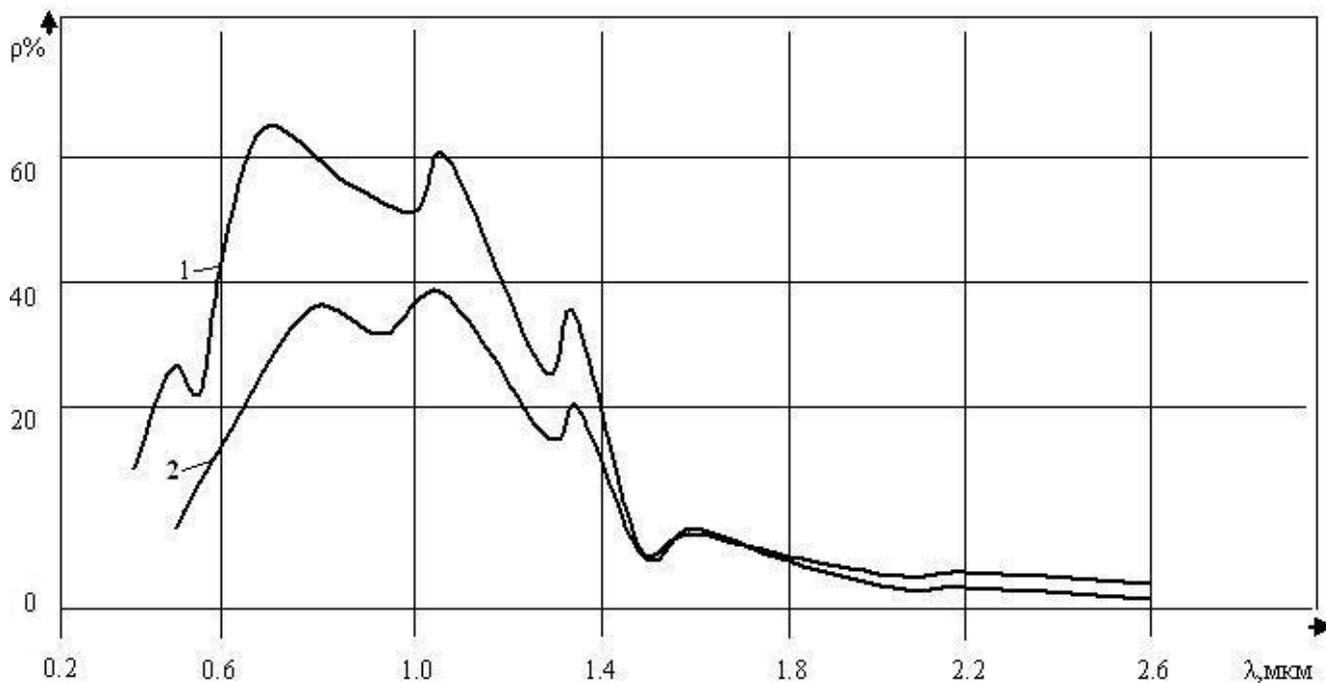


Рисунок 1.7 - Коэффициенты отражения светлой (1) и темной (2) шкуры животного [240]

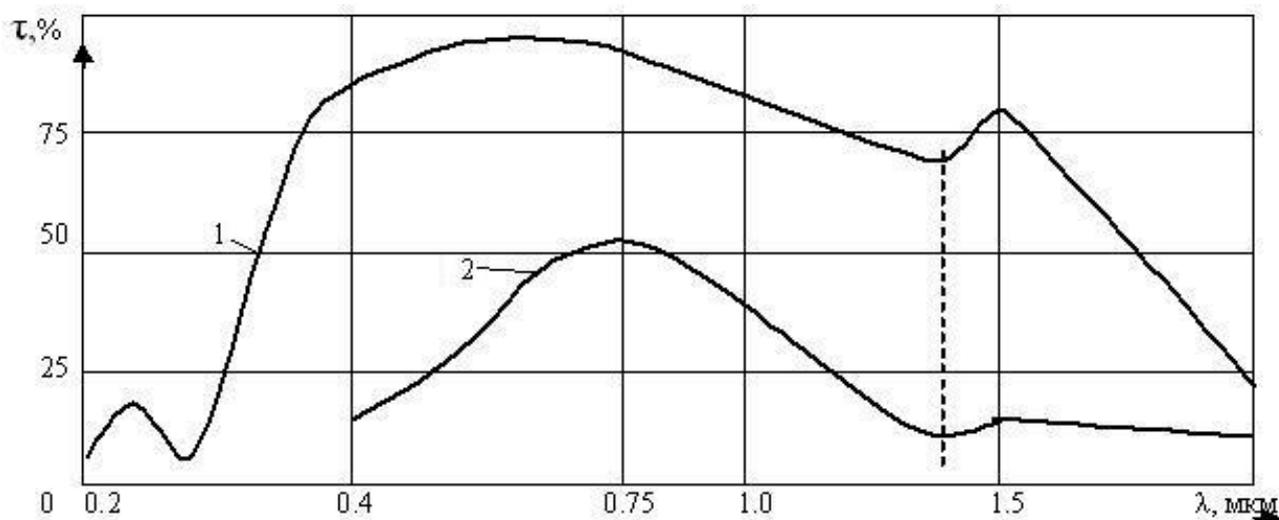


Рисунок 1.8 - Коэффициенты пропускания шкуры в спектре ОИ [245]:  
1-эпидермис; 2-полностью шкура

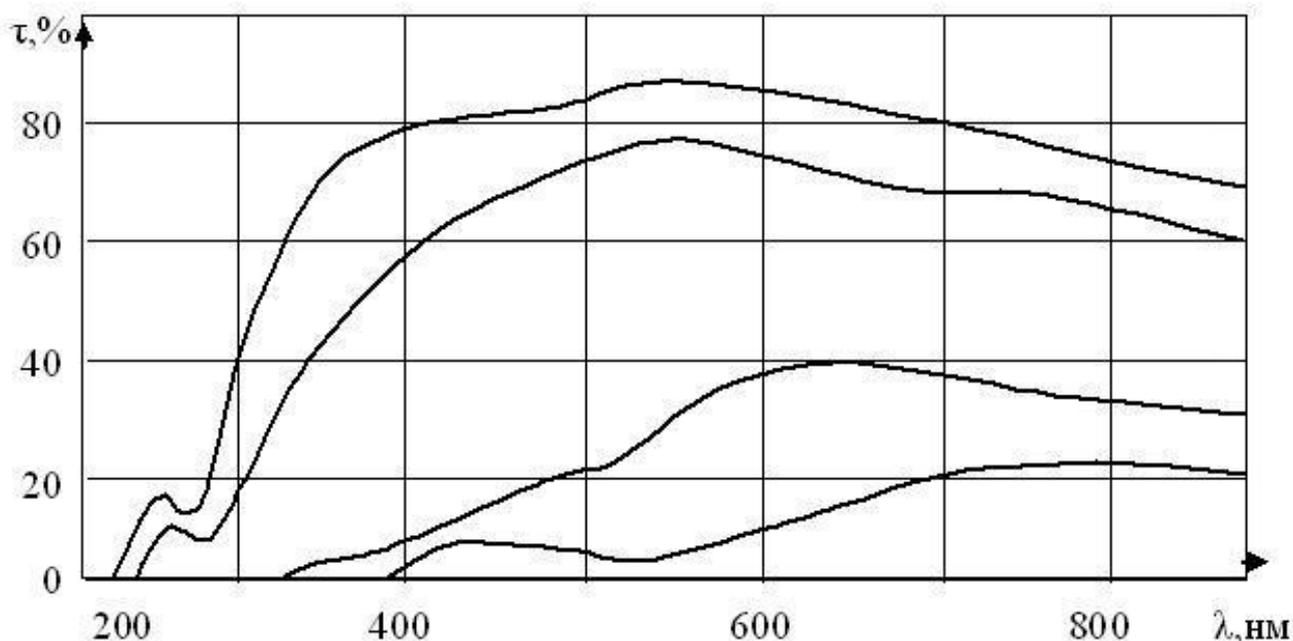


Рисунок 1.9 - Спектральные зависимости пропускания ОИ структурами кожи [246]:

- 1- роговой подшкурочек эпидермиса, толщиной 0.03 мм;
- 2- эпидермис, толщиной 0.05 мм;
- 3- эпидермис и собственно кожа, толщиной 0.5 мм;
- 4- вся кожа, толщиной 2 мм

Непосредственное установление эффекта действия конкретной длины волны ОИ на организм животного связано с существенными трудностями технического и методического характера, так как для этого требуются: специальные источники ОИ и соответствующая пускорегулирующая аппаратура достаточно широкого диапазона мощности, соответствующие фильтры, кварцевые линзы, фотоприемники высокой чувствительности, а, следовательно, существенные затраты.

Одним из возможных способов косвенной оценки действия ОИ на сельскохозяйственных животных является способ создания экспериментальных и опытно-промышленных светотехнических установок на базе действующих ферм и комплексов со стандартными источниками ОИ в которых должна быть заложена возможность изменения длительности излучения, спектрального состава и интенсивности облучения, например, молочных коров. Вариации основных светотехнических факторов ОИ должны регистрироваться соответствующими приборами (люксметрами, УФ-дозиметрами, фотометрами, радиометрами, вольтметрами и т.д.) при постоянном контроле параметров микроклимата помещения, рационов кормления, ветеринарных и прочих мероприятий технологического процесса получения молока.

Оценка действия ОИ в этом случае может проводиться по среднесуточным и годовым удоям, привесам, показателям резистентности организма, оплодотворяемости, браковки и т.д.

Проведение натуральных экспериментальных исследований требует не только специальных СТУ, но и определение контрольных и опытных животных. Основной трудностью данного этапа работы является обязательная необходимость выделения в каждой из групп не менее 10 животных - аналогов, имеющих максимально близкие показатели как по продуктивности и зоологическим параметрам.

Последние исследования в области применения ОИ в сельскохозяйственном производстве позволили создать модель поглощения лучистой энергии телом животного в виде следующего уравнения [252]:

$$W = K_{\phi} \cdot S_{xy} \cos \beta \int_0^{\lambda} \int_0^t \int_0^h \varphi(\lambda; t) [1 - \rho(\lambda)] \{ [K_2(\lambda) \cdot (e^{-\delta_1(\lambda, h_1) h_1}) \cdot (1 - e^{-\delta_2(\lambda, h_2) h_2}) + K_3(\lambda) e^{-\delta_3(\lambda, h_1) h_1} \cdot e^{-\delta_2(\lambda, h_2) h_2} \cdot (1 - e^{-\delta_3(\lambda, h_3) h_3})] + \Omega \frac{\alpha_0(\lambda)}{\alpha_1(\lambda)} [1 - e^{-\alpha_1(\lambda) l}] \} \cdot d\lambda dh dt \quad (1.14)$$

где  $K_{\phi}, S_{xy}, \cos \beta$  - геометрические параметры тела животного;

$\varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))$  - поток излучения на поверхности тела животного;

$K_2(\lambda) \cdot (e^{-\delta_1(\lambda, h_1) h_1}) \cdot (1 - e^{-\delta_2(\lambda, h_2) h_2}) + K_3(\lambda) e^{-\delta_3(\lambda, h_1) h_1} \cdot e^{-\delta_2(\lambda, h_2) h_2} \cdot (1 - e^{-\delta_3(\lambda, h_3) h_3})$  - эффективность излучения, поглощенного непосредственно шерстью;

$K_{\phi}$  - коэффициент формы тела животного;

$S_{xy}$  - площадь проекции тела на горизонтальную площадь XY;

$\varphi(\lambda, t)$  - спектральная интенсивность потока источника излучения в процессе облучения;

$\rho(\lambda)$  - спектральный коэффициент отражения поверхности тела животного с длиной волны  $\lambda$ ;

$K_i(\lambda)$  - относительная спектральная эффективность ОИ с длиной волны  $\lambda$ ;

$\delta_1(\lambda, h_1); \delta_2(\lambda, h_2); \delta_3(\lambda, h_3)$  - спектральные показатели ОИ с длиной волны  $\lambda$  по толщине прослойки  $h$ , соответственно: эпидермиса, кориума и подкожного слоя;

$\lambda$  - длина волны излучения;

$h$  - толщина (эпидермиса -  $h_1$ ; кориума -  $h_2$ ; подкожного слоя -  $h_3$ );

$\alpha_0$  - коэффициент поглощения излучения шерстью животного;

$\alpha_1$  - коэффициент полного ослабления потока излучения;

$l$  - глубина проникновения излучения;

$\beta$  - угол, характеризующий направление положения тела животного относительно излучателя;

$\Omega \frac{\alpha_0(\lambda)}{\alpha_1(\lambda)} [1 - e^{-\alpha_1(\lambda) l}]$  - эффективность излучения, которое проникает под

кожу по шерсти.

Обозначив  $e^{-\delta_i(\lambda, h_i)h_i} = x_i$ , получим:

$$W = K_\phi \cdot S_{xy} \cos \beta \int_0^\lambda \int_0^t \int_0^h \varphi(\lambda; t) [1 - \rho(\lambda)] \{ [K_2(\lambda) \cdot x_1 \cdot (1 - x_2) + K_3(\lambda) \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot (1 - x_3)] + \Omega \frac{\alpha_0(\lambda)}{\alpha_1(\lambda)} [1 - e^{-\alpha_1(\lambda)l}] \} \cdot d\lambda dh dt. \quad (1.15)$$

По мнению автора, данное выражение позволяет полностью характеризовать пути и механизм преобразования энергии оптического излучения структурами тела животного.

Следует отметить, что описание процесса проникновения ОИ в тело животного данным уравнением действительно возможно при условии известности всех входящих в уравнение параметров конкретного животного. Однако неясно как его использовать в случае группы животных, как правило, из которых состоит промышленное стадо.

Вторым важным обстоятельством является полная неясность связи полученного животным (животными) количества энергии ОИ с конечным результатом технологического процесса (молочной продуктивности, привесами, состоянием здоровья и т.д.). Данный подход не может решить такие вопросы, пока не будут осуществлены исследования противоположного характера: не определены конкретные эффекты от воздействия энергии ОИ на продуктивность, привесы и т.д. Следовательно, исследование и решение данной проблемы должно идти с двух сторон: со стороны проникновения энергии ОИ в тело животного и со стороны конечных результатов (удоев, привесов). Такой подход диалектически оправдан и позволит максимально ускорить решение задачи по рациональному использованию энергозатрат (энергии ОИ) при максимальном выходе конечной продукции (молока, мяса и т.д.).

При данных исследованиях необходимо учитывать воздействие ОИ на человека. Данное обстоятельство обусловлено тем, что технологически подача ОИ в помещениях для содержания животных продолжается несколько часов и обслуживающий персонал так же оказывается в поле воздействия данного вида энергии. Если учесть, что кожные покровы человека, как правило, защищены спецодеждой, то основное воздействие ОИ на работающего человека осуществляется через зрительные анализаторы. Важным является и комфортность условий работы человека, что существенным образом сказывается на качестве и производительности труда.

## 1.7 Цель и задачи диссертационной работы

Проведенный обзор состояния светотехнических установок и технологий использования ОИ на фермах и комплексах КРС и анализ их соответствий современным требованиям позволяет сформулировать цель, задачи, объект и предмет исследований настоящей работы.

Цель работы - научные обоснования, разработка и внедрение новых технологий и светотехнических средств для различных способов содержания животных при производстве молока и создание комфортных условий труда человека, увеличения продуктивности животных, показатели здоровья с минимальными затратами электроэнергии.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- разработать методики и экспериментальные установки для определения эффективности действия ОИ широкого диапазона спектра на сельскохозяйственных животных при производстве молока и работе человека с учетом требований энергосбережения, минимума материальных ресурсов и сохранения экологически чистой окружающей среды и конечной продукции;
- провести экспериментальные исследования по определению воздействия ОИ на показатели продуктивности сельскохозяйственных животных и производительности труда человека при различных способах содержания КРС, разных режимах освещения и облучения;
- обосновать рациональные режимы освещения и облучения в помещениях КРС при различных способах содержания животных с учетом труда человека;
- разработать математические модели влияния уровней освещенности на технологические процессы содержания молочных коров;
- разработать технические требования к СТУ для их реализации;
- разработать новые технологические операции с использованием ОИ для повышения продуктивности животных, снижения энергозатрат и повышения производительности труда человека;
- разработать и внедрить новые конструкции осветительно-облучательной техники, пускорегулирующих аппаратов и устройств для управления СТУ в ручном и автоматическом режимах для использования технологического графика производственных операций на фермах при производстве молока;
- оценить эффективность применения новых способов содержания животных и светотехнических средств на фермах и комплексах КРС, разработать предложения для включения нормативно-технической документации.

Объект исследований: влияние ОИ на молочных коров и человека.

Предмет исследований: экспериментальное обоснование новых технологий и технических средств облучения.

При выполнении настоящей работы предложена научная концепция создания новых светотехнических средств и новых технологических операций с использованием ОИ в молочном скотоводстве, направленных на увеличение продуктивности молочных животных и улучшения условий труда человека при минимальных затратах электроэнергии и с учетом вопросов экологии.

## **2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОКА**

Целью настоящего раздела работы является разработка методики исследований и экспериментальных установок для определения эффекта действия оптического излучения на молочных коров и человека в технологических процессах по производству молока путем регистрации изменения основных показателей продуктивности и здоровья при различных уровнях, спектральных составах и длительности излучения.

### **2.1 Методика оценки действия оптического излучения на животных**

Анализ научно-технической литературы позволил установить, что на сегодняшний день отсутствует единая методика учета основных параметров, характеризующих СТУ и показатели животных. При этом известны методики самостоятельной оценки отдельных параметров животных, светотехнических и электрических параметров СТУ. Данные методики и были использованы при разработке комплексной методики оценки действия ОИ в технологических процессах получения молока [48 - 69].

Согласно разработанной методике при проведении экспериментальных исследований выделяются три основные стадии - подготовительная, главная и заключительная. Приложение Б.

В подготовительный период производится отбор, комплектование и формирование групп животных, устанавливается контроль за их основными показателями, производится отбор и отжиг ламп, ПРА, светильников, формируется установка со стабильными светотехническими и электрическими параметрами. Этот период обычно занимает от 15 до 20 *дн.*

Главный период определяется сезоном содержания животных в закрытом помещении или на базах. Его продолжительность составляет от 3 до 6 *мес.*

В заключительный период, который длится 15...30 *дн.*, исследуют последствия воздействия заданного ОИ, проводят лабораторные исследования светотехнических характеристик ламп, световых приборов, определяют естественный спад потока излучения за счет старения.

Если по условиям эксперимента поток излучения поддерживается постоянным, то разрабатывается график очисток и замены ламп в главный период. При этом напряжение питания СТУ было стабилизировано.

Формирование подопытных групп животных зависит от количества изучаемых факторов и степени их градации. Рекомендованное количество групп животных, участвующих в эксперименте не должно превышать двух - трех.

При проведении исследований на всем поголовье промышленного стада фермы количество контрольных групп или секций определяется технологическими условиями содержания [59, 70].

Размер опытных групп для получения сравниваемых результатов и достоверных данных должен быть не менее 10 - 15 голов. Различие животных

по основным показателям в группе и между группами не должно превышать 1,5–2,0 % от среднего показателя в группе.

Во время проведения экспериментов кормления животных было полноценным, сбалансированным по всем доступным для контроля питательным веществам. Учет кормления производили по каждому животному и по всей группе животных с интервалом в 10 *дн.* Учет производится путем взвешивания раздаваемого корма и остатков при очистке кормушек [59].

Учет продуктивности животных осуществлялся путем контроля над величиной удоя и качеством молока. Периодичность контроля составляла 10 *дн.* При необходимости производили взвешивание животных, контролируя прирост массы: коров взвешивали до кормления два дня подряд.

Контроль воспроизводства животных проводили, наблюдая за прохождением родов, послеродовыми болезнями, количеством осеменений, продолжительностью сервис-периода, живой массы приплода при рождении (на 10 и 20 *дн.*), количеством заболеваний у телят в профилакторный период.

В процессе исследований контролировали и поддерживали на нормируемом уровне все параметры микроклимата по методикам [28, 29, 58–63]. При этом все опытные и контрольные группы животных находились в одинаковых климатических условиях.

Отбор и контроль ламп по светотехническим и электрическим параметрам проводили по стандартным методикам [33, 49].

Отбор и контроль параметров пускорегулирующих аппаратов и осветительных приборов производили по [52, 71].

В наших исследованиях указанные выше методики были объединены в единую методику. Добавив к перечисленным контролируемым параметрам уровень освещенности в контрольных точках, показатели спада освещенности светильников (путем замеров освещенности каждые десять дней и соответствующей заменой эксплуатируемых ламп на контрольные аналоги), расход электроэнергии, и изменение показателей работоспособности человека (устойчивость зрения и время восприятия порогового контраста).

Таким образом, разработана новая комплексная методика одновременного контроля показателей продуктивности и здоровья животных, светотехнических эксплуатационных параметров СТУ и параметров, характеризующих работоспособность человека.

## **2.2 Методика оценки действия оптического излучения на человека**

Оценка воздействия ОИ на человека осуществляли различными методами. При этом использовали следующие параметры: устойчивость ясного видения, устойчивость зрения, по переменному порогу адиспарации, скорости времени различения деталей, видимости, адаптометрии и т.д. [39, 72].

Для оценки действия ОИ на человека в настоящих экспериментах выбраны как наиболее доступные и простые: устойчивость зрения по временному порогу адиспарации и время восприятия порогового контраста.

Применение метода оценки ахроматической адиспарации заключается в использовании круга радиусом 12 *мм*, состоящего из двух ахроматических

полей в виде кругов с контрастом 60 %, разделенных вертикальной линией. В центре круга находится фиксированная точка. Тест размещался на переносной плоскости и устанавливался на расстоянии 50 см от глаз на уровне линии зрения. Для этого в доильном зале было выделено специальное место. Фиксацию теста проводили одним глазом. Второй глаз перекрывали экраном. Далее, по сигналу экспериментатора, оператор фиксировали тест до момента слияния полуполей. Для определения этого слияния перед началом опыта проводили тренировки операторов: оператор должен был констатировать появление однородного по контрасту поля, появление ореола или разделительной полосы. При этом отсчитывали затраченное время по секундомеру. Опыт проводили не менее трех раз с перерывами на 20...30 с, т.е. до тех пор, пока не исчезал последовательный образ, во время которых наблюдатель переводил взгляд с теста на поверхность адаптации. Время адаптации вычисляется как среднее арифметическое из результатов трех измерений.

Вторая выбранная методика определяла устойчивость ясного видения. Устойчивость ясного видения характеризует способность глаза человека длительно поддерживать различие рассматриваемого объекта (что характерно операциям осмотра вымени животного и выявления повреждений) и определяли с помощью коэффициента видения  $K_v$ .

Тест-объектом в этом эксперименте является кольцо Ландольта при времени наблюдения 180 с. Расстояние от кольца до глаза наблюдателя составляло 35...45 см. Размер кольца выбирали таким, чтобы  $K_v$  составлял 0,7...0,85.

Коэффициент устойчивости ясного видения  $K_v$  представляет собой отношение времени ясного видения  $T_y$  за период наблюдения к общему времени наблюдения  $T_o=180$  с /  $K_v=T_y/180$ . Голова наблюдателя фиксировалась, а тест-объект располагался на линии зрения. Для этого в доильном зале также было выделено специальное место, где наблюдатель не отвлекается от его проведения посторонними эффектами. При этом информацию для экспериментатора испытуемый подавал голосом. В результате экспериментатор фиксировал по секундомеру интервал времени от момента, когда наблюдатель четко различал разрыв в кольце до его неясного видения. Далее по отношению времени ясного видения ко всему времени наблюдения рассчитывали коэффициент устойчивости ясного видения.

Исследования описанных выше параметров проводили в темное время суток на протяжении 10 дн с интервалом 20 дн. перерыва.

### **2.3 Экспериментальные осветительные установки помещений для беспривязного содержания молочных коров**

Помещения для беспривязного содержания молочных коров на глубокой подстилке представляют собой кирпичное здание шириной 18 м и длиной 120 м, разделенное на шесть равных секций. В каждой секции содержалось до 70 голов молочных коров. Коэффициент естественного освещения помещений не превышал 0,3, вентиляция в помещениях естественная, шахтная. Воздух

проходит через открытые дверные проемы и выходит через центральные шахты в перекрытиях. По действующим нормативам в таких помещениях не предусмотрено какое-либо электрооборудование за исключением осветительных приборов.

Температура воздуха в помещениях на протяжении осенне-зимнего сезона изменялась в пределах от 4 до 16 °С, относительная влажность воздуха - от 64 до 93 %, подвижность воздуха - 0,5...0,7 м/с, а содержанием аммиака составляло от 9 до 13 мг/м<sup>3</sup>.

Анализ достоинств и недостатков стандартных источников света (табл. 1.5) для указанных условий микроклимата позволял рекомендовать для таких помещений лампы накаливания или лампы высокого давления. Люминесцентные лампы при таких низких температурах использовать нецелесообразно.

В экспериментальных установках светильники устанавливали на балках перекрытия и с помощью экранов и отражателей обеспечивали равномерность освещения помещений на уровне 0,75...0,8.

Лампы накаливания использовали в светильниках типа НСП, для ламп ВД применяли светильники типа РСР с лампами типа ДРЛ и ДНаТ. Спектральный состав излучения источников излучения соответствовал паспортным данным [33].

Все животные были подобраны и разделены на четыре группы. В каждой группе было порядка 64...72 голов. В каждой группе выделялись по 11 коров - аналогов по возрасту в отелах, дате последнего отела, величине среднесуточного удоя, состоянию здоровья.

Животные первой группы (контрольной) освещали светильниками с ЛН при освещенности 30 лк при продолжительности освещения 16 ч в сутки [25].

Вторая, третья и четвертая группы (опытные) содержались соответственно, при уровнях 100, 150 и 200 лк, которые обеспечивались светильниками с РЛВД. Продолжительность светового дня также составляла 16 ч/сут. и контролировалась с помощью приборов пульта автоматического управления (ПАУ). В секции, где содержались животные четвертой группы, дополнительно освещались кормушки выгулов с помощью светильников типа РКУ с РЛВД. План экспериментальных светотехнических установок представлен на рис. 2.1. В соответствии со световым календарем Харьковского района (табл. 2.1) был разработан график режима работы СТУ [61].

Включение СТУ осуществляли в 5 ч. утра, а выключение в 21 ч. и обусловлено режимом работы фермы о/х Кутузовка Харьковского р-на. Светильники по секциям располагали рядами и в шахматном порядке. Освещенность в контрольных точках определяли каждые 10 дней в соответствии с Методикой [49]. Измерения проводили в темное время суток при постоянном контроле величины напряжения питания.

При проведении исследований по опытным животным, которых выделяли из общего числа животных промышленного стада, проводили учет и устанавливали молочную продуктивность коров на основе контрольных доений, которые осуществляли один раз каждые десять дней. Кроме того

проводили учет расхода кормов – один раз в декаду, интенсивность молоковыведения устанавливали два раза в месяц. При этом регистрировали заболеваемость животных и продолжительность сервис-периода, а также показатели естественной резистентности коров, как в начале, так и в конце опытов. Все эти параметры регистрировались специалистами ИЖ УААН [73, 74].

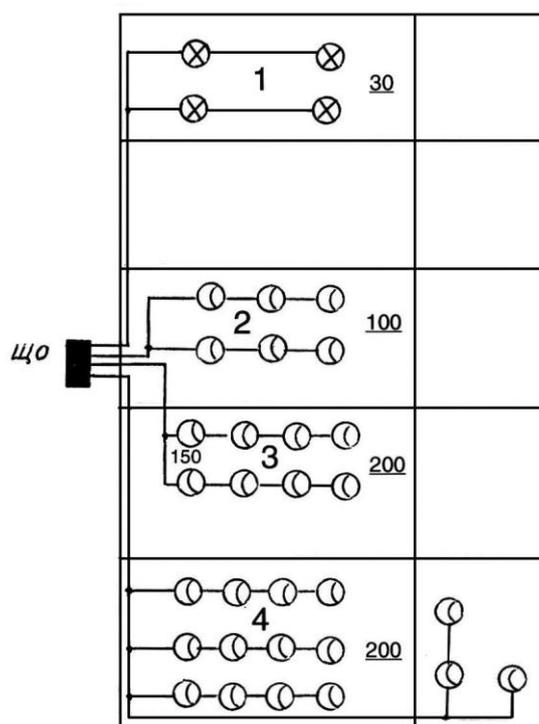


Рисунок 2.1 - План экспериментальной осветительной установки в помещениях коровника беспривязного содержания коров на глубокой подстилке при освещенности: 1 - 30 лк; 2 – 100 лк; 3 – 150 лк; 4 – 200 лк

Таблица 2.1 - Световой календарь Харьковского района

Пятидневки месяца	Время начала (числитель) и конца (знаменатель)			
	Январь	Февраль	Март	Апрель
1-5	7.21/16.45	6.59/17.28	6.11/18.13	4.05/20.030
6-10	7.20/16.52	6.52/17.36	5.59/18.23	3.53/18.12
11-15	7.18/16.57	6.44/17.45	5.51/18.29	3.42/18.20
16-20	7.15/17.03	6.36/17.52	5.40/18.36	3.35/18.20
21-25	7.11/17.04	6.29/18.00	5.58/18.46	3.21/18.36
26-30	7.07/17.19	6.17/18.09	6.17/18.54	3.11/18.45

Второй этап исследований проводили для двух групп животных по 60 голов в каждой. Исходя из того, что при беспривязном содержании животных они большую часть времени находились на выгульных площадках, то в коровниках было устроено динамичное освещение обеспечивающее моделирование изменение естественной освещенности в стойловый период.

Это достигалось изменением длительности светового дня с помощью ПАУ. Изменение уровня освещенности и длительности освещения осуществляли следующим образом: вначале - возрастание интенсивности при увеличении длительность искусственного освещения, затем период стабилизации при постоянной длительности светового дня, но при снижении интенсивности освещения.

В третий период уменьшается длительность искусственного освещения помещений при снижении уровня освещенности. На рис. 2.2 и 2.3 представлена динамика изменения длительности искусственного освещения коровника и динамика уровня освещенности в помещениях.

Исходное значение освещенности в помещении, соответствовало 50 лк, что обусловлено эффектом сумеречности и в дальнейшем изменялось в среднем на 1,7 лк в день до тех пор, пока в помещении не устанавливалась освещенность 150 лк. При этом дозу ОИ изменяли за счет двух составляющих - длительности и интенсивности излучения.

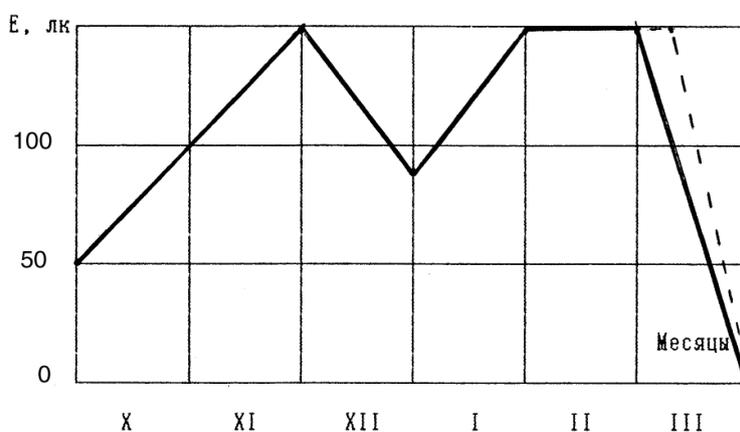


Рисунок 2.2 - Динамика изменения уровня освещенности по месяцам стойлового периода

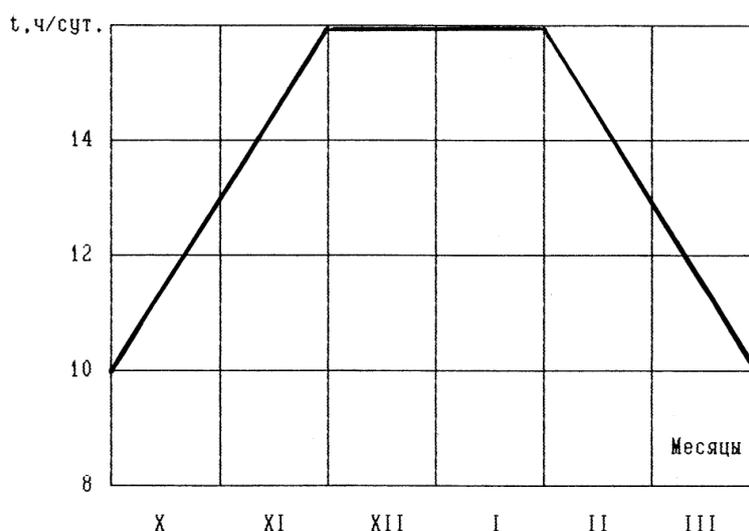


Рисунок 2.3 - Динамика изменения длительности освещения по месяцам стойлового периода

Затем при максимальной длительности освещения проводили снижение уровня освещенности по 2 лк/дн до значения 90 лк к 1 января. Значение 90 лк выбрано как граничное, исходя из возможных отклонений величины напряжения питания в реальных условиях. В январе уровень освещенности опять увеличивали до 150 лк. На протяжении февраля и первой декады марта уровень освещенности поддерживали постоянным 150 лк с последующим понижением до конца марта по 7,5 лк/дн и к 1 апреля он устанавливался на уровне 50 лк. В апреле установку отключили в связи с нарастанием доли естественного света, и внутри помещений искусственная освещенность поддерживалась только дежурным освещением на уровне 5...10 лк. На рис. 2.2 описанный выше режим показан пунктирной линией.

Изученная динамика изменения освещенности помещений для беспривязного содержания молочных коров рассчитана на инициацию организма животных в период сокращения длительности и интенсивности естественного ОИ и его активизации при переходе к весеннему периоду.

В случае изменения величины питающего напряжения изменение освещенности учитывалось по стандартной форме [40]:

$$E_{\phi} = \frac{E_{ИЗМ} U_0}{U_0 \mp k(U_0 + U_{\phi})}, \quad (2.1)$$

где  $E_{\phi}$  - фактическое значение освещенности, лк;

$U$  - номинальное значение сетевого напряжения, В;

$k$  - коэффициент равный 2 для ламп высокого давления;

$E_{ИЗМ}$  - измеренное значение освещенности, лк;

$U_{\phi}$  - среднее значение напряжения, равное  $(U_1 + U_2)/2$ , где  $U_1$  и  $U_2$  - значение напряжения сети в начале и в конце измерений, В. Знак "+" используется при понижении напряжения питания, а знак "-" при его повышении.

Второе пороговое значение освещенности в 90 лк обеспечивает освещенность помещения на уровне 75 лк при отклонении напряжения на - 10% от номинального значения и соответствует действующему нормативу [49].

В общем случае выбранное изменение освещенности по интенсивности и времени действия определяли динамикой изменения естественного света [61].

В секции, где содержали животных контрольной группы, искусственную освещенность поддерживали на уровне 30 лк при длительности освещения 16 ч в сутки, согласно отраслевым нормам.

Режим освещения животных регулировали пультом автоматического управления. Уровни освещенности в течение эксперимента на каждом интервале поддерживали постоянным путем экранирования прямой составляющей излучения фильтрами и экранами и измерением высоты подвеса светильников. Последний способ в данных помещениях осуществляли

достаточно просто в связи с нарастанием слоя подстилки. При низких уровнях освещенности она устанавливалась путем отключения части ламп.

Освещенность в контрольных точках (под светильниками и между ними) измерялось 1 раз в 10 дней. При этом светильники очищались от грязи и пыли. В случае отказа ламп производили равноценную замену в течение рабочего дня.

При проведении исследований определяли и учитывали:

- молочную продуктивность - 1 раз на декаду по контрольным доениям;
- жирность молока - 1 раз на декаду по контрольным доениям;
- интенсивность молоковыведения - 2 раза в месяц;
- полноту выдаивания - 2 раза в месяц;
- продолжительность сервис - периода.

Кроме того, по каждой группе животных определяли количество заданных кормов и их остатки - один раз в декаду (методом средних проб).

Доение животных производили в зале молочного блока на установках типа "Елочка" по 16 коров одновременно.

Таким образом, по предложенной методике контролировали показатели продуктивности животных, светотехнические показатели и работоспособность человека.

## **2.4 Устройство экспериментальных установок для привязного содержания молочных коров**

Помещение для привязного содержания молочных коров представляет собой кирпичные здания шириной 18 и 24 м при протяженности от 80 до 120 м и высоте перекрытия от 2,5 до 4,5 м. В экспериментальных помещениях животные содержались в два и четыре ряда.

Стены и потолок имели побелку, которая восстанавливалась не реже одного раза в год. В экспериментальных СТУ изменение уровня освещенности достигали путем отключения части светильников, которые формировались в равноценные, равномерные группы и размещали по всему помещению на тросе при высоте подвеса от 2,2 до 2,5 м от уровня пола. На протяжении эксперимента с помощью стабилизаторов поддерживали постоянный уровень напряжения питания, что исключило влияние колебания сетевого напряжения во время дойки и в вечерние часы.

Уровень естественной освещенности в экспериментах оценивали по коэффициенту естественной освещенности, который не превышал значений 0,3.

Температура воздуха, его влажность и загрязненность поддерживали в пределах, установленных нормативными документами с помощью автоматической системы вентиляции. Параметры микроклимата контролировали не реже одного раза в декаду и с помощью приборов стационарного и переносного типов. При контроле параметров микроклимата учитывали методические указания на условия проведения измерений температурно-влажностных режимов животноводческих помещений, регламентированных [75].

На рис. 2.4 приведен примерный план экспериментальной светотехнической установки коровника привязного содержания.

В процессе экспериментальных исследований проводили постоянный контроль за спадом светового потока источников света и осветительных приборов. Данные исследования проводили для определения реального спада светового потока с целью установления экономически целесообразных интервалов очистки осветительных приборов.

Одновременно фиксировали длительность операции: очистки ламп и светильников, время замены ламп, элементов ПРА, светильников, время ремонта отказавших элементов СТУ.

Следует отметить, что пульт автоматического управления СТУ располагали, как правило, в освещенном помещении, он имел герметическое исполнение и снабжался специальными индикаторами, характеризующими его исправность. В качестве индикатора были выбраны лампы накаливания, а их расположение в нижней части ПАУ позволило обеспечить нормальные условия работы элементов схемы управления: за 10 лет эксплуатации экспериментальных СТУ не было зафиксировано ни одного отказа комплектующих изделий.

В помещениях привязного содержания КРС принята следующая схема проведения экспериментов:

- исследования по определению действия интенсивности излучения;
- исследования по определению действия спектрального состава излучения и его длительности.

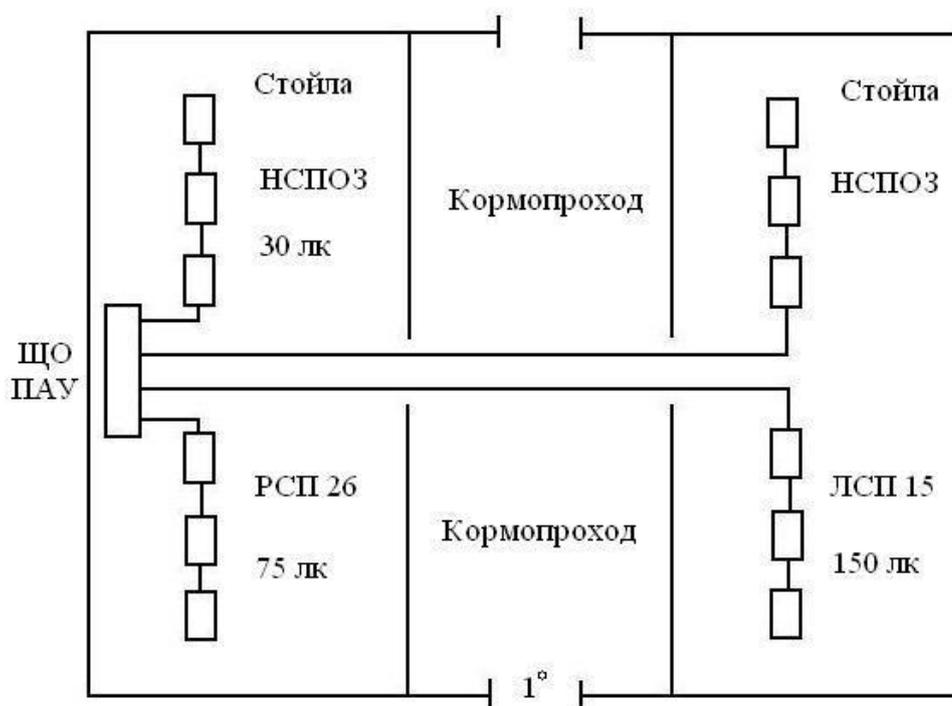


Рисунок 2.4 - План экспериментальной осветительной установки в помещениях коровника привязного содержания коров с освещенностями 30, 75 и 150 лк

Для предотвращения проникновения излучения в соседние группы, светильники перекрывались экранами по секциям и снабжались защитными углами порядка 30°.

Таким образом, разработаны новые ОУ с ПУА для помещений привязного содержания молочных коров.

## **2.5 Экспериментальные осветительные установки доильных залов**

Экспериментальные светотехнические установки доильных блоков разрабатывали с учетом климатических условий доильных залов и основных технологических операций, производимых в данных помещениях в процессе доения [31, 63, 76]. Учет действия естественной освещенности проводили по методике [77].

По "Отраслевым нормам" осветительные установки помещения для доения молочных коров обеспечивали на вымени животного освещенность не менее 150 лк при использовании РЛ. Решить данную задачу с помощью серийно выпускаемых осветительных приборов с учетом экономии электроэнергии и комфортности среды не представлялось возможным, так как вымя животного экранировалось оператором машинного доения, соседними животными и оборудованием.

Для освещения доильных залов предложено использовать светильники с трубчатыми РЛНД блочной конструкции и светильники с РЛВД с повышенной световой отдачей. Существенную роль в выборе типа источника света играли требования к качеству освещения и, в частности, к пульсации светового потока и цветопередаче.

На рис. 2.5 представлен примерный план экспериментальных СТУ молочного блока:

- 1 - преддоильное помещение со светильниками типа ЖСП;
- 2 - доильный зал с люминесцентными светильниками типа ЛСП;
- 3 - доильный зал со светильниками типа ЖСП;
- 4 - молокоприемное отделение со светильниками типа РСР;
- 5 - доильный зал со светильниками типа РСР;
- 6 - доильный зал со светильниками типа НСП.

Установки смонтировали в доильных блоках о/х "Кутузовка" и о/х им. Ленина института животноводства АН Украины, расположенных в Харьковской области.

Доильный блок состоял из следующих основных помещений: преддоильные площадки - накопители, четыре доильных зала и молокоприемная.

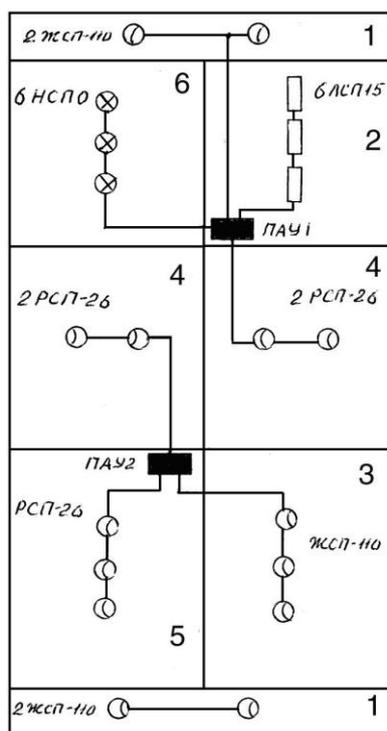


Рисунок 2.5 - План экспериментальной СТУ доильного блока:

- 1 - преддоильное помещение; 2 - доильный зал с ЛЛ; 3 - доильный зал с ДНаТ;  
4 - молокоприемная; 5 - доильный зал с ДРЛ; 6 - доильный зал с ЛН

В преддоильных помещениях температура воздуха достигала значений, близких к температуре на открытых пространствах (по Харьковской области - 20...-25°C). Поэтому применение в данных помещениях трубчатых люминесцентных ламп потребовало создания специального герметического светильника высокой стоимости. При этом вероятность незажигания ламп с первой попытки может достигать 1. Кроме того, в процессе работы таких ламп происходило резкое снижение светового потока, что делало применение таких ламп в аналогичных помещениях не целесообразным. В результате единственно приемлемыми источниками света для данных помещений оказывались РЛВД.

Непосредственно в доильных залах смонтировали СТУ с ЛЛ, ЛН, ДРЛ, ДНаТ.

Помещение молокоприемной и первичной переработке молока по проекту освещали лампами накаливания в светильниках типа НСПО 3-200. В процессе исследований, по просьбе работающих, данные светильники были заменены на светильники типа РСР-26 с лампами типа ДРЛ 125. При этом установленная мощность СТУ была снижена с 800 Вт до 600 Вт, то есть на 25 %. Отрицательное воздействие пульсации светового потока от РЛ снизили до 21 % расфазировкой светильников и использованием трехфазной системы питания.

Перед началом экспериментальных исследований всех операторов машинного доения обследовали в медпункте и получили разрешение на работу по санитарно-гигиеническим нормам.

Для управления работой экспериментальной СТУ использовали селективные блоки ручного и автоматического включения и выключения ламп. Включение и выключение секций СТУ производилось одновременно в режиме работы доильного блока по технологии, разработанной в ИЖ УААН.

Все показатели регистрировали сотрудники отдела технологии и содержания молочных коров института животноводства и заносили в память ЭВМ и соответствующие журналы.

Параметры, определяющие показатели работоспособности операторов машинного доения, фиксировали сотрудниками отраслевой лаборатории "Средства электроручековой технологии" ХГТУСХ по методикам, описанным выше.

Перед началом экспериментов операторы машинного доения проходили обязательную адаптацию в течение 15 мин. На первом этапе исследования установки включили вручную, а затем переводили в автоматический режим работы под контролем экспериментатора. Это обстоятельство было обусловлено отработкой и точным исполнением всех операций доения и синхронизацией режимов включения СТУ с началом и окончанием соответствующих операций. Одновременно такой подход к решению задачи был обусловлен повышением дисциплины труда.

Для исследования влияния ОИ на работу доярок при доении в молокопровод или бидоны при привязном содержании молочных животных, СТУ дополнительно снабжали светильниками, которые включали только во время дойки. Во всех случаях, на уровнях вымени коровы обеспечивалась освещенность не хуже 300 лк.

Во всех установках исключили воздействие прямой составляющей излучения на глаз человека.

Для питания СТУ использовали трехфазные системы питания, что позволяло снижать коэффициент пульсации светового потока до 3...7 %. В наихудшем случае коэффициент пульсации светового потока не превышал 21 % (в секции с ЛН и стандартной схемой включения). Во всех установках устранили эффекты, вызываемые блеском и тенеобразованием.

Спектральный состав излучения источников света определяли по паспортным данным и выборочно измеряли в лаборатории качества ВНИСИ на монохроматоре [78].

Перед началом экспериментов все лампы прошли сточасовой отжиг, после чего провели отбор ламп с характеристиками, близкими к номинальным, разброс параметров ламп не превышал +1,0 %.

Для проведения экспериментальных исследований по определению влияния ИК излучения на дойных коров, над каждым животным устанавливали один облучатель типа ОВИ и инфракрасной лампой типа ИКЗК-250-220. Изменение ИК облученности достигали изменением высоты подвеса облучателей и изменением величины сетевого напряжения с помощью автотрансформатора.

На рис.2.6 представлена принципиальная схема размещения ИК облучателей над животными.

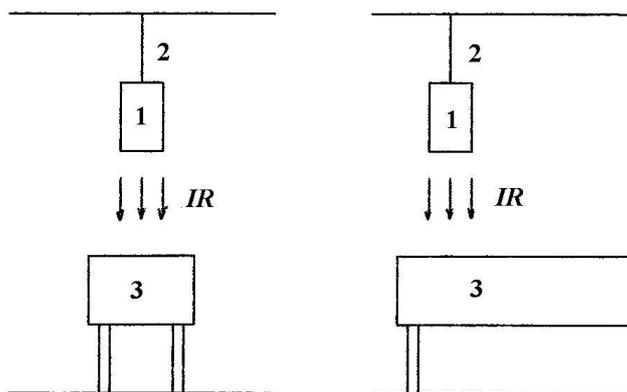


Рисунок 2.6 - Схема расположения ИК облучателя на подвесе над коровой при воздействии на крестец: 1 – облучатель; 2 – подвес; 3 – животное

На рис. 2.7 показана принципиальная схема размещения ИК излучателя для облучения вымени животного.

Включение и выключение ИК излучателей производили вручную и контролировали по секундомеру. Изменение интенсивности излучения также производили вручную под контролем экспериментатора.

Экспозиция ИК излучения могла быть изменена в интервале от 0,5 до 10 мин.

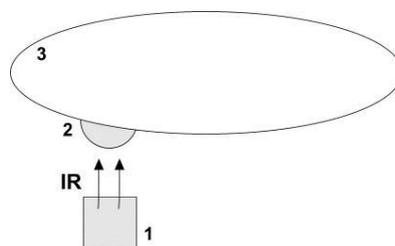


Рисунок 2.7 - Схема расположения ИК излучателя при воздействии на вымя коровы: 1 – облучатель; 2 – вымя коровы; 3 – животное

В помещениях для доения молочных коров приняли следующую схему подачи ОИ:

- включение освещения на уровне 150 лк на период подготовки зала к приему животных и адаптации человека;
- увеличение освещенности до 300 лк на время процесса доения;
- снижение освещенности до 150 лк после доения для уборки помещения и промывки системы молокоприема;
- полное отключение освещения или перевод СТУ в режим дежурного освещения (в случае проведения профилактических и ремонтных работ по восстановлению оборудования или при УФ санации помещения лампами типа ДРТ 1000).

Описанные выше режимы повторяли в зависимости от количества доек, принятых в режиме работы хозяйства.

Таким образом, для доильных залов разработаны новые экспериментальные установки с изменяющимися уровнями освещенности и ИК облученности.

## 2.6 Экспериментальные осветительные установки телятников

Согласно действующим рекомендациям в помещениях для содержания молодняка КРС кроме видимого излучения оказывается целесообразным использовать УФ и ИК излучения [23,24].

В процессе выполнения настоящей работы установили связь между основными этапами технологии содержания КРС различного направления. Как видно из рис. 2.8 практически при всех способах содержания КРС присутствуют общие этапы обслуживания телят от момента рождения до 4...6 мес. Отмеченные исследования послужили основанием создания комбинированной экспериментальной СТУ, в состав которой ввели светильники видимого света, УФ и ИК облучатели.

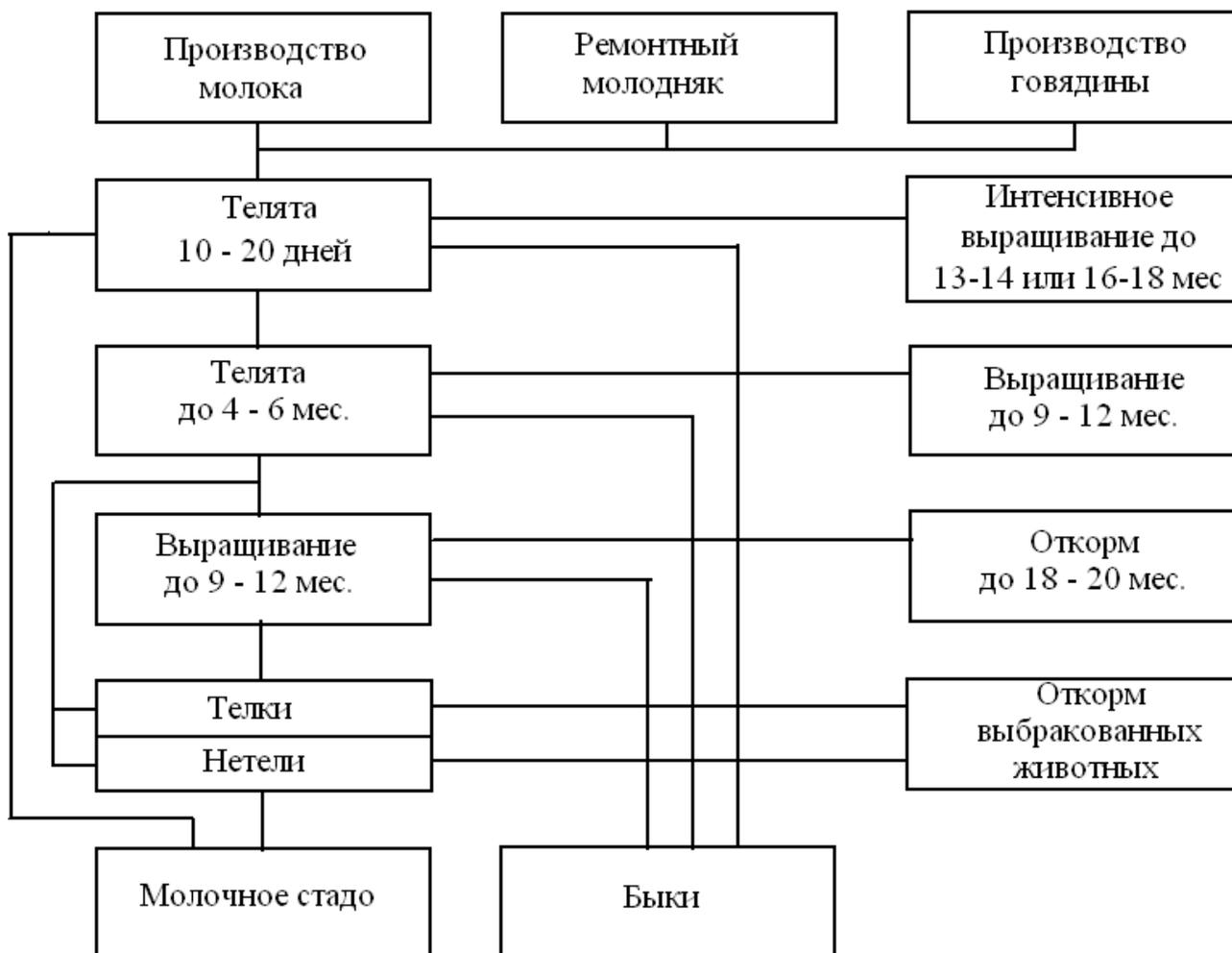


Рисунок 2.8 - Основные технологические группы животных на фермах КРС

На рис. 2.9 представлен план одной из экспериментальных установок телятника с комбинированными приборами.

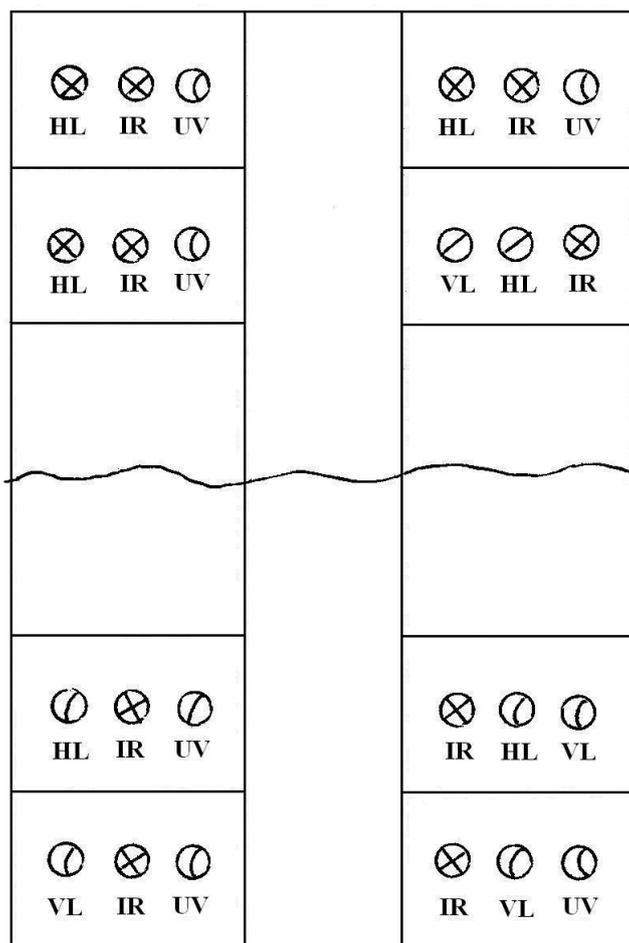


Рисунок 2.9 - Схема экспериментальной СТУ:

IR - инфракрасный облучатель; UV - ультрафиолетовый облучатель;  
 HL - лампа накаливания; VL - газоразрядная лампа

Для получения ИК излучения использовали стандартные лампы типа ИКЗК-250-220 В в облучателях типа ОВИ. Для УФ облучения применены лампы типа ДРТ, а для освещения лампы накаливания - ГЛНД и ГЛВД в соответствующей светотехнической арматуре.

Каждой группой ламп управляли от своего коммутационного устройства, а при необходимости, от общего пульта автоматического управления.

ПАУ имел пять самостоятельных каналов управления и соответствующий выход для подключения к ЭВМ.

Контрольные точки для измерения излучения устанавливали: видимое излучение - на уровне кормушек и пола; в зоне отдыха животных; УФ и ИК излучение направляли только в зону отдыха животных.

Видимое излучение, за счет системы общего освещения, было распределено равномерно по всему помещению с коэффициентом неравномерности не хуже 0,2. Коэффициент пульсации светового потока был порядка 0,21 при коэффициенте пульсации УФ излучения порядка 0,61.

Установку конструировали таким образом, чтобы все светотехнические приборы могли быть в течение 2...3 ч демонтированы на время санации помещения или на летний период.

Периодичность очистки ламп, светильников и облучателей осуществляли каждые 10 дн. Все лампы, отказавшие во время эксперимента, заменяли в течение рабочего дня. Работа установки постоянно контролировали сотрудниками ХИМЭСХ и ИЖ УААН при участии службы энергетика хозяйства.

В ПАУ были смонтированы приборы для контроля величины и качества сетевого напряжения. В СТУ постоянно проводили регистрацию всех отказов ПРА, ламп и электроустановочных (ЭУ) изделий с определением времени их съема и ремонта.

Во всех экспериментах регистрировали спад потока излучения ламп за счет загрязнения и естественного старения. Если поток излучения лампы достигал предельно допустимого значения по спаду, то такую лампу заменяли на новую.

Подача ИК и УФ излучений осуществляли по графикам, рекомендованным в [23, 24, 79]. УФ излучение подавали при отсутствии человека в помещениях, как правило, во время отдыха животных.

Таким образом, разработаны новые автоматизированные СТУ для телятников, позволяющие контролировать светотехнические и эксплуатационные параметры ОИ, показатели продуктивности и здоровья животных.

## **2.7 Электрические схемы управления экспериментальными светотехническими установками**

Для управления режимами работы СТУ были разработаны ПАУ, общая структурная схема которых приведена на рис. 2.10. Основными элементами схемы ПАУ являлся программатор (П), соединенный с силовым модулем (СМ) и устройством обмена информацией (УОИ) линиями связи. Программатор и УОИ образуют цепь управления ПАУ СТУ. Силовая цепь ПАУ состояла из модуля входного устройства (МВхУ), СМ и модуля выходного устройства (МВыхУ) к которому подсоединены светотехнические приборы с источниками оптического излучения (ИОИ) [91].

Функциональные характеристики ПАУ СТУ распределены между отдельными модулями следующим образом:

- защита от различного рода нарушений в работе системы энергоснабжения и учет расхода электроэнергии - МВыхУ;
- управление ИОИ, стабилизация режима работы СТУ - СМ;
- защита от перегрузок и короткого замыкания - МВыхУ;
- хранение программы работы СТУ, программ включения и выключения световых приборов с ИОИ - П;
- индикация состояния ПАУ, обмен информацией с другими системами, изменение программы работы СТУ - УОИ.

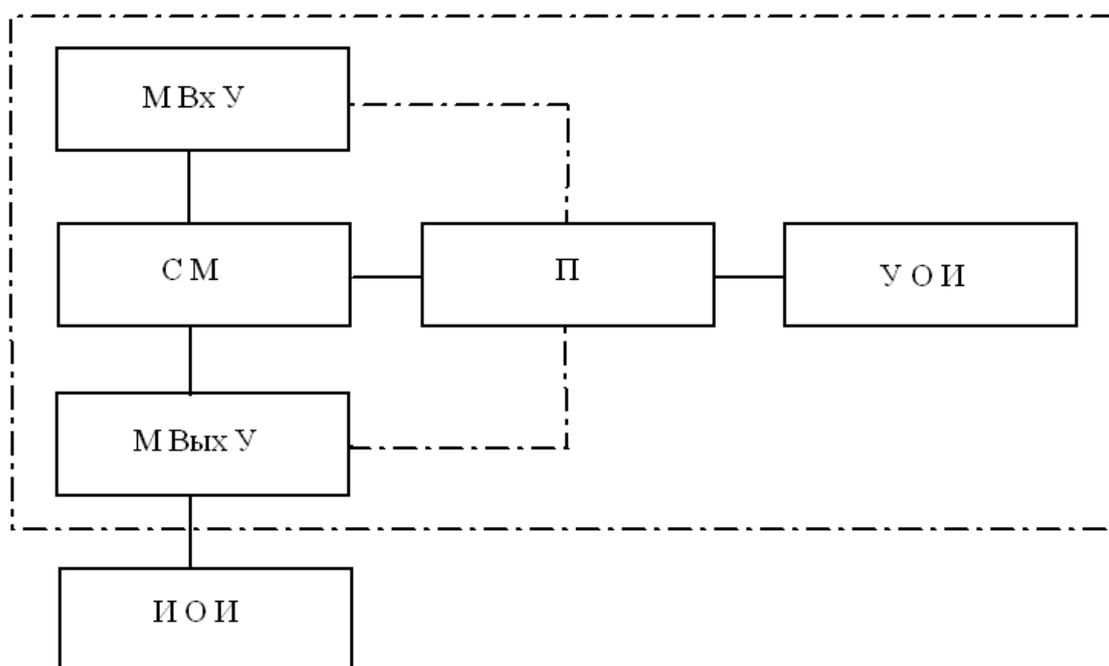


Рисунок 2.10 - Обобщенная структурная схема пульта автоматического управления СТУ: МВхУ - модуль входного устройства; СМ - силовой модуль; МВыхУ – модуль выходного устройства; П- программатор; УОИ - устройство обмена информацией; ИОИ - источники оптического излучения

Разработанная архитектура ПАУ СТУ позволила агрегировать практически любые комбинированные СТУ из отдельных модулей с увеличением или уменьшением числа каналов управления и мощности СТУ путем изменения количества дополнительных силовых блоков. Такая операция не потребовала изменения структуры взаимосвязей между ранее задействованными модулями.

Алгоритм работы разработанного ПАУ представлен в следующем виде - П выравнивает текущее состояние ПАУ с требуемым, заданным эталонной моделью выбранного процесса воздействием ОИ на животных. Результатом сравнения является выработка управляющего сигнала модулям ПАУ. Порядок смены модулей определялся оператором. В ПАУ заложена возможность корректировки режима работы с последующим возвратом к исходной программе, например, при возникновении аварийной ситуации.

Конечная цель, которая была поставлена при разработке ПАУ СТУ, заключалась в интеграции отдельных ПАУ в автоматизированную систему управления оптическим излучением (АСУ ОИ) при производстве молока, которая была составной частью АСУ технологического процесса хозяйства, при возможности функционирования в автоматическом, автономном режиме.

Для осуществления такого перехода, без существенного изменения состава аппаратного обеспечения (силовые цепи), в состав ПАУ ввели устройство обмена информацией. С помощью УОИ осуществляли объединение отдельных ПАУ в систему.

Анализ действующих СТУ и научно-технической информации показал, что такой подход при решении СТУ для помещений КРС (в основном, датчики уровня освещенности или облученности в различного рода фотоавтоматах) предназначены для реализации отдельных конкретных функций и не могут быть использованы для организации обмена информацией в прямом виде.

В разработанном ПАУ СТУ программатор и УОИ рассматривали как переходной вариант к системе микропроцессорного управления СТУ, который позволяет в реальных условиях обрабатывать различные схемные решения отдельных блоков. В экспериментальных и опытно-промышленных вариантах, при решении задач настоящей работы, программатор реализовал режим управляющих программных воздействий по системе разомкнутого типа, поскольку для большинства процессов в животноводстве наиболее характерно малое текущее (апостериорное) информационное обеспечение при сравнительно высоком и среднем априорном обеспечении. Это не позволяет достичь высокой эффективности системы даже при использовании самых современных средств управления [85, 91].

Высокое априорное и апостериорное информационное обеспечение имеет место только в селекционной работе с животными, поскольку в данном случае длительность процессов измеряется годами.

В функцию системы сбора информации на первом этапе вводили контроль состояния СТУ. Это необходимо для последующего обеспечения гарантированной дозы ОИ всеми животными с последующим переходом к контролю параметров микроклимата по всему животноводческому помещению. Конечная цель сбора информации - контроль состояния животных.

Модули и блоки ПАУ СТУ, обладающие описанными выше наборами функциональных характеристик, прошли экспериментальную и опытно-промышленную проверку в хозяйствах Харьковской, Донецкой, Полтавской, Белгородской, Ленинградской областей.

На рис. 2.11 приведена функциональная схема унифицированного силового модуля ПАУ СТУ, предназначенного для управления светотехническими приборами с различными источниками оптического излучения: ЛН и РЛ. Модуль выполнялся на электромагнитных элементах и имел четыре канала управления. Количество каналов – четыре, обусловлено рациональным делением всех СТУ в помещении, имеющим форму прямоугольника.

Работа устройства может быть рассмотрена на базе типового помещения для содержания 100 голов КРС.

В начальный момент времени, согласно технологической карте содержания молочных коров, срабатывают магнитные пускатели (МП) блоков - ≠А1 - ≠А4 и в каждой из групп ИОИ (≠В1 - ≠В4) две трети источников оптического излучения оказываются включенными последовательно на линейное напряжение питающей сети. Общий принцип работы такого устройства описан в а.с. 1312760 [86]. После срабатывания КМ 2 все источники ОИ оказываются включенными по схеме "Звезда без нулевого провода". Срабатывание КМ 3 переводит схему в стационарный режим работы по схеме "

Звезда с нулевым проводом". Новый способ включения ИОИ обеспечивал увеличение срока службы ламп за счет более рационального расхода ресурса тела накала при практически 100 % зажигании РЛ с первой попытки. Длительность первого и второго промежутков времени между срабатыванием КМ 2 и КМ 3 определяется временем переходного процесса включения ИОИ и зависит от типа используемых ламп и параметров окружающей среды.

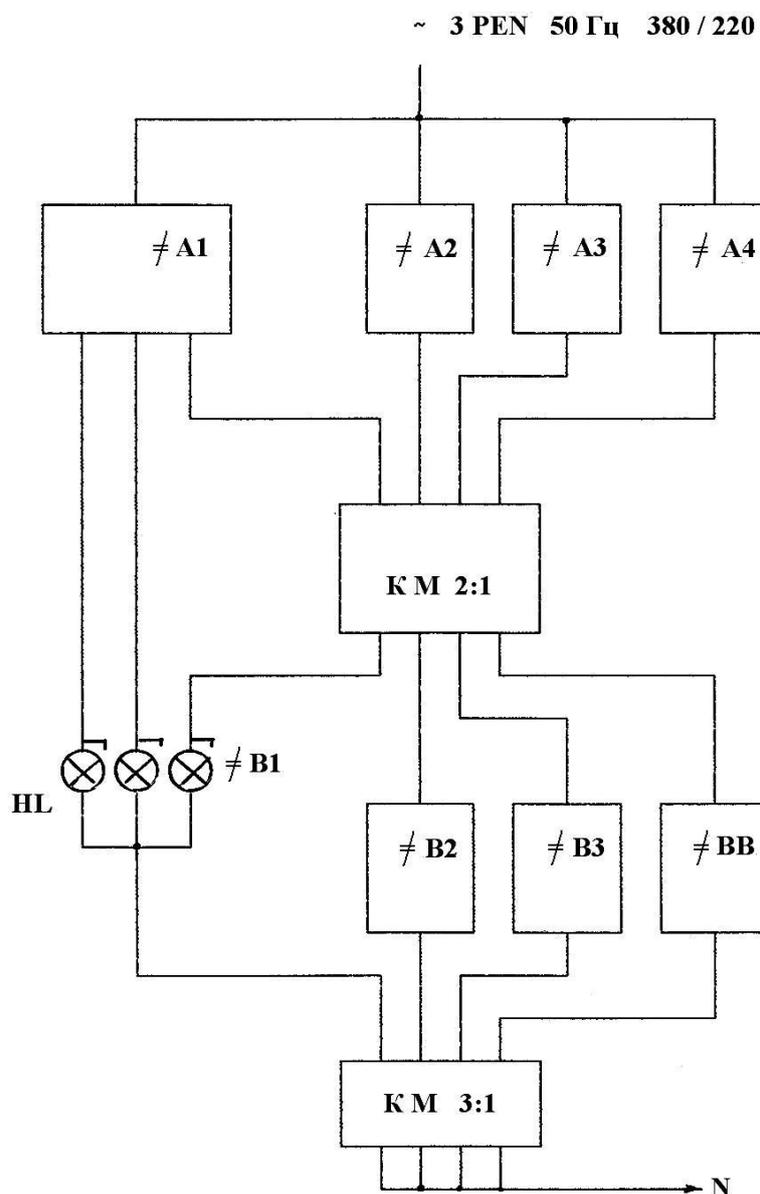


Рисунок 2.11 - Функциональная схема унифицированного силового модуля ПАУ СТУ

На рис. 2.12 приведена функциональная схема линейного симметричного регулятора мощности для активной нагрузки. Основы данной схемы составляет аналоговое устройство для решения уравнения вида:

$$\frac{1}{2} \sin 2\omega\Delta t - \omega\Delta t = k(U_{\text{впр}} - U_{\text{оп}}), \quad (2.2)$$

где  $\omega$  - угловая частота питающей сети,  $rad/c$ ;

$t$  - задержка момента включения симистора - регулятора относительно начала полупериода питающего напряжения,  $c$ ;

$k$  - параметр регулятора мощности (коэффициент пропорциональности),  $I/B$ ;

$U_{упр}$  - управляющее напряжение,  $B$ ;

$U_{оп}$  - параметр регулятора мощности (опорное напряжение, определяющее максимальную величину  $U_{упр}$ , соответствующую задержке момента включения  $t=0$ ,  $B$ ).

Каждый полупериод сетевого напряжения (в момент перехода через ноль) срабатывал формирователь запускающих импульсов, который включал функциональный генератор. Компаратор определял момент совпадения формируемого напряжения и управляющего и открывал ключ, регламентирующий прохождение импульсов на управляющий электрод симистора. Симистор открывался, и напряжение питания подавалось на осветительную нагрузку. Для получения напряжения с удвоенной частотой сети использовали двухполупериодный выпрямитель и полосовой фильтр, пропускающий только первую гармонику выпрямленного напряжения.

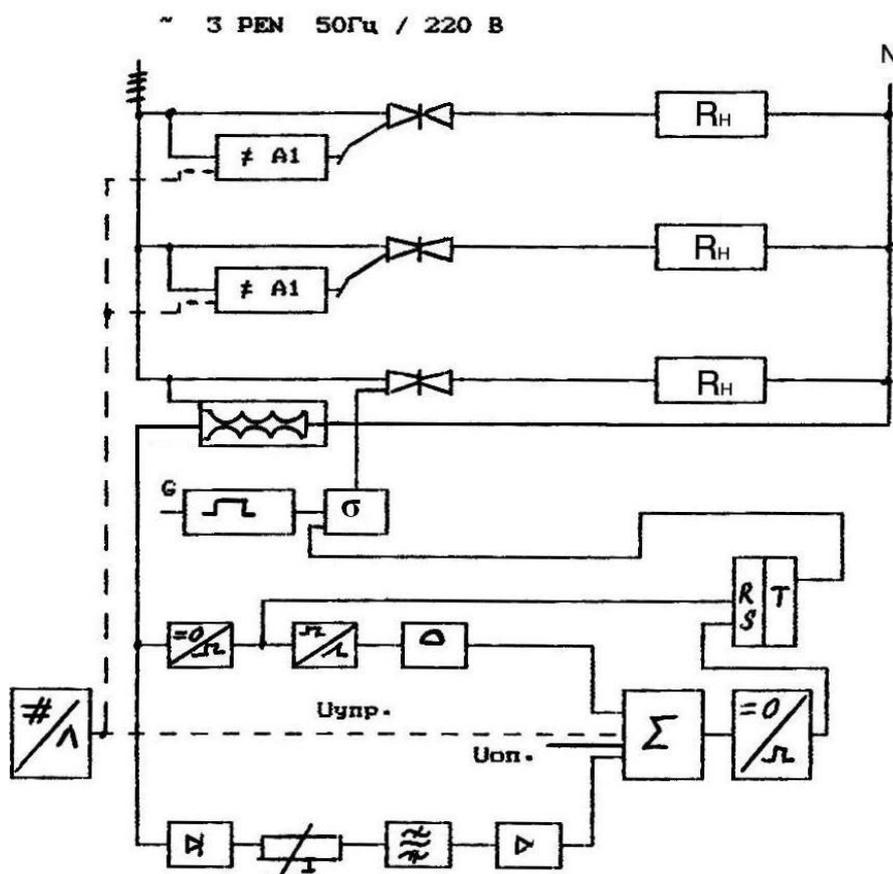


Рисунок 2.12 - Функциональная схема линейного симистерного регулятора мощности для активной нагрузки

Для стабилизации амплитуды использовали бареттер, после которого сигнал усиливается операционным усилителем и поступает на вход сумматора. Получение напряжения развертки осуществляется с помощью интегратора с принудительным разрядом емкости после срабатывания компаратора.

В опытных ПАУ использовали микросхемы серии К153 при кратности регулирования от 150 до 170 и коэффициенте нелинейности порядка 1 %.

Введение в состав регулятора цифро-аналогового преобразователя (показан на схеме пунктиром) позволил использовать устройство в составе простейших цифровых систем регулирования. Отмеченное позволяет говорить о возможном расширении области применения ПАУ.

Задачи стабилизации мощности при изменении величины питающего напряжения, по нашему мнению, целесообразно решать на базе микропроцессорного набора. При этом следует иметь в виду, что данное обстоятельство сопряжено с существенным осложнением аналоговой части устройства и снижением показателей надежности.

Программаторы экспериментальных образцов ПАУ СТУ комплектовали электромагнитными реле времени типа 2РВМ. При этом использовали как непосредственное независимое управление по каждому каналу, так и варианты реле времени в качестве шифратора.

На рис. 2.13 приведена функциональная схема одного из возможных вариантов такого решения. Для реализации схемы в экспериментальных установках использовали как электромагнитные, так и полупроводниковые приборы и интегральные схемы.

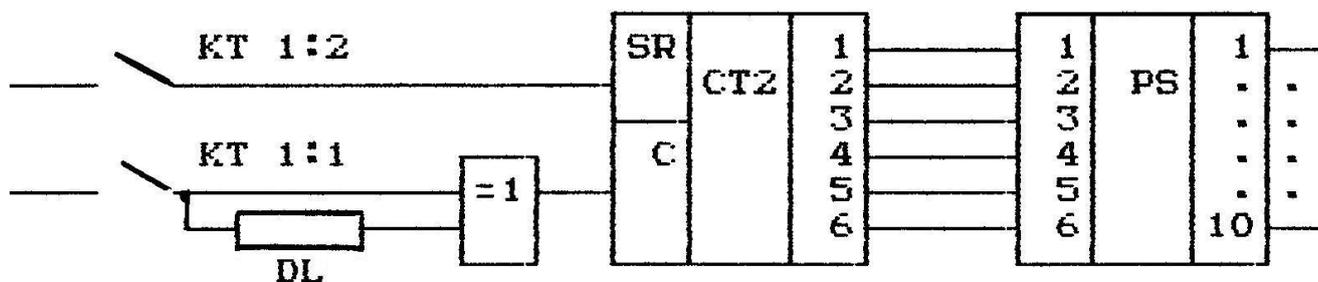


Рисунок 2.13 - Функциональная схема информатора на базе реле времени

Реализация новых ПАУ СТУ животноводческих помещений позволило закодировать до 47 моментов срабатывания (включения и выключения) различных устройств в сутки с минимальным интервалом дискретизации 30 минут. Однако во всех случаях (даже при использовании поляризованных реле, сохраняющих свое состояние при отключении питающего напряжения) для обеспечения бесперебойной работы ПАУ необходим независимый источник питания. При этом учтено, что запас хода у реле типа 2 РВМ составляет 48 ч.

Следует отметить, что отсутствие линий синхронизации и индексации состояния реле времени (в данном случае индикация возможна только визуально) значительно затрудняет использование нескольких реле в составе

одного ПАУ. Кроме того, часто не используется одна из программ (при нечетном числе каналов управления).

Отмеченные выше недостатки электромагнитных элементов в составе ПАУ привели к необходимости разработки электронных программаторов на базе интегральных КМОП микросхем. На рис. 2.14 приведена функциональная схема такого устройства.

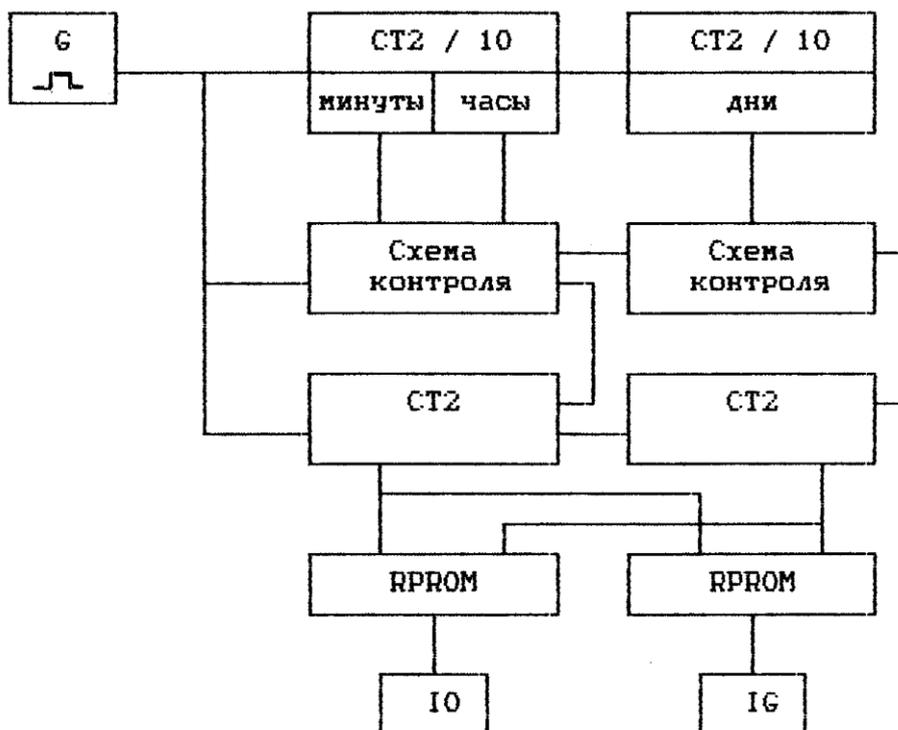


Рисунок 2.14 - Функциональная схема электронного программатора

Основу программатора составлял электронный таймер. Импульсы задающего генератора, стабилизированные кварцевым термостатированным резонатором, поступают на вход двух счетчиков: двойного и двоично-десятичного исчисления. Двоичный код используется для управления запоминающим устройством, а двоично-десятичный - для индикации текущего времени. Синхронизация состояний осуществляется схемой контроля. Текущее время суток и день устанавливали по командам оператора.

В качестве элемента памяти использовали интегральную схему К176 РУ2 с организацией 1 x 256, что позволяла обеспечить интервал между моментами изменения состояния установки, причем каждому из устройств соответствовала своя микросхема памяти с устройством вывода.

Запись информации в память устройства производил оператор. При этом схему переводили в режим сканирования: каждую секунду показатели таймера изменяются на 10 мин. и оператор, манипулируя кнопками, заносил в память требуемую программу. Предыдущая программа при этом стиралась.

После записи всех программ запускали таймер и на выходах устройства ввода появлялся управляющий сигнал, соответствующий записанной в памяти программе.

Разработанные ПАУ позволили осуществить автоматическую смену программ с периодичностью, определяемой состоянием счетчика "Дней". При этом следует иметь в виду, что переход к такому режиму требует увеличения числа микросхем памяти соответственно количеству программ.

Для управления освещением или УФ облучением использовали одноканальные ПАУ. Двухканальные варианты применяли для освещения коровников и выгулов и для одновременного освещения и облучения животных. Приложение В.

Трех- и четырехканальные ПАУ устанавливали в помещениях для одновременного освещения, облучения и обогрева животных.

За время эксплуатации с 1982 г в разработанных ПАУ не было зафиксировано ни одного отказа. В ПАУ с реле времени типа 2 РВМ во всех устройствах ремонты элементов осуществлялись каждый квартал [91].

Таким образом, разработаны новые схемы ПАУ, позволяющие управлять световой средой помещения в дискретном динамическом режиме освещения с изменением уровня освещенности в сутках и декадах.

## **2.8 Моделирование технологических процессов облучения животных на фермах крупного рогатого скота**

В процессе выполнения настоящей работы проведен анализ и определены основные и дополнительные факторы, влияющие на конечный результат (получение продукта на молочной ферме). В общем случае все факторы могут быть сведены в следующие группы: параметры микроклимата (*М*); кормовые параметры (*К*); эксплуатационные (*Э*) и социальные (*С*) параметры.

По отношению к изучаемому объекту кормовые параметры (количественные и качественные показатели кормов и воды) являются доминирующими.

К группе параметров микроклимата (среды) отнесли: температуру (*Т*), влажность воздуха (*ВВ*), загазованность (*ЗГ*), запыленность (*ЗП*), скорость движения воздуха (*СДВ*), микробную загрязненность (*МЗ*), акустику (*А*), оптическое излучение (*ОИ*).

В эксплуатационную группу включили количественные и качественные показатели энергоснабжения ферм, мощностные показатели, загрязненность и запыленность оборудования в процессе эксплуатации, его срок службы, изменение параметров оборудования в процессе эксплуатации, отказы, расход и стоимость энергоресурсов, периодичность и стоимость очисток и ремонта и т.д.

Немаловажную роль играет взаимодействие человека и животного (социальная группа), а также взаимоотношения между животными.

В общем виде структурно-функциональная модель взаимодействия основных и возмущающих факторов в системе "Человек - Животное" представлена на рис. 2.15.



Рисунок 2.15 - Структурно-функциональная модель взаимодействия основных  $[x_i(t)]$  и возмущающих  $[z_i(t)]$  факторов при получении конечного продукта  $[y_i(t)]$  на молочной ферме КРС

Все основные группы воздействующих факторов являются многомерными, в достаточной мере сложными, неразрывно связаны с конечным результатом и могут быть описаны следующим уравнением:

$$y_i(t) = F [K_i(t); M_i(t); \mathcal{E}_i(t); C_i(t)]. \tag{2.3}$$

Высокий уровень взаимосвязи кормовых параметров и конечного продукта на фермах КРС позволяли исключить из рассмотрения в настоящей работе данную группу, поддерживая ее показатели на постоянном уровне в экспериментах. Влияние социальных факторов, как наиболее сложных с точки зрения регистрации и учета также исключался из эксперимента путем распределения опытных и контрольных животных у одного оператора. Группу эксплуатационных параметров приводили к нормативным показателям и также поддерживали постоянной в опытных и контрольных экспериментах.

Последняя группа параметров  $M$ , куда входит и оптическое излучение, состоит из 9 основных факторов, воздействие которых на конечный продукт в той или иной степени изучен. Так, например зависимость живой массы  $M_{ж}$  КРС от возраста при температуре окружающей среды  $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  имеет вид [180]:

$$M_{ж} = -1,19 T + 49,88 T^2 - 97,86, \tag{2.4}$$

где  $T$  – возраст телят, *нед.*

Зависимость прироста массы телят  $M_T$  от температуры воздуха в помещении при содержании телят до 8 месяцев может быть представлена выражением [180]:

$$M_T = 24 + 0,6 t, \tag{2.5}$$

где  $t$  – температура воздуха в помещении,  $^{\circ}\text{C}$ .

Данные выражения получены экспериментально и имеют ограниченный диапазон действия. Поэтому при проведении наших экспериментальных исследований известные параметры  $M$  поддерживали на нормируемом уровне. В результате подсистему взаимодействий изучаемых факторов представили так, как это показано на рис. 2.16.

В свою очередь в группу параметров, характеризующих ОИ, входят следующие количественные и качественные показатели: спектральный состав излучения (ССИ), интенсивность (И), длительность облучения (ДО), доза (Д), пульсация потока излучения (ППИ), неравномерность облучения (НО), ослепленность объекта (ОО), яркость (Я), стабильность излучения (СИ) и т.д. Соответственно, данную подсистему представили в виде, как это показано на рис. 2.17.

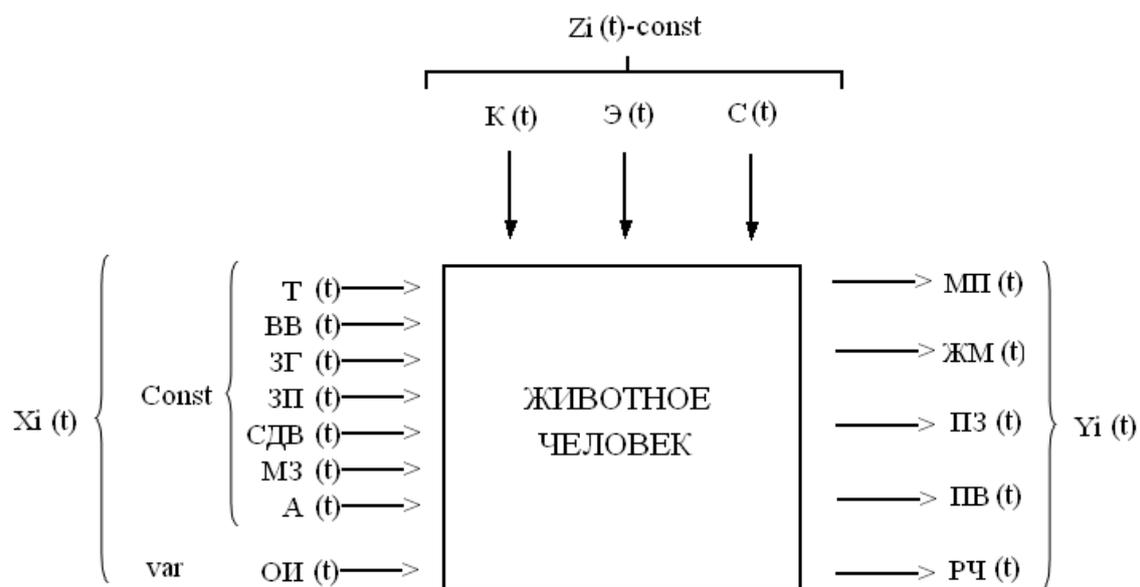


Рисунок 2.16 - Подсистема взаимодействий основных факторов на показатели продуктивности животных и работоспособности человека:

МП( $t$ ) – молочная продуктивность; ЖМ( $t$ ) - живая масса;  
 ПЗ( $t$ ) - показатели здоровья; ПВ( $t$ ) - показатели воспроизводства;  
 РЧ( $t$ ) - работоспособность человека

Анализ научно-исследовательской литературы по вопросу априорного определения доминирующих и вспомогательных факторов действия ОИ на животных позволил выделить в основную подгруппу следующие максимально информативные параметры: спектральный состав излучения, освещенность и длительность освещения (облучения). Все прочие факторы оказывают незначительное возмущающее воздействие и были, при рассмотрении настоящей задачи, переведены в ранг постоянных при периодическом контроле.

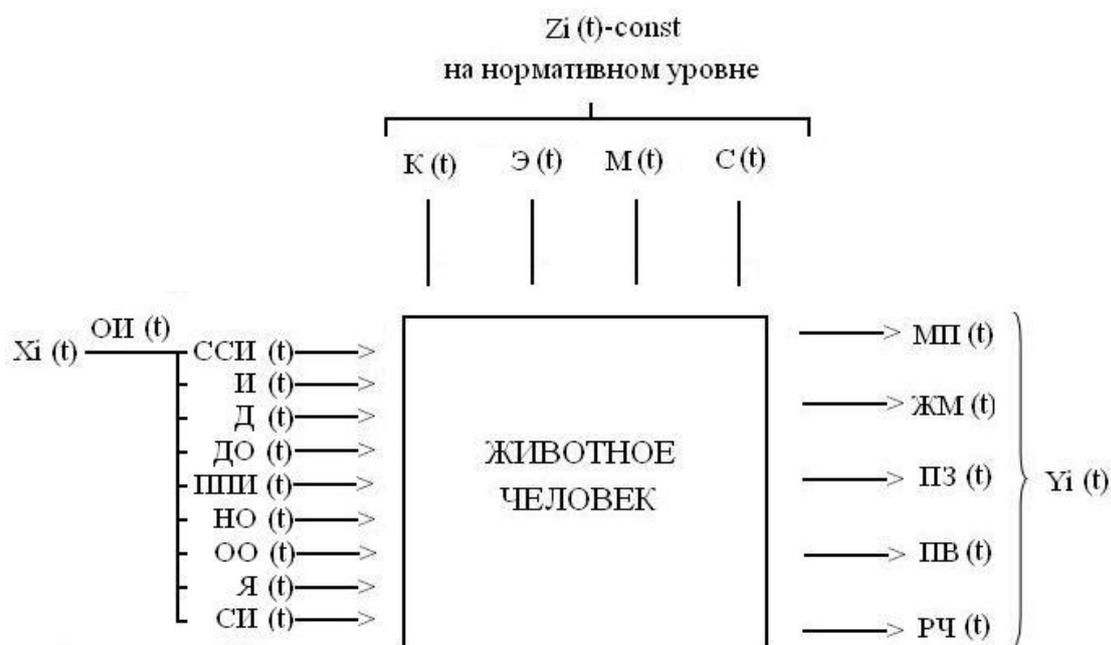


Рисунок 2.17 - Подсистема для изучения влияния параметров подгруппы ОИ  $[X_i(t)]$  на показатели продуктивности животных и работоспособности человека  $[Y_i(t)]$

Важным моментом в настоящей работе явился и факт долговременности и непрерывности экспериментальных исследований: один эксперимент проводили на группе животных-аналогов в течение осенне-зимнего сезона, т.е. на протяжении 4-6 месяцев.

Учитывая вышеизложенное наиболее рационально, проведение экспериментальных исследований свести к виду, учитывающему основные информативные параметры ОИ при  $K(t)$ ,  $\mathcal{E}(t)$ ,  $M(t)$ ,  $C(t) - \text{const}$  на уровне нормативов:

$$Y_i(t) = F [X_1(t); X_2(t); X_3(t)], \quad (2.6)$$

где  $X_1(t)$  - изменение спектрального состава излучения;  
 $X_2(t)$  - изменение интенсивности излучения;  
 $X_3(t)$  - изменение длительности облучения.

Таким образом, работа по определению воздействия ОИ на животных и человека в настоящей диссертации сведены к:

- определению действия трех основных факторов ОИ (спектрального состава, интенсивности и длительности облучения) при прочих параметрах, поддерживаемых на уровнях, установленных нормативами;
- нахождению аналитических зависимостей, описывающих технологические процессы освещения помещений для содержания животных и основных рабочих мест обслуживающего персонала.

Данные зависимости в дальнейшем планов эксплуатационных исследований использованы для проведения светотехнического расчета СТУ и создания системы автоматического управления в общей АСУ ТП животноводческой фермы или комплекса.

## **2.9 Планирование экспериментальных исследований**

Как было установлено, на современных фермах и комплексах, содержание животных в которых осуществляется в закрытых помещениях, отсутствуют средства управления СТУ в автоматическом режиме. Управление в ручном режиме включения и выключения СТУ вносит существенные погрешности при оценке действия ОИ на животных и человека, поэтому при планировании экспериментальных исследований все основные светотехнические установки включались и выключались в автоматическом режиме с фиксации длительности облучения и расхода электроэнергии.

В табл. 2.2, согласно установленным априорно факторам воздействия параметров  $M$  на показатели продуктивности животных, работоспособности человека и технико-экономические показатели СТУ представлена общая схема исследований при различных способах содержания животных.

Во-первых, формировали группы объектов (коровы, люди), устанавливали источники излучения, их электрические и светотехнические параметры в исследуемых помещениях. В основу одного из переменных параметров заложили световой поток ламп и установили освещенности как непосредственно под светильниками, так и между ними. (в помещениях выбрали от 5 до 20 контрольных точек). Поскольку в экспериментах определяем расход электроэнергии, то для каждой группы определили установленную мощность СТУ и потери мощности в ПРА.

Кроме обобщенной схемы исследований составляли частные планы для каждого помещения, где учитывали изменение уровня освещенности в зависимости от доли естественного света, проникающего в помещение через оконные проемы и степени загрязнения СП источников излучения с соответствующей фиксацией показателей продуктивности животных и работоспособности человека.

Всего за время исследований в помещениях КРС более 100 СТУ, а исследования на каждой установке проводились от трех до семи месяцев непрерывно.

Таблица 2.2 - Схема исследований по изучению различных режимов искусственного освещения для содержания КРС

Номер опыта	Номер группы	Тип ламп	Длительность освещения, ч	Световой поток ламп, лм	Освещенность, лк		Установленная мощность, кВт	Потери в ПРА, Вт	Срок службы, Т, ч.
					Под СП	Между СП			
<b>Беспривязное содержание</b>									
1	1	БК	16	1450	40	30	1,2	–	1,0
	2	ДРЛ	Световой	6000	120	80	5,75	750	10,0
	3	ДРЛ	График	6000	180	230	7,00	970	10,0
	4	ДРЛФ		16000	240	160	8,00	1600 0	14,0
<b>Доильные боксы</b>									
2	1	ЛБ	2	5400	75-300	50-360	1,2	200	12,0
	2	ЛБ	2	5400	–   –	–   –	1,2	200	12,0
	1	ДНаТ	2	14000	75-300	50-360	0,36	60	6,0
	2	ДНаТ	2	14000			0,36	60	6,0
<b>Привязное содержание</b>									
3	1	БК	16-14	1450	40	30	6,5	–	12,0
	2	ЛЛ	16-14	5400	300	150	7,4	1440	12,0
	3	ЛЛ	16-14	5400	300	150	8,0	1500	10,0
	4	ДРЛ	16-14	6000	300	150	3,1	300	6,0
		ДНаТ					0,5	100	
<b>Телятники</b>									
4	1	ЛБ ДРТ ИКЗ	16	5400	80	70	8,0	240	10,2
									2,0
									2,0
	2	ЛБ ДРТ ИКЗ	По графику	5400	180	120	8,0	240	10,2
									2,0
									2,0

## 2.10 Заключение (выводы)

В ходе решения задач данного раздела работы разработаны:

- проекты экспериментальных и опытно-промышленных СТУ животноводческих помещений различного назначения;
- экспериментальные и опытно-промышленные СТУ коровников, телятников, доильных залов;
- методики оценки действия ОИ на животных и человека в процессе выполнения основных технологических операций по производству молока;
- пульта автоматического управления СТУ.

### 3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРС И РАЗРАБОТКА НОВЫХ СПОСОБОВ ОСВЕЩЕНИЯ

Целью настоящего раздела работы является анализ и обсуждение результатов экспериментальных исследований по определению воздействия оптического излучения на животных и человека, полученных при опытно-промышленной эксплуатации СТУ в помещениях КРС различного направления.

#### 3.1 Результаты экспериментальных исследований по воздействию оптического излучения на молочных коров при беспривязном содержании и способы их освещения

Исследования по определению влияния ОИ на молочных коров при беспривязном содержании животных проводили совместно с сотрудниками ИЖ УААН Е. З. Петрушей и Н. М. Рыбалко [73-75].

В табл. 3.1 приведены результаты экспериментальных исследований по определению влияния уровней освещенности на молочную продуктивность коров (рис. 3.1), а в табл. 3.2 представлены результаты по учету потребления кормов при различных уровнях искусственного освещения (рис. 3.2).

Результаты, приведенные в табл. 3.1 доказывают, что при содержании коров в закрытых помещениях с освещенностью 100 лк от каждой коровы было получено на 110 кг, при освещенности 150 лк - на 176 кг и при освещенности 200 лк - на 295 кг молока больше, чем от животных контрольной (I) группы, в которой поддерживалась освещенность на уровне 35 лк, рекомендуемая действующими отраслевыми нормами.

Общее количество коров, использованных за период опыта и расчет на одно животное в сутки в III и IV группах, их удой возрос на 3,8...5,6 %, что и обеспечило повышение молочной продуктивности по сравнению с контрольной группой. В конечном итоге это привело к уменьшению расхода кормов на производство молока на 4,5...6,0 % (табл. 3.2.)

Таблица 3.1 - Продуктивность молочных коров в зависимости от уровня искусственного освещения при беспривязном содержании

Группа	Освещенность, лк	Среднесуточный удой перед началом опыта, кг	Удой за период опыта, кг	Получено молока от одной коровы, кг
I	35	14,7 ± 0,64	11,4 ± 0,73	2422 ± 156
II	100	14,6 ± 0,72	11,9 ± 0,87	2532 ± 185
III	150	14,7 ± 0,74	12,5 ± 0,89	2658 ± 189
IV	200	14,3 ± 0,81	12,8 ± 0,92	2717 ± 195

Таблица 3.2 - Потребление кормов при различных уровнях искусственного освещения при беспривязном содержании коров

Группа	Количество кормов, потребляемых за сутки одной коровой		Расход кормов на опыт на 1 кг молока	
	кормовых ед.	в % к контролю	кормовых ед.	в % к контролю
I	15,28	100,00	1,34	100,00
II	15,23	99,67	1,28	98,50
III	15,87	103,86	1,27	94,80
IV	16,13	105,56	1,26	94,00

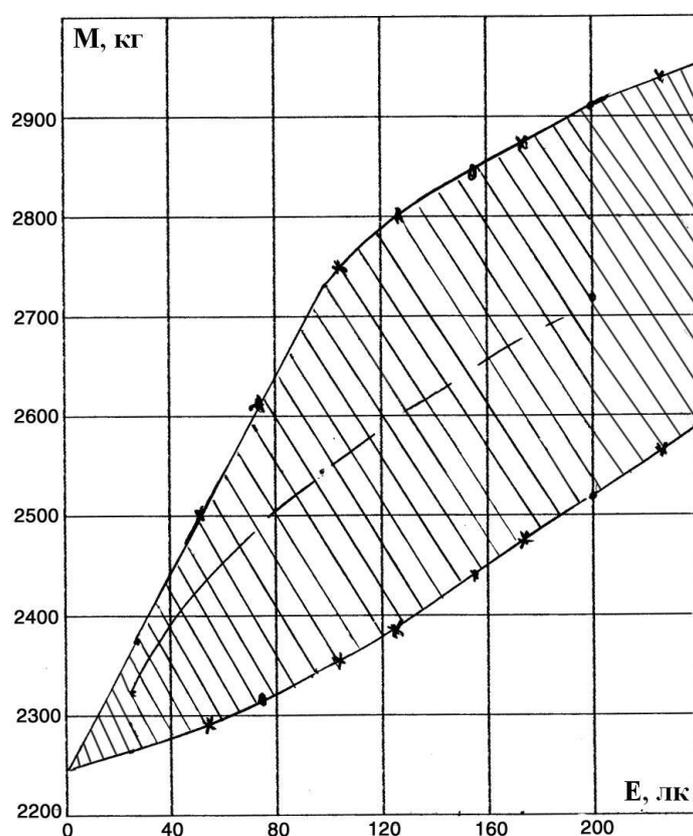


Рисунок 3.1 - Зависимость молочной продуктивности ( $M$ ) коров от уровня искусственной освещенности ( $E$ ) при беспривязном содержании

Под влиянием повышенных уровней освещенности и при удлинении светового дня, который во всех экспериментах составлял 16 ч/сут., несколько увеличиваются показатели молоковыведения при доении животных в доильных блоках (табл. 3.3, рис. 3.3).

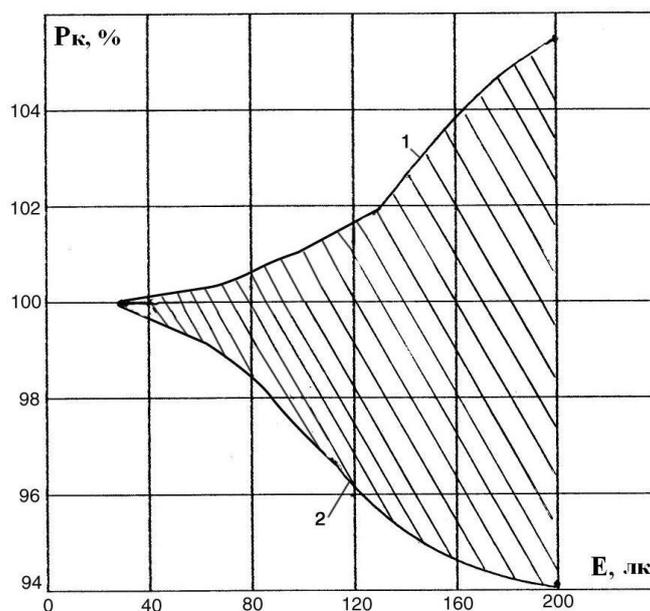


Рисунок 3.2 - Зависимость расхода кормов ( $P_k$ ) от различных уровней искусственной освещенности ( $E$ ) при беспривязном содержании молочных коров:

1 - за сутки на 1 корову в % к контролю; 2 - за время опыта в % к контролю

Таблица 3.3 - Показатели молоковыведения у коров в зависимости от уровня искусственного освещения при беспривязном содержании

Показатели	Группа			
	I	II	III	IV
Средняя интенсивность молоковыведения, $кг/мин$	$1.6 \pm 0.04$	$1.7 \pm 0.06$	$1.9 \pm 0.01$	$2.2 \pm 0.14$
% к контролю	100,0	106,2	118,8	137,5
Величина машинного дооя, $л$	$260 \pm 30$	$270 \pm 40$	$260 \pm 10$	$240 \pm 10$
% к контролю	100,0	103,8	100,0	92,3
Величина ручного дооя, $мл$	$60 \pm 1$	$50 \pm 4$	$40 \pm 2$	$50 \pm 3$
% к контролю	100,0	83,3	66,7	83,3

Так средняя интенсивность молоковыведения при увеличении освещенности от 30 до 200 лк возрастает на 37,5 %. При этом повышается и полнота выдаивания аппаратом, о чем свидетельствует уменьшение величины ручного и машинного дооя у коров опытных групп. Наилучшие показатели молоковыведения получены при уровне освещенности 200 лк при продолжительности светового дня 16 ч (IV группа), (рис. 3.4-3.6).

Важными показателями, характеризующими состояние здоровья и органов воспроизводства животных, являются частота случаев заболевания половых органов и продолжительность интервала времени от растела до плодотворного осеменения (табл. 3.4). Рост уровня освещенности помещения при беспривязном содержании молочных коров приводит к уменьшению количества заболеваний эндотермитом, задержания последа, случаев оказания помощи при родах.

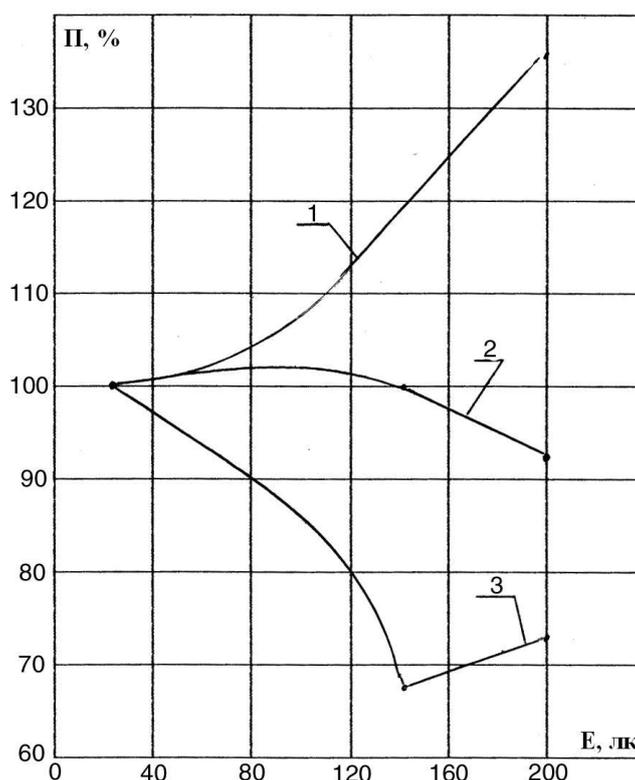


Рисунок 3.3 - Показатели молоковыведения (*II*) у коров в зависимости от уровня искусственной освещенности (*E*) при беспривязном содержании: 1 - средняя интенсивность молоковыведения, %; 2 - величина машинного дооя, %; 3 - величина ручного дооя, %

Коровы в опытных группах практически вообще перестали болеть эндотермитом, что объясняется активизацией функций организма.

Следует отметить и уменьшение сервис-периода: на 12 *дн.* во II группе, на 22 *дн.* в III и на 21 *день* - в IV группе. Эти данные также свидетельствуют об улучшении состояния здоровья животных, в частности, органов воспроизводства. Таким образом, освещённость, которую создавали в экспериментальных группах от 100 до 200 *лк*, оказалась более эффективной по сравнению с освещённостью в контрольной группе. Рост среднесуточных удоев возрос на 3,8...5,6 %, а продолжительность сервис-периода снизилась на 12 дней.

Таблица 3.4 - Состояние органов воспроизводства коров в зависимости от уровня искусственного освещения при беспривязном содержании

Показатели	Группа			
	I	II	III	IV
Эндотерит	2/1	3/0	2/0	3/0
Задержание последа	1/3	3/1	3/0	3/1
Оказание помощи при родах	2/2	3/2	4/1	5/2
Сервис-период, <i>дн</i>	104/87	117/76	76/65	67/66

Примечание: в числителе - до опыта, в знаменателе - после опыта.

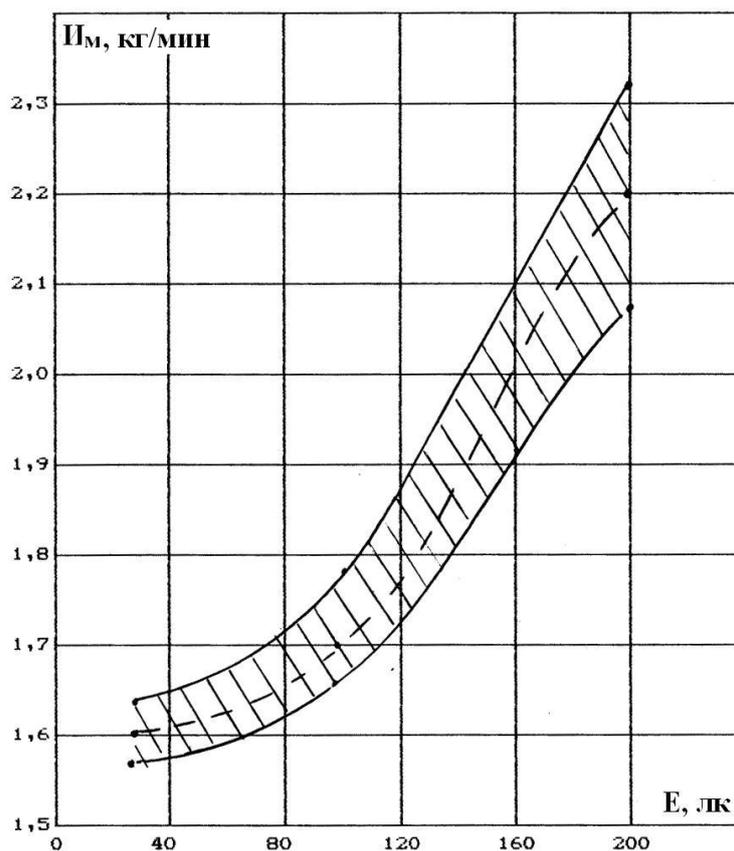


Рисунок 3.4 - Зависимость средней интенсивности молоковыведения ( $I_m$ ) от уровня искусственной освещенности ( $E$ ) при беспривязном содержании коров

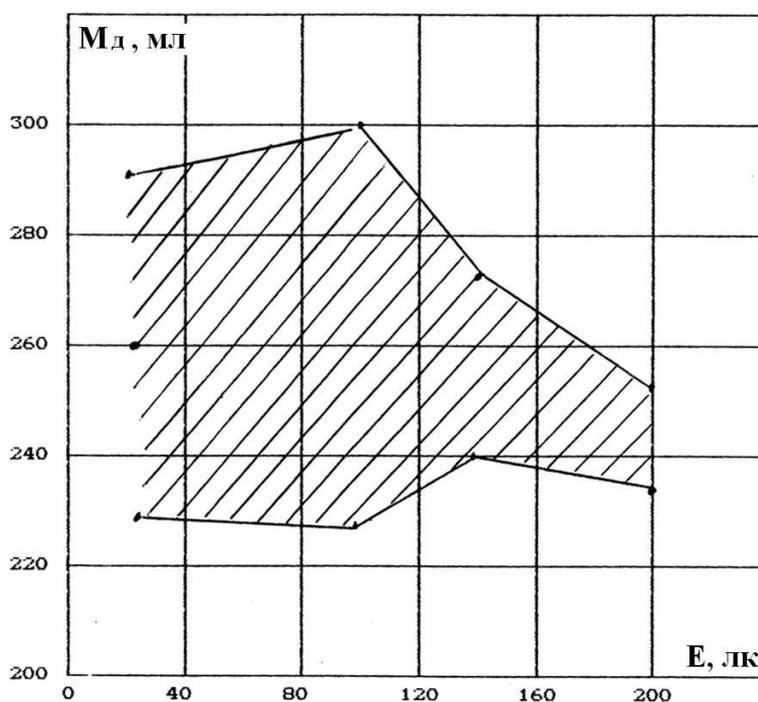


Рисунок 3.5 - Зависимость величины машинного дооя ( $M_d$ ) от величины искусственной освещенности ( $E$ ) при беспривязном содержании молочных коров

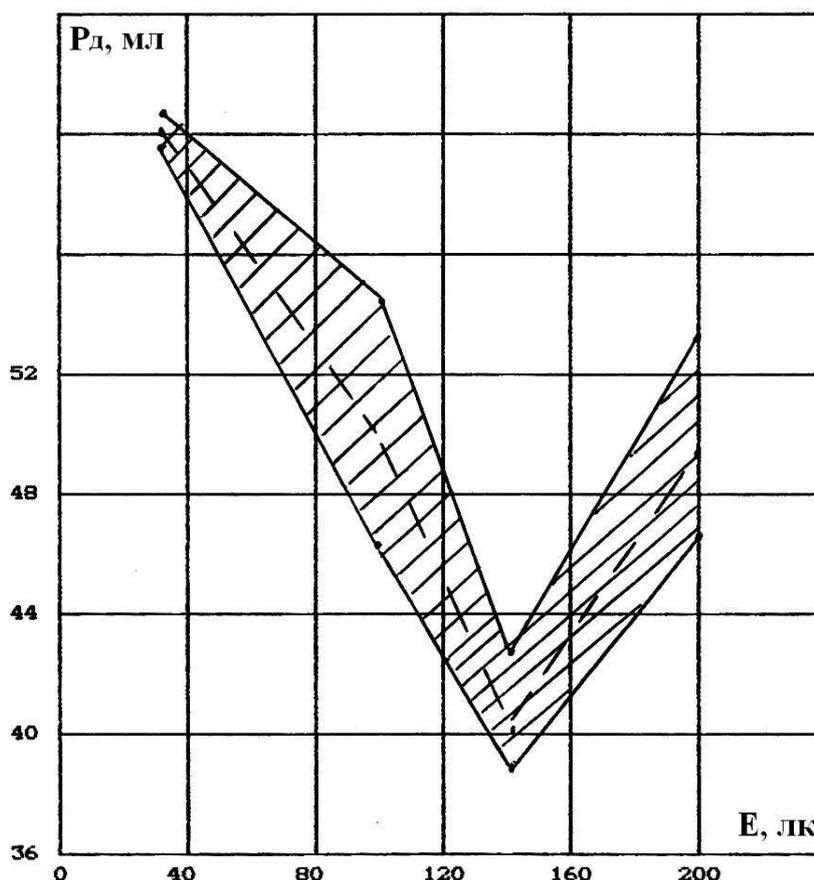


Рисунок 3.6 - Зависимость величины ручного дооя ( $P_d$ ) от величины искусственной освещенности ( $E$ ) при беспривязном содержании молочных коров

В табл. 3.5 представлены результаты, полученные при использовании динамического освещения, которые наглядно доказывают, что моделирование в помещениях беспривязного содержания коров освещенности, по характеру повторяющейся изменение естественного света, позволяет получить увеличение удоев молочных коров на 12 % при снижении расхода электроэнергии на 25 % (рис. 3.7, 3.8).

Увеличение показателей продуктивности и здоровья подтверждают и данные исследования опсонофагоцитарной реакции коров, приведенные в табл. 3.6.

Экономия электроэнергии в СТУ с динамичным режимом достигалась за счет точного выполнения режимов включения и выключения и более высокой световой отдачи РЛВД. Следует отметить, что за период опыта ни одна лампа РЛВД не отказала, при этом было осуществлено три смены ламп накаливания в контрольной группе.

При динамичном освещении увеличилось потребление кормов, однако из расчета на 1 кг полученного молока общее потребление кормов снизилось на 6 %.

Таблица 3.5 - Эффективность динамического режима искусственного освещения в коровнике беспривязного содержания

№ пп	Показатели	Группы коров	
		Контрольная	Опытная (IV)
1	Количество голов	75	75
2	Среднесуточный удой перед началом опыта, кг	14.0±0.41	14.3±0.81
3	Продолжительность опыта, дн	212	212
4	Среднесуточный удой за период опыта на 1 голову, кг	11.4±0.73	12.8±0.92
5	Жирность молока за период опыта, %	3.65±0.07	3.62±0.06
6	Валовый надой молока от 1 коровы за период опыта, кг	2422±156	2717±195
7	Расход кормов на 1 кг молока, к.е.	1.34±0.06	1.26±0.05
8	Средняя интенсивность молоковыведения, кг/мин.	1.6±0.04	2.2±0.14
9	Величина ручного дооя, кг	0.06±0.001	0.05±0.003
10	Продолжительность сервис - периода, дн.	87±4.8	66±3.7
11	Расход электроэнергии за период опыта, кВт×ч, в % к контролю	2035 100	1526 75

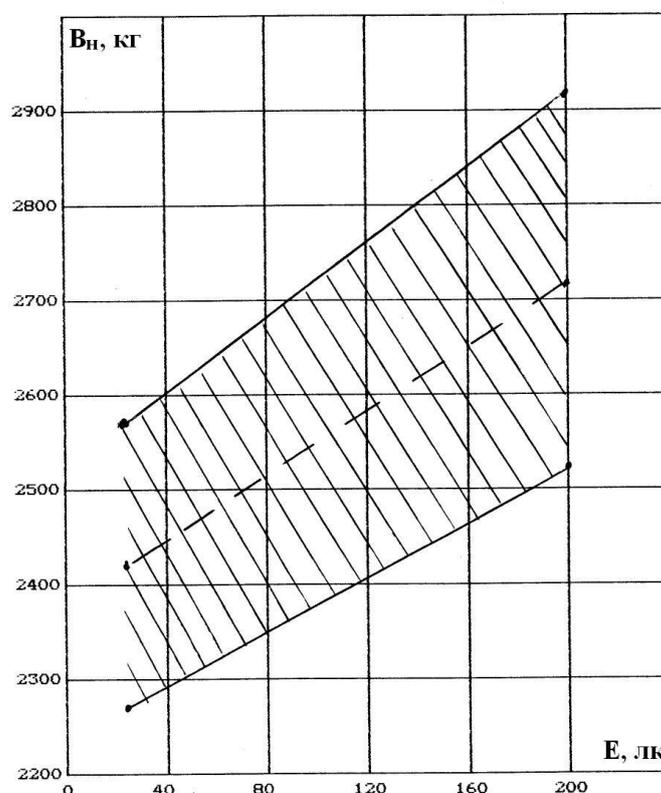


Рисунок 3.7 - Зависимость величины валового надоя молока ( $V_n$ ) от уровня искусственной освещенности ( $E$ ) при динамичном освещении

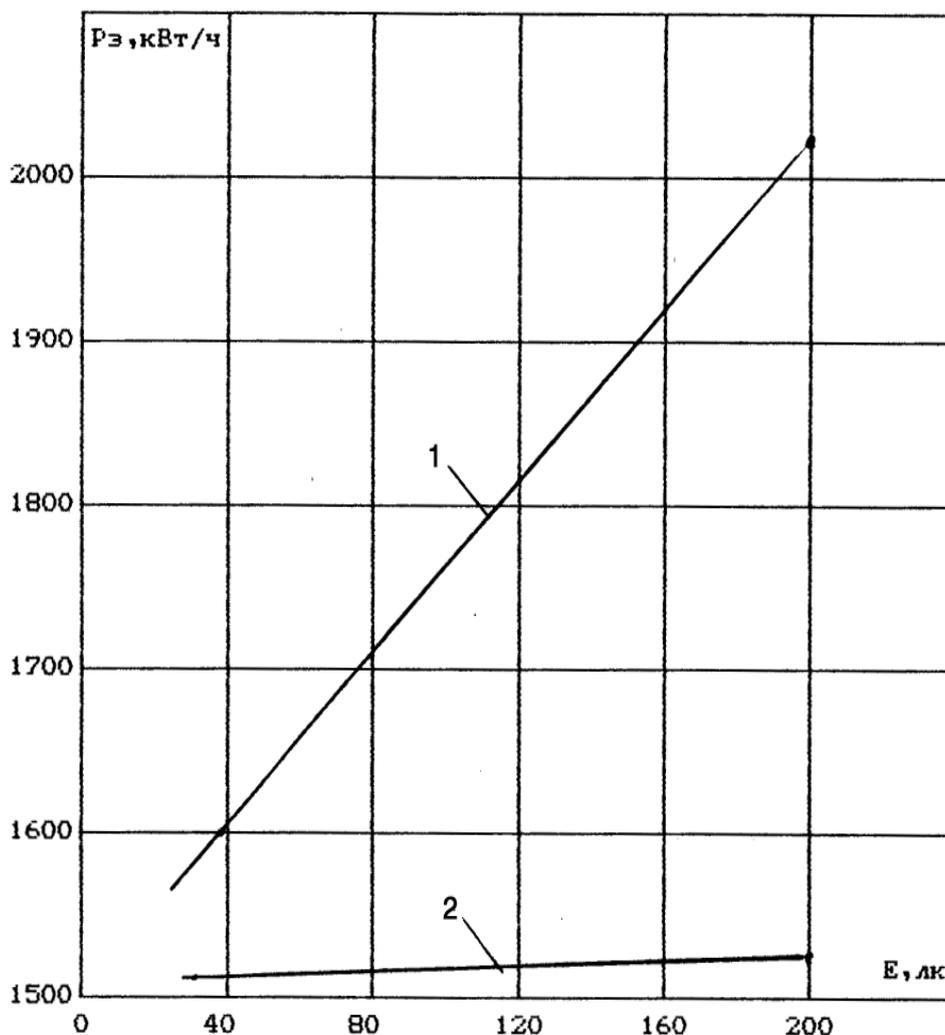


Рисунок 3.8 - Расход электроэнергии ( $Pэ$ ) за осенне-зимний стойловый сезон при стандартном (1) и динамичном (2) освещении молочных коров

Кроме приведенных результатов в секции с повышенным уровнем освещенности у животных на 13 % возросла двигательная активность, на 27 % продолжительность приема пищи. Это обстоятельство способствовало более полному усвоению корма и, соответственно, приросту удоев.

Одной из важных функций организма животных является состояние воспроизводительных органов.

При динамичном освещении удалось достигнуть снижения количества дней яловости (по сравнению с контрольной группой) на 21 день и практически приблизиться к оптимальному уровню.

Продолжительность отдыха коров в положении лежа уменьшилась на 6,2 %, однако эта продолжительность не выходила за рамки физиологических потребностей животных.

Отмеченные выше преимущества позволили автору предложить новый способ освещения животных, защищенный а. с. 1588334 [87].

Таблица 3.6 - Показатели опсонофагоцитарной реакции коров

№ пп	Показатели	Группы коров	
		Контрольная	Опытная (IV)
1	Количество голов	75	75
2	Среднесуточный удой перед началом опыта, кг	14.0±0.41	14.3±0.81
3	Продолжительность опыта, дн	212	212
4	Среднесуточный удой за период опыта на 1 голову, кг	11.4±0.73	12.8±0.92
5	Жирность молока за период опыта, %	3.65±0.07	3.62±0.06
6	Валовый надой молока от 1 коровы за период опыта, кг	2422±156	2717±195
7	Расход кормов на 1 кг молока, к.е.	1.34±0.06	1.26±0.05
8	Средняя интенсивность молоковыведения, кг/мин.	1.6±0.04	2.2±0.14
9	Величина ручного дооя, кг	0.06±0.001	0.05±0.003
10	Продолжительность сервис - периода, дн.	87±4.8	66±3.7
11	Расход электроэнергии за период опыта, кВт×ч, в % к контролю	2035 100	1526 75

Для северных зон Украины рекомендуется освещение животных в помещениях производить, начиная с конца сентября - начала октября. Точная дата определяется климатическими условиями региона и переводом животных из летних лагерей в зимние помещения.

Освещение животных производится при периодическом изменении уровня и продолжительности искусственного освещения следующим образом:

- в первый период осенне-зимнего содержания в течение двух месяцев искусственное освещение помещения поддерживают в пределах от 50 до 150 лк путем ежедневного увеличения освещенности на 1-2 лк, начиная с минимального значения, а продолжительность искусственного освещения - в пределах от 10 до 16 ч/сут. путем его увеличения каждые 10 дн на 1 ч, начиная с минимального значения;

- во второй период уровень искусственного освещения снижают постепенно в течение месяца со 150 до 90 лк при максимальной продолжительности светового дня, достигнутой в предшествующий период;

- в третий период уровень освещенности постепенно увеличивают с 90 до 150 лк;

- в четвертый период и до окончания стойлового периода содержание животных в закрытых помещениях, продолжительность искусственного освещения постепенно уменьшают с 16 до 10 ч/сут. при уровне освещенности, изменяющимся от 150 лк до полного выключения освещения.

Автор предложил следующие аналитические выражения для математического описания нового режима освещения молочных коров:

$$E(t) = \begin{cases} 50 + 1,6t, & 01.10 \leq T \leq 30.11; \\ 150 - 2,0t, & 01.12 \leq T \leq 31.12; \\ 90 + 2,0t, & 01.01 \leq T \leq 31.01; \\ 150, & 01.02 \leq T \leq 10.03; \\ 150 - 7,5t, & 11.03 \leq T \leq 31.03, \end{cases} \quad (3.1)$$

где  $E$  - суточный уровень освещенности, лк;

$t$  - время, сут.;

$T$  - календарные периоды изменения уровня освещенности по месяцам.

Изменение длительности освещения в осенне-зимний период содержания молочных коров определяется как:

$$\tau(t) = \begin{cases} \tau_1 = 10 + \frac{6}{61}t, & 01.10 \leq T \leq 30.11; \\ \tau_2 = 16, & 01.12 \leq T \leq 31.01; \\ \tau_3 = 16 - \frac{6}{59}t, & 01.02 \leq T \leq 31.03, \end{cases} \quad (3.2)$$

где  $t$  - время, сут.;

$T$  - период месяцев календарного года;

$\tau_1, \tau_2, \tau_3$  - длительность освещения по периодам изменения освещенности, ч/сут.

Таким образом, используя при беспривязном содержании динамичной освещенности, изменяющейся от 100 до 200 лк, достигается увеличение среднесуточных удоев на 3...5 % и интенсивность молоковыведения на 37,5 % при снижении сервис - периода на 12 дн., что эффективно для производства. Разработаны аналитические выражения для нового решения освещения аналогичных производств.

### 3.2 Разработка способа освещения молочных коров привязного содержания

Исследования по определению влияния уровней освещенности на молочных коров привязного содержания проводились в коровниках с/х "Украинка" ИЖ УААН и птицеплемсовхоза "Шахтерский" Донецкой области (Приложение Д).

В табл. 3.7 приведены результаты экспериментальных исследований в коровниках привязного содержания: потребление корма и молочная продуктивность в зависимости от режима освещения.

В табл. 3.8 даны результаты исследований по влиянию уровней освещенности на воспроизводительные функции коров, полученные по разработанным методикам [90].

Как видно по данным табл. 3.7, применение изменяющегося во время суток освещения с 10 лк до 150 лк и в дневное время во время доек - с 150 до 300 лк сопровождается увеличением количества поедаемого корма, что и обеспечивает, очевидно, увеличение удоев на 5,9 % по сравнению с освещенностью 150 лк.

Таблица 3.7 - Потребление корма и молочная продуктивность коров в зависимости от режима освещения помещения

№ пп	Показатели	Режим освещения группы коров, лк	
		150	150-300
1	Количество коров в группе, гол	10	10
2	Среднесуточный удой в подготовительный период на 1 гол., кг	22.3 ± 2.1	22.7 ± 2.3
	Жирность молока, %	3.65 ± 0.09	3.65 ± 0.11
3	Получено молока от одной коровы за время опыта, кг	3127 ± 17.3	3313 ± 21.9
	Жирность молока, %	3.87 ± 0.1	3.88 ± 0.12
4	Потребление кормов на 1 гол, к.е.	2644.0	2657.6
5	Расход кормов на 1 кг молока, к.е.	0.87	0.86

Таблица 3.8 - Воспроизводительные функции коров в зависимости от режимов освещения

№ пп	Показатели	Режим освещения группы коров, лк	
		150	150-300
1	Период от отела до первой охоты, дн	36.7	34.4
2	Период от отела до первого плодотворного осеменения, дн	57.4	57.0
3	Оплодотворено коров, %		
	от первого осеменения	30.8	52.4
	от второго осеменения	30.8	23.8
	от третьего осеменения	83.3	85.7
4	Индекс осеменения коров	1.5	1.5

Согласно данным табл. 3.8 при таком способе освещения сократилось время от отела до первой охотки, а, следовательно, и сервис - периода. При этом количество коров, оплодотворенных за три осеменения, увеличилось на 3,2 %.

Проведенные исследования позволили автору предложить второй новый способ освещения молочных коров при стойловом привязном содержании, защищенный а.с. 1711742 [88, 89].

Новый способ заключается в следующем. Помещения для содержания молочных коров освещаются на уровне 10 лк в ночное время, а с 5 утра освещенность повышается до 150 лк. Перед доением уровень освещенности увеличивают до 300 лк и поддерживают на этом уровне в течение всего периода дойки. Затем освещенность снижают до 150 лк и в обеденный перерыв доводят до уровня 10 лк или СТУ выключают. Работа СТУ в обеденный перерыв будет определяться уровнем естественного света или необходимостью проведения профилактических или ремонтных работ. После обеда весь цикл изменения освещенности повторяется.

Аналитически новый способ освещения в помещениях привязного содержания молочных коров может быть представлен следующим выражением:

$$E(t) = \begin{cases} E_1, & 0 \leq t \leq 2, \quad 3 < t \leq 5, \quad 12 < t \leq 16, \quad 21 < t \leq 24; \\ E_2 = 15E_1, & 2 < t \leq 3, \quad 8 \leq t \leq 12, \quad 16 < t \leq 19; \\ E_3 = 2E_2, & 5 < t < 8, \quad 19 < t \leq 21, \end{cases} \quad (3.3)$$

где  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  - соответственно, суточные уровни освещенности в помещении привязного содержания молочных коров, при  $E_1 = 10$  лк;

$t$  - время, ч.

Новый способ прошел опытно- промышленную проверку и предложен для введения в новые отраслевые нормы освещения.

Таким образом, используя при привязном содержании молочных коров изменение освещенности от 10 до 150 лк с последующим увеличением до 300 лк достигается увеличение суточных удоев на 5,9 % и оплодотворяемости на 3,2 %, что позволило предложить новый способ освещения в животноводческих помещениях аналогичного направления.

### **3.3 Результаты исследований по определению влияния уровней освещенности на операторов машинного доения**

В доильных залах о/х им. Ленина и о/х Кутузовка ИЖ УААН проводились исследования по определению влияния уровней освещенностей на органы зрения операторов машинного доения.

В табл. 3.9 приведены данные по о/х им. Ленина, а в табл. 3.10 - по о/х Кутузовка (рис. 3.9).

Таблица 3.9 - Результаты исследований влияния уровней освещенности на органы зрения операторов машинного доения (о/х им. Ленина)

Оператор	Время, ч	Величина утомляемости $T$ при освещенности, <i>отн. ед.</i>	
		75 лк	300 лк
Г.С.	18-00	1,0	1,0
	20-00	1,5	1,2
	21-00	2,8	2,5
	22-00	2,3	2,0
	23-00	4,7	4,0
В.П.	18-00	1,0	1,0
	20-00	1,3	1,2
	21-00	2,3	2,0
	22-00	1,8	1,7
	23-00	2,3	2,0

Изменение освещенности в доильном зале описывается выражением:

$$E(t) = \begin{cases} E_1 = (5...10), & 21 < t < 4-30, & 8 \leq t \leq 16-30, \\ E_2 = 15E_1, & 4-30 \leq t \leq 5, & 9-30 \leq t \leq 10; \\ E_3 = 2E_2 = 30E_1, & 16-30 \leq t \leq 17, & 20-30 \leq t \leq 21; \\ & 5 < t < 9-30, & 16-30 < t < 20-30, \end{cases} \quad (3.4)$$

В данном выражении временные показатели определены на основе анализа режимов работы ферм и действующих расписаний распорядка дня. При необходимости начало и окончание дойки может быть смещено. Одновременно должны смещаться и уровни освещенности при обязательном выполнении условий: дойка - 300 лк, подготовительный и заключительный периоды - 150 лк.

Анализ данных табл. 3.9 показывает, что за пять часов дойки в доильном зале утомляемость операторов машинного доения возросла, соответственно, в 4,7 и 4,0 раза, причем снижение утомляемости между 21-00 и 22-00 ч обусловлено обеденным перерывом и отдыхом операторов. При этом утомляемость при освещенности в 300 лк была на 14,9 % ниже у операторов в возрасте до 40 лет. Операторы в возрасте старше 50 лет более подвержены утомляемости. По предварительным оценкам для операторов машинного доения старше 50 лет уровни освещенности целесообразно увеличивать на 50...100 %.

В о/х Кутузовка процесс доения происходит в течение двух часов. При этом утомляемость операторов увеличивается, соответственно, на 40...31 % при освещенности 75 лк и на 5...8 % при освещенности 300 лк.

Таким образом, установлено, что при освещенности 300 лк утомляемость операторов машинного доения уменьшается на 14,9 %, причем для операторов старше 50 лет освещенность необходимо увеличивать на 50...100 %.

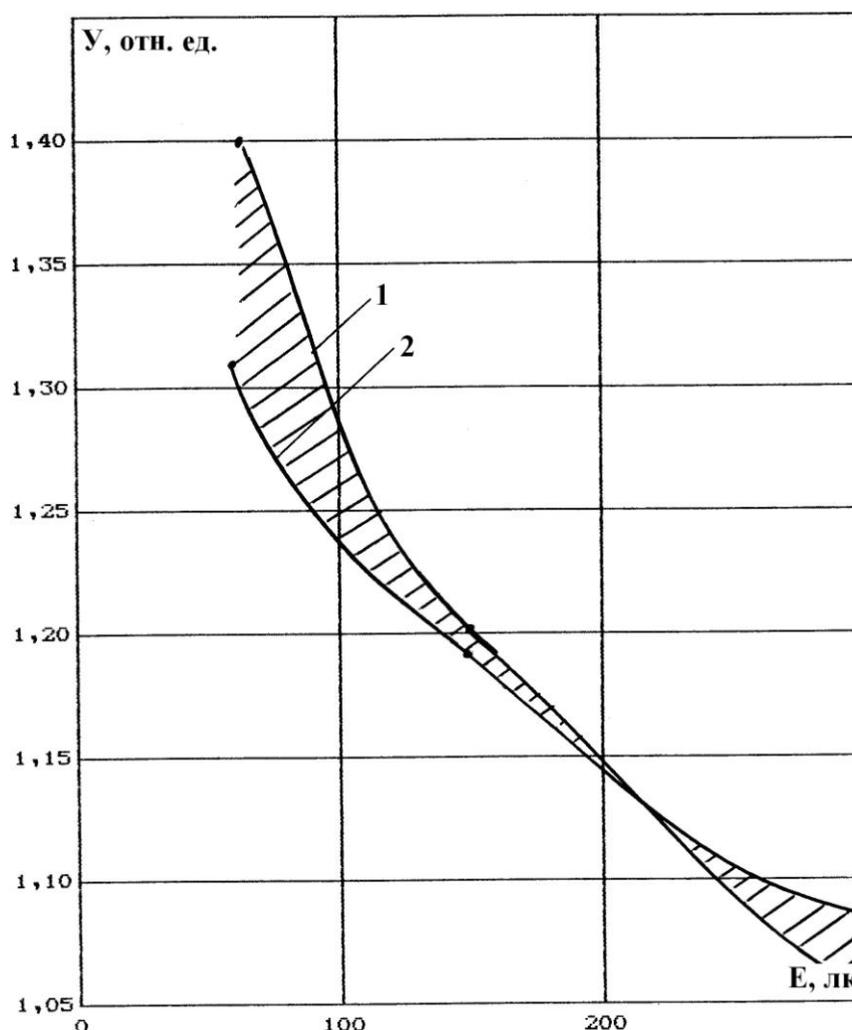


Рисунок 3.9 - Зависимость показателей утомляемости (У) операторов машинного доения при различных уровнях освещенности (Е):  
1 - оператор в возрасте старше 50 лет; 2 - оператор в возрасте до 40 лет

Таблица 3.10 - Исследование утомляемости зрения операторов машинного доения в доильных залах о/х Кутузовка

Оператор	Время, ч	Величина утомляемости <i>T</i> при освещенности, <i>отн. ед.</i>			
		75 лк	150 лк	225 лк	300 лк
В.М.	18-00	1,0	1,0	1,0	1,0
	18-30	1.15±0.031	1.07±0.03	1.03±0.02	1.01±0.02
	19-00	1.22±0.026	1.12±0.018	1.04±0.011	1.02±0.014
	19-30	1.32±0.033	1.14±0.022	1.07±0.024	1.03±0.017
	20-00	1.40±0.030	1.20±0.020	1.10±0.025	1.05±0.018
Г.В.	18-00	1,0	1,0	1,0	1,0
	18-30	1.13±0.030	1.06±0.020	1.04±0.020	1.02±0.018
	19-00	1.18±0.020	1.10±0.017	1.06±0.021	1.03±0.021
	19-30	1.25±0.025	1.15±0.019	1.09±0.022	1.05±0.018
	20-00	1.31±0.026	1.18±0.022	1.11±0.023	1.08±0.020

### 3.4 Способ освещения телят

Экспериментальные исследования по определению влияния оптического излучения на телят проводили в колхозе "Червоноармеец" и "Заря" Харьковской области совместно с сотрудником ИЖ УААН В. П. Миненко и достаточно полно При проведении исследований учитывали:

- продуктивность телят, путем индивидуального взвешивания при постановке (начало опыта) и в 4-х месячном возрасте;
- заболеваемость телят и их отход (дорез, падеж, санитарный брак);
- уровень резистентности, путем взятия крови и определения в лабораторных условиях комплекса принятых показателей.

В табл. 3.11 приведены значения живой массы и среднесуточные приросты подопытных телят в колхозе "Заря" Боровского района Харьковской области (рис. 3.10).

Таблица 3.11 - Живая масса и среднесуточные приросты подопытных телят (в среднем на 1 голову)

Группа	Живая масса, кг		Общий прирост за 125 дней, кг	Среднесуточный прирост, г
	начало опыта	конец опыта		
Контрольная	40.7	108	67.3	538
Опытная	42.6	115	72.4	573

В табл. 3.12 и 3.13 сведены показатели, характеризующие содержание некоторых биохимических показателей крови.

За период эксперимента, который длился 125 дней, среднесуточный прирост живой массы телят контрольной группы составил 538 г, а опытной – 579 г, то есть разница в приросте составила 40 г или 7.6 % в пользу телят, которых подвергали комбинированному облучению. Полученную разницу по продуктивности В. П. Миненко объясняет более высоким уровнем обменных процессов в организме телят, получавших УФ облучение. Это подтверждают и данные анализа биохимических показателей крови, приведенных в табл. 3.12.

Таблица 3.12 - Содержание некоторых биохимических показателей крови

Группа	Мочевина, мг/%	Тироксин, нмол/л	Трийодтиронин, нмол/л	Инсулин, мкед/мг
Контрольная	12.46	80.80	1.0299	4.55
Опытная	17.89	88.20	1.2800	6.62

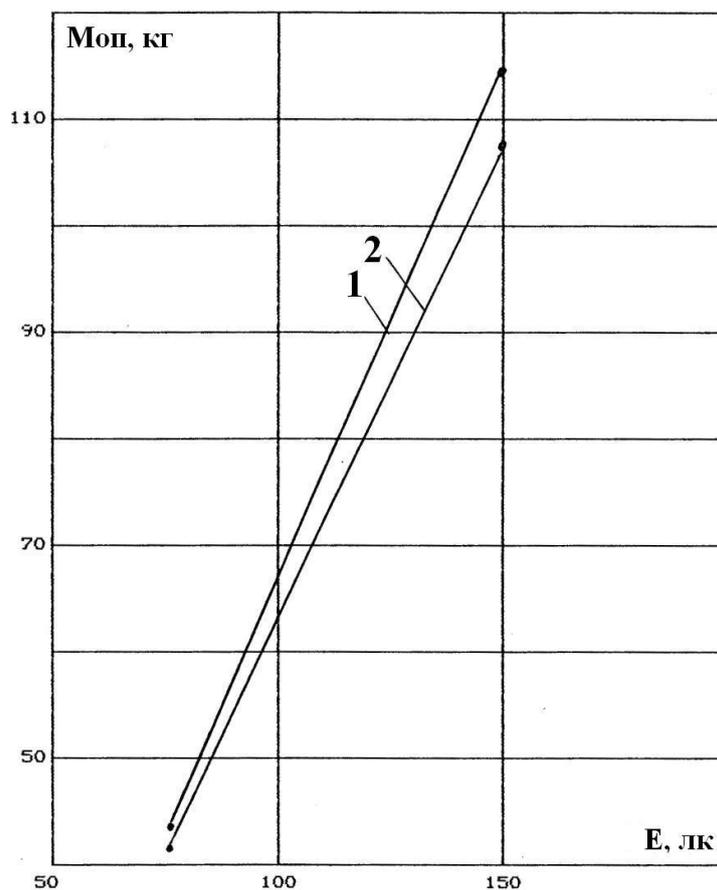


Рисунок 3.10 - Зависимость прироста массы телят ( $M_{оп}$ ) от уровня освещенности ( $E$ ) за 125 дней опыта: 1 - при комбинированном облучении; 2 - при стандартном облучении (контрольная группа)

По данным табл. 3.12 видно, что более высокое содержание мочевины в крови телят опытной группы свидетельствует о более интенсивном белковом обмене в организме, а повышенное содержание инсулина характеризует более высокий уровень углеводного обмена.

Трийодтиронин и тироксин стимулируют окислительные процессы в тканях, усиливая поглощение у животных клетками кислорода и выделения углекислого газа. Вследствие этого повышается основной уровень и основной обмен, усиливается расщепление белков, жиров и углеводов.

Кроме того, известно, что телята, имеющие более низкий уровень этих гормонов в крови, хуже переносят охлаждение, следовательно, они более подвержены заболеваниям (В. Н. Голиков, Т. В. Парашутый, 1980 г.).

За период опыта из контрольной группы в качестве санитарного брака выбыло 7 телят, из опытной - 2, что составляет соответственно, 7 и 2,03 %.

На конец опыта в двух санитарных станках находилось 29 больных подопытных телят, из них 5 голов (17,2 %) из опытной группы и 24 гол. (82,8 %) из контрольной группы.

Разница в уровнях заболеваемости телят опытной и контрольной групп в определенной степени согласуется с некоторыми показателями крови

животных, которые на практике используются для характеристики резистентности организма телят (табл. 3.13).

Таблица 3.13 - Некоторые показатели крови у подопытных телят

Показатели	Станки у окон		Станки в центре	
	УФИ (О-А)	без УФИ (К-А)	УФИ (О-Б)	без УФИ (К-Б)
Гемоглобин, г/%	14.33	12.90	13.32	13.12
Эритроциты, 10/л	10.40	9.47	9.61	9.72
Лейкоциты, 10/л	9.57	8.09	9.25	9.67
Эозинофилы:				
- палочкоядерные, %	6.60	3.50	8.20	9.20
- сегментоядерные, %	21.803	28.50	24.40	26.20
- лимфоциты, %	57.20	55.83	52.40	48.20
- моноциты, %	13.40	11.00	13.40	15.60
Общая лизоцимная активность, мкг/мл	0.854	1.172	0.700	1.164
Лизоцимная активность термола-бильных факторов, мкг/мл	0.676	0.829	0.521	0.923

Примечание: О - опытная группа; К - контрольная группа; А - автоматический режим управления СТУ; Б - ручной режим управления СТУ

Анализируя данные табл. 3.13, прежде всего следует отметить значительные расхождения практически во всех показателях между группами, находящимися у окон и в центре помещения, где существует резкое снижение уровня естественной освещенности.

Содержание гемоглобина, участвующего в поддержании кислотнощелочного равновесия крови, переносе кислорода от легких к тканям и углекислого газа от тканей к легким. Эти показатели оказываются самыми высокими в группе телят, получавших УФ облучение при высоком уровне освещенности. При этом наши результаты согласуются с результатами исследований В. Г. Знаменского [92].

Следует особо отметить показатели лейкоцитарной формулы. У животных, которые находились в неблагоприятных условиях (минимальная освещенность) при УФ облучении зафиксировано наибольшее количество палочкоядерных нейтрофилов. Наличие большого количества этих лейкоцитов свидетельствует об определенной патологии в организме. Очевидно, что повышение освещенности играет значимую роль в процессах образования лейкоцитов, входящих в защитный барьер организма животного.

Анализ общей лизоцимной активности крови и особенно лизоцимной активности термолабильных факторов позволяет судить о компенсаторной реакции организма телят контрольной группы на неблагоприятные изменения микроклимата закрытого помещения – недостатка солнечной радиации.

Проведенные выше исследования и обсуждение результатов позволило предложить новый способ комбинированного освещения и облучения телят в закрытых помещениях [88].

Согласно новому способу оптическое излучение в телятнике подается следующим образом:

- видимое излучение на уровне 150 лк обеспечивается в интервале времени  $T$  включения СТУ, которое обычно совпадает с началом выполнения технологических операция (например, 5 или 6 ч утра) до  $(T+4)$  ч утром и с  $(T+12)$  ч до  $(T+16)$  ч вечером;

- инфракрасные установки работают с  $(T+4)$  до  $(T+12)$  ч постоянно, а с  $(T+16)$  ч до  $(T-0,5)$  ч импульсно в режиме: 1,5 ч включено, 0,5 ч выключено;

- ультрафиолетовое излучение областей А и В включается с  $(T+4,5)$  ч до  $(T+9,5)$  ч импульсно в режиме: 1 ч включено и 1 ч выключено (при этом производится корректировка времени включения и выключения в зависимости от мощности используемого излучателя);

- ультрафиолетовое излучение области С подается непрерывно в интервале времени  $(T+16) \dots T$ ;

- дежурное освещение в помещение включается постоянно на уровне 10 лк в течение суток.

Таким образом, световой режим в телятнике может быть представлен в виде формул:

#### 1. Видимое излучение

$$E(t) = \begin{cases} E_1 = 15T_3, & T_{\text{вкл}} \leq t \leq (T+4), & (T+12) \leq t \leq (T+16); \\ E_2 = 10\text{лк}, & (T+4) \leq t \leq (T+12), & (T+16) < t < T_{\text{вкл}}, \end{cases} \quad (3.5)$$

где  $E_2$  - уровень дежурного освещения,  $E_2$  - 10 лк;

$E_1$  - рабочая освещенность, лк;

$T_{\text{вкл}}$  - момент включения СТУ, ч.

#### 2. Инфракрасное излучение

$$\begin{aligned} E_{\text{ик}}(t) = E_{\text{ик1}}(t): & \quad (T_{\text{вкл}} + 4) \leq t \leq (T_{\text{вкл}} + 16); \\ E_{\text{ик1}}(t): & \quad (T_{\text{вкл}} + 16) < t < (T_{\text{вкл}} - 0,5). \end{aligned} \quad (3.6)$$

В режиме 1,5 ч включено и 0,5 ч выключено.

#### 3. Ультрафиолетовое облучение излучением области А и В:

$$E_{\text{уФAB}}(t) = E_{\text{уФAB}} : \quad (T_{\text{вкл}} + 4,5) \leq t \leq (T_{\text{вкл}} + 9,5). \quad (3.7)$$

В режиме 1 ч включено и 2 ч выключено.

#### 4. Ультрафиолетовое облучение излучением зоны С:

$$E_{\text{уФС}}(t) = E_{\text{уФС}} : \quad (T_{\text{вкл}} + 16) \leq t \leq T_{\text{вкл}}. \quad (3.8)$$

Таким образом, новый способ облучения обеспечил получение дополнительного среднего прироста массы телят на 7,6 % и снижение заболеваемости в 3 раза. Получены аналитические выражения, описывающие новый способ облучения телят.

### **3.5 Разработка способов стимуляции молочных коров во время доения**

В процессе изучения влияния ИК излучения на молочных коров сотрудникам ИЖ УААН Е. И. Кузнецовым была высказана гипотеза о целесообразности использования инфракрасных излучателей для обогрева крестца в подготовительный период и во время дойки.

Согласно атласа расположения биологически активных точек (БАТ) в зоне крестца молочной коровы выделяются следующие [95]:

- N 49 Бай-хуей. Данная точка активизируется при следующих заболеваниях: катар желудка, общее угнетение, воспаление желчного пузыря и т. д.

- N 50. Гуй-вей. Расположена медиальнее верхнего угла моклока на 2-3 см и используется при ревматических заболеваниях или при заболеваниях матки;

- N 63. Ти-мэн. Находится в межмышечном желобе на пересечении линии, соединяющей крестцовый бугор подвздошной кости и седалищный бугор с сегментальной линией, проведенной от большого вертела бедренной кости к гребню крупа. Данная точка используется при лечении ревматизма поясницы, крупа, конечностей, мастита, заболевания репродуктивных органов;

- N 64. Да-зуан. Расположена впереди и несколько выше вертела бедренной кости и используется при лечении мастита и ревматизма;

- N 78. Кой-фуж. Данная точка находится между 4-5 остистыми отростками крестцовых позвонков и ответственно за гинекологические болезни;

- N 79. Вей-ген. Находится между последним крестцовым и первым позвонком хвоста. Воздействие на эту точку производится при воспалении желчного пузыря и при гепатите;

- N 81. Вей-де. Точка расположена между 1-2 хвостовыми позвонками на дорсальной поверхности хвоста и используется при лечении коликов и копростаз.

Учитывая высокое скопление БАТ в зоне поверхности крестца коровы и возможность представления данной зоны в виде цилиндра, был разработан специальный облучатель с ИК излучателем, имеющим максимум излучения в зоне А. Полное описание конструктивных особенностей данной установки в работе не приводится в связи с наличием "ноу-хау".

Для экспериментальных исследований выбирались дойные коровы - аналоги. При проведении исследований изменялась интенсивность излучения и экспозиция. В качестве выходных параметров регистрировались: интенсивность молоковыделения ( $I_m$ , кг/мин.) и количество молока при ручном додое ( $M_p$ , мл) и продолжительность дойки ( $T_d$ , мин).

Как следует из приведенных (табл. 3.14, 3.15) данных при использовании ИК излучения для обогрева крестца коровы длительность процесса доения сокращается на 7...18 %, количество молока, полученное при ручном додое снижается на 4...33 %.

Анализ предварительных результатов исследований на ферме о/х "Кутузовка" показывает существенную значимость нового способа и устройства в технологическом процессе производства молока. Причем устройство для осуществления данного способа отличается простотой в эксплуатации и низкой стоимостью, что делает их конкурентноспособными по отношению к другим способам активизации молоковыведения.

Таблица 3.14 - Результаты действия ИК излучения при облучении крестца молочной коровы

Показатели	Экспозиция, мин.					
	2,0			3,0		
	Высота подвеса, м					
	0,3	0,5	1,0	0,3	0,5	1,0
<b>Опытные животные</b>						
<i>I</i> , кг/мин.	2.3	2.3	2.0	2.2	2.0	2.1
<i>M</i> , мл	30	20	27	30	25	23
<i>T</i> , мин.	4.3	4.2	4.4	4.4	4.4	4.0
<b>Контрольные животные</b>						
<i>I</i> , кг/мин.	2.1	2.1	1.9	1.9	1.8	1.9
<i>M</i> , мл	40	30	28	30	25	24
<i>T</i> , мин.	4.7	4.5	4.7	5.0	4.9	4.3

Таблица 3.15 - Экспериментальные результаты по исследованию влияния оптического излучения на крестец коровы

Экспозиция, мин		2			3			5		
Расстояние от излучателя до крестца коровы, м		0,3	0,5	0,99	0,3	0,5	1,0	0,3	0,5	1,0
Опыт	<i>I<sub>м</sub></i> , кг/мин	2,3±0,1	2,3±0,1	2,0±0,08	2,2±0,1	2,0±0,08	2,1±0,09	1,9±0,1	2,3±0,12	1,8±0,09
	<i>P<sub>д</sub></i> , мл	30	20	27	30	25	23	24	20	20
	<i>T</i> , мин	4.3±0,2	4.2±0,18	4.4±0,3	4.4±0,37	4.4±0,36	4.0±0,22	4.6±0,5	4.3±0,43	5.1±0,53
Конт-роль	<i>I<sub>м</sub></i> , кг/мин	2,1±0,09	2,1±0,09	1,9±0,07	1,9±0,09	1,8±0,09	1,9±0,07	1,7±0,1	2,0±0,11	1,7±0,09
	<i>P<sub>д</sub></i> , мл	40	30	28	30	25	24	29	40	20
	<i>T</i> , мин	4.7±0,22	4.5±0,2	4.7±0,33	5.0±0,41	4.9±0,39	4.3±0,25	5.1±0,52	4.8±0,5	5.5±0,54

Примечание:

*I<sub>м</sub>* - средняя интенсивность молоковыведения;

*P<sub>д</sub>* - величина ручного дооя;

*T* - время доения.

### 3.6 Применение когерентного излучения в доильных залах молочных ферм

Как было показано в предшествующем разделе работы, воздействие на БАТ молочных коров позволяет получить значимые результаты при выполнении технологических операций доения. Дальнейшим развитием данного направления работ явились исследования, которые проведены совместно с Е. И. Кузнецовым и Н. Л. Лисиченко по определению эффективности действия на БАТ, расположенных непосредственно на вымени коровы. Данные исследования проводились в плане создания устройства для санитарной обработки вымени, используемого на подготовительной стадии операции доения по а. с.1544303 [93].

Для проведения исследований были выделены три группы коров по 8 голов в каждой: I группа - контрольная, в которой воздействие на вымя коров не производилось; II группа - опытная, где производился массаж вымени; III группа - опытная, где воздействие на вымя коровы осуществлялось с помощью электропунктуры. Результаты исследования приведены в табл. 3.16.

Таблица 3.16 - Результаты воздействия на БАТ вымени коровы

Группа	Внутривыменное давление, мм рт.ст/Па	Внутривыменное давление по сравнению с контролем	
		мм рт.ст/Па	%
I	140 ± 12.9/1373	-	-
II	175 ± 13.9/1717	+ 35/344	25.0
III	200 ± 15.3/1962	+ 60/589	42.6

Для оценки действия, в качестве параметра, который характеризует стимуляцию молочной продуктивности, выбрано значение внутривыменного давления, фиксируемое манометром по водяному столбу.

Данные, приведенные в табл. 3.16 свидетельствуют, что при ручном массаже внутривыменное давление возрастает на 25 %, а при воздействии электропунктурой - на 42,6 %. Различие статистических данных достоверно ( $P > 0,05$ ), что и позволило предложить новый способ повышения готовности животных к молокоотдаче [95].

Наибольший эффект был получен при воздействии электропунктуры разной продолжительности в течение 5 минут. В табл. 3.17 приведены значения изменения внутривыменного давления при различных режимах воздействия.

Как следует из данных табл. 3.17 наибольший рост внутривыменного давления достигается при воздействии электропунктурой в течение 5 минут и замедляется при дальнейшем увеличении длительности воздействия. При этом определены новые точки, ответственные за готовность животного к процессу доения.

Суть нового способа заключается в том, что воздействие осуществляется электрическим током с силой 250...270 мкА положительной полярности на

симметричные точки, расположенные на месте перехода сосков в вымя или до 2 см в краниальном направлении в течение 6...7 мин., как это защищено а. с. 1667780 [94]. Описанные выше исследования и обнаружение новых БАТ, ответственных за молокоотдачу, послужили основанием для определения возможности использования лазерной техники в аналогичных операциях.

Таблица 3.17 - Изменение внутривыменного давления при различных режимах воздействия

№ п.п	Режим воздействия	Внутривыменное давление, Па			
		0, мин	1, мин	5, мин	10, мин
1	Род работы - "торможение", полярность – отрицательная, ток 150...170 мкА	1157	1219	1388	1401
2	Род работы - "возбуждение", полярность – положительная, ток 250...270 мкА	1157	1298	1553	1577

С этой целью был проведен анализ существующих типов лазеров и, с точки зрения портативности, стоимости и мощности, были выбраны лазеры типа "Узор", AL 09 и AGNIS-L01 [96-98].

На рис. 3.11 представлены экспериментальные зависимости времени выдаивания одного килограмма молока при облучении БАТ на вымени коров. (Приложение Е).

Для автоматизации данного технологического процесса были проведены серии экспериментальных исследований и на основе полученных результатов определены аналитические зависимости для вычисления наиболее благоприятных режимов воздействия на животных электромагнитным полем.

Одним из вероятных воздействий лазерного излучения на биологически активные точки животных можно считать тепловое воздействие. На основе известных теорий рассмотрим возможные варианты расчета температур в зоне лазерного пятна [189].

#### Допущения, принятые для расчета

Считаем, что лазерное излучение (ЛИ) полностью поглощается в кожном покрове животного на толщине до 2...3 мм, а зона реакции тепловых рецепторов коров лежит на уровне 1...2 мм от поверхности. Это позволяет рассматривать ЛИ как поверхностный тепловой источник малой мощности, работающий в стационарном или импульсном режимах. Кроме того, диаметр лазерного луча, как правило, не превышает 5 мм, что позволяет считать ЛИ точечным. В дальнейших рассуждениях примем величину теплопроводности кожных покровов близкой к  $\lambda \approx 0.5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \text{ К}^{-1}$ .

Используя известные методы расчета температурных полей, создаваемых поверхностными точечными тепловыми источниками, рассмотрим два типичных случая:

- нагрев поверхности кожи животного в зоне БАТ стационарным ЛИ;
- нагрев поверхности кожи в зоне БАТ импульсным ЛИ.

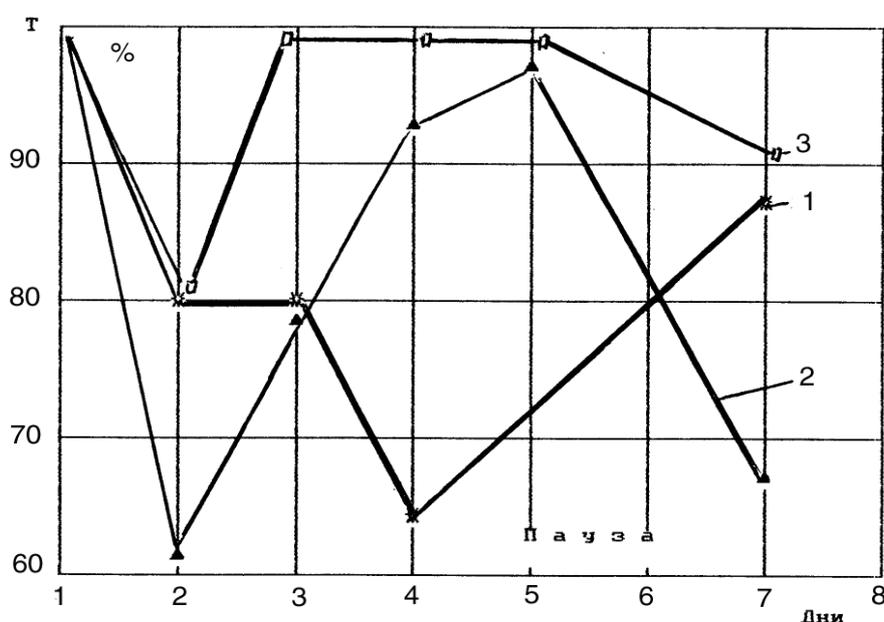


Рисунок 3.11 - Зависимости изменения времени выдаивания 1 кг молока при воздействии на БАТ вымени различными лазерами: 1(●) - лазер типа "Узор"; 2(∇) - лазер типа AL09; 3(◇) - лазер типа AGSIN - LOI при наличии паузы в воздействии между 4 и 7 днями

### Стационарный нагрев

Для данного случая применима модель движущегося или неподвижного точечного теплового излучателя. Схема процесса нагрева зоны БАТ для случая движущегося животного представлена на рис. 3.12.

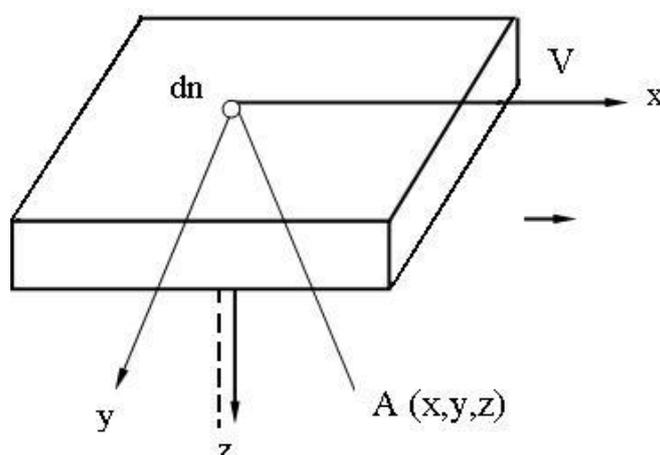


Рисунок 3.12 - К расчету процесса нагрева зоны биологически активной точки для случая движущегося животного

Считаем, что для общего случая пятно нагрева  $dn$  перемещается со скоростью  $\vec{V}$  вдоль оси  $x$ . Облучаемый материал - кожный покров животного - занимает полупространство  $Z > 0$ . При этом форма пятна не учитывается, а во внимание принимаем только его площадь  $S_n$ . Данное обстоятельство необходимо для определения мощности нагрева:

$$Q = qS_n = q \frac{\pi}{4} d_n^2, \quad (3.9)$$

где  $q$  - плотность потока энергии ЛИ,  $Вт/м^2$ ;  
 $d_n$  - диаметр пятна нагрева,  $м$ .

Следует отметить, что в реальном случае величины  $d_n$  и  $q$  определяются характеристиками используемого лазерного излучателя.

При решении соответствующей краевой задачи теплопроводности пятно нагрева считаем точечным тепловым источником.

Для принятого допущения решение задачи может быть проведено с использованием следующего выражения:

$$T - T_0 = \frac{Q}{2\pi\lambda R} e^{\frac{4}{2a}(R+x)}, \quad (3.10)$$

где  $T_0$  - начальная температура в зоне БАТ,  $^{\circ}C$ ;

$\lambda$  и  $a = \lambda / cp$  - соответственно коэффициенты тепло- и температуропроводности кожного покрова;

$c$  - удельная теплоемкость кожи;

$p$  - плотность кожного покрова животного;

$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  - координаты рассматриваемой БАТ.

Для точки А должно выдерживаться неравенство

$$z > \Delta,$$

где  $\Delta$  - глубина проникновения ЛИ в кожные ткани, поэтому  $R > \Delta$ .

Следует иметь ввиду, что если  $R=0$ , то формула (3.10) теряет смысл.

Анализ выражения (3.10) показывает, что в точках  $(x_m, y, z)$ , для которых

$$x_m = -\frac{Vr_0^2}{4a}, \quad (r_0^2 = y^2 + z^2), \quad (3.11)$$

температура достигает максимально требуемых значений:

$$T_m = T_0 + \frac{2Q}{\pi \cdot e \cdot p \cdot c \cdot V \cdot r_0^2}. \quad (3.12)$$

Знак минус при  $x_m$  означает, что максимум температуры достигается в точках, мимо которых уже прошел лазерный излучатель (например, движение животного мимо лазерной установки). При этом отметим, что решение (3.10) получено в движущейся системе координат, связанной с пятном нагрева.

Подставляя вместо  $T$  требуемую температуру нагрева (например, температуру облучения БАТ вымени или крестца молочной коровы) и зная

теплофизические свойства кожных тканей, можно, используя (3.10) определить технологический параметр процесса облучения – скорость движения животного относительно лазерной установки или движение лазера относительно животного.

В частном случае неподвижного лазера и фиксированном животном, что наиболее точно реализуется при доении коров ( $V=0$ ) температурное поле кожного покрова описывается формулой:

$$T - T_0 = \frac{Q}{2\pi\lambda R} = \frac{Q}{2\pi\lambda\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}. \quad (3.13)$$

Рассматривая данный случай, следует иметь ввиду, что стационарное поле ЛИ устанавливается лишь по истечении определенного времени от начала процесса облучения и зависит от конкретных условий его протекания.

В качестве примера рассмотрим использования выражения (3.13) для случая, когда БАТ находится непосредственно под пятном ЛИ, то есть координаты точки А соответствуют  $(0, 0, z > \Delta)$ , тогда

$$T - T_0 = T - T_0 = \frac{Q}{2\pi\lambda R}. \quad (3.14)$$

Для живой ткани можно с допущениями принять  $\lambda=0.5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ , глубину рассматриваемой зоны  $z=0.01 \text{ м}$ , то есть заведомо больше  $\Delta$ . Мощность стационарного лазера примем  $Q=1 \text{ Вт}$ , что при  $d_n=0,5 \text{ мм}$  соответствует  $q=4\cdot 10^6 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ . Подставляя принятые значения в выражение (6), получим результат:

$$T - T_0 = \frac{1}{6.28 \cdot 0.5 \cdot 0.01} \approx 32^\circ.$$

Отметим, что  $(T - T_0)$  пропорционален мощности ЛИ и сравнительно медленно убывает вглубь кожной ткани.

Следует иметь ввиду, что формула (3.14) проста и удобна для практического применения, однако дает лишь приближенные результаты ввиду упрощенного характера расчетной модели. Исследования данного направления могут явиться дальнейшим продолжением работ по повышению эффективности применения оптического излучения на фермах КРС.

### **Импульсный (нестационарный) нагрев**

Основы теории нагрева различных объектов импульсным ЛИ содержатся в ряде работ, например, [182].

Согласно данной теории, температурное поле, создаваемое в полупространстве ( $z > 0$ ) мгновенным источником теплоты (коротким импульсом ЛИ), описывается формулой:

$$T - T_0 = \frac{2W}{c \cdot \rho(4\pi aT)^{3/2}} e^{-R^2/4a\tau}, \quad (R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}), \quad (3.15)$$

где  $\tau$  - время, отсчитываемое от момента выделения на поверхности кожного покрова количества теплоты  $W$ ;

$W$  - выделяемое количество теплоты, равное:

$$W = qS_n \tau_u = Q \cdot \tau_u, \quad (3.16)$$

где  $\tau_u$  - длительность импульса ЛИ.

Заметим, что формула (3.10) выводится на основе более универсальной теоретической формулы (3.15). Выражение (3.15) имеет смысл при  $\tau > \tau_\epsilon$ , так как при  $\tau \rightarrow 0$  оно дает неопределенность типа 0/0.

Анализ формулы (3.15) показывает, что величина  $(T - T_0)$  вначале возрастает от весьма малых значений и достигает максимума при

$$\tau = \tau_m = \frac{2R^2}{12a}. \quad (3.17)$$

Затем данная величина опять уменьшается со временем по закону:

$$(T - T_0) \sim \tau^{-3/2}, \quad (\text{в области больших значений } \tau).$$

Эффекты, которые фиксируются при использовании ЛИ в технологических процессах получения продукции сельскохозяйственного производства, связаны, по-видимому, не только с возможностью получения высокой интенсивности лучистого потока ЛИ, но и существенно зависят от спектрального состава излучения, когерентности к поляризации излучения. Весьма важным является и режим облучения.

В настоящее время известно ряд теорий, с помощью которых проводятся попытки объяснить и определить поглощение энергии ЛИ биологическими объектами, однако это сопряжено с существенными трудностями. Данные трудности обусловлены в первую очередь различными коэффициентами поглощения и отражения излучений различными участками тканей. И главное, при воздействии на биообъекты различными по спектру излучениями наблюдаются взаимно противоположные эффекты.

Согласно известным теориям по воздействию ЛИ на биологические объекты различают термические и нетермические эффекты. При этом зона перехода от нетермических эффектов к термическим соответствует плотности потока излучения в диапазоне от 0,5 до 1  $Вт/см^2$ . Превышение указанных значений при облучении биологического объекта сопровождается поглощением молекулами воды ЛИ, что приводит к их испарению и последующей коагуляцией белка. Регистрируемые при этом структурные изменения сходны результатам обычного теплового воздействия. При этом наблюдается резкая

локализация участка воздействия и эффект сопровождается поглощением рассеиваемой энергии в ближайших к месту воздействия тканях.

При импульсном воздействии излучение подается порциями в течение короткого интервала времени. Данное воздействие сопровождается так называемым взрывным эффектом: возникает фонтан выброса, состоящий из частиц ткани и паров воды. Этому эффекту сопутствует возникновение ударной волны, которая воздействует на организм в целом.

В случае лазерного воздействия на БАТ молочных коров использовали маломощные лазеры. Эффекты воздействия маломощных лазеров мало изучены. Однако рядом исследователей отмечались сдвиги в активности ферментов, структурах пигментов, нуклеиновых кислот и других, важных для биологического обмена веществах.

Судя по всему, нетермическое воздействие ЛИ вызывает достаточно сложные реакции организма и во вторичных физиологических процессах. Данное обстоятельство мы и наблюдали при воздействии на БАТ молочных коров в зоне вымени и крестца.

Такое воздействие, очевидно, сопровождается резонансными явлениями, протекающими на молекулярном уровне, так как при этом наблюдается изменение деятельности со стороны нервной, кровеносной и других систем организма молочных коров.

По нашей оценке данное направление представляет существенный интерес с точки зрения использования маломощных лазеров в технологических процессах сельскохозяйственного производства.

В ходе выполнения настоящей работы были проведены экспериментальные исследования по воздействию лазерного излучения на БАТ молочных коров. В результате чего были установлены зависимости ЛИ на показатели: внутривыменное давление и время выдаивания. Приложение Е.

В случае применения электропунктуры в режиме работы “торможения”, полярность отрицательная, ток 150...170 мкА аналитическая модель процесса имеет вид:

$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}, \quad (3.18)$$

где  $a$  – исходное внутривыменное давление (на уровне 1157 Па);

$x$  – время воздействия, мин.;

$b, c, d$  - коэффициенты, соответственно равные:  $b=2.99$ ;  $c=1404.48$ ;  $d=2.32$ .

В результате выражение для выбора необходимого режима воздействия по величине внутривыменного давления ( $B_{om}$ ) имеет вид

$$B_{om} = \frac{3459.43 + 1404.48t^{2.32}}{2.99 + t^{2.32}}, \quad (3.19)$$

где  $t$  – время воздействия, мин.

В случае воздействия в режиме работы “возбуждение”, полярность положительная, ток 250...270 мкА, расчетное выражение имеет вид

$$B_{ов} = \frac{2360.28 + 1585.72t^{1.99}}{204 + t^{1.99}}. \quad (3.20)$$

При воздействии на БАТ животных лазерным излучением также достигается ускорение процесса доения.

При воздействии лазером типа “Узор” зависимость изменения времени выдаивания 1кг молока может быть представлена выражением типа:

$$y = a + bx + cx^d, \quad (3.21)$$

то есть

$$T_1 = 118.14 - 22.21D + 2.57D^2, \quad (3.22)$$

где  $T_1$  - время выдаивания 1кг молока;

$D$  – количество дней воздействия.

При воздействии лазером типа AL09:

$$y = ax^{\frac{b}{x}}, \quad (3.23)$$

или для реального использования:

$$T_2 = 99.13D^{\frac{-0.153}{D}}. \quad (3.24)$$

При использовании лазера типа AGSIN-L01 и при наличии паузы между 4 и 7 днями общее выражение может быть представлено как

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3, \quad (3.25)$$

или

$$T_3 = 153.29 - 80.48D + 24.23D^2 - 2.08D^3. \quad (3.26)$$

Оценку общего результирующего воздействия лазерного излучения на изменение времени выдаивания 1 кг молока различными лазерами можно проводить, используя формулу (3.18).

На рис. 3.13 представлена расчетная зависимость суммарного воздействия на БАТ коровы от различных лазеров и режимов.

Анализ полученных зависимостей показывает, что уже при втором воздействии (на второй день) во всех случаях наблюдается снижение времени выдаивания на 62...80 %, причем лучшие показатели были получены при использовании лазера типа "Узор". При воздействии двумя другими лазерами эффект или исчезал или уменьшался (кривые 2, 3 на рис. 3.1). При проведении в

процессе облучения временной паузы в два дня, эффект снижения времени выдаивания вновь восстанавливался, но на более высоком уровне.

Проведенные предварительные исследования по определению возможности применения лазерной техники для активации процессов доения позволяет говорить о перспективности работ данного направления при всестороннем изучении конкретного воздействия интенсивности, длительности спектрального состава излучения на организм животного.

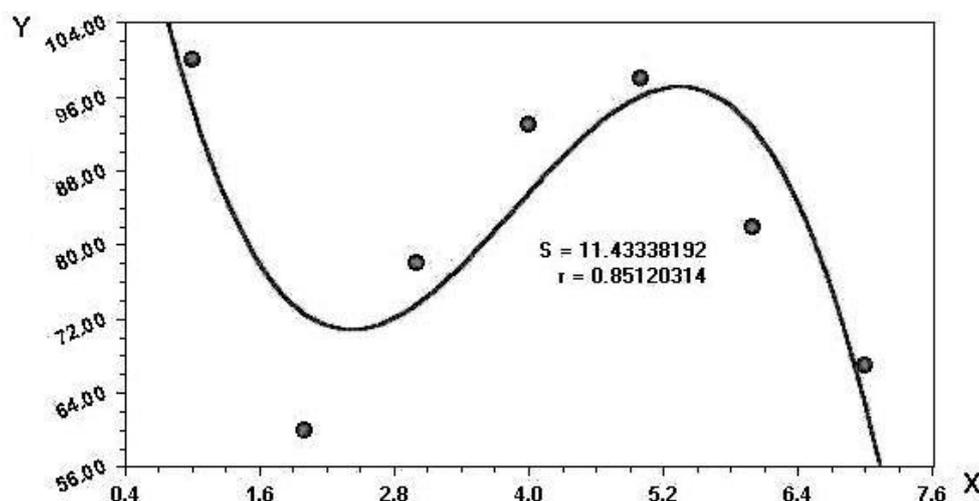


Рисунок 3.13 - Зависимость изменения времени выдаивания 1 кг молока при воздействии на БАТ вымени различными лазерами

### 3.7 Математическое моделирование влияния уровней освещённости на технологические процессы содержания молочных коров

Полученные ранее результаты экспериментальных исследований послужили основанием для разработки математических моделей влияния уровней освещённости на показатели продуктивности молочных коров.

При построении математических моделей технологических операций на молочной ферме существует ряд трудностей, не позволяющих использовать уже известные модели. Первой трудностью является необоснованное расширение границ применимости известных моделей, что существенно снижает качество управления процессами. Вторая трудность заключается в отсутствии возможности объяснения причинно-следственной связи между параметрами, входящими в математическую модель процесса.

Для устранения указанных трудностей в использовании моделей проведен анализ их с точки зрения информативности и границ применения. Рассмотренные зависимости относятся к группе задач, в которых необходимо было определить связь выходных данных – удоев, расход кормов и т.д. – от уровней освещенности и облученности, причем данные зависимости оказались явно неизвестны. Такие задачи, как правило, решают известными статистическими методами [174, 175]. При этом учитывалось, что обычно в статических методах анализа информации используются системы линейных

зависимостей, которые не всегда могут корректно сформулировать модель задачи.

При создании моделей рассматривали основные технологические процессы молочной фермы, результаты исследований которых приведены в начале данной главы. Чтобы понять общие проблемы математического моделирования оказалось достаточно проанализировать только ту часть процесса, которая напрямую связана с получением молока, а именно - как улучшаются показатели продуктивности молочных коров от различных уровней освещенности.

В процессе разработки моделей пройдены следующие этапы:

- составление математической модели;
- разработка вычислительного алгоритма;
- разработка и составление программы;
- проведение расчетов и вычислительный эксперимент;
- анализ результатов расчетов и уточнение модельных представлений.

Составление математической модели. Разработка вычислительного алгоритма. Обычно это самостоятельное исследование, которое может быть реализовано различными способами для одной и той же математической модели.

Разработка алгоритма часто связана с составлением программы, так как сами алгоритмы учитывают особенности компьютера и используемого языка программирования.

Следующим этапом является проведение расчетов и вычислительный эксперимент.

Анализ его результатов позволяет уточнить модельные представления авторов, компьютерную моделирующую систему. Часто это означает возврат к одному из первых четырех пунктов. После того, как модель начинает вести себя, как реальный объект, ее можно использовать для различных прогнозов.

Рассмотрим некоторые процессы, возникающие в молочной индустрии, для эффективного управления которыми необходимо знать зависимость между его характеристиками.  $\Pi = f(E)$  - зависимость средней интенсивности молоковыведения ( $\Pi$ ) от уровня освещенности ( $E$ ).

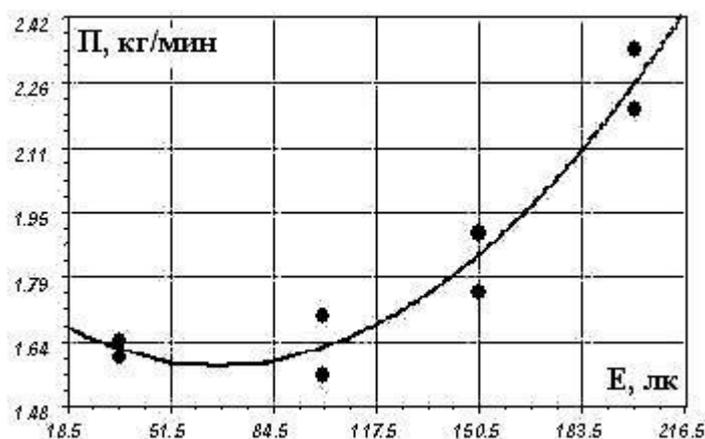


Рисунок 3.14 - График зависимости  $\Pi = f(E)$

Анализ графического представления, в частности диаграммы рассеивания, зависимости исходных данных молоковыведения у коров от освещенности, полученных в результате экспериментальных исследований, выявил линейную зависимость между входной переменной (освещенностью) и выходной (средней интенсивностью молоковыведения).

Это позволило обосновать эффективность применения классического метода регрессионного анализа для построения математической модели данной операции, основой которого является метод наименьших квадратов. Это позволило получить статистическую зависимость линейного характера относительно параметров модели. В результате проведенных исследований была синтезирована математическая модель вида  $Y=1,75-0,005E+3,82E^2+0,078$ . Для практического применения полученной модели провели анализ ее адекватности исследуемому процессу.

Корректность полученной регрессионной модели определяется выполнением теоретических предпосылок и предположений используемого метода для ее построения. Для оценки корректности полученной математической модели провели проверку нормальности закона распределения ошибок модели, оценку постоянства дисперсии ошибок модели, оценку коррелированности остатков, оценку ковариации ошибок с переменной, оценку незначимости ошибок регистрации независимой переменной по сравнению со случайной ошибкой. В результате проведенного анализа обоснована корректность применения метода регрессионного анализа для построения указанной модели. Также была проведена оценка адекватности полученной модели, базирующаяся на статистических критериях, в частности критерия Фишера,  $t$ -критерия Стьюдента для проверки значимости коэффициентов полученной модели, а также на основе оценки остатков модели, определяющих степень несоответствия полученной математической модели исследуемому процессу.

В результате проведенных исследований коррелированности остатков на основе критерия Дарбина – Ватсона, графического исследования зависимости остатков от независимой переменной, а также исследований остатков на нормальность распределения, обоснована ее адекватность исследуемому процессу, что подтвердилось и при проведенном анализе ее адекватности на основе вышеперечисленных статистических критериев.

Зависимость молочной продуктивности ( $M_n$ ) от уровня освещенности ( $E$ ) -  $M_n=f(E)$ . Экспериментальные данные представлены в табл. 3.18.

Таблица 3.18 - Продуктивность молочных коров в зависимости от уровня искусственного освещения

Группа	Освещенность, лк	Получено молока от одной коровы, кг
1	35	2422 ± 156
2	100	2532 ± 185
3	150	2658 ± 189
4	200	2717 ± 195

Получена зависимость - Gaussian Model:

$$y = a \cdot e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (3.27)$$

где  $a = 3560.6804$ ;

$b = 1017.4205$ ;

$c = 1118.8836$ .

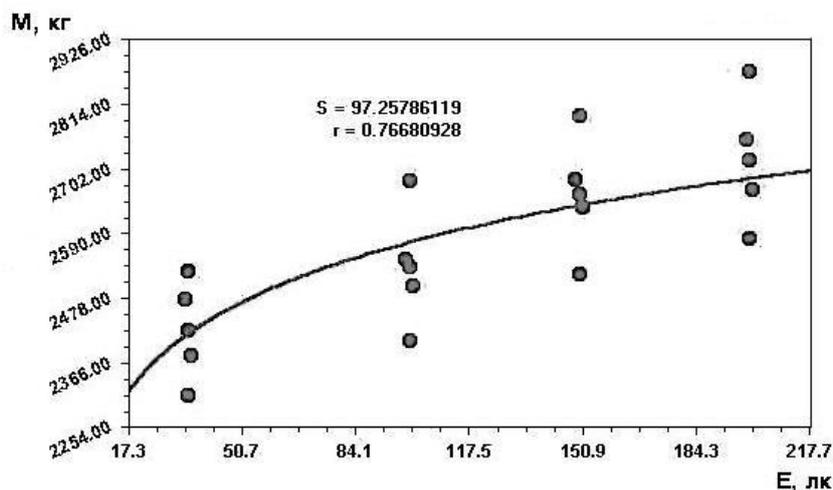


Рисунок 3.15 - График зависимости  $M_n = f(E)$

График зависимости представлен на рис. 3.15.

Данные, полученные в результате выборки случайных значений из генеральной совокупности, представлены в табл. 3.19.

Таблица 3.19 - Полученная выборка

Освещенность, лк	Получено молока от одной коровы, кг
35	2422
35	2525
35	2310
34	2475
36	2378
100	2532
100	2680
100	2403
99	2546
101	2499
150	2658
150	2794
150	2519
149	2684
151	2635
200	2717
200	2870
200	2580
199	2752
201	2666

Зависимость расхода потребления кормов ( $P_k$ ) от уровня освещенности ( $E$ )  $P_k = f(E)$ . Экспериментальные данные представлены в табл. 3.20.

Таблица 3.20 - Потребление кормов при различных уровнях искусственного освещения

Освещенность, лк	Расход кормов на 1 кг молока, %
35	100.00
100	98.50
150	94.80
200	94.00

Получена зависимость - Weibull Model:

$$y = a - be^{-cx^d}, \quad (3.28)$$

где  $a = 109.26402$ ;

$b = 114.04964$ ;

$c = 3.8332908$ ;

$d = -0.1171611$ .

График зависимости представлен на рис. 3.16.

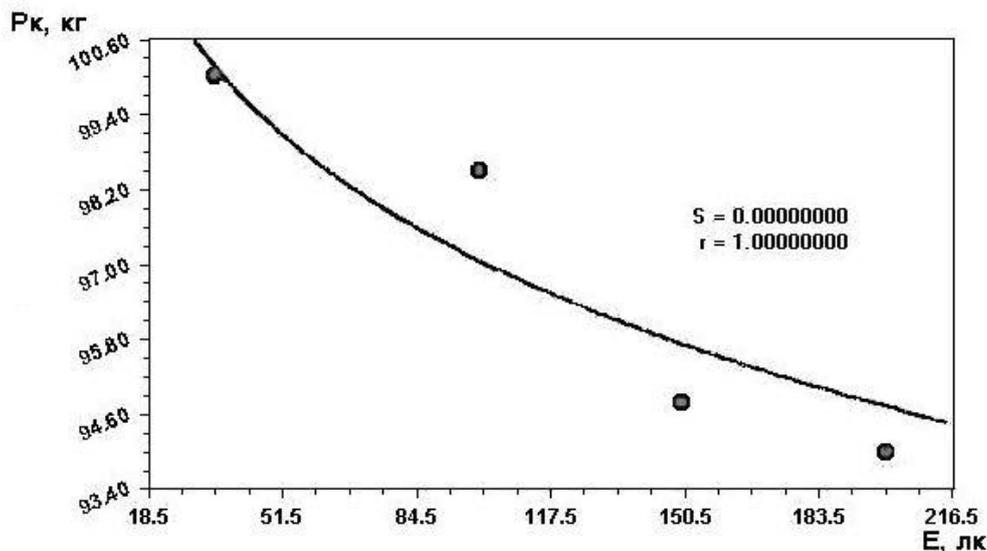


Рисунок 3.16 - График зависимости  $P_k = f(E)$

В результате проведенных исследований были получены следующие математические модели:

- зависимость интенсивности молоковыведения ( $\Pi$ ) от уровня освещенности ( $E$ ):  $\Pi = f(E)$

$$\Pi = 1,75 - 0,005 E + 3,82 E^2 + 0,078; \quad (3.29)$$

- зависимость молочной продуктивности ( $M$ ) от уровня освещенности ( $E$ ):  $M = f(E)$

$$M = a \cdot e^{-\frac{(E-b)^2}{2c^2}}, \quad (3.30)$$

где  $a = 3560,6804$ ;

$b = 1017,4205$ ;

$c = 1118,8836$ ;

- зависимость потребления кормов ( $P_k$ ) от уровня освещенности ( $E$ ):  
 $P_k = f(E)$

$$P_k = a - b \cdot e^{-cE^d}, \quad (3.31)$$

где  $a = 109.26402$ ;

$b = 114.04964$ ;

$c = 3.8332908$ ;

$d = -0.1771611$ ;

- зависимость величины машинного надоя ( $M_m$ ) от уровня освещенности ( $E$ ):  $M_m = f(E)$

$$M_m = a \cdot e^{-\frac{(E-b)^2}{2c^2}}, \quad (3.32)$$

где  $a = 269.2649$ ;

$b = 92.912469$ ;

$c = 223,06343$ ;

- зависимость величины ручного надоя ( $P_y$ ) от уровня освещенности ( $E$ ):  $P_y = f(E)$

$$P_y = a + bE + cE^2, \quad (3.33)$$

где  $a = 71.532272$ ;

$b = -0.36580521$ ;

$c = 0.001238202$ ;

- зависимость валового надоя ( $B_n$ ) от одной коровы от уровня освещенности ( $E$ ):  $B_n = f(E)$

$$B_n = a + bE, \quad (3.34)$$

где  $a = 2359.4246$ ;

$b = 1.7878762$ .

Кроме указанных зависимостей установлены связи спада освещенности от длительности эксплуатации светотехнической установки ( $T_y$ ):  $E = f(T_y)$

$$E = \frac{a}{1 + be^{-cTy}}, \quad (3.35)$$

где  $a = 89.319299$ ;

$b = -0.10649994$ ;

$c = 0.083821314$ .

Таблицы с экспериментальными данными и графики вышеприведенных зависимостей приведены в приложении Е.

Таким образом, в результате проведенных экспериментально-теоретических исследований разработан комплекс математических моделей, позволяющих на основе различных уровней освещенности, установленных в помещении для содержания молочных коров, прогнозировать средние удои коров, расход кормов, параметры, характеризующие процесс доения, проводить дальнейшие экспериментальные исследования. Это в конечном итоге открывает возможности по определению рациональных значений интересующей выходной переменной, соответствующих максимальному объему выхода конечной продукции – молока. Полученные результаты использованы при проектировании автоматизированной фермы – автомата “ФАМ–800”.

### 3.8 Заключение (выводы)

Анализ результатов экспериментальных исследований позволяет заключить, что применение новых способов использования оптического излучения на фермах и комплексах КРС обеспечивает:

- увеличение молочной продуктивности коров на 5...6 % при увеличении освещенности производственных помещений со 150 до 300 лк на фермах привязного содержания коров;

- применение динамичного освещения с увеличением освещенности до 150...300 лк обеспечивает увеличение удоя на 10-12 % при увеличении расхода кормов на 7...8 % при увеличении двигательной активности приема пищи;

- увеличение освещенности до 300 лк во время дойки улучшает показатели работоспособности операторов машинного доения при снижении утомляемости на 18...25 %;

- увеличение освещенности до 150 лк при соответствующем УФ и ИК облучении в телятниках приводит к увеличению массы телят на 7...8 % при снижении заболеваемости;

- облучение крестца молочной коровы ИК излучением вызывает уменьшение времени доения животного на 7...12 % при сокращении до 33 % величины ручного дооя;

- экономию электроэнергии на светотехнические нужды до 25 %.

Предложены математические модели, описывающие влияние уровня освещенности на показатели продуктивности молочных коров: интенсивности молоковыведения, молочной продуктивности, потребления кормов, величины машинного и ручного надоя, валового надоя.

## **4. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ НОРМИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Целью настоящего раздела работы является исследования по определению методики расчета температурных режимов новых технологических процессов, связанных с воздействием ИК – излучения на биологические объекты сельскохозяйственного профиля на основе единого системного теоритического подхода.

### **4.1 Общие положения**

Нормирование облученности биологических объектов (БО) одним из видов оптического излучения, а именно, ИК-излучением, необходимо для обеспечения технологических целей применения этого вида теплового воздействия. Цели ИК – облучения БО разнообразны и зависят от их природы и характера технологического процесса. В настоящем исследовании выделены следующие процессы использования ИК – излучения, применяемые на фермах и комплексах крупного рогатого скота:

- компенсация тепловых потерь живых организмов (например, сельскохозяйственных животных, в частности, молодняка) на теплоотдачу в окружающую среду с температурой ниже температуры по поверхности тела (а также потерь, связанных с дыханием);
- воздействие ИК - излучения на биологически активные точки (БАТ) животных.

Для полного достижения указанных целей необходимо точное нормирование распределения облученности (энергетической облученности)  $E_e, Вт/м^2$ , по поверхности объекта (в общем случае криволинейной), являющейся базой для выбора мощности и геометрии ИК - излучателя и его расположения относительно поверхности БО.

В первом из указанных случаев значения  $E_e$  должны непосредственно сопоставляться с интенсивностью теплоотдачи от БО при заданных условиях окружающей среды животноводческого помещения, во втором случае данные зависимости и связи еще необходимо установить и в третьем варианте значение  $E_e$  устанавливаются из условия достижения требуемой температуры обрабатываемого объекта и соответствующей технологической цели при известных условиях воздействия окружающей среды (воздуха в производственном помещении). Отсюда вытекают основные цели настоящего теоретического и экспериментального исследования:

- вывести теоретически и проверить экспериментально соотношения, необходимые для расчета облученности БО;
- рассчитать коэффициенты теплоотдачи от БО различной формы и размеров в зависимости от температур поверхности БО и окружающей среды;

- установить соотношения между облученностью и температурными режимами БО при ИК - воздействии, являющихся основой рационального нормирования параметров ИК-облучательных установок для облучения БО.

Первая из поставленных целей исследования достигается применением законов фотометрии с учетом специфики указанных выше технологических процессов, в которых обычно используются ИК - излучатели, например, вольфрамовые нити или нихромные спирали с температурой 1000...1300 K или выше. Этому интервалу температур соответствует длина волны максимума излучения  $\lambda_m \approx 3,0...2,3 \text{ мкм}$  и менее. При этом большая часть излучаемой энергии оптического излучения – 75 % и более приходится на ближнюю и среднюю часть ИК - области (преимущественно с  $\lambda_m \approx 1,5...5 \text{ мкм}$ ). При фотометрических расчетах в этой области спектра, в отличие от видимой части, используются энергетические единицы для:  $E_e, \text{ Вт/м}^2$ ; энергетической силы излучения  $I_e, \text{ Вт/ср}$ ; лучистого потока  $\Phi_e, \text{ Вт}$ ; энергетической яркости  $L_e, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$ ; энергетической светимости  $M_e, \text{ Вт/м}$ . Для определения светимости ИК - излучателей используется основной закон теплового излучения (закон Стефана-Больцмана); кроме того, применяются и различные эмпирические формулы, поскольку свойства реальных ИК - излучателей могут существенно отличаться от свойств "серых" тел с определенной степенью черноты,  $\varepsilon_n$ .

Эффективность ИК - излучателей существенно повышается при применении отражателей различных типов. На нее влияют многие факторы - форма отражателя, материал и состояние отражающей поверхности, расположение излучателя в отражателе и др. Поскольку в настоящем исследовании фотометрический расчет облученности  $E_e$  проводится при отсутствии отражателя, и только при дальнейшем исследовании результатов работы вводятся соответствующие коэффициенты эффективности отражателей  $K_o$  по данным справочной литературы (в зависимости от формы излучателя обычно принимается  $K_o = 1,3...3,4$ ).

С ориентацией на указанные выше цели ИК - облучения БО проводим расчет облученности, создаваемой точечным и линейным (цилиндрическим) излучателями на плоской или цилиндрической поверхностях. При этом имеем в виду, что используемая методика может быть применена и при других возможных геометриях ИК - облучателей.

При расчете интенсивности теплообмена облучаемых объектов с окружающей средой из трех основных механизмов - конвективного, кондуктивного и радиационного учитываем только первый - конвективная теплота в условиях свободной конвекции в большом пространстве животноводческого помещения. Именно этот механизм является преобладающим в рассматриваемых технологических процессах (кондуктивный теплообмен малоэффективен ввиду низкой теплопроводности воздуха, а радиационный - из-за низкой температуры облучаемых объектов).

Основой расчета интенсивности теплоотдачи в рассматриваемых случаях является закон Ньютона-Рихмана. Значения входящих в этот закон

коэффициентов, в частности,  $\alpha$  определяем с помощью критериального уравнения Михеева. Это уравнение является обобщением опытных данных, и результаты расчетов на его основе обладают ограниченной точностью и областью применимости. Поэтому в каждом случае условия расчета  $\alpha$  должны точно оговариваться.

Эффективность воздействия ИК - излучения на БО, то есть на их температурные режимы, зависит от их поглощательной способности или степени черноты  $\varepsilon_0$  (для "серых" объектов). Величина  $\varepsilon_0$ , в свою очередь, определяется многими факторами - природой, температурой и влагосодержанием БО и состоянием их поверхности. В настоящем исследовании учтены литературные данные, свидетельствующие о том, что для массы животных значения  $\varepsilon_0$  находятся в интервале 0,7...0,8. С повышением температуры  $\varepsilon_0$  несколько уменьшается. С увеличением длины волны  $\lambda_m$  - максимума излучения величина  $\varepsilon_0$  возрастает, соответственно эффективная глубина  $\Delta$  проникновения ИК - излучения в ткани животного уменьшается. При  $\lambda_m \approx 2,3$  км и более величина  $\Delta$  не превышает 1 мм, поэтому тепловое действие ИК - излучения нагретых нихромовых или вольфрамовых спиралей можно рассматривать как "поверхностное", т. к. в этом случае все сводится к подводу теплоты через поверхность объекта с плотностью теплового потока  $\varepsilon_0 E_e$ . Такой подход и был принят в настоящем исследовании.

Ввиду возможных более или менее значительных отклонений геометрии облучения, условий теплоотдачи и свойств облучаемых объектов от "идеализированных", принятых при теоретических рассуждениях, его результаты сопоставили с данными, полученными путем систематических экспериментальных исследований, проведенных как в лабораторных, так и производственных условиях облучения БО сельскохозяйственного профиля. В результате такого сопоставления была внесена коррекция в теоретические расчеты и установлена точность определения облученности БО.

#### 4.2 Облученность плоской поверхности точечным и линейным излучателями

**Точечный излучатель.** Расчет энергетической облученности  $E_e$  любой точки А плоской поверхности точечным излучателем со сферической силой излучения  $I_e = \frac{\Phi_e}{4\pi}$  является простейшей фотометрической задачей и осуществляется по формуле (рис. 4.1):

$$E_e = \frac{I_e \cos i^1}{r^2} = I_e \frac{h}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}}. \quad (4.1)$$

Эта формула приближенно справедлива в реальных условиях, если характерный размер излучателя мал по сравнению с расстоянием от него до облучаемой поверхности, поскольку любой излучатель любой геометрической

формы при уменьшении размеров приближается по своим свойствам к "сферическому".

**Линейный излучатель.** Линейный излучатель, как правило, представляется в виде вольфрамовой или нихромовой спирали, который может быть представлен в виде длинного цилиндра длиной  $2l$  с диаметром  $d \ll 2l$  (рис. 4.2). Такой излучатель характеризуется определенной яркостью  $L_e$ , связанной с его светимостью  $M_e$  и силой излучения

$$I_e = I_{eo} \cos i \text{ (такой излучатель называется "косинусным")},$$

где  $I_{eo}$  - сила излучения в направлении, перпендикулярном оси цилиндра.

Поскольку видимой поверхностью цилиндра в этом направлении является его осевое сечение с площадью  $2 \cdot l \cdot d$ , то для осевой силы излучения  $I_{eo}$  данного излучателя имеем:  $L_{eo} = L_e \cdot 2 \cdot l \cdot d$ .

Выделим на излучателе малый участок длиной  $d \cdot l$  с площадью видимой поверхности  $d \cdot d \cdot l$  в направлении нормали к оси излучателя. Этот участок создает в точке  $A$  элементарную облученность:

$$dE_e = \frac{L_e \cdot d \cdot dl \cdot \cos i \cdot \cos i^1}{r^2}, \quad (4.2)$$

$$\text{где } \cos i = \frac{\sqrt{y^2 + h^2}}{r};$$

$$\cos i^1 = \frac{z}{r};$$

$$r = \sqrt{(x - \zeta)^2 + y^2 + h^2};$$

$\zeta$  - текущая координата элементарного участка  $d \cdot l$ , изменяющаяся от -1 до +1.

Введя переменную интегрирования  $\varpi = x - \zeta$ , изменяющуюся от  $(x+1)$  до  $(x-1)$ , представим полную энергетическую облученность  $E_e$  в точке  $A$  выражением:

$$E_e = \int_{-1}^1 \frac{L_e \cdot d \sqrt{y^2 + h^2} h \cdot d\zeta}{[(x - \zeta)^2 + y^2 + h^2]^2} = L_e \mp \cdot d \cdot h \cdot \sqrt{y^2 + h^2} \int_{x-1}^{x+1} \frac{d\varpi}{(a^2 + h^2)^2}, \quad (4.3)$$

где  $a^2 = y^2 + h^2$ .

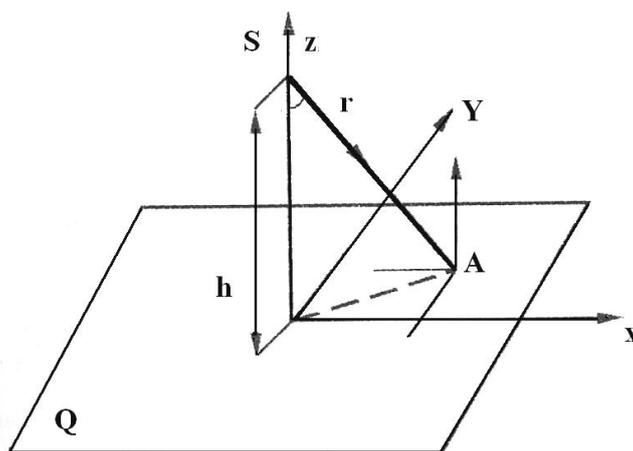


Рисунок 4.1 - К расчету энергетической облученности плоскости от точечного излучателя

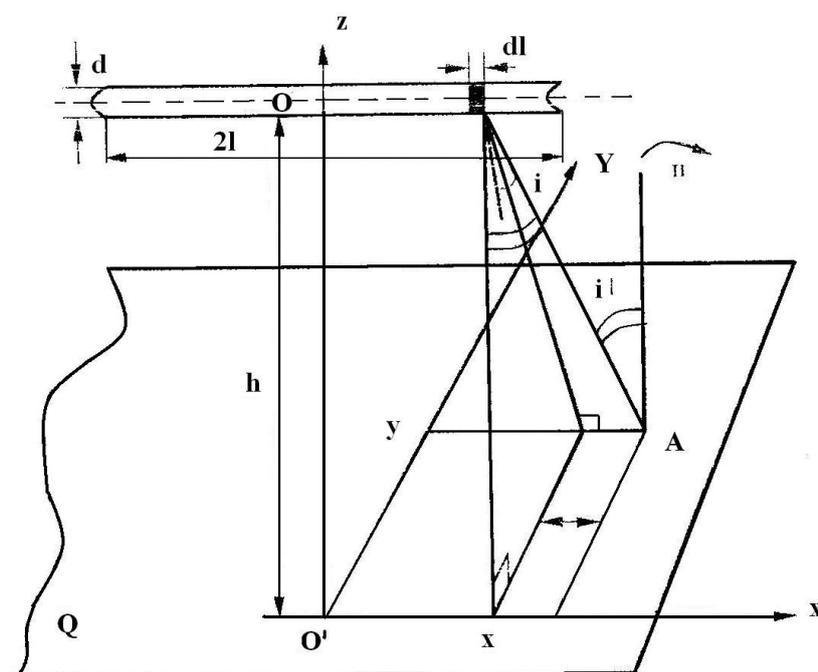


Рисунок 4.2 - К расчету энергетической облученности точки А на горизонтальную плоскость от линейного излучателя

Отметим, что интеграл в (4.3) содержится в справочной литературе и равен:

$$\int \frac{d\varpi}{(a^2 + \varpi^2)^2} = \frac{\varpi}{2a^2(a^2 + \varpi^2)} + \frac{1}{2a^3} \operatorname{arctg} \frac{\varpi}{a}.$$

После постановки пределов интегрирования и некоторых преобразований получим окончательную формулу, которая описывает поле энергетической облученности  $E_e(x, y, h)$  плоской поверхности от линейного излучателя:

$$E_0 = I_{eo} \frac{h}{2\sqrt{y^2 + h^2}} \left\{ \frac{a^2 + l^2 - x^2}{[a^2 + (x+l)^2][a^2 + (x-l)^2]} + \frac{1}{2a \cdot l} \left( \operatorname{arctg} \frac{x+l}{a} - \operatorname{arctg} \frac{x-l}{a} \right) \right\}. \quad (4.4)$$

При этом принято, что

$$L_e \cdot d \cdot 2l = I_{e0}; \quad a^2 = \sqrt{y^2 + h^2}.$$

Для практических применений проводим анализ возможных частных случаев видоизменения полученной формулы.

При  $y=0$ , что соответствует участку рассматриваемой плоской поверхности непосредственно под излучателем, имеем:

$$E_e(x, 0, h) = \frac{1}{2} I_{e0} \left\{ \frac{h^2 + l^2 - x^2}{[h^2 + (x+l)^2][h^2 + (x-l)^2]} + \frac{1}{2 \cdot l \cdot h} \left( \operatorname{arctg} \frac{x+l}{h} - \operatorname{arctg} \frac{x-l}{h} \right) \right\}. \quad (4.5)$$

При  $x=0$ ,  $y=0$ , что соответствует точке 0 под серединой излучателя, достигается максимальная энергетическая облученность:

$$E_{em} = E_e(0, 0, h) = 0.5 I_{e0} \left( \frac{1}{h^2 + l^2} + \frac{1}{l \cdot h} \operatorname{arctg} \frac{l}{h} \right) I. \quad (4.6)$$

В предельном случае  $h \gg l$ , когда  $l/h \ll 1$  (практически уже при  $l/h - 0,4$  с погрешностью 5 %), можно заменить значение тангенса его аргументом, тогда получим  $E_{em} \approx I_{e0}/h^2$ , т.е. формулу для точечного источника излучения (при  $2l=0,2$  м такая ситуация имеет место при  $h > 0,25$  м).

Учитывая, что при  $x \neq 0$  и  $y \neq 0$  величины  $x+l/a$  и  $x-l/a$  будут еще меньше, чем  $l/h$  (знаменатель этих дробей возрастает быстрее, чем числитель), упростим общую формулу (4.4) тем же способом, что и (4.6), и приведем ее к виду:

$$E_e \approx 0.5 I_{e0} \frac{h \{ [a^2 + (x+l)^2][a^2 + (x-l)^2]^2 + a^2(a^2 + l^2 - x^2) \}}{a^3 [a^2 + (x+l)^2][a^2 + (x-l)^2]}, \quad (4.7)$$

при  $h \gg l$ .

Заметим, что если пренебречь во всех сомножителях величиной  $l^2$ , то получаем следующее выражение для определения облученности:

$$E_e \approx 0.5 I_{e0} \frac{h}{(y^2 + h^2)^{3/2}} \left[ 1 + \frac{a^2(a^2 - x^2)}{(a^2 + x^2)^2} \right] \approx I_{e0} \frac{h}{(y^2 + h^2)^{3/2}}, \quad (4.8)$$

при  $x \ll h$ .

Эту формулу получаем и из выражения (4.1) при  $x=0$ , что вполне естественно, поскольку любой реальный излучатель предельно малых размеров можно считать "сферическим", как уже отмечалось выше.

При  $x \ll l$  и  $y \ll h$  (и  $l \ll h$ ) формулу (4.7) приводим к приближенному выражению, удобному для проведения практических оценок:

$$E_e \approx \frac{I_{e0}}{h^2} \left(1 - 1,5 \frac{x^2 + y^2}{h}\right). \quad (4.9)$$

Из этого выражения видно, что характер зависимостей  $E_e(x)$  и  $E_e(y)$  вблизи точки О одинаков, что будет подтверждено ниже.

В другом предельном случае  $h \ll l$ , т. е. при приближении излучателя к облучаемой поверхности (на практике уже при  $l/h > 6$  с точностью до 90 %), значение арктангенса в выражении (4.6) приближается к  $\frac{\pi}{2}$ , или для  $E_{em}$  получим:

$$E_{em} \approx 0,5 I_{e0} \left(\frac{1}{l^2} + \frac{\pi}{2l \cdot h}\right) = 0,5 \frac{I_{e0}}{l^2} \left(1 + \frac{\pi \cdot l}{2h}\right). \quad (4.10)$$

Далее, из формулы (4.5) при  $y=0$ , что при больших  $l$  и малых отклонениях  $x$  от точки 0 для участка, расположенного непосредственно под облучателем, получим формулу (4.10), т.е.  $E_e(y=0) \approx const$  на определенной длине участка  $x < l$ .

Полагая  $x=0$  в общей формуле (4.4), находим распределение энергетической облученности под серединой излучателя в перпендикулярном к его оси направлении:

$$E_e(0, y, h) = 0,5 I_{e0} \frac{h}{\sqrt{y^2 + h^2}} \left( \frac{1}{y^2 + h^2 + l^2} + \frac{1}{l \sqrt{y^2 + h^2}} \operatorname{arctg} \frac{l}{\sqrt{y^2 + h^2}} \right). \quad (4.11)$$

При  $h \gg l$  и  $y \ll h$  получаем приближенную формулу:

$$E_e(0, y, h) \approx \frac{I_{e0}}{h^2} \left(1 - \frac{3y^2}{2h^2}\right), \quad (4.12)$$

которая следует также из выражения (4.9) при  $x=0$ .

Следует иметь в виду, что расчет поля энергетической облученности по общей формуле (4.4) может оказаться связанным с довольно громоздкими вычислениями, поэтому его предпочтительно проводить по специально составленным программам.

### 4.3 Облученность цилиндрической поверхности от точечного и линейного излучателя

Рассмотрим облучение точечным излучателем  $S$  верхней половины спины коровы, представленной в виде цилиндра радиусом  $r_0$  при высоте расположения излучателя  $h$ , как показано на рис. (4.3).

Расчет облученности  $E_e$  в данном случае проводится в цилиндрических координатах  $(\rho, \varphi, z)$ , причем в рассматриваемой задаче  $\rho = \text{const} = r_0$ . Соответственно, координаты излучателя  $S$  будут  $(r_0 + h, \frac{\pi}{2}, 0)$ , а координаты выбранной точки  $A$  поверхности -  $(r_0, \varphi, z)$ .

Используя формулы преобразования  $x = \rho \cos \varphi$ ,  $y = \rho \sin \varphi$ ,  $z = z$ , переходим к декартовым координатам точек:  $S(0, r_0 + h, 0)$ ,  $A(r_0 \cos \varphi, r_0 \sin \varphi, z)$ . Тогда расстояния  $r$  между  $S$  и  $A$  выражается формулой:

$$r = \sqrt{(x_A - x_S)^2 + (y_A - y_S)^2 + (z_A - z_S)^2}.$$

Или, после некоторых преобразований:

$$r = \sqrt{(r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h)\sin \varphi + r_0^2 + z^2}. \quad (4.13)$$

Далее, в  $\triangle SAO^1$  угол  $SAO^1$  равен  $\pi - i^1$ , где  $i^1$  - угол падения излучения в точке  $A$ , т.к. нормаль  $\vec{n}$  к поверхности цилиндра в этой точке направлена по радиусу  $r_0$  заштрихованного сечения, содержащего точку  $A$ . В  $\triangle SAO^1$ , кроме того,  $SA = r$ ,  $O^1A = r_0$ ,  $SO^1 = \sqrt{(r_0 + h)^2 + z^2}$ , тогда, согласно теореме косинусов,  $(r_0 + h)^2 + z^2 = r_0^2 + r^2 - 2r \cdot r_0 \cos(\pi - i^1) = r_0^2 + r^2 + 2r \cdot r_0 \cos i^1$ , отсюда:

$$\cos i^1 = \frac{(r_0 + h)\sin \varphi - r_0}{r}. \quad (4.14)$$

Поскольку угол падения не может быть больше  $\frac{\pi}{2}$ , т. е.  $\cos i \gg 0$ , то из (4.14) следует, что существует минимальная угловая координата:

$$\varphi_{\min} = \arcsin \frac{r_0}{r_0 + h}, \quad (4.15)$$

обладающая тем свойством, что и все точки поверхности с координатой  $\varphi < \varphi_{\min}$  находятся в "тени" и не облучаются излучателем  $S$ . Значение  $\varphi_{\min}$  одинаково для всех поперечных сечений цилиндрической поверхности. Ему соответствует угол падения  $i^1 = \frac{\pi}{2}$ .

Используя формулу (4.13) и выражение (4.14), получим для облученности точки  $A$  выражение:

$$E_e = I_{e0} \frac{\cos i^1}{r^2} = I_{e0} \frac{(r_0 + h)\sin \varphi - r_0}{[(r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h)\sin \varphi + r_0^2 + z^2]^{3/2}}, \quad (4.16)$$

при  $\varphi \leq \varphi_{\min}$ .

Исследуя полученные выражения, рассмотрим некоторые частные случаи.

Вдоль всей верхней образующей цилиндра  $\phi = \frac{\pi}{2}$  - энергетическая облученность равна:

$$E_e(\pi/2) = I_{e0} \frac{h}{(h^2 + z^2)^{3/2}}. \quad (4.17)$$

В точке  $B(r_0, \pi/2, 0)$  непосредственно под излучателем имеем  $E_{e0} = E_{em} = I_{e0}/h^2$ , т. е. обычную формулу для точечного источника (случай нормального падения излучения).

Из общей формулы (4.16) видно, что при уменьшении  $\phi$  от  $\pi/2$  до  $\phi_{min}$  облученность быстро спадает до нуля. Величина  $\phi_{min}$ , в соответствии с формулой (4.15), определяется отношением  $h/r_0$ :

$$\phi_{min} = \arcsin \frac{1}{1 + h/r_0}. \quad (4.18)$$

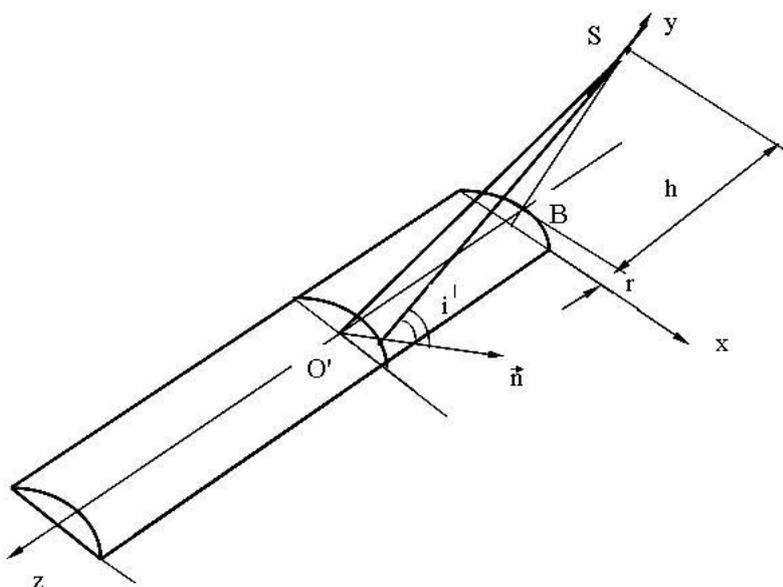


Рисунок 4.3 - К определению облученности цилиндрической поверхности от точечного излучателя

При больших значениях  $h$   $\phi_{min} \rightarrow 0$ , т.е. "тень" на поверхности исчезает, однако при этом быстро уменьшается облученность. Напротив, при малых  $h$  облученность части поверхности с  $\phi > \phi_{min}$  возрастет, однако увеличивается и сам угол  $\phi_{min}$ . Очевидно, что обеспечить облучение "теневого" части БО можно лишь при его повороте вокруг оси z.

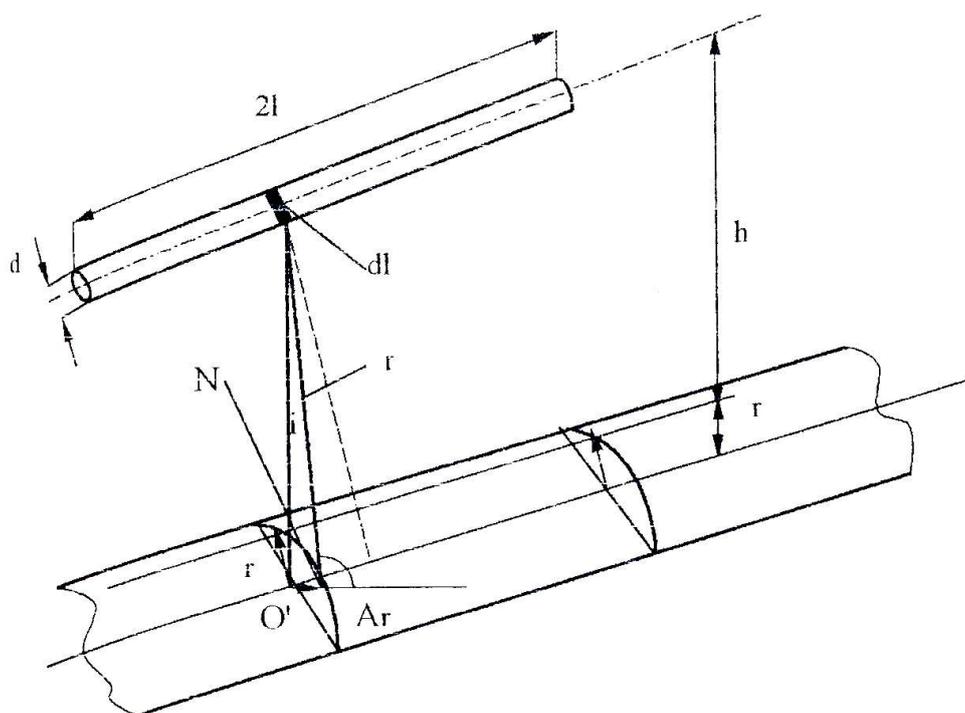


Рисунок 4.4 - К определению облученности на цилиндрической поверхности от линейного излучателя

Для линейного излучателя. Общая схема расчета облученности в точке  $A$  цилиндрическим конусным излучателем длиной  $2l$  с диаметром  $d$  соответствует рис. 4.4. При этом методика расчета аналогична изложенной в п. 4.2.

При рассмотрении данного случая выбрано параллельное расположение излучателя и облучаемой поверхности, являющееся практически наиболее целесообразным. Следует отметить, что изложенная ниже методика в принципе применима и при любой иной геометрии облучения.

На поверхности источника излучения, представленного на рис. 4.4, выделяем малый участок  $dl$  с площадью видимой поверхности  $d \cdot dl$  в направлении нормали и оси излучателя. Данный участок создает в точке  $A$  элементарную облученность:

$$dE_e = \frac{L_e \cdot d \cdot dl \cdot \cos i \cdot \cos i^1}{r^2}. \quad (4.19)$$

Цилиндрические координаты участка  $dl$  (точки  $S$ ) будут  $(r_0+h, \pi/2, \zeta)$ , декартовы –  $(0, r_0+h, \zeta)$ . Рассматриваемая точка  $A$  имеет координаты  $(r_0, \varphi, z)$  или  $(r_0 \cos \varphi, r_0 \sin \varphi, z)$  соответственно.

Для величины  $r$  находим:

$$r = \sqrt{(r_0+h)^2 - 2r_0(r_0+h)\sin\varphi + r_0^2 + (z-\zeta)^2}. \quad (4.20)$$

Далее, из  $\Delta SO^1A$  со сторонами  $r, r_0$  и  $SO^1 = \sqrt{(r_0+h)^2 + (z-\zeta)^2}$ , используя теорему косинусов, находим для угла падения:

$$\cos i = \frac{(r_0 + h)\sin\phi - r_0}{r}. \quad (4.21)$$

Для угла  $i$  между  $r$  и нормалью  $AN$  к оси цилиндра, проведенной из точки  $A$  (этот угол определяет силу излучения конусного излучателя  $I_e = I_{e0}\cos i$ , где  $I_{e0} = L_e \cdot 2l \cdot d$ , как в п. 4.2), имеем  $\cos i = AN/r$ .

Поскольку декартовы координаты точки  $N$  будут  $(0, r+h, z)$ , то для длины отрезка  $AN$  находим:

$$AN = \sqrt{(r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h)\sin\phi r_0^2},$$

тогда

$$r \cos i = \sqrt{(r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h)\sin\phi r_0^2}. \quad (4.22)$$

Используя формулы (4.19) - (4.22), представим облученность в точке  $A$  выражением

$$\begin{aligned} E_e &= \int_{-l}^l L_e \cdot d \sqrt{(r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h)\sin\phi r_0^2} [(r_0 + h)\sin\phi - r_0] \frac{d\zeta}{r^4} = \\ &= L_e \cdot d \cdot a [(r_0 + h)\sin\phi - r_0] \int_{-l}^l \frac{d\zeta}{[a^2 + (z - \zeta)^2]^2}, \end{aligned} \quad (4.23)$$

где  $a^2 = (r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h)\sin\phi + r_0^2$ .

Введя переменную  $\varpi = z - \zeta$ , изменяющуюся от  $(z+l)$  до  $(z-l)$ , приведем (4.23) к виду:

$$E_e = L_e \cdot d \cdot a [(r_0 + h)\sin\phi - r_0] \int_{z-l}^{z+l} \frac{d\varpi}{(a^2 + \varpi^2)^2}. \quad (4.24)$$

Интеграл в (4.24) вычисляется так, как указано в п. 4.2. После соответствующих вычислений, с учетом  $L_e \cdot d \cdot 2l = I_{e0}$ , окончательно получили:

$$\begin{aligned} E_e &= \frac{1}{2} I_{e0} \frac{(r_0 + h)\sin\phi - r_0}{a} \left\{ \frac{a^2 + l^2 - z^2}{[a^2 + (z+l)^2][a^2 + (z-l)^2]} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2 \cdot l \cdot a} \left( \arctg \frac{z+l}{a} - \arctg \frac{z-l}{a} \right) \right\} \end{aligned} \quad (4.25)$$

где  $a = \sqrt{(r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h)\sin\phi + r_0^2}$ .

Исследование данной формулы проводили аналогично формуле (4.4).

При  $\phi = \pi/2$  (участок непосредственно под излучателем), имеем:

$$E_e\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2} I_{e0} \left\{ \frac{h^2 + l^2 - z^2}{[h^2 + (z+l)^2][h^2 + (z-l)^2]} + \frac{1}{2 \cdot l \cdot h} \left( \operatorname{arctg} \frac{z+l}{h} - \operatorname{arctg} \frac{z-l}{h} \right) \right\}. \quad (4.26)$$

При  $\phi = \pi/2$ ,  $z=0$ , т. е. в точке максимума облученности  $B$ , имеем:

$$E_{em} = \frac{1}{2} I_{e0} \left( \frac{1}{h^2 + l^2} + \frac{1}{l \cdot h} \operatorname{arctg} \frac{l}{h} \right). \quad (4.27)$$

В предельном случае  $h \gg 1$ , когда  $1/h \ll 1$  (практически уже при  $1/h < 0,4$  с точностью до 95 %) можно заменить знаменатель тангенса его аргументом, тогда получим формулу для точечного излучателя:  $E_{lm} \approx I_{e0}/h^2$ . Учитывая, что при  $z \neq 0$  величины  $\frac{z+l}{a}$  и  $\frac{z-l}{a}$  будут еще меньше, чем  $1/h$ , упростим общую формулу (4.25) и приведем ее к виду:

$$E_e \approx \frac{1}{2} I_{e0} \frac{[(r_0 + h) \sin \phi - r_0] \{ [a^2 + (z+l)^2][a^2 + (z-l)^2] + a^2(a^2 + l^2 - z^2) \}}{a^3 [a^2 + (z+l)^2][a^2 + (z-l)^2]}. \quad (4.28)$$

Пренебрегая во всех сомножителях величиной  $l^2$ , а затем и  $z^2$ , то получаем:

$$E_e \approx \frac{1}{2} I_{e0} \frac{(r_0 + h) \sin \phi - r_0}{a^3} \left[ 1 + \frac{a^2(a^2 - z^2)}{(a^2 + z^2)^2} \right] \approx I_{e0} \frac{(r_0 + h) \sin \phi - r_0}{[(r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h) \sin \phi + r_0^2]}. \quad (4.29)$$

Эта формула получается из (4.16) при  $z=0$ .

В другом предельном случае  $h \ll 1$  (при сближении излучателя и облучаемой поверхности (формула (4.27)) для  $E_{em}$  дает:

$$E_{em} \approx \frac{1}{2} I_{e0} \left( \frac{1}{l^2} + \frac{\pi}{2 \cdot l \cdot h} \right) = \frac{I_{e0}}{2l^2} \left( 1 + \frac{\pi \cdot l}{2h} \right). \quad (4.30)$$

На практике такая ситуация имеет место при отношении  $1/h > 6$  с точностью до 90 %.

Из выражения (4.26) видно, что при больших значениях  $z$  и малом отклонении от месторасположения точки  $B$  для участка непосредственно расположенного под излучателем можно также получить формулу (4.44), то есть на этом участке энергетическая облученность будет приблизительно постоянной и ограничивается некоторой длиной ( $2z < 2l$ ).

Если предположить, что  $z=0$  в общей формуле (4.25), то оказывается возможным найти распределение энергетической облученности под центром излучателя в направлении, перпендикулярном к его оси, т.е. к краям цилиндрической поверхности:

$$E_{e(z=0)} = \frac{1}{2} I_{e0} \frac{(r_0 + h) \sin \phi - r_0}{a} \left( \frac{1}{a^2 + l^2} + \frac{1}{a \cdot l} \operatorname{arctg} \frac{1}{a} \right). \quad (4.31)$$

Анализ выражения (4.31) показывает, что энергетическая облученность спадает от вершины цилиндрической поверхности к ее краям по закону синуса и при  $\phi = \phi_{\min}$  обращается в нуль.

Полученные формулы полностью решают поставленную задачу - аналитического описания поля энергетической облученности цилиндрической поверхности от точечного и линейного излучателей. Расчеты по общим формулам (4.4) и (4.25) целесообразно проводить с применением электронно-вычислительной техники.

#### 4.4 Сила излучения ИК-излучателей

Для практического использования формул для расчетов необходимо знать силу излучения в нормальном направлении  $N$ , которая для линейного косинусного излучателя связана с его яркостью соотношением:

$$I_{e0} = L_e \cdot z \cdot l \cdot d.$$

Для такого излучателя определяется сферическая сила излучения:

$$I_{есф} = \Phi_e / (4\pi),$$

где  $\Phi_e$  - полный поток лучистой энергии от излучателя.

Для кондуктивного косинусного излучателя записываем:

$$L_e = M_e / \pi,$$

тогда

$$I_{e0} = \frac{2 \cdot M_e \cdot l \cdot d}{\pi}, \quad (4.32)$$

где  $M_e$  - энергетическая светимость (или излучательность), т.е. лучистая энергия, испускаемая излучателем в одну сторону, т.е. в телесный угол  $2\pi$ .

С другой стороны, величина  $M_e$  для ИК-излучателей может быть выражена на основе законов теплового излучения или же эмпирическими формулами, о чем уже упоминалось выше. Для "серого" тела с определенной степенью черноты  $\varepsilon_e$ , не зависящей от длины волны излучения и температуры излучателя, величину  $M_e$  можно представляем выражением для закона Стефана-Больцмана:

$$M_e = \varepsilon_u \cdot c_0 \left( \frac{T_u}{100} \right)^2, \quad (4.33)$$

где  $c_0 = 5,672 \cdot 10^{-8} \text{ Вт м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-4}$ ,

$T_u$  - температура поверхности излучателя.

Следует иметь в виду, что степень черноты раскаленных металлов существенно зависит от их температуры и состояния поверхности, поэтому для них формула (4.33) часто дает лишь приближенную оценку. В практических расчетах применяются различные эмпирические формулы (Гельгофта и др.), приведенные в специальной литературе. Например, для излучателей с  $\lambda_m \geq 4 \text{ мкм}$  хорошие результаты дает формула:

$$M_e \approx 0.063 \cdot 10^{-12} \sqrt{\rho_0} \cdot T_u^5, \text{ Вт/м}^2, \quad (4.34)$$

где  $\rho_0$  - удельное сопротивление металла,  $\text{Ом} \cdot \text{см}$ .

В качестве примера рассмотрим ИК-излучатель в виде нихромовой спирали с температурой  $T_u = 1000 \dots 1300 \text{ К}$  (принимая  $T_u = 1200 \text{ К}$ ), для которой  $\lambda_{\max} \approx 2,3 \text{ мкм}$ . Принимая  $\varepsilon_u = 0,3$  в формуле (4.33), получим  $M_e \approx 3,52 \cdot 10 \text{ Вт/м}^2$ , а полагая  $\rho_0 = 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , в формуле (4.34) -  $M_e \approx 1,6 \cdot 10 \text{ Вт/м}^2$ , поскольку  $\lambda_{\max} < 4 \text{ мкм}$ , то естественно, что формула (4.34) дает заниженный результат.

Далее, если принять для спирального излучателя  $2 \cdot l = 0,2 \text{ м}$  и  $d = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , то получим, что такой излучатель будет иметь яркость  $L_e \approx 1,12 \cdot 10^4 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$  и силу излучения  $I_{e0} \approx 15,7 \text{ Вт/ср}$  при отсутствии отражателя.

Из формулы  $E_{em} = I_{e0} / h^2$  (4.6) или (4.27) следует, что такой излучатель на расстоянии  $1 \text{ м}$  создает облученность  $E_m \approx 15,7 \text{ Вт/м}^2$  (без отражателя). Применение плоского отражателя позволяет увеличить  $E_m$  примерно в 1,3 раза, а параболического – в 3,3 раза, т.е. довести  $r_0$  примерно до  $52 \text{ Вт/м}^2$ . Для сравнения заметим, что лампа ИКЗК-250 с такой же потребляемой мощностью ( $250 \text{ Вт}$ ), как и упомянутый выше излучатель, обладает силой излучения  $I_0 = 155 \text{ Вт/ср}$  и создает на расстоянии  $1 \text{ м}$  облученность  $E_m \approx 100 \text{ Вт/м}^2$ .

Такое положение является естественным, поскольку для этой лампы  $\lambda_{\max} = 1,6 \text{ мкм}$ , и температура нити ее тела накала существенно выше  $1200 \text{ К}$ . С повышением  $T_u$  происходит перераспределение потребляемой энергии в пользу лучистой, т.к. ИК-излучатель становится более экономичным.

Следует иметь в виду, что эффективность воздействия ИК-излучения на различные БО определяется не только их облученностью, но и характером спектра излучения, т.е. величиной  $\lambda_{\max}$ . С увеличением  $\lambda_{\max}$  уменьшается

эффективная глубина проникновения ИК-излучения в БО и ИК нагрев принимает более "поверхностный" характер.

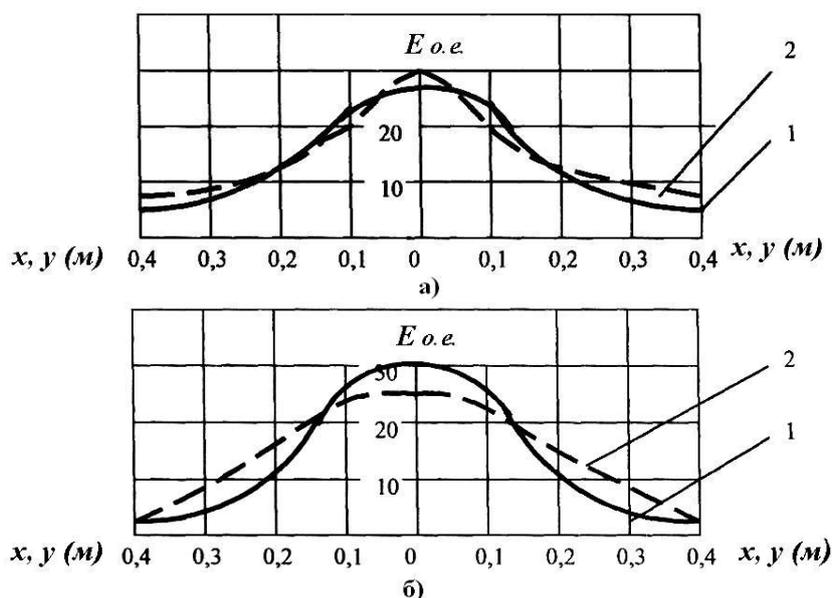
#### 4.5 Сравнение расчетных полей облученности с экспериментальными данными

С целью определения точности описания полей ИК-облученности БО линейными излучателями на основе формул, полученных в п. 4.2 (для плоской поверхности), измерили зависимости  $E_e(x)$  при  $y=0$  и  $E_e(y)$  при  $x=0$ , а также значения  $E_e$  в ряде других точек плоскости  $(x, y)$  для линейного излучателя с характеристиками, указанными в п. 4.4, расположенного на расстоянии  $h=0,25$  м от поверхности. Измерения проводили также для сдвоенного облучателя, состоящего из двух параллельно расположенных одиночных излучателей с интервалом  $0,1$  м между ними.

Ввиду трудности точной калибровки измерительного прибора при  $\lambda_{max}=2,3$  мкм измерения  $E_e$  проводили в условных единицах (делениях шкалы). Результаты измерений представлены на рис. 4.5. Сплошными линиями представлены зависимости  $E_e(x)$  при  $y=0$  и  $E_e(y)$  при  $x=0$ , рассчитанные по формулам (4.5) и (4.11), соответственно, при  $h=0,25$  м и  $2 \cdot l=0,2$  м для одиночного и  $2 \cdot l=0,5$  м для сдвоенного излучателя.

На графике откладывали значения  $E_{oe}$  (в относительных величинах)  $E_e/(0,5I_{e0})$ , причем как для положительных, так и отрицательных значений  $(x, y)$ . Излучатели были помещены в параболоцилиндрические отражатели, поэтому заведомо можно было ожидать, что измеренная кривая при  $x=0$  будет отличаться от расчетной для излучателя без отражателя.

Одиночный излучатель в параболоцилиндрическом отражателе при значениях параметров, указанных в пункте 4.4, на расстоянии  $0,25$  м от поверхности должен создавать непосредственно под ним облученность  $E_{em}=800 \text{ Bm}/\text{и}^{-2}$ , что соответствовало примерно 25...30 делениям шкалы измерительного прибора.



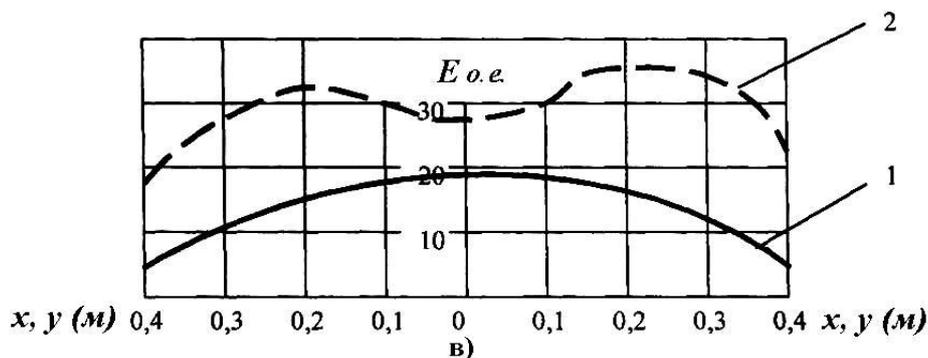


Рисунок 4.5 - Расчетные и экспериментальные поля облученности плоской поверхности:

- а) одиночный излучатель  $N1$ ; б) одиночный излучатель  $N2$ ;  
 в) двоянный излучатель;  
 ——— расчетная зависимость  $E(x)$  при  $y=0$  (а),  $x=0$  (б);  
 - - - - - экспериментальные зависимости

На рис.4.5 видно, что характер кривых  $E_e(x)$  при  $y=0$  хорошо описывается теоретической формулой (4.5), особенно при больших  $x$ . Некоторые расхождения, наиболее существенные для зависимости при  $x=0$ , безусловно, объясняются влиянием расположения облучателей в отражателях. Это видно, например, из того, что кривые  $E_e(x)$  для одинаковых излучателей  $N1$  и  $N2$  идут выше и ниже расчетной кривой, соответственно. "Провал" на кривой  $E_e(x)$  для двоянного излучателя (рис. 4.5 в) объясняется наличием упомянутого выше интервала между одиночными излучателями. Характер зависимостей  $E_e(x)$  и  $E_e(y)$  согласуется с формулой (4.9) для одиночного отражателя. Для двоянного облучателя на участке  $2x=0,25 \text{ м} < 2 \cdot l=0,5 \text{ м}$  облученность мало зависит от  $x$  в соответствии с формулой (4.10).

Таким образом, можно сделать вывод, что при тщательном конструктивном исполнении комплекта "излучатель-отражатель" создаваемые им поля облученности будут точно соответствовать расчетным, и величину  $E_{em} = I_{e0}/h^2$  также можно считать известной.

Следовательно, с помощью полученных выше (п. 4.5) теоретических формул можно, варьируя параметрами ИК-излучателей, создавать нормированные поля облученности на поверхности БО. Очевидно, задача дальнейшего исследования заключается в установлении связи облученности с результирующим температурным режимом поверхности, на которую воздействует ИК-излучение. Для достижения этой цели, согласно изложенному во введении, необходимо, прежде всего, исследовать интенсивность теплоотдачи от облучаемых поверхностей при типичных условиях рассматриваемых технологических процессов, связанных с применением ИК-нагрева БО.

#### 4.6 Расчет коэффициента теплоотдачи от облучаемых поверхностей

При рассмотрении температурных режимов ИК-облучения БО использован системный подход: система излучатель – окружающая среда – объект облучения должна рассматриваться в комплексе с учетом взаимосвязанности всех происходящих в ней физических явлений. В результате в упрощенном виде этот комплекс описывается следующими соотношениями.

Мощность  $P_u$ , потребляемая излучателем, в стационарном режиме расходуется на излучение (радиационный теплообмен) и теплоотдачу в окружающую среду с температурой  $T_u$  (потери на теплопроводность в воздухе пренебрежительно малы). Для "серого" излучателя со степенью черноты  $\varepsilon_u$  и температурой поверхности  $T_u$  при ее площади  $S_n$  для  $P_u$  можно записать:

$$P_u = P_p + P_\kappa = \left\{ \varepsilon_u c_0 \left[ \left( \frac{T_u}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 \right] + \alpha_u (T_u - T_c) \right\} \cdot s_n \approx$$

$$\approx \left\{ \varepsilon_u c_0 \left( \frac{T_u}{100} \right)^4 + \alpha_u (T_u - T_c) \right\} \cdot s_n, \quad (4.35)$$

при  $c_0 = 5,67$ .

Второе слагаемое ( $P_\kappa$ ) определяет мощность теплоотдачи от излучателя, которая в конечном итоге расходуется на нагревание окружающей среды. Если изолировать вокруг излучателя некоторый объем  $V$  воздуха с плотностью  $\rho_\varepsilon$  и удельной теплоемкостью  $c_\varepsilon$ , то он будет нагреваться со скоростью  $dT_c/d\tau$ , определяемой соотношением:

$$c_\varepsilon \cdot \rho_\varepsilon \cdot \frac{dT_c}{d\tau} = P_\kappa = \lambda_u (T_u - T_c) \cdot s_n. \quad (4.36)$$

Оценка  $dT_c/d\tau$  будет сделана ниже, так как она характеризует возможные отличие температуры среды вокруг излучателя от температуры остального воздуха в помещении. Первое слагаемое ( $P_p$ ) в (4.35) определяет мощность ИК-излучения, которое частично поглощается поверхностью облучаемого БО. Мощность, поглощенная единицей площади поверхности БО с поглощательной способностью  $A_0$ , которая для "серой" поверхности равна ее степени черноты  $\varepsilon_u$ , определяется как произведение

$$\varepsilon \cdot E_e$$

где  $E_e$  - облученность объекта, которая вычисляется методами, описанными в разделах 4.2–4.3.

В стационарном тепловом режиме, т.е. при установившейся температуре объекта  $T_0$ , поглощенная мощность  $\varepsilon_0 \cdot E_e$  равна мощности теплоотдачи с коэффициентом  $\alpha_0$  от объекта в окружающую среду, определяемой законом теплоотдачи Ньютона-Рихмана:

$$\varepsilon_0 \cdot E_e = \alpha_0 (T_0 - T_c) \cdot s_n. \quad (4.37)$$

Совокупность формул (4.34-4.35) характеризует температурный режим рассматриваемой системы.

Для практического использования этих формул необходимо знать величины  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_u$ ,  $\alpha_u s$ ,  $\alpha_0$ . Величина  $\varepsilon_u$  зависит от материала облучателя, температуры и состояния его поверхности (для вольфрамовой нити при 3000 K и выше  $\varepsilon_u$  достигает 0.4, а для вольфрамовой и нихромовой спиралей при температуре 1300 K можно принять  $\varepsilon_u \approx 0,3$ ).

Величина  $\varepsilon_u$  для БО (мясные объекты) обычно находится в интервале 0,7...0,8, причем с повышением температуры, уменьшением жирности и влажности  $\varepsilon_0$  мяса несколько уменьшается и при практических расчетах можно принять  $\varepsilon_0 \approx 0,75$ .

Расчет коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_u$  и  $\alpha_0$  представляет собой более сложную задачу. В условиях теплоотдачи при свободной конвекции в большом пространстве животноводческого помещения для указанной цели используем критериальное уравнение Михеева:

$$N_u = c(G_r P_r)^n, \quad (4.38)$$

где  $N_u = \alpha \cdot L / \lambda$  - число Нуссельта;

$$G_r = \frac{q \cdot L^3}{\sqrt{2}} \beta \cdot \Delta T \quad \text{- число Грасгофа};$$

$$P_r = \frac{M \cdot c_p}{\lambda} \quad \text{- число Прандля};$$

$L$  - характерный размер поверхности теплоотдачи;

$\Delta T$  - разность температур этой поверхности и окружающей среды;

$\bar{T}$  - средняя температура пограничного слоя (среднеарифметическое значение температур поверхности и среды).

Значения теплофизических характеристик среды (воздуха) принимаем из таблиц при температуре  $\bar{T}$ , причем значение  $P_r$  для воздуха в очень широком интервале температур постоянно:  $P_r \approx const \approx 0,7$ .

Значения коэффициентов  $C$  и  $n$  зависят от интервала, в котором укладываются значения величины  $G_r \cdot P_r$ , и берутся из приведенной таблицы 4.1.

Таблица 4.1 - Значения расчетных величин

$G_r \cdot P_r$	$C$	$N$
$10^7 \dots 10^2$	1,18	1/8
$5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4
$2 \cdot 10^7 \dots 10^{13}$	0,135	1/3

В некоторых случаях в значениях  $\alpha$ , вычисленное как  $\alpha = \frac{\lambda \cdot N_u}{L}$  с помощью уравнения Михеева, вносится 30 %-ная поправка (рис. 4.6).

Для иллюстрации методики расчетов по формуле (4.38) и использования их результатов рассматривали четыре важных для практики примера осуществления указанных в п. 4.1 реальных технологических процессов, причем пример 4 приведен в качестве контроля правильности теоретических оценок.

**Теплоотдача от линейного ИК-излучателя.** Принимая значения параметров излучателя, указанные в п. 4.5, а именно:  $\alpha = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $2 \cdot l = 0,2 \text{ м}$ ,  $T_u = 1200 \text{ К}$ ,  $T_c = 300 \text{ К}$ . В этом случае последовательно находим такие значения:

$$\bar{T} = 750 \text{ К}, \quad \Delta T = 900 \text{ К}, \quad T_c = 300 \text{ К}, \quad \beta = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}, \quad \lambda = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}, \\ \nu = 0,755 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}, \quad P_r = 0,7, \quad L = d = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м} \text{ (горизонтальное расположение излучателя)}, \\ G_r \cdot P_r \approx 485, \quad N_u \approx 2,56, \quad \alpha_u \approx 20,5 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Следует заметить, что при  $G_r \cdot P_r < 5 \cdot 10^2$  величина  $\alpha$  не зависит от характерного размера  $L$  и пропорциональна  $(\Delta T)^{1/3}$ , т.е. медленно возрастает с повышением температуры ИК-излучателя.

**Теплоотдача от горизонтальной плоскости.** Для примера приняли размеры плоскости равными  $0,25 \cdot 0,15 \text{ м}^2$ , что примерно соответствует размерам осевого сечения молодого животного. Далее приняли  $T_0 = 308 \text{ К}$  ( $t_0 = 35^\circ \text{ С}$ ), что соответствует температуре поверхности тела животного, и  $T_c = 288 \text{ К}$  ( $t_c = 15^\circ \text{ С}$ ) и соответствует температуре животноводческого помещения. В этом случае последовательно получаем такие расчетные значения:

$$\bar{T} \approx 300 \text{ К}, \quad \Delta T = 20 \text{ К}, \quad \beta = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}, \quad \lambda \approx 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad \nu = 15,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, \\ P_r = 0,7, \quad L = 0,15 \text{ м} \text{ (меньший размер плоской горизонтальной поверхности)}, \\ G_r \cdot P_r \approx 6,3 \cdot 10^6, \quad c = 0,54, \quad n = 1/4, \quad N_u = 27, \quad \alpha \approx 4,7 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Согласно схеме конвективных потоков вблизи охлаждаемой горизонтальной поверхности (рис. 4.6), полученное значение  $\alpha$  увеличивает на 30 %, тогда окончательно получили:  $\alpha_0 \approx 6,1 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Для животных следует учесть и тепловые потери организма, связанные с дыханием, однако их можно принять относительно малыми.

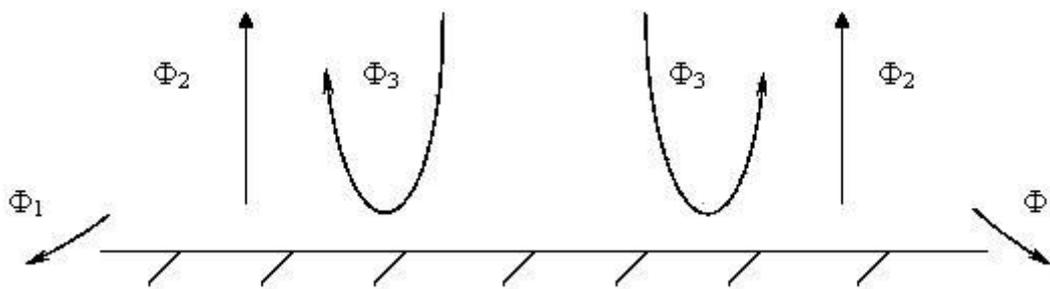


Рисунок 4.6 - Распределение потоков

**Теплоотдача от сферической поверхности большого диаметра.** Рассмотрим сферу диаметром 0,1 м нагретую ИК-излучением до 473 K (200 °C) в воздухе с температурой 293 K (20 °C). Эти условия примерно соответствуют тепловой обработке кусков мяса ИК-нагревом. Для данного варианта последовательно находим:

$$\begin{aligned} \bar{T} &= 383 \text{ K}; \quad \Delta T = 180 \text{ K}; \quad \beta = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}; \quad \lambda \approx 3,25 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(мК)}; \\ \nu &= 24,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad P_r = 0,7; \quad L = d = 0,1 \text{ м}; \quad G_r P_r = 5,45 \cdot 10^6; \quad c = 0,54; \quad n = j; \quad N_u = 26,1; \\ \alpha_0 &= 8,4 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}. \end{aligned}$$

Далее рассмотрим сферу диаметром 0,75 м с площадью поверхности 1,8 м<sup>2</sup> и температурой 308 K (35 °C) в среде (воздух) с температурой 298 K (25 °C). Такие условия соответствуют, например, нахождение человека в помещении с нормальной средой. Последовательно нашли расчетные значения:

$$\begin{aligned} \bar{T} &= 303 \text{ K}; \quad \Delta T = 10 \text{ K}; \quad \beta = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}; \quad \lambda \approx 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(мК)}; \quad \nu = 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \\ P_r &= 0,7; \quad L = d = 0,75 \text{ м}; \quad G_r P_r = 3,7 \cdot 10^6; \quad c = 0,135; \quad n = 1/3; \quad N_u = 100; \\ \alpha_0 &= 3,5 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}. \end{aligned}$$

Для полной мощности теплоотдачи находим:

$$P_k = \alpha_0 \cdot \Delta T \cdot S_0 = 3,5 \cdot 10 \cdot 1,8 = 63 \text{ Вт}.$$

Значение 60 Вт, приближенно соответствующее найденному выше, обычно используют в практических расчетах в соответствующих областях техники.

Заметим, что для живого организма следует учитывать тепловые потери, связанные с дыханием, т. е. тепловые затраты на подогрев выдыхаемого воздуха до температуры тела. Приняв минутный объем дыхания БО примерно

равным  $v=5 \text{ л/мин} \approx 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , а также  $\Delta T=10 \text{ К}$  и  $c_g=10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , находим, что указанные тепловые потери составляют:  $v \cdot c_g \Delta T \approx 0,83 \text{ Вт} \ll P_k \approx 60 \text{ Вт}$ .

Таким образом, этими потерями при приближенных расчетах можно пренебречь. Возможно, что такая ситуация имеет место и в случае обогрева животных. В дальнейшей работе данное положение должно быть проверено на практике.

Как видно из изложенного выше, определение коэффициента теплоотдачи от БО в рассмотренных условиях не представляет принципиальных затруднений и может быть связано лишь с довольно громоздкими расчетами, которые следует проводить по специально разработанным программам.

#### 4.7 Нормирование облученности биологических объектов при облучении инфракрасным излучением

Используя всю совокупность изложенных выше теоретических представлений можно рассчитывать температурные режимы ИК-облучения БО и установить нормы облученности, соблюдение которых обеспечивает достижение соответствующих технологических целей ИК-нагрева. Конструктивные параметры ИК-излучателей, обеспечивающих выполнение установленных норм, выбираются на основе расчетных форм, изложенных в разделах 4.1 – 4.2.

Облучение молодняка сельскохозяйственных животных линейными излучателями с параметрами, указанными в п. 4.3 (также п. 4.6), по формуле (4.35) при  $S_u = \pi \cdot d \cdot 2 \cdot l = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  находим:  $P_p = 155 \text{ Вт}$ ;  $P_k = 81 \text{ Вт}$ ;  $P_u = 235 \text{ Вт}$ , что соответствует работе излучателя при сетевом напряжении  $U=220 \text{ В}$  и токе  $i=1,08 \text{ А}$ . Доля потребляемой мощности, расходуемая на излучение, для этого излучателя составляет  $155/235=0,66$ , что говорит о высокой экономичности.

Далее, из формулы (4.36) следует, что если изолировать вокруг излучателя объем воздуха  $V=1 \text{ м}^3$ , то он будет нагреваться за счет подвода мощности  $81 \text{ Вт}$  со скоростью  $dT/d\tau = 0,062 \text{ К/с} = 3,7 \text{ К/мин}$ . (при  $c_g=10 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ,  $\rho=1,3 \text{ кг/м}^3$ ).

Если через 1...2 мин. установится тепловое равновесие этого объема с остальным воздухом в помещении, то температура в нем будет примерно на (4...8 К) выше, чем в помещении в целом.

Такой эффект технически несложно обнаружить и измерить в реальных условиях (при обеспечении защиты термометра от прямого воздействия ИК-излучения), несмотря на то, что эффект будет меньше расчетного.

Заметное повышение температуры воздуха между излучателем и БО благотворно скажется на температурном режиме облучаемых животных, их обогрев станет более равномерным.

Далее, согласно результатам, полученным в п. 4.6 ( $\alpha_0 \approx 6,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ ) для компенсации теплоотдачи от поверхности тела животного при  $t_c = 15^\circ \text{С}$  достаточен тепловой поток на поверхность с плотностью  $q = \alpha_0 \Delta T = 6,1 \cdot 20 = 126 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . С учетом того, что  $E_e \approx 0,75$ , облученность поверхности в соответствии с формулой (4.37) должна составлять  $E_e = 126/0,75 = 170 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Такую облученность, согласно формуле  $E_{em} = I_{e0}/h^2$  (при условии  $h > 1,25 \cdot 0,2 \cdot l = 0,25 \text{ м}$ , которое заведомо выполняется на практике), может создать рассмотренный выше линейный излучатель в параболическом отражателе с  $I_{e0} = 52 \text{ Вт}/\text{ср}$  (п. 4.3) на высоте  $h = 0,55 \text{ м}$  от тела животного. Примерно такую же облученность создает лампа ИКЗК-250 на высоте  $0,77 \text{ м}$ . О достаточно полной компенсации тепловых потерь в указанных условиях ИК-облучения свидетельствует комфортное поведение молодняка в обоих этих случаях.

Следует отметить, что приведенные в литературе рекомендованные значения облученности  $E_e = 700 \text{ Вт}/\text{м}^2$  соответствуют плотности поглощенного потока  $q = \varepsilon_0 E_e = 525 \text{ Вт}/\text{м}^2$  и разности температур  $\Delta T = T_0 - T_c = 525 / 6,1 = 86 \text{ К}$ , что представляется сомнительным.

В общем случае при иных значениях  $(T_0 - T_c)$  нормированная облученность  $E_e$  рассчитывается по формуле (4.37) при значениях  $\alpha_0$ , вычисленному по методу, описанному в настоящих рекомендациях.

Дополнительно следует отметить, что приведенные фотометрические выражения могут быть использованы для определения светотехнических параметров и ультрафиолетовых облучательных установок для облучения животных.

#### 4.8 Заключение (выводы)

Проведенное теоретическое и экспериментальное исследование позволило разработать методику расчета температурных режимов технологических процессов, связанных с воздействием ИК-излучения на биологические объекты на основе единого системного теоретического подхода.

Методика расчета нормированных значений облученности БО необходимых для успешного достижения поставленных технологических целей, основано на применении формулы (4.37) и уравнения (4.38).

Экономичность ИК-излучателя и эффект обогрева окружающей среды оцениваются с помощью (4.35) и (4.36).

Выбор конструктивных параметров ИК-излучателя, обеспечивающего создание нормированной облученности, осуществляется на базе общих формул (4.6) или (4.25), а также их приближенных модификаций (4.9) или (4.27). Сила излучения ( $I_{e0}$ ) линейного излучателя определяется с помощью формул (4.32) и (4.33) при известных значениях  $\varepsilon_u$ ,  $2l$ ,  $d$ ,  $T_e$  для данного излучателя.

## 5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТОК НОВЫХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Целью настоящего раздела работы является создание новых светотехнических средств для устройства и реализации новых способов применения оптического излучения на фермах и комплексах крупного рогатого скота с учетом действующих нормативных документов и регламентов.

### 5.1 Сопоставительный анализ и выбор перспективных схем включения источников излучения

На основе метода гармонического анализа и синтеза с использованием конечных сумм абсолютно и равномерно сходящихся рядов получены основные выражения для определения электрических параметров новых схем [102].

Выражение для определения тока РЛ в этом случае имеет вид:

$$i_l = I_{к.з.} \left( \sqrt{2} \cos(\omega t - \phi) + \frac{4m(K_E - 1)}{1,5\pi} \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(2n-1)\omega t}{(2n-1)^2 - K_E} \right] \right), \quad (5.1)$$

где  $I_{к.з.}$  - действующее значение тока в фазе при коротком замыкании всех ламп схем;

$m = U_l / U$  - коэффициент, характеризующий отношение напряжения на лампе к напряжению питания;

$n$  - номер гармонической составляющей тока;

$K_E$  - коэффициент, характеризующий отношение реактивного сопротивления конденсатора к реактивному сопротивлению дросселя.

С помощью данного метода, а также известных методов электрического расчета комплекта "газоразрядная лампа - ПРА", разработанных А. Е. Краснопольским и А. М. Троицким, проведен теоретический анализ режимов работы РЛ в наиболее распространенных схемах включения [102-104].

При проведении анализа приняты следующие допущения [104]:

- в сравниваемых схемах применяются лампы одной и той же мощности;
- одноламповая схема включения РЛ имеет сетевое напряжение 220 В, а двухламповая - 380 В;
- номинальные параметры ламп ДРТ - 400 принимаем равными: мощность лампы  $P_l = 400 \text{ Вт}$ ; напряжение на лампе  $U_l = 135 \text{ В}$ ; ток лампы  $I_l = 3,25 \text{ А}$ .

Лампа типа ДРТ выбрана в качестве примера для проведения анализа как наиболее эффективная лампа, применяемая в облучательных установках сельскохозяйственного назначения. Результаты расчетов по методикам [102-103] приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Результаты расчетов основных параметров индуктивных и индуктивно-емкостных схем включения ламп типа ДРТ

Расчетный параметр	2-х ламповая схема	1-но ламповая схема
<b>I. Индуктивный балласт</b>		
1. Величина относительного напряжения на лампе: $m=U_{\lambda}/U$	0,71	0,61
2. Напряжение на дросселе, $B$ : при $\delta=0,13$ $U_{\text{др}} = U\sqrt{1-m^2-1,44m\delta\sqrt{1-1,23m^2}}$	216,6	158,4
3. Коэффициент амплитуды тока лампы: $K_{\alpha} = \frac{\sqrt{2-m^2+m(\phi+\zeta-\frac{\pi}{2})}}{\sqrt{1-1,18m^2}}$ , при $\zeta = \arcsin \cdot m \cdot \sqrt{2}$ , град., $\varphi = \arccos(1,11m)$ , град.	1,74 30 38	1,54 26 47
4. Коэффициент мощности лампы: $K_{\lambda} = \frac{0,9\sqrt{1-1,23m^2-0,64m\delta}}{\sqrt{1-1,18m^2-1,14m\delta\sqrt{1-1,23m^2}}}$	0,856	0,870
5. Реактивное сопротивление дросселя, $\text{Ом}$ : $x_{\text{др}} = \frac{mU^2}{P_{\lambda}}(0,9\sqrt{1-1,23m^2-0,64m\delta})$	67	487
6. Коэффициент нестабильности тока по напряжению: $\lambda_m = \frac{1}{1+1,18m\delta(\rho-1)}$	2,5	1,78
7. Коэффициент нестабильности мощности по напряжению: $\lambda_n = (\rho+1)\lambda_m$ , при $\rho=0,05$	2,63	1,87
<b>II. Индуктивно - емкостный балласт</b>		
1. Напряжение на дросселе, $B$ : $U_{\text{др}} = \frac{U}{k-1}\sqrt{1+0,81m^2[kf_2(k)-(k+1)f_1(k)]}$	283	160
2. Напряжение на конденсаторе, $B$ : $U_k = \frac{Uk}{k-1}\sqrt{1+0,81m^2[kf_2(k)-(k+1)f_1(k)]}$	615	385
3. Коэффициент амплитуды тока лампы: $K_{\alpha} = \frac{\sqrt{2}\cos(\Theta m - \phi) - \frac{m(k-1)}{\sqrt{k}}(\sin\sqrt{k}\Theta m - \text{tg}\frac{\pi\sqrt{k}}{2}\cos\pi\Theta m)}{\sqrt{1+0,81m^2[f_2(k)-2f_1(k)]}}$	1,57	1,52

Продолжение таблицы 5.1

4. Коэффициент мощности лампы: $K_{\lambda} = 0,9 \sqrt{\frac{1 - 0,81m^2 f_1(k)}{1 + 0,81m^2 [f_2(k) - 2f_1(k)]}}$	0,85	0,86
5. Коэффициент нестабильности тока по напряжению: $\lambda_t = \frac{1}{1 + 0,81m^2 (1 - \rho) [f_2(k) - 2f_1(k)]}$	1,04	1,03
6. Коэффициент нестабильности мощности по напряжению: $\lambda_n = \lambda_t (\rho + 1)$	1,08	1,07

Сопоставительный расчет значений основного параметра  $m$ , определяющего отношения напряжения на лампе  $U_{л}$  к напряжению питания  $U$  и характеризующего стабильность работы схемы, показывает, что в случае использования двух последовательно включенных РЛ нарушается условие работы ламп без токовой паузы (предельно-допустимое значение этого параметра для индуктивного комплекта равно:  $m=0,65$ ). При этом следует ожидать значительное ухудшение условий перезажигания газового разряда, усиление пульсации потока излучения, сокращения срока службы ламп (при  $m=0,7$  срок службы РЛ снижается почти на 20 %).

Анализ результатов расчета напряжения на дросселе  $U_{др}$  показывает, что в случае двухламповой схемы включения оно в 1,3 раза выше, чем в одноламповой. Следовательно, при производстве дросселей для двухламповой схемы необходимо предусмотреть усиление изоляции обмоточных проводов, межслоевой изоляции, что, несомненно, приведет к увеличению стоимости ПРА и всей установки.

Сопоставление результатов расчета коэффициента амплитуды тока  $K_{\alpha}$  лампы показывает на его значительное возрастание в схеме двух последовательно включенных ламп и превышение над нормированным значением ( $K_{\alpha}$  не должен превышать значение 1,7) [71]. В результате наблюдается увеличение искажения тока, форма тока стремится к пикообразной, нарушается температурный режим работы электродов и усиливается распыления вольфрама и оксидного покрытия. Последнее приводит к ускоренному потемнению колбы лампы и снижению потока излучения. В результате доза облучения будет уменьшаться независимо от эксплуатационных мероприятий.

Следует отметить, что при использовании двух последовательно включенных РЛ с одним дросселем действительно будет снижаться величина потерь мощности, теряемая в дросселе, что сказывается на потреблении электроэнергии и эксплуатационных расходах. Однако, на наш взгляд, данное преимущество значительно проигрывает перед факторами снижения срока службы ламп и ухудшения светотехнических характеристик СТУ.

Дальнейший анализ расчетных значений параметров сравниваемых схем показывает, что при использовании двухламповой схемы снижается

коэффициент мощности РЛ с 0,87 до 0,856, ухудшаются коэффициенты неустойчивости по току с 1,78 до 2,5 и мощности с 1,87 до 2,63. В результате не будут выполняться условия ГОСТ 16809-78: "при изменении напряжения питания ток и мощность разряда не должны изменяться более, чем на 20 %".

При сопоставлении нормальных режимов работы аналогичных вариантов при работе с индуктивно-емкостным балластом (в последствии принимаем терминологию "емкостной") в расчете принято, что  $K=X_c/X_{dp}$ , характеризующий отношение реактивного сопротивления балластного конденсатора  $X_c$  к реактивному сопротивлению дросселя  $X_{dp}$ , равен:  $K=2,5$ . Соответственно суммы абсолютно и равномерно сходящихся рядов, используемых в выражениях, имеют следующие значения:

$$f_1(K)=0,576; f_2(K)=1,059; f_3(K)=1,007.$$

Анализ результатов расчета показывает, что и в случае емкостного балласта схеме с двумя последовательно соединенными лампами присущи следующие недостатки:

- существенно, почти в 7 раз возрастает напряжение на дросселе;
- напряжение на балластном конденсаторе на 15 В выше номинального напряжения на стандартных светотехнических конденсаторах, то есть для таких схем потребуются создание нового типоразмерного ряда специальных конденсаторов;
- коэффициенты неустойчивости хуже, чем для одноламповых схем, что обусловит ухудшение светотехнических параметров СТУ.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о нецелесообразности работ по совершенствованию ПРА для стандартных РЛ, основанных на использовании последовательно включенных ламп.

По мнению автора, одним из перспективных направлений совершенствования ПРА для РЛ в СТУ сельскохозяйственного назначения является использование групповых схем включения. Сказанное обусловлено тем, что, как правило, СТУ в СХП имеют достаточно большое количество ламп относительно компактно размещенных на ограниченной площади помещения (доильный зал, профилакторий и т. д.).

С помощью известных методов электротехнического расчета схем ПРА возможно сопоставить основные характерные параметры трехфазных трехпроводных схем включения РЛ с групповыми элементами балластных устройств.

В табл. 5.2 представлены результаты расчетов по известным методикам, позволяющих сопоставить стандартные и групповые схемы.

Сопоставление и анализ результатов расчета параметров трехфазных трехпроводных схем включения РЛ с данными расчета однофазных схем показывает, что в трехфазных схемах не только удастся обеспечить получение нормируемых значений основных электрических и светотехнических характеристик, но и существенно повысить стабильность потока излучения

ламп: коэффициенты нестабильности по мощности РЛ при отклонениях напряжения питания на  $\pm 10\%$  от номинального значения не превышает  $\pm 5\%$ .

Вторым важным обстоятельством, определяющим целесообразность работ данного направления, является возможность обеспечения равных режимов во всех облучателях, что гарантирует повышение точности дозирования ОИ в животноводческих помещениях как минимум на 10..15%.

Важным моментом является и то, что значение напряжений на балластных конденсаторах и дросселях в групповых ПРА ниже, чем в стандартных. Следствием этого является снижение непроизводительных потерь мощности в ПРА и экономия электроэнергии, а возможность достижения в групповых схемах коэффициента амплитуды тока порядка 1,4 несомненно скажется на увеличении срока службы ламп.

Таблица 5.2 - Результаты расчетов основных параметров трехфазных ПРА

Параметры	Значение
I. Индуктивная схема:	
1. Напряжение на дросселе, $V$	196
2. $\cos \varphi$	0,61
3. Коэффициент мощности лампы	0,9
4. Коэффициент амплитуды тока	1,4
II. Емкостная схема:	
1. Косинус " $\varphi$ "	0,61
2. Коэффициент мощности лампы	0,9
3. Напряжение на дросселе, $V$	126
4. Напряжение на конденсаторе, $V$	322

## 5.2 Разработка экономичных схем включения ламп в светотехнических установках

Создание экономичных схем включения РЛ в СТУ сельскохозяйственного назначения проводится по многим направлениям: применение новых источников излучения, новых материалов, конструктивных схем приборов и т. д.

Наиболее эффективным, на наш взгляд, является путь совершенствования ПРА и, в частности, индуктивно-емкостных схем включения ламп [108].

На рис. 5.1 представлены формы кривых тока разряда и светового потока при различных соотношениях реактивных параметров индуктивно-емкостного балласта  $K = X_c / X_{op}$ .

Работа РЛ при различных соотношениях параметра  $K$  может быть разделена на три характерных режима [109]: без токовых пауз; в режиме возбуждения четных гармонических составляющих; в режиме возбуждения высших гармонических составляющих.

Первый режим характеризуется отсутствием в токе разряда РЛ токовых пауз в диапазоне изменения параметра  $K$  в пределах от 2 до 3,2 (рис. 5.1 а,

кривая 1 - примерная форма разрядного тока; кривая 2 - примерная форма светового потока).

Второй режим возникает при изменении параметра  $K$  в пределах от 3,2 до 6 и отличается появлением в токе разряда токовых пауз, обусловленных возбуждением четных гармонических составляющих (рис. 5.1 б).

Третий режим возникает при повышенных соотношениях реактивных параметров балласта, когда  $K > 6$  (рис. 5.1 в).

Традиционные способы анализа режимов работы комплекта "РЛ-ПРА", основанные на аппроксимации напряжения, на лампе в виде геометрических фигур для данного случая использованы быть не могут, так как для каждого состояния цепи необходимо будет разрабатывать свои сочетания достаточно сложных фигур.

Одним из возможных подходов к исследованию указанных режимов является представление РЛ элементом с изменяющимся во времени сопротивлением и рассмотрение процессов данного контура как параметрического. Такой подход основан на значительном изменении сопротивления ламп за полупериод, что вызвано периодическим перезажигом и погасанием разряда при работе РЛ в сети переменного тока.

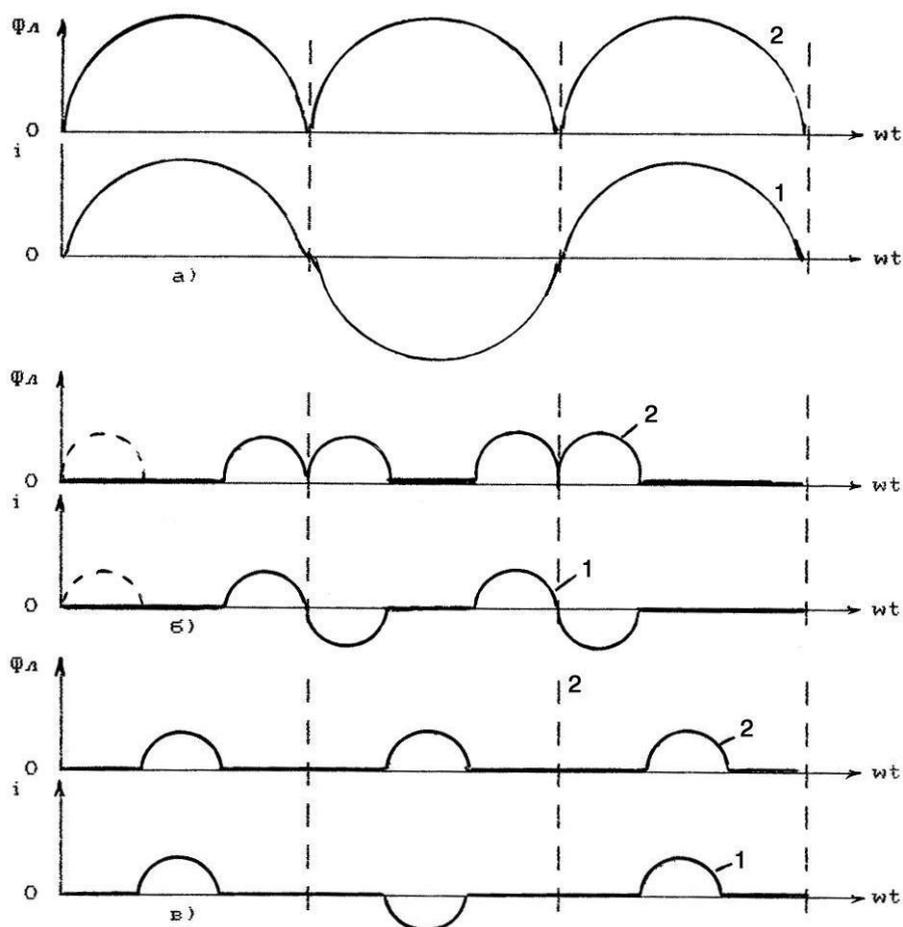


Рисунок 5.1 - Примерные осциллограммы изменения тока  $i$  и светового потока  $\Phi_{л}$  при различных соотношениях реактивных параметров индуктивно-емкостного балласта: а)  $2 \leq K \leq 3,2$ ; б)  $3,2 \leq K \leq 6$ ; в)  $K > 6$

В процессе исследования по снятым типовым временным характеристикам силы тока и напряжения на лампе были рассчитаны и построены в зависимости от изменения сопротивления разряда РЛ для трех основных режимов (рис. 5.2).

На приведенных примерных экспериментальных зависимостях  $R_n(\omega t)$  видно, что во время токовых пауз, характеризуемых углами  $\psi_1$  и  $\psi_2$ , сопротивление лампы значительно больше, чем сопротивление горячей дуги. Соответственно проводимость лампы  $G_n=1/R_n$  при  $\omega t=0, \pi, 2\pi \dots$  близка к нулю. В результате функцию  $G_n(\omega t)$  можно представить в виде ряда Фурье:

$$G_n(\omega t) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_n \cdot \cos n\omega t + \beta_n \sin n\omega t), \quad (5.2)$$

где  $G_n(\omega t)$  - проводимость РЛ;

$(\omega t)$  - круговая частота;

$t$  - время;

$n$  - номер гармонической составляющей;

$\alpha_0, \alpha_n, \beta_n$  - коэффициенты разложения Фурье для постоянной и  $n$ -й гармонической составляющей.

Конкретный вид  $G(\omega t)$  может быть установлен по динамике плазменных процессов в РЛ или на основании общих свойств кривой проводимости (положительности, периодичности, начальных условий и т.д.). Например, для первого режима (рис. 5.2 а) можно с достаточной степенью точности записать:

$$G_n(\omega t) \approx G_0 \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega t \right) = G_n \sin^2 \omega t. \quad (5.3)$$

Принятый в этом случае вид функции весьма удобен для анализа характера кривых силы тока в указанных режимах.

Запишем дифференциальное уравнение для индуктивно-емкостного комплекта "РЛ-ПРА", пренебрегая активной составляющей балласта в связи с ее малостью:

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{c} \int i dt + iR_n = U_0 \sin(\omega t - \phi), \quad (5.4)$$

где  $L$  - индуктивность дросселя, Гн;

$C$  - емкость балластного конденсатора, мФ;

$R_n$  - сопротивление лампы, Ом;

$i$  - мгновенное значение силы тока, А;

$U_0$  - амплитудное значение напряжения питания, В;

$\phi$  - фаза тока лампы относительно напряжения питания, рад.

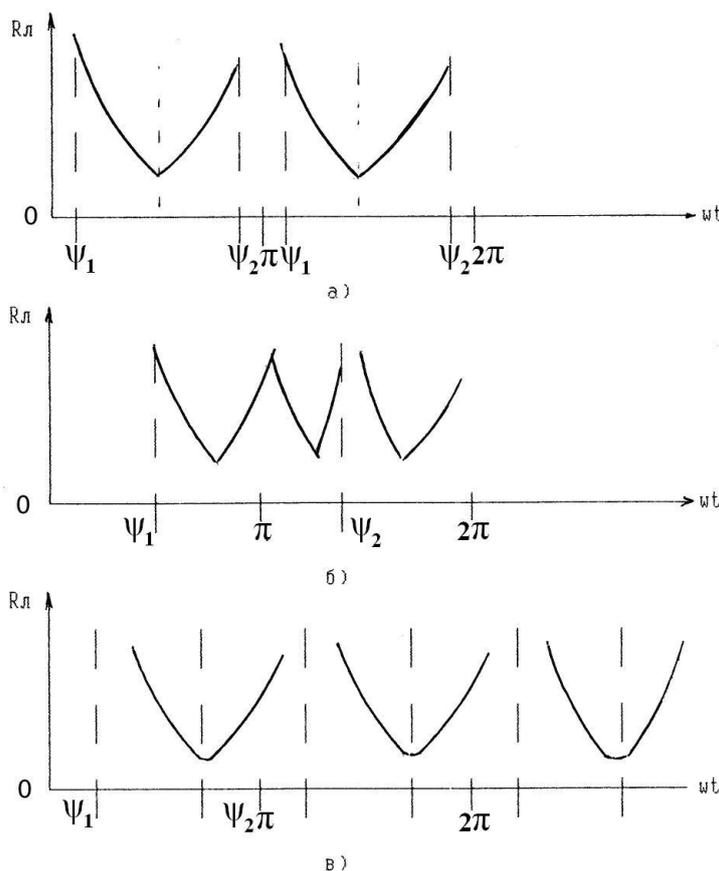


Рисунок 5.2 - Примерный характер изменения сопротивления  $Rл$  при различных соотношениях реактивных параметров индуктивно-емкостного балласта:  
 а)  $2 \leq K \leq 3,2$ ; б)  $3,2 \leq K \leq 6$ ; в)  $K > 6$

Обозначим:

$$wt \cong x; \quad \frac{i}{i_1} \equiv I[i_1 = \frac{U_0}{\omega L}]; \quad (5.5)$$

$$\frac{1}{\omega^2 i LC} = \frac{X_c}{X_{op}} = K; \quad \omega LG(x) = \sigma(x).$$

Тогда выражение (5.4) запишем так:

$$\frac{dI}{dx} + K \int I dx + \frac{I}{\sigma(x)} = U \sin(x - \phi). \quad (5.6)$$

После преобразования получим:

$$I = \sigma(x) \sin(x - \phi) - \sigma(x) \left( \frac{dI}{dx} + K \int I dx \right). \quad (5.7)$$

Уравнение 5.7 представим в виде ряда Фурье:

$$i(x) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_n \cos nx + \beta_n \sin nx). \quad (5.8)$$

После подстановки (5.7) в (5.6) получим систему алгебраических уравнений для определения коэффициентов Фурье  $\alpha_n$  и  $\beta_n$ , которую можно решить с любой заданной степенью точности. Кроме того, по уравнению (5.7) можно вывести определенные суждения о форме кривой силы тока в рассматриваемом режиме работы комплекта. Так при  $\sigma(x) = s(x) = G_0 \sin^2 x$  следует, что в разложении (5.8) участвуют только нечетные гармонические составляющие  $n=1,3,5,7,\dots$ , поскольку  $\sin x \cos 2x = (\sin 3x - \sin x)/2$  и кривая будет симметрична относительно оси времени (рис. 5.2 а).

Аналогичная ситуация возникает в режиме на повышенных соотношениях, при  $K > 6$ , поскольку при разложении уравнения (5.2) для  $\sigma(x) = \omega LG(\omega t)S$  участвуют только нечетные гармонические составляющие. При этом для второго режима в диапазоне изменения параметра  $K$  от 3,2 до 6 будет характерным присутствие четных гармоник, например, вида  $\sin x \cos 3x = (\sin 4x - \sin 2x)/4$  и т. д.

Второй возможный подход к расчету электрических цепей с РЛ может быть осуществлен на основе аппроксимации сопротивления лампы. С этой целью осциллографируют временные характеристики тока  $i(\omega t)$  и напряжения  $u_n(\omega t)$  на лампе и проводят разбиение временной оси на заданные интервалы времени, определяя мгновенное значение сопротивления лампы  $r_n(\omega t)$ .

На рис. 5.3 представлены типовые осциллограммы тока и напряжения разрядной лампы, а на рис. 4.5 показано динамическое сопротивление разряда.

Для аппроксимации динамического сопротивления разрядной лампы может быть использовано выражение вида:

$$r_n(\omega t) = \frac{\frac{U_{n3}}{I_{n0}}}{\left(\arcsin \frac{U_{n3}}{U_{cmax}}\right)^{\lg \frac{k_u k_i}{k_\phi}}} (\omega t)^{\lg \frac{k_u k_i}{k_\phi}} + \frac{\frac{U_{zop}}{I_{max}}}{\left(\phi_2 - \sqrt{\frac{U_{noz} I_{max}}{I_{n0} U_{zop}} \phi_2 - \phi_3}\right)^2} \left(\omega t - \sqrt{\frac{U_{noz} I_{max}}{I_{n0} U_{zop}} \phi_2 - \phi_3}\right)^2, \quad (5.9)$$

где  $U_{n3}$  - напряжение перезажигания разряда, В;

$I_{n0}$  - преддуговой ток, соответствующий моменту зажигания РЛ, А;

$U_{zop}$  - напряжение горения РЛ, В;

$I_{max}$  - максимальное значение тока лампы, А;

$K_U = \frac{U_{n3}}{U_{zop}}$ ;  $K_i = \frac{I_{max}}{I_{n0}}$ ;  $K_\phi = \frac{\phi_1}{\phi_2}$  - расчетные коэффициенты;

$\phi_1$  - начало дугового разряда, рад;

$\phi_2$  - фаза, соответствующая минимуму сопротивления лампы, рад;

$\phi_3$  - погасание дугового разряда, рад;

$U_{cmax}$  - максимальное значение сетевого напряжения, В.

После преобразования получим:

$$r_{л}(\omega t) = \frac{r_{лн0}}{\left(\arcsin \frac{U_{gp}}{U_{cmax}}\right)^a} (\omega t)^a + \frac{r_z}{\left(\phi_2 - \frac{b\phi_2 - \phi_3}{b-1}\right)^2} \left(\omega t - \frac{b\phi_2 - \phi_3}{b-1}\right)^2, \quad (5.10)$$

где  $a = \lg \frac{K_u K_i}{K_\phi}$ ;  $b = \sqrt{K_u K_i}$ .

На рис. 5.3–5.4 приведено сопоставление экспериментальных и расчетных данных по определению величины динамического сопротивления люминесцентной лампы. Погрешность определения данной величины не превышает 5 %, что позволяет рекомендовать к практическому использованию предложенный метод (табл. 5.3).

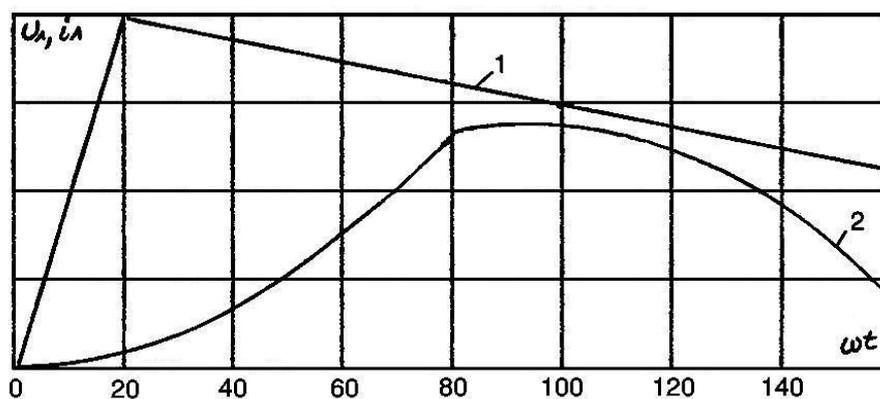


Рисунок 5.3 - Осциллограммы тока и напряжения на лампе за полупериод:

1 – напряжение на лампе  $u_{л}(\omega t)$ ; 2 – ток лампы  $i_{л}(\omega t)$

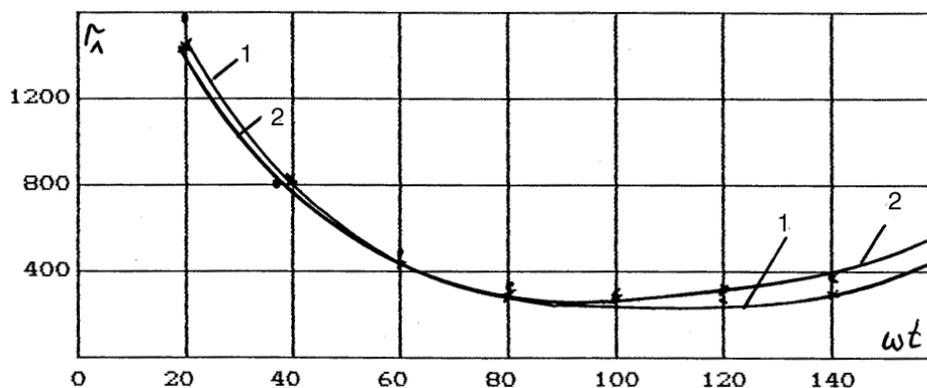


Рисунок 5.4 - Зависимость динамического сопротивления лампы за полупериод  $r_{л} = f(\omega t)$ : 1 – экспериментальная; 2 – расчетная

Таблица 5.3 - Расчетные и экспериментальные значения для определения динамического сопротивления РЛ

$\omega t$	20	40	60	80	90	100	120	140	160
$U(\omega t)$ , о. ед.	32	30	29	27	26	25	24	23	21
$U(\omega t)$ , о. ед.	4	8	13	18	21	22	21	15	9
$r(\omega t)$ опыт., Ом	1600	650	446	360	248	228	240	306	460
$r(\omega t)$ эксп., Ом	1582	692	425	301	261	230	292	360	453

Изложенный подход к анализу режимов работы комплекта "РЛ-ПРА" через параметрическое представление проводимости РЛ открывает возможности для полного расчета нетрадиционных схем включения ламп с индуктивно-емкостным балластом.

На базе выше изложенного подхода были разработаны и исследованы новые высокоэкономичные специальные схемы включения РЛ, которые вошли в устройства для освещения и облучения [109-111].

### 5.3 Светотехнические установки для динамического изменения параметров осветительных установок

Разработанные новые способы применения ОИ для животноводческих помещений ферм рассчитаны на динамичное изменение светового потока и мощности ламп. Поэтому одной из задач настоящей работы являлась разработка специальных светотехнических устройств для изменения светотехнических параметров СТУ с кратностью не хуже 1:200.

Регулирование светового потока в СТУ сельскохозяйственного назначения решает две проблемы: имитация в закрытых помещениях световой среды в режиме "рассвет-закат" и экономию электроэнергии при снижении эксплуатационных расходов.

Имеющиеся устройства для регулировки светового потока типа ПРУС предполагают ступенчатое изменение уровня освещенности в помещениях за счет частичного отключения осветительной нагрузки. При этом резко возрастает неравномерность освещения животных в режиме затемнения, снижаются качественные показатели СТУ. Кроме того, известные устройства для регулирования светового потока не обеспечивают стабильность температурного режима работы электродов РЛ в режиме затемнения, что отрицательно сказывается на их сроке службы. Это связано с тем, что в процессе регулирования яркости РЛ ток, протекающий через них, изменяется в широких пределах, а ток подогрева электродов остается постоянным. Подогрев отключается только тогда, когда лампа достигает своей максимальной яркости.

Автором предложено устройство для управления режимами работы группы люминесцентных ламп по а.с. 828444 [112].

На рис. 5.5 представлена принципиальная электрическая схема нового устройства.

В новом устройстве РЛ, соединенные последовательно с балластными конденсаторами и через часть обмотки дросселя насыщения подключены к нулевой точке умножителя частоты. Звезда конденсатора включена параллельно умножителю частоты через вторую часть обмотки дросселя насыщения и служит для создания "жесткости" нагрузочной характеристики.

Между искусственной точкой звезды компенсирующих конденсаторов и нулем системы питания включена основная обмотка магнитного усилителя, обмотка подмагничивания которого через выпрямительный мост и регулируемое сопротивление подключена параллельно дросселю насыщения. Для подогрева электродов ламп используется накальный трансформатор, первичная обмотка которого подключена между нулем системы питания и нулем умножителя частоты через нормально замкнутый контакт реле времени, обмотка которого включена на напряжение питания. Подключение устройства к сети осуществляется с помощью автоматического выключателя.

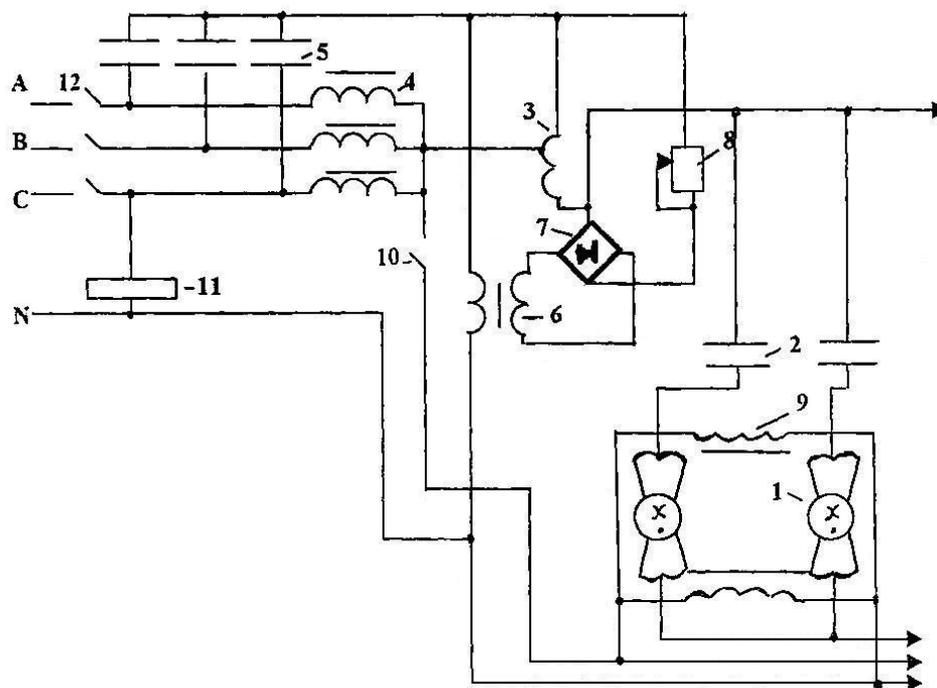


Рисунок 5.5 - Принципиальная электрическая схема устройства по а.с. 828444:

- 1 - лампа; 2 - балластный конденсатор; 3 - дроссель насыщения; 4 - утроитель частоты; 5 - конденсаторы компенсации; 6 - магнитный усилитель; 7 - выпрямитель; 8 - переменное сопротивление; 9 - накальный трансформатор; 10 - контакт реле времени 11; 12 - автоматический выключатель

Устройство работает следующим образом.

При включении автоматического выключателя питание получает реле времени, умножитель частоты, звезда поперечной компенсации и дроссель насыщения. Если цепь подогрева электродов, состоящая параллельно включенных накальных трансформаторов, не включена, то умножитель

работает в режиме холостого хода. При этом номинальное напряжение устроенной частоты между нулевой точкой умножителя частоты и нулем системы питания составляет 45...55 от фазного напряжения, что оказывается недостаточным для зажигания РЛ с подогревными электродами. Конденсаторы поперечной компенсации предназначены для улучшения  $\cos \varphi$  и внешней характеристики утроителя с помощью включения между нулем звезды конденсаторов и нулем умножителя частоты дросселя насыщения. Параметры дросселя выбираются таким образом, чтобы при нормальной нагрузке и номинальном напряжении питания дроссель насыщения потреблял минимальную мощность.

При подключении через контакт реле времени к выходу умножителя цепи подогрева электродов в последней появляется ток третьих гармонических составляющих, который обеспечивает прогрев электродов ламп и снижает их напряжение зажигания до величины напряжения холостого хода умножителя частоты. Размыкание контакта реле времени приводит к отключению цепи подогрева электродов и обеспечению зажигания ламп. ЛЛ и балластные конденсаторы, включенные последовательно с каждой лампой, представляют собой активно-емкостную нагрузку, которая подключена между нулем умножителя частоты и нулем системы питания через часть обмотки дросселя насыщения. В пусковом режиме регулируемое сопротивление имеет максимальную величину, и ток в цепи подмагничивания магнитного усилителя практически незначителен. При этом основная обмотка МУ имеет большое сопротивление и не оказывает шунтирующего действия на величину напряжения между нулевой точкой звезды конденсаторов и нулем системы питания. Величина индивидуальных балластных конденсаторов выбирается из условия обеспечения номинального значения тока (мощности) ЛЛ с учетом индуктивного сопротивления утроителя частоты и индуктивного сопротивления дросселя насыщения. В стационарном режиме сопротивление балластной цепи выбирается из условия работы ламп без токовой паузы.

Переменное сопротивление, выпрямительный мост и МУ работают только в стационарном режиме.

При включении всех ламп на дросселе насыщения устанавливается заданное напряжение, величина которого обеспечивает необходимый ток подмагничивания и уменьшение сопротивления основной обмотки дросселя насыщения.

При колебании напряжения питания изменяется напряжение на дросселе, что приводит к увеличению или уменьшению шунтирующего действия основной обмоткой умножителя. При этом ток в цепи ЛЛ и, соответственно, их электрические и светотехнические характеристики мало изменяются. При отключении части ламп также происходит изменение напряжения на дросселе насыщения, причем в этом случае напряжение уменьшается. Это связано с тем, что характер нагрузки умножителя частоты емкостной и отключение сопровождается увеличением емкостного сопротивления нагрузки. Соответственно уменьшается ток через дроссель насыщения, напряжение на нем и ток подмагничивания в обмотке МУ. Это приводит к увеличению

индуктивного сопротивления основной обмотки МУ и уменьшения ее шунтирующего действия. Ток в работающих лампах остается на заданном уровне и, соответственно, все остальные электрические и светотехнические характеристики.

Для более широкого изменения электрических и светотехнических характеристик ЛЛ предусмотрено регулируемое сопротивление. Увеличение или уменьшение величины этого сопротивления приводит к соответствующим изменениям светотехнических характеристик ЛЛ. Изменять величину регулируемого сопротивления можно вручную или автоматически по заданной программе.

Совершенствование схем управления светотехническими характеристиками ЛЛ нашло свое отражение в технических решениях по а.с. 936474 и а.с. 944172 [114, 115].

На рис. 5.6 представлена принципиальная электрическая блок - схема устройства по а.с. 936474.

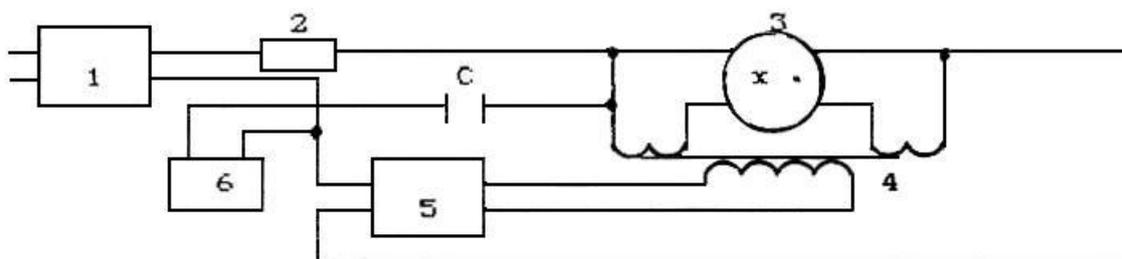


Рисунок 5.6 - Принципиальная блок - схема светорегулятора по а.с. 936474:

- 1 - светорегулятор; 2 - балласт; 3 - лампа; 4 - накальный трансформатор;
- 5 - регулятор тока накала; 6 - источник напряжения высокой частоты

Устройство содержит регулятор тока разряда ЛЛ, подключенный входом к системе питания, а выходом соединенный через балласт с выводами для подключения ЛЛ, подогреваемые электроды которой подключены к вторичным обмоткам накального трансформатора. Первичные обмотки этого трансформатора подключены к выходу регулятора тока накала, управляющий вход которого включен последовательно в цепь тока разряда ЛЛ. Источник напряжения высокой частоты соединен через конденсатор связи с выходом для подключения ЛЛ.

В качестве автоматического регулятора тока накала электродов может быть использован, например, автономный тиристорный инвертор тока с геометрическим суммированием напряжения.

Устройство работает следующим образом.

При включении источника питания ЛЛ зажигается на максимальную яркость. Благодаря регулированию тиристорным регулятором угол отсечки напряжения питания изменяется и на ЛЛ поступает пониженное напряжение. В результате изменяется значение протекающего через ЛЛ тока и соответственно изменяется световой поток. Дополнительный высококачественный ионизирующий источник поддерживает проводящее состояние лампы в

широком диапазоне регулирования светового потока и позволяет получить кратность регулирования 1:200. Автоматический регулятор вырабатывает управляющее напряжение, соответствующее току РЛ, и в результате каждому промежуточному режиму работы лампы соответствует оптимальное значение тока накала ее электродов. Соблюдение оптимального температурного режима работы электродов при любых промежуточных режимах регулирования яркости значительно увеличивает срок службы электродов, и, следовательно, долговечность ЛЛ.

Вторым важным достоинством нового устройства является экономия электроэнергии, путем исключения ее потребления на максимальном уровне в режиме затемнения. В общем случае эксплуатационные расходы от эксплуатации такого устройства снижаются на 1,5-3 % в зависимости от длительности затемнения.

Сущность предложенного способа регулирования светового потока заключается в поддержании заданного уровня эмиссии электронов в режимах затемнения путем повышения температуры катодов.

Плотность тока насыщения при термоэлектронном механизме эмиссии описывается известной формулой Ричардсона-Дешмена [153]:

$$j_n = BT^2 e^{-A/(hT)}, \quad (5.11)$$

где  $T$  - температура эмиссионной поверхности катода;

$A$  – работа выхода;

$B$  - константа.

Для того, чтобы получить приближенное соотношение между повышением температуры эмиссионной поверхности электрода  $\Delta T = T - T_0$  и увеличением напряжения подогрева  $\Delta U = U_n$  воспользуемся выражением, предложенным для вольфрамового тела накала ЛН [154]:

$$\Delta T / T_0 \approx c \Delta U_{nэ}, \quad (5.12)$$

где  $U_{nэ}$  - напряжение подогрева электродов, соответствующее  $I_{л} = 0$ , то есть полному затемнению ЛЛ.

Выражение для константы  $C$ , зависящей от физических свойств и геометрических размеров тела накала, а также механизма отвода мощности от него в окружающую среду, приведено в [154] и может быть использовано при расчете данной константы  $C$  в нашем случае для данного типа и мощности ЛЛ. Значение  $C$  может быть определено экспериментальным путем.

Полагая для приближенных количественных оценок:

$A/K \cong 10^4 \text{ K}$ ;  $T_0 = 10^3 \text{ K}$ ;  $A/(KT_0) \cong 10$ , и учитывая, что при  $U_n = U_{но}$ ;  $I_{л} = I_{ло}$ , после некоторых преобразований получим:

$$\frac{\Delta I_{л}}{I_{ло}} \approx \frac{\left(1 + 2c \frac{U_n}{U_{но}}\right) e^{\frac{10cU_n}{U_{но}}} - 1}{(1 + 2c)e^{10c} - 1}, \quad (5.13)$$

где  $\Delta I_{л}$  - изменение тока лампы для регулирования яркости.

Зависимость  $I_{л}=f(U_{л})$  в безразмерном виде является универсальной и в принципе применима к ЛЛ любой мощности, работающей в режиме затемнения с внешним подогревом электродов.

На рис. 5.7 представлены расчетные кривые  $I_{л}/I_{ло} = f \frac{U_n/U_{но}}$  при различных значениях константы  $c$ . Для сравнения на этом же графике показана эмпирическая зависимость вида:

$$U_n = 7,1 - 38 \cdot I_{л}, \quad (5.14)$$

полученная В. И. Буряком и перестроенная нами в соответствующих координатах при  $U_{но}=7,1$  В и  $I_{ло}=0,43$  А. Эта зависимость качественно согласуется с (5.13) при  $c=0,2$ .

Выражение (5.13) приближенно описывает зависимость вида  $I_{л}=f(U_{л})$  и может быть использована для проведения ориентировочных предварительных расчетов при разработке схемных решений светорегуляторов и позволяет обеспечить рациональный режим работы электродов в зависимости от уровня затемнения ЛЛ. При этом значение константы  $c$  должно быть известно для ламп различных типов. В схемах регулирования светового потока ЛЛ подогрев электродов обычно осуществляется накальным трансформатором, включаемым на постоянное напряжение сразу же после начала затемнения, что и приводит к перерасходу электроэнергии.

Предложенный способ регулирования, основанный на направленном изменении напряжения подогрева в зависимости от рабочего тока ЛЛ, может быть использован в системе АСУ ТП животноводческого помещения и обеспечит экономию электроэнергии и увеличение срока службы ламп.

На рис. 5.8 представлена усовершенствованная схема нового светорегулятора по а.с. 944272 [115].

Устройство включает накальный трансформатор, вторичные обмотки которого соединены с электродами лампы, датчик тока, соединенный последовательно с ЛЛ, выпрямительный мост, вход которого соединен с датчиком тока, а выход - через корректирующий элемент подсоединяется ко входу интегрирующего усилителя, генератор переменного напряжения, выход которого соединен с первичной обмоткой накального трансформатора, а вход - с выходом интегрирующего усилителя.

Устройство работает следующим образом.

При включении ЛЛ на датчике выделяется знакопеременное напряжение, которое пропорционально току ЛЛ. Это напряжение с помощью диодного моста

(выпрямителя) преобразуется в знакопостоянное и через корректирующий элемент подается на вход интегрирующего усилителя, с выхода которого снимается постоянное напряжение, пропорциональное среднему току ЛЛ. Это напряжение управляет величиной выходного напряжения генератора переменного напряжения, обеспечивая соответствующее изменение тока подогрева электродов.

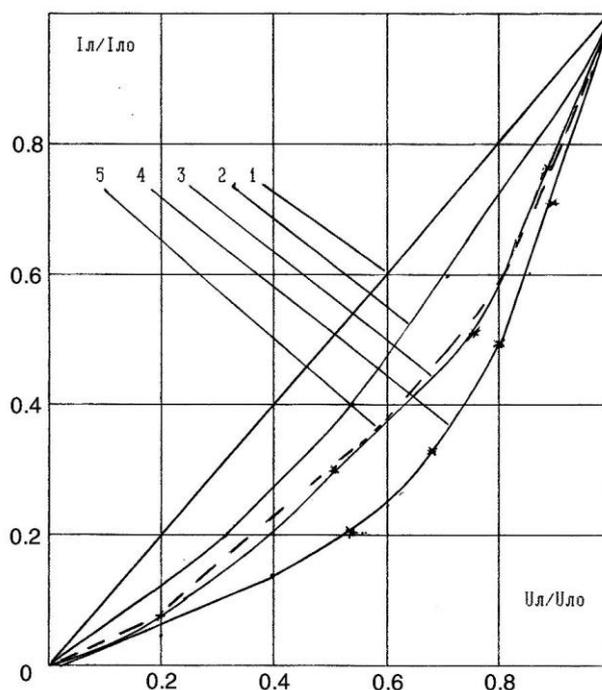


Рисунок 5.7 - Расчетные кривые  $I_{л} / I_{ло}$  при значениях константы  $c$ : 1 - 0; 2 - 0.1; 3 - 0.2; 4 - 0.3; 5 - пунктир - эмпирическая зависимость

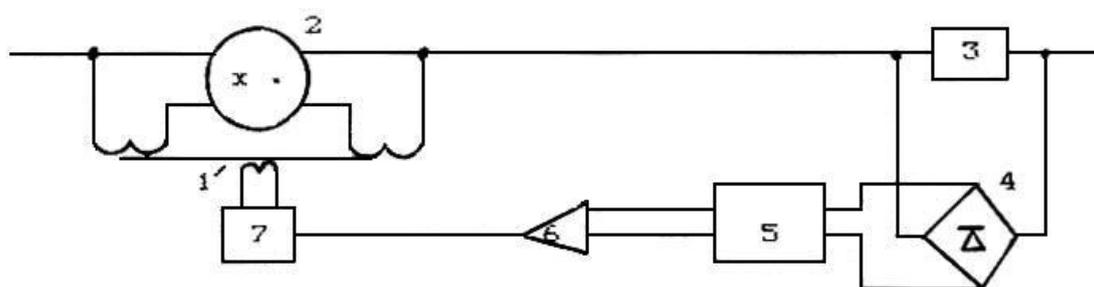


Рисунок 5.8 - Принципиальная блок - схема светорегулятора по а.с. 944172: 1 - накальный трансформатор; 2 - лампа; 3 - датчик тока; 4 - выпрямитель; 6 - интегрирующий усилитель; 7 - регулятор переменного напряжения

Опытно-промышленная проверка новых технических средств для управления светотехническими параметрами СТУ позволила установить реальное увеличение срока службы электродов ЛЛ, который составил 18...20 тыс. ч при экономии электроэнергии 8...10 %.

#### 5.4 Заключение (выводы)

Теоретическое обоснование и анализ возможных схем включения РЛ позволил:

- разработать новые схемы включения РЛ многоламповых осветительно-облучательных установках, обеспечивающих увеличение срока службы ламп на 15...20 %, снижение потерь мощности в ПРА, уменьшение веса и стоимости светотехнических приборов, уменьшение их веса и габаритов;

- предложить новые устройства для управления электрическими и светотехническими характеристиками СТУ при устройстве динамичного освещения при снижении расхода электроэнергии на 8...10 % и эксплуатационных расходов на 1,5...3 %;

- создать специальные схемы включения РЛ в СТУ сельскохозяйственного назначения, в которых ПРА обладают новой функцией - компенсацией  $\cos \varphi$  общей нагрузки помещения.

## 6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ФЕРМ И КОМПЛЕКСОВ КРС

Значительное снижения эксплуатационных расходов на содержание СТУ сельскохозяйственных производственных помещений при внедрении перспективных способов и устройств для освещения и облучения животных является одним из значимых факторов уменьшения себестоимости продукции животноводства. Целью настоящего раздела работы является разработка эффективных способов обслуживания и содержания СТУ коровников.

### 6.1 Установление экономически целесообразной периодичности чисток светильников в коровниках

На протяжении ряда лет при участии автора проводили исследования по определению влияния уровней освещенности на молочную продуктивность коров. Установлено, что, примерно на 5 лк прироста освещенности удается получить порядка 0,4 % прироста молока. Отмеченное позволяет считать освещение важным технологическим фактором, определяющим выход продукции, который должен быть жестко регламентирован и поддерживаться на заданном уровне в процессе эксплуатации (144).

При определении влияния уровней освещенности на продуктивность молочных коров проводили исследования по определению зависимости освещенности от степени загрязнения ламп и светильников. Данное обстоятельство было вызвано тем, что загрязнение РЛ и светильников в процессе эксплуатации, наряду с их старением, выходом из строя и загрязнением отражающих поверхностей помещения, определяют количественные показатели СТУ и отражается на продуктивности животных и рациональном использовании электроэнергии [144].

Исследованию подвергались СТУ со светильниками типа ЛСП-15 (200 шт.) и ЛСП-23 (190 шт.) с ЛЛ типа ЛБ 40, оборудованные в коровниках привязного содержания, в которых концентрация аммиака не превышала  $200 \text{ мг/м}^3$ , сероводорода  $10 \text{ мг/м}^3$ , углекислого газа 0,25 %, температура воздуха находилась в пределах от 8 до  $24^\circ\text{C}$ , относительная влажность достигала 90 %.

Результаты исследования приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 - Эксплуатационные показатели СТУ и величина потерь молока за время стойлового периода содержания коров (октябрь - март)

Число часов работы СТУ, <i>т.ч.</i>	Коэффициент загрязнения <i>K<sub>заг.</sub></i>	Световой поток ламп <i>Ф<sub>заг.</sub></i> , <i>отн. ед.</i>	Стоимость потерь эл. энергии <i>C<sub>п.</sub></i> , <i>грн.</i>	Потери молока, <i>грн.</i>	Потери молока, <i>кг</i>
480	0.074	0.976	0.035	8.26	29.5
960	0.138	0.862	0.131	15.40	55.0
1440	0.193	0.807	0.276	21.56	77.0
1920	0.241	0.759	0.459	27.02	96.5
2400	0.282	0.718	0.671	31.64	113.0
2880	0.318	0.682	0.909	35.56	127.0

*Примечание:*  $K_{заг}$  - постоянная величина, определяемая отношением светового потока новой лампы к световому потоку этой же лампы через данный промежуток времени, причем, лампа не работает, но находится в помещении.

Современные нормативные документы предусматривают чистку СТУ животноводческих помещений не реже одного раза в квартал. В результате, по нашим данным, теряется порядка 1,54 % молока, что при годовом удое животного в 5000 кг составляет 77 кг на одну корову.

Проведенные исследования показали, что спад потока излучения ЛЛ в светильниках типа ЛСП за счет загрязнения ламп достаточно точно описывается выражением /34/:

$$\Phi_{заг} = \Phi_o(\gamma_c + \beta_c e^{-T/T_0}), \quad (6.1)$$

где  $\Phi_{заг}$  - световой поток лампы после  $T$ , ч использования в помещении коровника, лм;

$\Phi_o$  - начальный световой поток, лм;

$\gamma_c, \beta_c$  и  $T_0$  - постоянные коэффициенты для заданных условий эксплуатации СТУ.

Наши исследования осуществлялись в коровниках на 120 голов с естественной вентиляцией, для которых значение постоянных коэффициентов в (6.1) соответствуют  $\beta_c=0,55$ ;  $\gamma_c=0,45$ ;  $T_0=5000$  ч. при определении значений постоянных коэффициентов принято, что число часов в месяце - 720. Значение  $\Phi_{заг}$  при лампах типа ЛБ 40 в течение шести месяцев стойлового периода приведены в табл. 6.1.

Анализ результатов, приведенных в данной таблице показывает, что только за счет загрязнения ЛЛ потери светового потока (соответственно освещенности) составляют: за первый месяц - 7,4 %, за второй - 13,8 % и за третий - 19,3 %. При этом возможные потери молока составляют до 1,5 % на одно животное при одноквартальной чистке светильников.

Вторым важным моментом при определении регламента чисток светильников является возрастание непроизводительных потерь электроэнергии, так как мощность СТУ остается практически постоянной, а уровень освещенности, создающей положительный эффект, снижается.

Стоимость потерь электроэнергии  $C_n$  за стойловый период  $T_c$  на один светильник определяется по формуле:

$$C_n = m\alpha P_n T_c 10^{-3}, \quad (6.2)$$

где  $m$  - число ламп в светильнике, шт;

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий потери мощности в ПРА;

$P_n$  - мощность лампы, Вт;

$T$  - число часов использования СТУ за расчетный период, ч;  
 $q$  - тариф на электроэнергию, грн/(кВт ч).

Для стартерных ПРА, используемых в светильниках типа ЛСП,  $\alpha=1,24$ . Тариф за электроэнергию (на момент проведения исследований)  $q=0,01$  грн/(кВт ч). При 16 часовой работе СТУ в день в осенне-зимний период, была определена стоимость потерь электроэнергии в случае использования светильников типа ЛСП [48].

Длительные исследования (1982 - 1999 гг.) по определению спада светового потока РЛ в помещениях коровников позволили определить реальные значения освещенности в зоне размещения коров в процессе эксплуатации СТУ (табл. 6.2).

Таблица 6.2 - Зависимость изменения освещенности от длительности эксплуатации СТУ

Время эксплуатации, дн	0	10	20	30	40	50	60
Освещенность, %	100	93,75 ±1,25	91,00 ±2,00	91,00 ±1,50	90,00 ±1,00	89,25 ±1,25	89,25 ±0,95

Общий вид модели, описывающий процесс спада освещенности, может быть представлен как (рис. 6.1):

$$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}} \quad (6.3)$$

$$E = \frac{89,32}{1 - 0,1065e^{-0,084D}} \quad (6.4)$$

где  $E$  – технологическая освещенность коровника, лк;  
 $D$  – количество дней эксплуатации.

Анализ расчетной зависимости, представленной на рис. 6.1 показывает, что уже через 2 месяца эксплуатации СТУ уровень освещенности уменьшается на 10 %, что позволяет рекомендовать проведение восстановительных мероприятий.

Следует иметь в виду, что экономически целесообразный интервал ( $\mathcal{E}$ ) между чистками светильников в процессе эксплуатации СТУ будет зависеть от расходов на чистку ( $C_q$ ), стоимости потерь электроэнергии ( $C_n$ ) и стоимости дополнительно получаемого молока ( $C_m$ ):

$$\mathcal{E} = C_q + C_n - C_m \quad (6.5)$$

$C_q = H \cdot B$  - стоимость чистки светильника, грн;

$H$  - количество светильников СТУ (в расчете, согласно новым способам освещения животных, принято, что один светильник облучает одно животное, т. е.  $H=120$ );

$B$  - стоимость одной чистки, *грн*;

$C_m = M \cdot Z$  - стоимость дополнительно полученного молока, *грн*;

$M$  - количество дополнительно получаемого молока, *кг*;

$Z$  - закупочная цена 1 *ц* молока, *грн*.

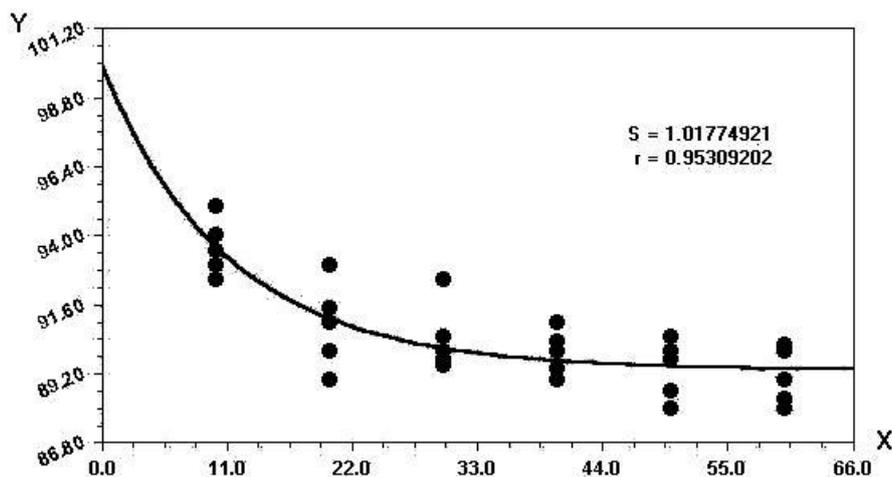


Рисунок 6.1 - Зависимости изменения освещенности ( $E$ , *лм*) от длительности эксплуатации ( $T$ , *дн*) СТУ

Для опытного хозяйства "Украинка" Харьковской области, где минимальная закупочная цена 1 *ц* молока составляла 28 *грн*. и максимальная стоимость одной чистки светильника 0,6 *грн*. при среднегодовом удое 5000 *кг* на одну корову, для коровника на 120 голов стоимость потерь электроэнергии составляла 6,34 *грн*. - при ежемесячной чистке, 23,65 *грн*. - при чистке один раз в два месяца и 49,63 *грн*. - при чистке один раз в квартал. Потери молока соответственно составили 991,2, 1848 и 2587,2 *грн*. (В ценах 1990 г). Учитывая, что современные тарифы на электроэнергию значительно возросли, то и стоимость потерь от загрязнения светильников существенно увеличиться.

При чистке светильников во время экспериментов нами использовалась экономически целесообразная групповая схема обслуживания ламп в СТУ.

Таким образом, проведенные исследования и соответствующие расчеты позволили разработать рекомендации по периодичности чистки светильников в СТУ для помещений коровников из условия не реже 1 раза в месяц, которые были введены в проект "Отраслевых норм освещения".

## 6.2 Разработка рекомендаций по ремонту светильников и утилизации разрядных ламп в условиях сельскохозяйственного производства

Экономически целесообразное повышение уровней искусственной освещенности в сельскохозяйственных производственных помещениях приводит к широкому внедрению в осветительную практику разрядных ламп

низкого и высокого давления. Согласно технологии содержания животных на фермах и комплексах наиболее целесообразно использовать ЛЛ типа ЛБ, ЛД и ЛБР, бактерицидные лампы типа ЛБ и ЛЭ, фитолампы типа ДРЛФ, ДЭРД и т. д. Причем мощность ламп (а следовательно, и содержание в них ртути) имеет широкий диапазон - от 20 Вт до 2 кВт.

Нашими исследованиями установлено, что при существенных колебаниях температуры и высокой агрессивности среды СХП, наиболее целесообразным является применение ламп ВД от 80 до 2000 Вт. При этом следует иметь ввиду, что содержание ртути в этих лампах находится в пределах от 60 до 120 мг. Поэтому при разработке новых способов освещения сельскохозяйственных помещений возникает вопрос охраны экологии среды, как в самих помещениях, где содержатся животные и работают люди, так и на территории хозяйства, а также проблема эффективности и целесообразности методов и способов утилизации ламп в условиях конкретного производства.

Известно, что при полном испарении 100 г ртути, высвобождающейся при нарушении целостности колб около 1 тыс. шт. ЛЛ происходит ртутное заражение воздуха в объеме около 10 млн. м<sup>3</sup> до предельно допустимой нормы, которая составляет 0,01 мг/м<sup>3</sup> [154].

Среднее количество разрядных ламп, подлежащих утилизации за год в хозяйстве, можно определить по выражению:

$$n = \sum_{i=1}^i K_{лз} N_i n_i, \quad (6.6)$$

где  $K_{лз}$  - коэффициент замены ламп, равный отношению числа часов использования СТУ в год в данном помещении к сроку службы РЛ;

$N$  - количество светильников в  $i$ -м помещении;

$n$  - количество ламп в светильнике  $i$ -го помещения;

$i$  - количество помещений или установок.

Нами установлено, что в основной массе помещений для содержания животных чистку светильников целесообразно проводить не реже одного раза в месяц. При выходе ламп из строя возможны два варианта - в случае выработки полезного срока службы (при этом, как правило, колба лампы остается целой) и в случае физического повреждения колбы (трещина в стекле, разбиение). В первом случае РЛ должны сдаваться на склад для хранения в коробках. Во втором случае - проводится их демеркуризация на месте.

Согласно отраслевому стандарту, содержащаяся в РЛ ртуть должна быть из ламп изъята до вывоза на места реализации хозяйственно-бытовых отходов, или нейтрализована. На этот счет существуют рекомендации Института гигиены и профзаболеваний АМН Украины, которые предусматривают удаление ртути из отработанных ламп в специальных вытяжных шкафах, оснащенных фильтрами-поглотителями ртутных паров, с самостоятельной вентиляционной линией.

Очистка производится на глубоких эмалированных противнях. После возможного полного механического удаления ртути необходимо поместить колбы ламп, а лучше их части, на несколько часов в раствор химических демеркуризаторов, которыми являются 10...15 % раствор азотной кислоты, 20 % раствор хлорного железа и раствор йода в водном растворе йодистого калия (2,5 г йода и 30 г йодистого калия на 1 л воды. Конкретные указания по конструкциям помещений, в которых должно производиться извлечение ртути, их вентиляции и другим параметрам имеются в "Строительных правилах проектирования оборудования, эксплуатации и содержания производственных помещений для проведения работ с ртутью, ее соединениями и приборами с ртутным наполнением", утвержденных Минздравом. Однако в сельскохозяйственном производстве указанные приемы и рекомендации чаще всего не соблюдаются по трем причинам. Это - отсутствие оборудования и химических средств, специфика производства (его разбросанность на значительной территории) и нехватка кадров, причем, сейчас энергослужба сельскохозяйственного производства практически не осведомлена о методах и приемах демеркуризации РЛ.

Один из путей снижения опасности отравления парами ртути является применение амальгамных ламп типа ЛБА. Однако, в настоящее время такие лампы далеки от совершенства и серийно не выпускаются. Основной их недостаток - зависимость надежности зажигания РЛ от температуры окружающей среды. Кроме того, они имеют не всегда подходящий для условий сельскохозяйственного производства спектральный состав излучения.

Для сельскохозяйственных предприятий, особенно при развитии арендного и фермерского производства, необходимо найти возможность возврата использованных РЛ на базы, а через них - на заводизготовитель или в областные пункты утилизации.

Возврат ламп на завод-изготовитель представляется наиболее целесообразным, так как позволит повторно использовать материалы после их очистки и переработки.

Экономическую эффективность возврата и повторного использования РЛ в гривнях можно определить по выражению:

$$\mathcal{E} = C - C_a + C_v + C_m + C_l + C_c - \mathcal{Z}_{mp} - \mathcal{Z}_n, \quad (6.7)$$

где  $C$  - стоимость 1 усл. ед. РЛ;

$C_a$  - амортизационная стоимость 1 усл. ед. РЛ на момент возврата на завод-изготовитель;

$C_v$  - стоимость вольфрама, извлеченного из 1 усл. ед. РЛ;

$C_m$  - стоимость других металлов, извлеченных из 1 усл. ед. РЛ;

$C_l$  - стоимость люминофора, извлеченного из 1 усл. ед. РЛ;

$C_c$  - стоимость стекла 1 усл. ед. РЛ;

$\mathcal{Z}_{mp}$  - затраты на транспортировку в возвратной таре, усл. ед;

$Z_n$  - затраты на переработку полученных материалов в технически пригодный вид, *усл. ед.*

При этом в (6.5) не учтено состояние здоровья человека, животных и птицы, а также ряд побочных показателей окружающей среды, так или иначе связанных с ее загрязнением.

Возврат использованных РЛ через пункты обмена или непосредственно на завод-изготовитель ставит еще одну задачу - создание специальной тары для транспортировки ламп. Представляется, что такая тара должна быть возвратной и выполнена из прочного материала с применением добавок, смягчающих удары и вибрацию. Примером может служить демонстрационная упаковочная коробка для ламп, имеющая картонную деталь, составленную из нескольких отгибавшихся боковых и торцевых частей, создающих вместе с лампой жесткую конструкцию, защищающую ее колбу от физических повреждений при хранении или транспортировке (Патент США N 4773539).

На первом этапе разработки тары и упаковки следует использовать деревянные или пластмассовые поддоны, на которые устанавливаются ящики с упакованными в картонные коробки лампами. Поддоны с РЛ обтягивают пленкой и обвязывают лентой. В настоящее время освоен выпуск ящичных поддонов типа ТМ 131 с размерами 1200 x 800 мм, которые целесообразно применять для отработанных ламп. В качестве пленки возможно использование полиэтиленовой термоусадочной пленки типа ВП и рукав с фальцовкой. Применение этой пленки позволяет обеспечить необходимую жесткость блока коробок, защитить упаковку от попадания влаги. Механическое скрепление блока коробок с поддоном можно производить ручным переналаживанием лентонатяжным устройством путем обтяжки ленты толщиной 0,3...0,7 мм и шириной 13, 16, 18 и 20 мм.

На рис. 6.2 представлена предлагаемая схема движения отработанных РЛ, эксплуатируемых в сельскохозяйственном производстве Украины.

По нашему мнению, наиболее целесообразно создавать районные базы по приемке отработанных ламп. Причем возможно заключение и прямых договоров непосредственно с базами или заводом изготовителем на предмет сдачи определенного количества ламп в год. Следует отметить, что при этом хозяйства должны иметь возможность получения на этих пунктах новых ламп со скидкой, величина которой должна определяться заинтересованностью потребителя участвовать в таком обмене. На этом моменте надо сделать максимальный акцент, так как существующие на сегодня мнения, что потребитель повезет сдавать лампу и должен еще и оплатить ее утилизацию для СХП практически не жизнеспособна. Потребителю легче уничтожить лампу на месте, с вытекающими отсюда последствиями.

С районных баз пакетирования лампы должны собираться на областных базах или, при возможности и целесообразности, доставляться на завод изготовитель. В настоящее время в Украине основным заводом изготовителем является Полтавский завод газоразрядных ламп. При всестороннем анализе

всех основных показателей и статей затрат, может оказаться целесообразным производить уничтожение РЛ на областных базах, с последующей доставкой освобожденных материалов на завод.

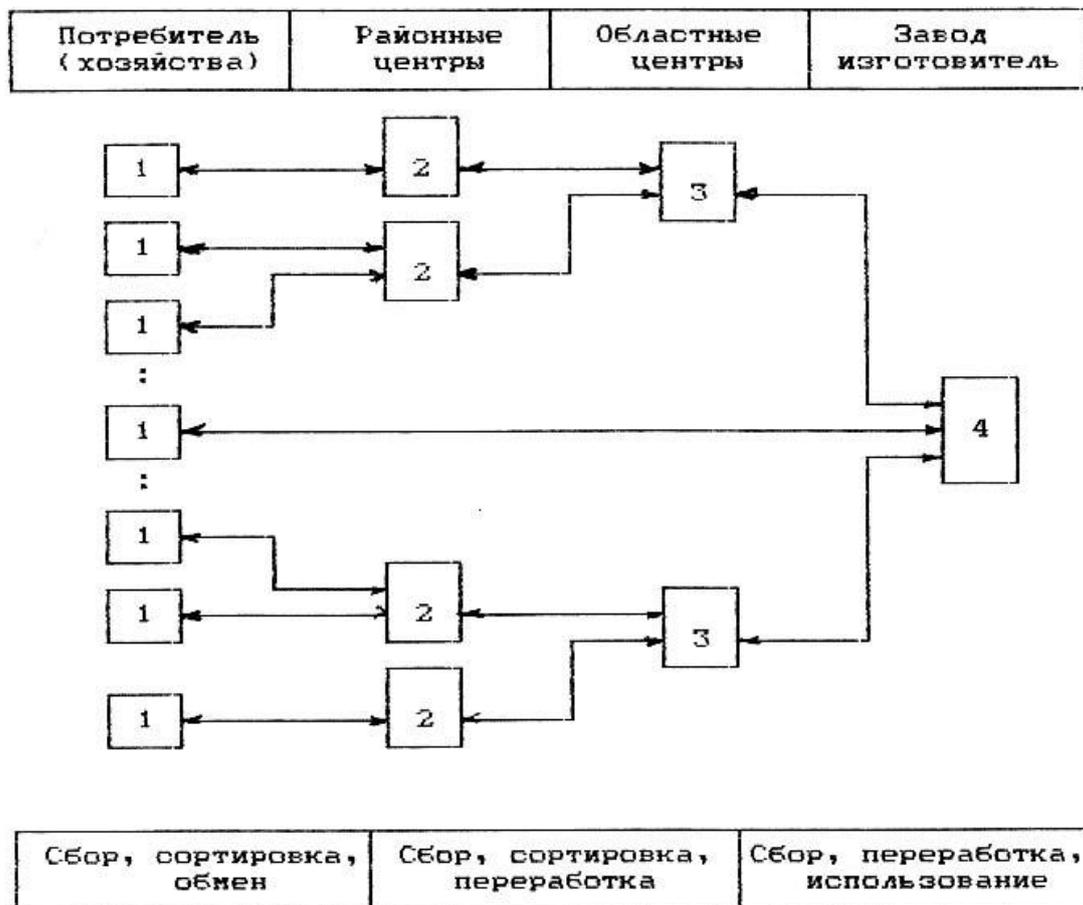


Рисунок 6.2 - Схема движения отработанных РЛ: 1 - хозяйства; 2 - районные центры сбора, сортировки, хранения и обмена РЛ; 3 - областные базы сбора, сортировки, хранения, переработки и обмена; 4 - завод-изготовитель

Предлагаемая схема утилизации ртутесодержащих РЛ может быть впоследствии заменена, если появится соответствующее экологическое предприятие, которое будет самостоятельно заниматься данным вопросом.

В любом случае, решение вопросов утилизации РЛ обеспечит чистоту окружающей среды, сельскохозяйственных продуктов, здоровья человека и животных.

### 6.3 Новые способы эксплуатации светотехнических установок сельскохозяйственного назначения

Наряду с решением основных вопросов применение оптического излучения в СТУ сельскохозяйственного назначения, автором разрабатывались новые способы эксплуатации РЛ.

Так в а.с. 1254597 предложен способ подключения люминесцентных ламп в схеме питания с подогревом электродов [145]. Целью нового способа является увеличение сроков службы электродов и снижение потерь мощности.

При реализации нового способа к одному из концов одного электрода ЛЛ подводится питающее напряжение. Концы другого электрода ЛЛ подключаются к цепи подогрева. В течение срока службы ЛЛ во время чисток ламп и светильников по соответствующему графику производят переключение лампы, меняя местами подвод питающего напряжения одного электрода с целью подогрева другого. Это достигается поворотом ЛЛ вокруг поперечной оси на  $180 \text{ град}$ . В результате происходит выравнивание во времени условий работы электродов, работающих в асимметричном режиме.

Предложенный способ эксплуатации ЛЛ позволяет увеличить срок службы лампы примерно на 10...15 %. Одновременно данное мероприятие позволяет уменьшить потери мощности на электродах ЛЛ примерно на  $4 \text{ Вт}$  на одну люминесцентную лампу, что на коровник с СТУ из 120 ламп типа ЛБ 40 составит  $4,8 \text{ кВт}$  в сутки при десятичасовом рабочем дне.

Дальнейшее совершенствование способов эксплуатации СТУ с РЛ нашло свое отражение в а.с. 1475555 и а.с. 1419492 [146, 147].

На рис. 6.3 приведена принципиальная электрическая схема устройства, в котором реализуется новый способ управления включением двух РЛВД, соединенных параллельно в облучательной установке.

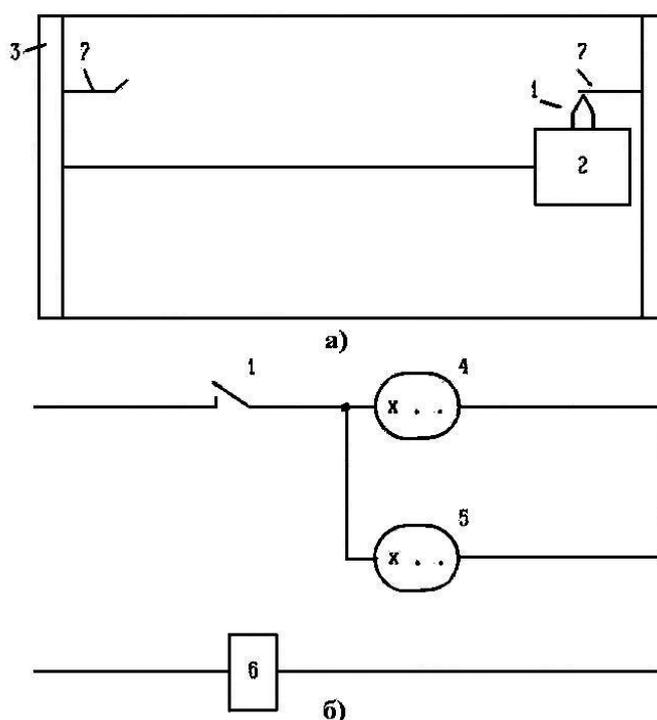


Рисунок 6.3 - Общий вид (а) и принципиальная электрическая схема (б) включения двух ламп, соединенных параллельно по а.с. 1475555:

- 1 - выключатель; 2 - облучатель с двумя параллельно включенными лампами 4, 5; 3 - стена; 6 - пускорегулирующий аппарат;  
7 - гибкая направляющая выключателя

На рис. 6.4 дан примерный график зависимости напряжения зажигания ламп от температуры колбы и одна из возможных циклограмм включения СТУ

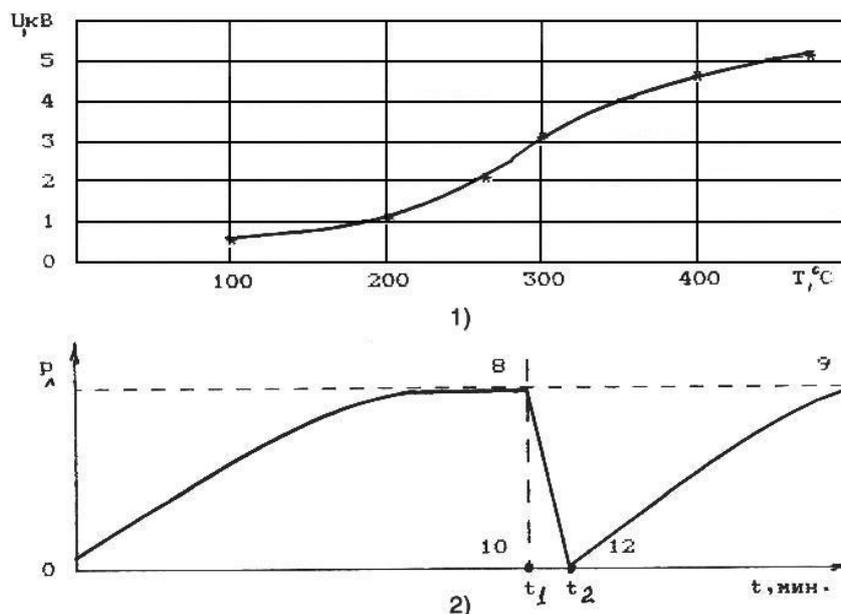


Рисунок 6.4 - Примерные графические зависимости напряжения  $U_z$  зажигания ламп от температуры колбы  $T$  (а) и циклограмма включения РЛ в новом устройстве (б) по а.с. 1475555: 8 - кривая разгорания лампы 4; 9 - кривая разгорания лампы 5; 10 - точка выключения схемы выключателем 1; 12 - точка включения схемы выключателем 1

Устройство содержит первичный выключатель 1, смонтированный в верхней части облучателя 2 по центру корпуса. К торцам стен 3 помещения прикреплены гибкие механические контакты 7. В облучателе установлены две РЛВД 4, например ДРТ - 400. Каждая лампа сориентирована на 1/2 часть помещения, лампы соединены параллельно между собой и последовательно ПРА 6 и через кольцевой выключатель, который в нормальном положении замкнут, подсоединены к питающей сети. Кроме того, устройство снабжено блоком управления (на схеме он не показан).

Устройства работает следующим образом.

При включении питающей сети облучатель устанавливается, например, в крайнем правом положении. Правый механический контакт поддерживает выключатель в разомкнутом состоянии, отключая от сети. В это время включается электродвигатель и облучатель начинает перемещаться по направляющей прямой. Движение облучателя приводит к освобождению выключателя 1 и его замыканию. Из двух ламп зажжется та, напряжение которой в данный момент времени окажется минимальным. Возникновение разряда в первой лампе надежно зашунтирует вторую лампу. Через 3...5 мин первая лампа переходит в стационарный режим горения и температура стенок ее колбы достигает 700...800°C. Первая лампа работает до тех пор, пока облучатель не достигнет противоположного торца здания, производя облучение животных, находящихся на 1/2 площади помещения. Затем облучатель входит в

соприкосновение со вторым левым гибким контактом, который отключает работающую лампу. В этот момент времени  $t1$  происходит реверсирование электродвигателя. Длительность этого процесса не должна быть меньше 0,1 с. Этот предел определяется длительностью процессов затухания разряда и невозможностью его повторного зажигания без дополнительных зажигающих устройств от сетевого напряжения. На рис. 6.3 (а) приведена одна из  $dy = a + bx + cx^2 + dx^3$  экспериментальных зависимостей между напряжением зажигания  $U3$  лампы и температурой стенок колбы лампы ( $T$ ). Из графика видно, что при температуре колбы РЛВД порядка 300°C напряжение зажигания РЛ близко к 3 кВ.

На рис. 6.3 (б) показана примерная циклограмма включения ламп в новой установке. Момент времени  $t1$  соответствует времени отключения одной из ламп, а время  $t2$  соответствует повторной подаче напряжения зажигания на лампы.

Зависимость изменения напряжения зажигания ( $U$ ) разрядной лампы высокого давления

$$dy = a + bx + cx^2 + dx^3. \quad (6.8)$$

Анализ экспериментальных данных, полученных на основании эксплуатации установок в коровниках, позволил следующим образом представить данную зависимость:

$$U_3 = 2,73 - 0,039T_k + 0,2 \cdot 10^{-2}T_k^2 - 2,27 \cdot k^{-3}T_k^3. \quad (6.9)$$

Новый способ включения РЛВД может быть реализован и в стационарных СТУ. В этом случае выключатель 1 устраивается один на группу ламп, при его включении зажигается одна из ламп, а его кратковременное отключение на время от 0,1 до 0,2 с приведет, при последующем замыкании, к зажиганию ламп, которые перед этим не работали.

Использование нового способа включения РЛВД по сравнению с лучшими образцами стандартных известных вариантов обеспечивает снижение, как минимум в два раза, количества балластных элементов при соответствующем уменьшении веса, габаритов и стоимости СТУ. При этом выравниваются сроки службы РЛ, что сокращает расходы на эксплуатацию СТУ и на количество запасных комплектующих элементов при соответствующем снижении трудозатрат на монтаж, эксплуатацию и хранение.

#### **6.4 Новые функции пускорегулирующих аппаратов в светотехнических приборах сельскохозяйственного назначения**

Широкое использование в технологических процессах животноводческих ферм газоразрядных ламп, включаемых в сеть только с пускорегулирующей аппаратурой, позволило значительно расширить функциональные возможности последней.

На рис. 6.5 приведен перечень основных (классических) и новых, дополнительных функций ПРА, установленных в ходе настоящей работы.

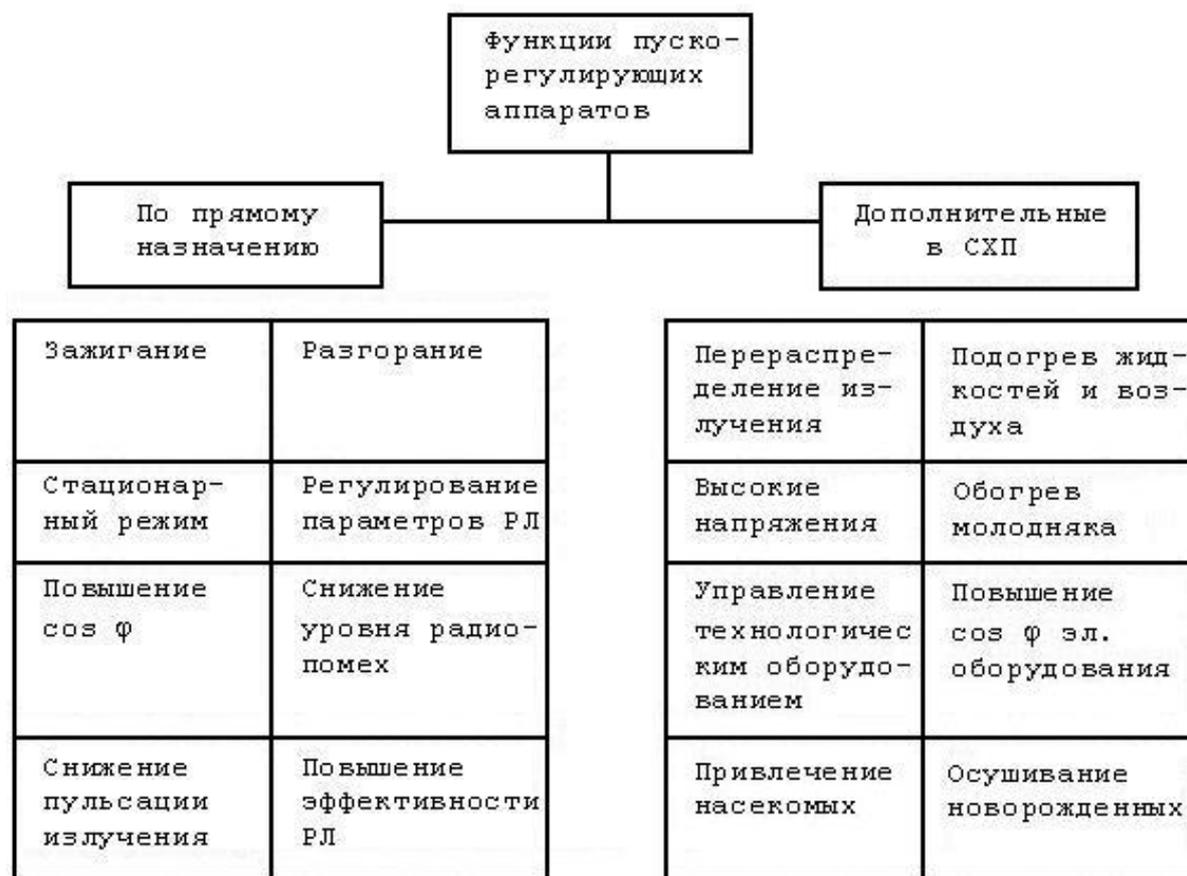


Рисунок 6.5 - Основные и новые (дополнительные) функции пускорегулирующих аппаратов для газоразрядных ламп, установленных в процессе работы

В условиях ферм КРС пускорегулирующая аппаратура может быть использована для перераспределения лучистого потока (а.с. 1734610), причем, чем выше мощность РЛ, тем эффективнее использование ПРА для этой цели.

В устройствах по а.с. 1746110 и 1685346 элементы ПРА используются в качестве приманки за счет тепла, выделяемого дросселем и для уничтожения летающих насекомых. Последняя функция оказывается возможной за счет переключения импульсного зажигающего устройства ПРА на высоковольтный блок уничтожения.

Элементы ПРА, совмещенные с технологическим оборудованием, могут обеспечивать точный график включения и выключения ламп, что гарантирует экономию электроэнергии и повышает трудовую дисциплину (а.с. 1720605 или а.с. 1469575).

Важным новшеством является установленная возможность использования элементов ПРА и СТУ в качестве устройства для компенсации  $\cos$  технологического оборудования, как это решено с а.с. 1292210.

Таким образом, в ходе выполнения настоящей работы были раскрыты новые дополнительные функции ПРА СТУ: перераспределение излучения, подогрев воздуха и жидкостей, получение высоких напряжений, привлечение

насекомых, компенсация реактивной мощности, обогрев и осушивание животных.

### **6.5 Экономическая эффективность использования новых технологий и технологических светотехнических средств на фермах и комплексах крупного рогатого скота**

Результаты экспериментальных исследований позволили получить аналитические зависимости показателей продуктивности молочных коров, на основе которых были рассчитаны, спроектированы и внедрены в опытно-промышленную эксплуатацию целый ряд светотехнических установок, эксплуатация которых позволила определить эффективность новых способов освещения животных и новых технических средств получения и перераспределения ОИ. Приложение Г.0

Опытно-промышленная эксплуатация новых способов получения для содержания КРС молочного направления, апробация новых технических решений схем включения РЛ, светотехнических приборов и установок позволило внести существенные изменения в отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных помещений, зданий и сооружений, проект которых представлен в МСХ Украины и вынесен на общественное обсуждение. Утверждение и реализация новых “Отраслевых норм” и новых средств освещения и облучения животных на молочных фермах и комплексах обеспечит существенный годовой экономический эффект у производителя молочной продукции при снижении энергозатрат на производство молока, улучшит условия труда человека при повышении экологической чистоты окружающей среды и самой продукции.

В процессе исследований установлено, что использование новых технологий и технических средств получения, преобразования и перераспределения ОИ на фермах и комплексах КРС обеспечивает:

- увеличение удоев молочных коров на 5...12 %;
- возрастание расходов кормов на 3,8...6 %;
- снижение расходов кормов из расчета на единицу конечной продукции на 4,5...6 %;
- уменьшение заболеваемости телят на 65 %;
- увеличение привесов телят на 7...8 %;
- сокращения длительности доения на 7...12 %;
- снижение потерь электроэнергии на 15...25 %;
- увеличение срока службы ламп на 15...20 %;
- снижение эксплуатационных расходов на 20...30 %.

Именно эти факторы и позволяют обеспечить эффективность внедрения новых разработок. Годовой экономический эффект от применения на фермах новых способов освещения и облучения животных и новых технических средств облучения в расчете на 1 голову в ценах 1990 г. составил от 9,11 до 154,82 грн. (табл. 6.3).

На современном этапе и при новых условиях хозяйствования в АПК разработанные и научно обоснованные технологии и технические средства использования ОИ, особенно в частном секторе, обеспечат качественное содержание молочных коров и на этой основе еще больше повысит эффективность молочно-скотоводства и обеспечит комфортность среды для персонала.

Таблица 6.3 - Эффективность внедрения новых технологий и технических средств на фермах КРС

№ п.п	Название технического решения	Кол. голов	Экономический эффект, грн	
			На 1 голову	Всего
1	Ферма привязного содержания молочных коров (за год)	120	10,72	1286,12
2	Способ содержания коров с освещенностью 150-300 лк и групповой схемой включения (за год)	300	154,81	46443,6
3	Способ беспривязного содержания молочных коров с ПАУ и групповой схемой (7 мес)	1150	51,45	59167,5
4	Способ беспривязного содержания молочных коров динамического освещения (за год)	400	154,82	61924,8
5	Телятник с УФ-облучением (за год)	200	9,11	1822,72
6	Телятник с повышенным уровнем освещения и УФ-облучения (за год)	200	24,18	4836,57

### 6.6 Заключение (выводы)

В области эксплуатации СТУ животноводческих помещений предложено:

- производить очистку ламп в светильниках и облучателях не реже одного раза в месяц;
- при проведении чисток люминесцентных ламп в светильниках целесообразно производить изменение места подвода сетевого напряжения путем разворота лампы на 180, что обеспечит снижение непроизводительных потерь мощности до 4 Вт на каждую лампу;
- использовать параллельное включение РЛВД, обеспечивающее уменьшение в 2 раза потребное количество дросселей, снижение веса и стоимости СТУ;
- организовать сбор и возврат отработанных ртутесодержащих ламп через специальные пункты сбора в многоразовой таре для поддержания

экологической чистоты среды обитания, продуктов питания и безопасность для человека;

- ускорить внедрение в СТУ сельскохозяйственных производственных помещений новых схем включения РЛ с групповыми ПРА, обеспечивающих значительное снижение потребления электроэнергии;

- внедрение новых технологий, технических средств и способов их эксплуатации, обеспечивающих рациональное использование ОИ на фермах и комплексах КРС и экономический эффект от 9,11 до 154,82 грн. на 1 голову.

## 7. РАЗРАБОТКА НОВЫХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И УСТАНОВОК

Основной целью настоящего раздела работы является разработка и совершенствование осветительно-облучательных приборов и установок для технологических процессов, протекающих в производственных помещениях животноводческих ферм и комплексов КРС с учетом рационального светораспределения, снижения веса, стоимости СТУ, повышения срока службы приборов и уменьшения эксплуатационных расходов при автоматизации процессов освещения и облучения.

### 7.1 Новые светотехнические приборы

Анализ номенклатуры светильников и облучательных приборов показал, что их ассортимент явно не соответствует требованиям технологических процессов животноводческих ферм и комплексов. Кроме того, рекомендуемые к использованию светильники с РЛ отличаются пониженной надежностью по отношению к световым приборам с ЛН.

С целью упрощения обслуживания и снижения эксплуатационных расходов был предложен блочный светильник по а.с. 1574977 [116].

На рис. 7.1 представлен общий вид нового светильника с люминесцентными лампами. Светильник состоит из двух основных частей - несущего корпуса с элементами ПРА и съемной планки с люминесцентными лампами. Съемная планка выполнена в виде панели, на которой размещены стартеродержатели со стартерами и патроны с лампами. Несущий корпус с ПРА имеет на торцах С-образные выступы. В свою очередь панель снабжена крючкообразными фиксаторами, которые несут на себе изолированные накладки с контактными элементами, образующими половину контактного разъема. Вторую половину образуют контактные элементы на отростках С-образных выступов.

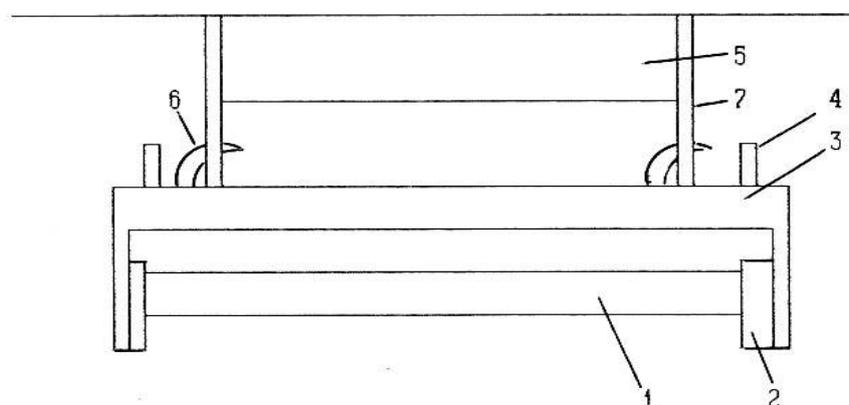


Рисунок 7.1 - Общий вид люминесцентного светильника по а. с. 1574977:

- 1 - лампа; 2 - патроны; 3 - планка; 4 - стартеры; 5 - корпус с ПРА;  
6 - фиксаторы; 7 - С-образные выступы

Монтаж светильников осуществляется следующим образом. Корпус с ПРА крепится непосредственно к потолку или тросу и присоединяется к групповой линии осветительной сети. Панель с лампами подвешивается к корпусу введением крючкообразных фиксаторов в С-образные выступы с зацеплением на отростках указанных фиксаторов.

В подвешенном состоянии, за счет веса панели с лампами, контакты корпуса с ПРА прижимаются. Для увеличения надежности соединения контактные группы могут подпружиниваться.

Блок с лампами в новом светильнике легко снимается: он может быть снят штангой с захватом одним оператором непосредственно с пола. Это позволило значительно упростить процесс обслуживания светильника, в частности, очистку и смену ламп. Эксплуатационные расходы при использовании нового светильника в СТУ сельскохозяйственных помещений обеспечило снижение времени на обслуживание одного светильника на 20...30 % в зависимости от сложности доступа.

Совершенствование разъемного светильника нашло свое отражение в техническом решении по а.с. 1583712 [117].

Отличительной особенностью усовершенствованного светильника является то, что корпус ПРА является одновременно и соединительным разъемом и монтажным элементом. Новое решение светильника позволяет наряду со снижением эксплуатационных расходов повысить безопасность работ по обслуживанию СТУ.

Задачи по снижению материалоемкости с упрощения конструкции светового прибора удается получить, передав функции отражателя дросселю, как это предложено в а. с. 1734610 [118].

Одной из проблем при зооветеринарном обслуживании животных является подача оптического излучения на нижнюю часть туловища, которая, как правило, оказывается экранирована собственным корпусом. В новом устройстве для облучения животных РЛ располагаются в плоскости разъема полуколец, имеющих вогнутую отражающую поверхность. Полукольца - отражатели установлены на шарнире с возможностью поворота друг относительно друга. Для облучения животного полукольца-отражатели разводятся в стороны, животные подводится под лампу, после чего кольца замыкаются и удерживаются в рабочем состоянии фиксаторами. В результате излучение ламп после многократных отражений от внутренней поверхности корпуса отражателя равномерно распределяется по охваченной поверхности туловища животного, как это и предусмотрено в техническом решении по а. с. 1428327 [119].

Применение данного устройства позволяет обеспечить экономию электроэнергии за счет снижения мощности излучателя на 30...40 %.

Значительный интерес у практиков вызвало комбинированное устройство для облучения животных по а. с. 1445658 [120].

Общий вид и принципиальная электрическая схема такого устройства представлены на рис. 7.2.

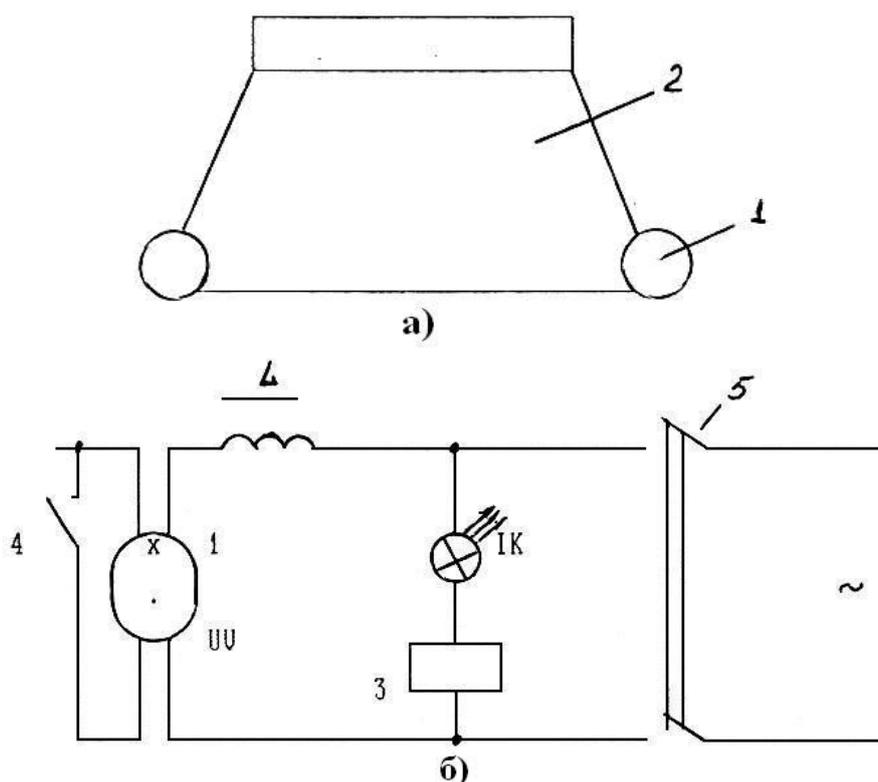


Рисунок 7.2 - Комбинированное устройство для облучения животных по а. с. 1445658: а) общий вид; б) - принципиальная электрическая схема; 1 - РЛ; 2 - ЛН; 3 - реле времени; 4 – замкнутые контакты РВ; 5 - выключатель

Устройство включает разрядную лампу, выполненную кольцеобразной с возможностью охвата колбы лампы накаливания, последовательно с которой включено реле времени. Размыкающий контакт этого реле времени включен параллельно РЛ, последовательно с ее электродами. Включение устройства осуществляется выключателем.

Комбинированный облучатель работает следующим образом.

При включении загорается лампа накаливания ЛН. Тепло, излучаемое ЛН, нагревает РЛ, подготавливая ее к надежному включению. Одновременно электроды РЛ прогреваются протекающим в них током. При этом тепловое реле оказывается включенным последовательно ЛН. Выдержка времени теплового реле выбирается с учетом достаточного и качественного нагрева электродов РЛ и ее надежного включения. В качестве термочувствительного элемента теплового реле рационально использовать материалы, обладающие обратной памятью формы. По истечению заданной выдержки времени РЛ зажигается после размыкания контакта теплового реле и облучатель включается полностью.

Следует отметить, что в данном решении тепловое реле выполняет функцию стартера, необходимость в котором, соответственно, отпадает. В качестве ЛН может быть использована инфракрасная лампа типа ИКЗК с внутренним зеркальным покрытием колбы. Аналогичное покрытие в виде полосы на внешней или внутренней поверхности может иметь и РЛ. Такое

покрытие, помимо отражения направленного вверх светового потока, также способствует улучшению условий зажигания РЛ.

Практикой использования ОИ на фермах и комплексах КРС установлено, что с повышением уровня видимого освещения эффективность действия ультрафиолетового излучения снижается [122]. В результате наблюдается непроизводительный расход электроэнергии при комбинированном облучении животных.

Для устранения данного недостатка в ходе выполнения настоящей работы был предложен комбинированный светильник - облучатель, защищенный а.с. 1319807 [121].

На рис. 7.3 представлена принципиальная блок-схема нового комбинированного облучателя.

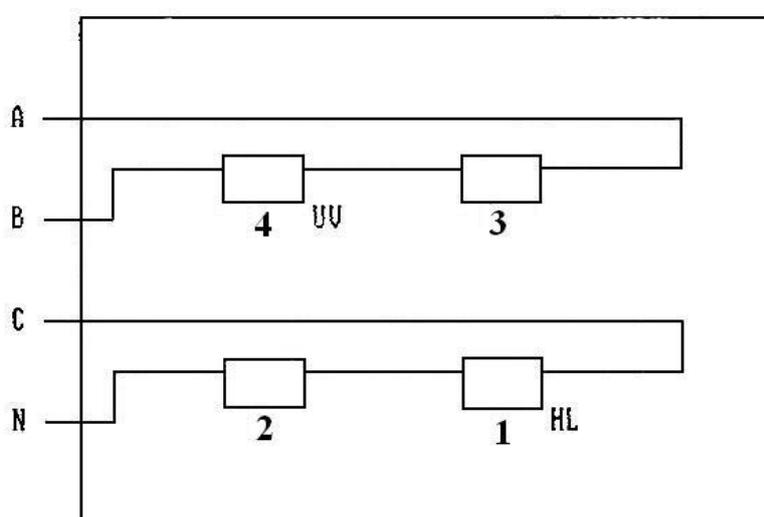


Рисунок 7.3 - Принципиальная блок-схема включения ламп в комбинированном светильнике – облучателе по а.с. 1319807: 1 - осветительная лампа; 2,3 - пускорегулирующие аппараты; 4 - ультрафиолетовая лампа

Облучатель содержит осветительную лампу, включенную через пускорегулирующий аппарат между клеммой одной из фаз системы питания и нулем. При этом ультрафиолетовая лампа через свой пускорегулирующий аппарат подключена между двумя другими фазами питающей сети, причем, обе лампы размещены в одном корпусе – отражателе комбинированного прибора.

Светотехнический прибор работает следующим образом.

После включения РЛ токи в цепях осветительной и облучательной ламп оказываются сдвинутыми по фазе друг относительно друга на угол  $90^{\circ}$ . В результате максимум ультрафиолетового излучения приходится на момент времени, когда осветительная лампа создает минимальный световой поток. При этом фазы токов, а соответственно и потоков ламп оказываются "жестко" связанными параметрами системы питания, обеспечивая снижения эффекта фотореактивации и повышая эффект облучения.

## 7.2 Приборы и устройства для повышения эффективности действия оптического излучения

В процессе выполнения технологических операций с использованием ОИ важным обстоятельством является обеспечение точного дозирования излучения. Сказанное обусловлено тем, что невыполнение доз сопровождается неэффективным использованием электроэнергии, а переоблучение опасно для животных и человека. Поэтому определенная часть настоящей работы была направлена на создание специального светотехнического оборудования и установок с высокой точностью дозирования ОИ.

Точность выполнения доз зависит от количественных и качественных показателей ОИ и времени его подачи.

Наиболее сложно оказывается обеспечить точное дозирование УФ излучения в мобильных облучательных установках, где используются лампы высокого давления типа ДРТ. Эта сложность обусловлена малой длительностью сеанса облучения (5...20 мин) при наличии переходного процесса разгорания РЛВД в пределах от 3 до 15 мин.

Устранение влияния переходного процесса разгорания РЛВД на формирование дозы облучения достигается при использовании технического решения по а.с. 993990 [123].

На рис. 7.4 представлена блок-схема такого устройства.

Устройство включает соединенные параллельно блок зажигания и облучатель, подключенные через блок балластных элементов к клеммам сети питающего напряжения. К этим же клеммам подсоединен двигатель электропривода и тиристор. Кроме того, устройство снабжено датчиком нагрева, который входами подключен параллельно РЛВД, а выходами соединен с управляющим электродом тиристора.

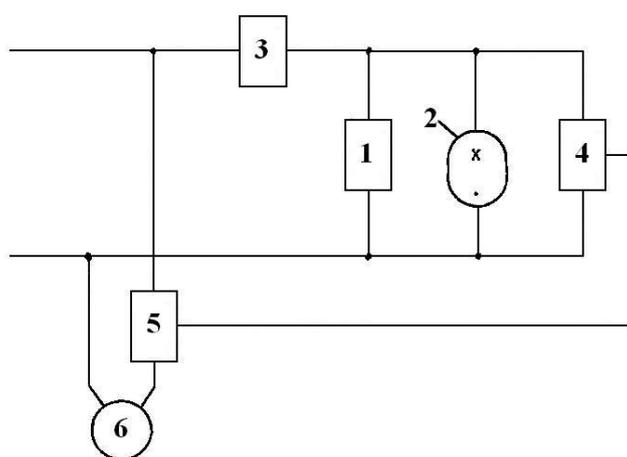


Рисунок 7.4 - Принципиальная блок-схема устройства для облучения животных по а.с. 993990: 1 - блок зажигания; 2 - РЛВД; 3 – блок балластных элементов; 4 - датчик нагрева; 5 - тиристор; 6 - электропривод

Устройство работает следующим образом.

При подаче напряжения питания блок зажигания совместно с блоком балластных элементов обеспечивает пробой и зажигание РЛВД. В момент зажигания лампы напряжение на облучателе составляет весьма малую величину порядка 30 В. Соответственно, такое же напряжение устанавливается и на датчике температуры. При этом тиристор в цепи электропривода закрыт и электродвигатель отключен от системы питания. По мере разгорания РЛВД напряжение на облучателе повышается и достигает номинального значения, например, 135 В, что соответствует вхождению лампы в номинальный режим работы. Соответственно и лучистый поток лампы достигает своего номинального значения. В результате датчик нагрева облучателя подает сигнал на управляющий электрод тиристора, который открывается и напряжение питания поступает на электродвигатель СТУ, который обеспечивает передвижение облучателя. В результате из процесса облучения удается полностью исключить переходный режим разгорания лампы и повысить точность дозирования.

В устройстве по а.с. 1311676 повышение эффективности облучения достигается введением дополнительных контролирующих блоков [124].

На рис. 7.5 представлена принципиальная блок-схема такого устройства.

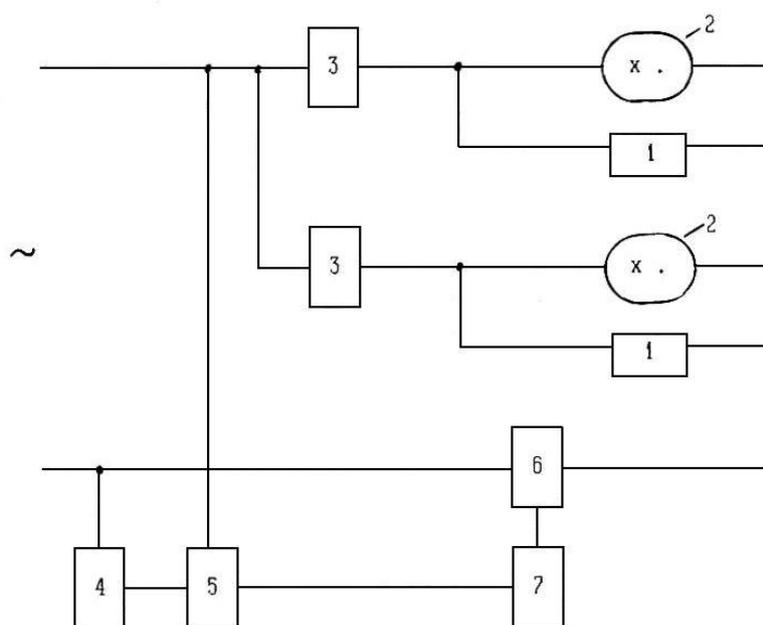


Рисунок 7.5 - Принципиальная электрическая блок-схема устройства для облучения животных по а.с. 1311676: 1 - блок зажигания; 2 – РЛВД; 3 - блок балластных элементов; 4 - электродвигатель; 5 - тиристорный блок управления; 6 - преобразователь нелинейности тока; 7 – измеритель нелинейных искажений тока

Устройство содержит блок зажигания РЛВД, блок балластных элементов, электродвигатель с тиристорным блоком управления, преобразователь нелинейности тока и измеритель нелинейных искажений. В качестве преобразователя нелинейности тока может быть использован низкоомный резистор. Блоки зажигания соединены параллельно РЛВД и подключены через

блоки балластных элементов к питающей сети. Преобразователь нелинейности тока включен в неразветвленную часть цепи. Вход указанного преобразователя через блок измерителя нелинейных искажений тока соединен с управляющим электродом тиристорного блока управления.

Устройство работает следующим образом.

При подаче питающего напряжения блоки зажигания совместно с блоками балластных элементов обеспечивают пробой и зажигание РЛВД. Как отмечалось выше, данные лампы имеют переходный режим разгорания, длительность которого может достигать 15 мин. В течение этого периода происходит изменение величины искажения тока разряда ламп, которое регистрируется преобразователем нелинейности. Выход преобразователя нелинейности тока РЛ соединен со входом измерителя нелинейных искажений, который с заданной амплитудой соответствующей гармоники тока, например, третьей, вырабатывает сигнал для открытия тиристорного блока управления. В результате все облучатели СТУ начинают перемещаться одновременно по окончанию переходного процесса разгорания. Если одна из ламп СТУ не включается, то движение облучателей задержится до устранения неисправностей.

Таким образом, в данном устройстве удастся не только устранить негативное влияние переходного периода разгорания ламп, но и предусмотреть их обязательное включение, что гарантирует получение заданной дозы облучения животными в процессе сеанса.

Важной проблемой в помещениях для содержания животных является загрязнение поверхности ламп и отражателей пылью и грязью. Естественное загрязнение приводит к резкому спаду потока излучения и уменьшению дозы облучения. Компенсировать загрязнение ламп и отражателей увеличением длительности работы СТУ нецелесообразно в связи с увеличением расхода электроэнергии. Устранить этот недостаток возможно при использовании технического решения по а.с. 1119640 [125].

На рис. 7.6 представлен фрагмент нового устройства для облучения животных. Устройство содержит корпус - отражатель, гибкие направляющие, на которых шарнирно закреплены экраны. На концах гибких направляющих установлены кронштейны с подпружиненными пластинами.

Устройство работает следующим образом.

В начальный момент времени корпуса - отражатели устанавливаются в крайнем положении на гибкой направляющей так, чтобы пластины обеспечивали надежное перекрытие выходного отверстия облучателя. По команде от блока управления (на рис. не показан) лампы в облучателях зажигаются. Разгорание ламп происходит при закрытых выходных отверстиях и не оказывает отрицательного влияния на животных. По достижению ламп номинального режима включается приводная станция и облучатели начинают перемещаться, корпус облучателя сходит с пластин и лампа открывается. По окончанию сеанса облучения облучатель вновь перекрывается пластиной или экраном (в зависимости, где заканчивается сеанс облучения) и оказывается защищенным от воздействия среды помещения.

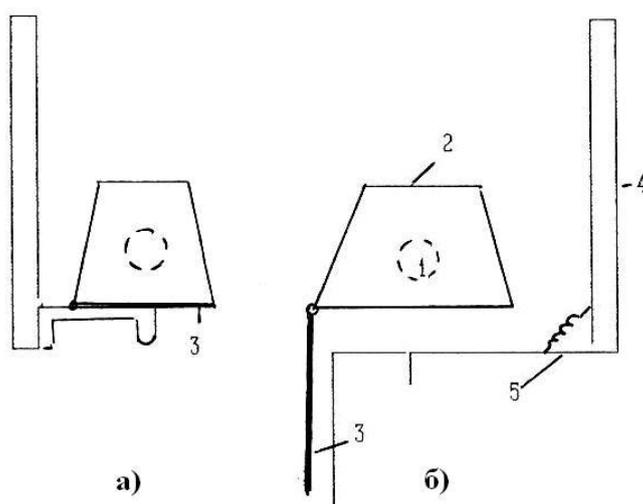


Рисунок 7.6 - Фрагмент устройства для облучения животных по а.с. 1119640:  
 1 - РЛВД; 2 - корпус-отражатель; 3 - экран; 4 - кронштейн;  
 5 - гибкие направляющие; а) левое положение облучателя;  
 б) правое положение облучателя

Применение данного устройства позволило в 2 раза сократить количество чисток РЛВД и облучателей при соответствующей экономии электроэнергии.

При размещении молодняка животных в клетках предложено использовать облучатель по а.с. 1113059 [126].

На рис. 7.7 представлен общий вид данного устройства.

Отличительной особенностью устройства является наличие телескопической штанги, закрепленной одним концом к ограждению клетки, а другим - к облучателю. В результате при движении облучателя по тросу толкатель обеспечивает его горизонтальное перемещение. За счет шарнирных соединений и телескопической штанги по мере движения облучатель разворачивается, направляя осевую силу излучения лампы на животное. В результате животное находится под действием максимального излучения, что обеспечивает надежное дозирование и его контроль.

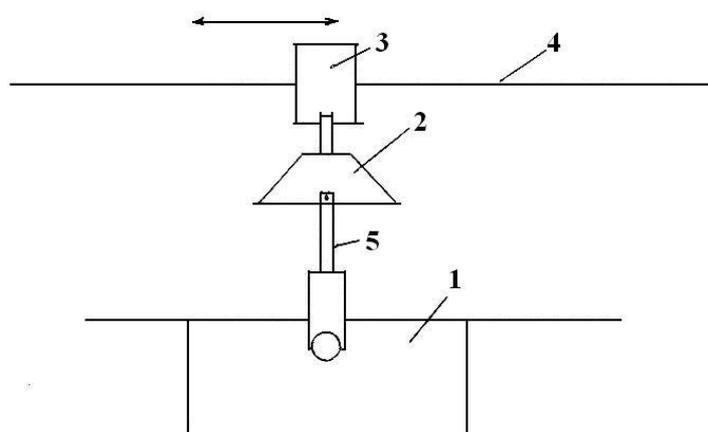


Рисунок 7.7 - Фрагмент устройства для облучения животных с поворотным облучателем по а.с. 1113059: 1 - стойло; 2 - облучатель; 3 - толкатель; 4 - трос;  
 5 – телескопическая штанга

Аналогичный эффект удается получить при использовании технического решения по а.с. 1351551 [127] при применении системы автоматического управления по а.с. 1360673 [128].

Если для облучения животных используется комбинированное излучение, то достаточно точная дозировка достигается применением устройства по а.с. 153154 [129].

Особенностью данного технического решения является то, что за счет введения в устройство дополнительного рычага и специальной подвески удается производить автоматическое изменение высоты установки инфракрасных ламп по отношению к уровню пола.

На рис. 7.8 представлены экспериментальные зависимости спада потоков излучения ламп и высоты подвеса во времени. Из графиков следует, что по мере загрязнения ламп спад потока излучения может достигать 9...12 %. При этом высота подвеса облучателя (ламп) изменяется на 4 %. Следствием изменения высоты установки ламп, высоты подвеса облучателя и высоты животного по мере роста, облученность на спине животного изменяется на 1...3 % от установленного значения.

### **7.3 Светотехнические приборы для уничтожения летающих насекомых**

Качественные и количественные показатели технологических процессов получения конечного продукта на фермах КРС существенным образом зависят от санитарных мероприятий, одним из которых является уничтожение летающих насекомых.

В помещениях для содержания животных КРС наиболее распространены следующие летающие насекомые: комнатная муха, осенняя жигалка и малая комнатная муха. При массовом налете особенно жигалок, животные снижают прирост массы тела до 300 г, удои – до 20 % в сутки и жирность молока - до 0,1 %. Кроме того мухи являются переносчиками многих инфекционных заболеваний и инвазионных болезней животных. Паразитирование личинок вольфартовой мухи, овечьих кровососок приводит к истощению животных и нередко к гибели телят. При этом следует учесть, что мухи снижают санитарное качество мяса, молока, портят силос и белковые корма [130].

Для уничтожения летающих насекомых внутри помещений ферм в процессе выполнения настоящей работы, разработан ряд экологически чистых оригинальных технических устройств.

При разработке новых устройств для уничтожения летающих насекомых автор ставил целью максимально расширить функции стандартных ламп, ПРА, светильников и использовать их для решения поставленной задачи.

Так в устройстве для уничтожения летающих насекомых по а.с. 1746110 практически все элементы стандартные [131].

На рис. 7.9 представлен общий вид нового устройства для уничтожения летающих насекомых, особенностью которого является наличие дополнительного прозрачного стакана, который закрепляется на крышке корпуса ПРА, причем внутри такой стакан выполняется в виде лабиринта.

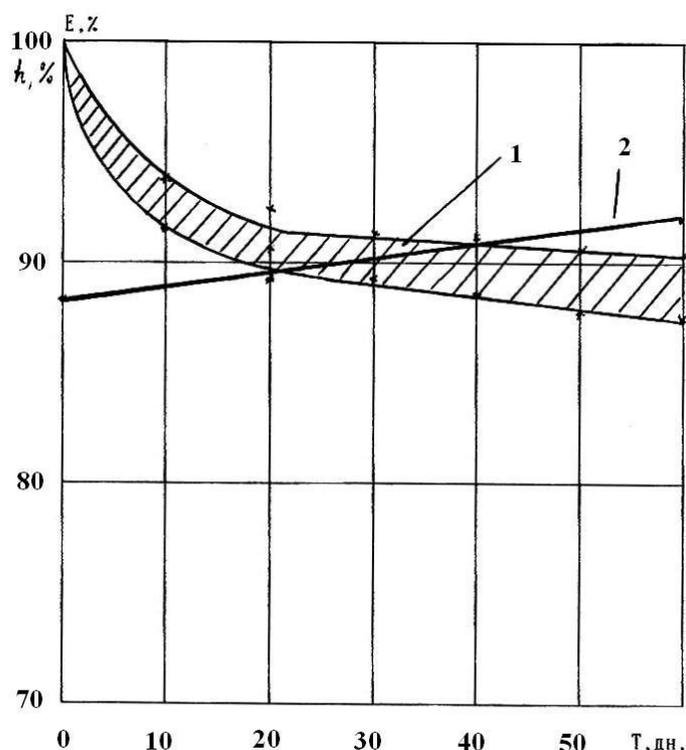


Рисунок 7.8 - Зависимости изменения облученности и высоты подвеса лампы:  
 1 - область снижения облученности от загрязнения;  
 2 - изменение высоты подвеса лампы в облучателе

При эксплуатации нового устройства в качестве светильника, он включается по обычной схеме и лампа зажигается. Через дроссель ПРА протекает рабочий ток лампы и она разогревается, обеспечивая увеличение температуры в полости корпуса. Эта температура должна лежать в пределах 5...15°C выше температуры окружающей среды. Излучение лампы служит дальним привлечением летающих насекомых. При близком налете к светильнику или посадке на его корпус данный фактор - излучение РЛ - перемещается на второй план, его вытесняет тепло, исходящее от ПРА. Съёмный стакан размещается под дросселем в центре корпуса, который выполнен в виде лабиринтных каналов и сообщается с полостью стакана.

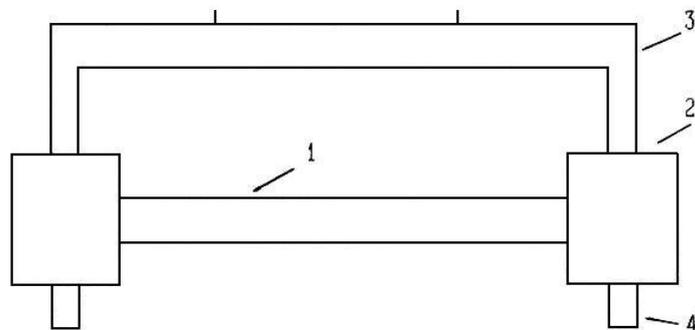


Рисунок 7.9- Устройство для уничтожения летающих насекомых по а.с. 1746110: 1 - газоразрядная лампа - аттрактант; 2 – корпус блока ПРА; 3 - соединительная панель; 4 - стакан-лабиринт

Насекомые, привлекаемые теплом, направляются по лабиринту к стакану. Усиление эффекта привлечения можно достичь, разместив в стакане соответствующую ароматизированную приманку.

Для предотвращения обратного движения насекомых из стакана в лабиринтные каналы, стакан выполняется прозрачным, т.е. при попадании в стакан излучение РЛ служит дополнительным раздражителем и вносит дезорганизующее влияние. Таким образом, попав с наружной стороны поверхности корпуса ПРА по лабиринтным каналам в полость съемного прозрачного стакана, летающие насекомые остаются там до наступления летального исхода. При заполнении стакана его визуальная прозрачность позволяет произвести своевременную чистку и восстановление "работоспособности" - выполнение функции по уничтожению мух. Одновременно целесообразно производить и очистку ламп.

Повышение эффективности уничтожения мух (при высокой надежности работы) достигается при использовании светоловушки для уничтожения летающих насекомых достигается в техническом решении по а.с. 1685346 [132]. Такие устройства целесообразно использовать при массовом налете мух.

На рис. 7.10 показан общий вид такого устройства.

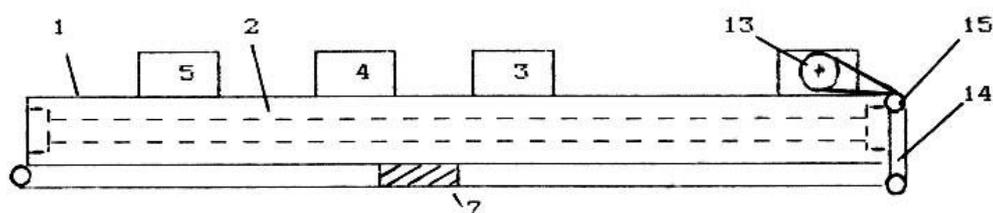


Рисунок 7.10 - Общий вид светоловушки по а.с. 1685346: 1 - корпус; 2 – разрядная лампа; 3 - ПРА; 4 - высоковольтный трансформатор; 5 - ЛН; 7 - планка; 13 - шкив; 14 - трос; 15 - блоки

На рис. 7.11 дана конструкция устройства параллельного перемещения планки-щетki.

На рис. 7.12 показана принципиальная электрическая блок-схема светоловушки с реверсированием электродвигателя.

На рис. 7.13 приведена принципиальная электрическая схема светоловушки для насекомых.

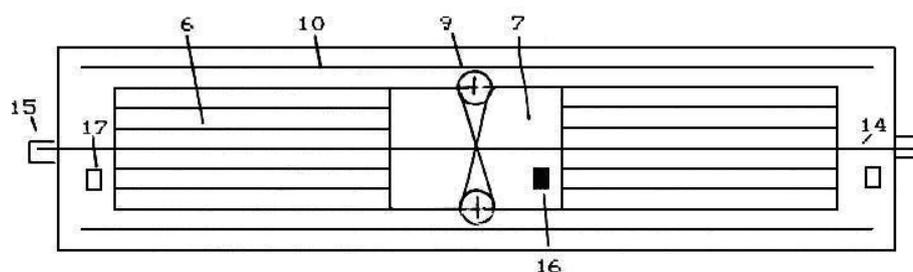


Рисунок 7.11 - Конструкция устройства параллельного перемещения планки-щетki по а.с.1685346: 6 - электроды; 7 - планка; 9 - шкивы; 10 - натяжной трос; 14 - петля троса; 15 - блоки; 16 - магнит; 17 - герконовый контакт

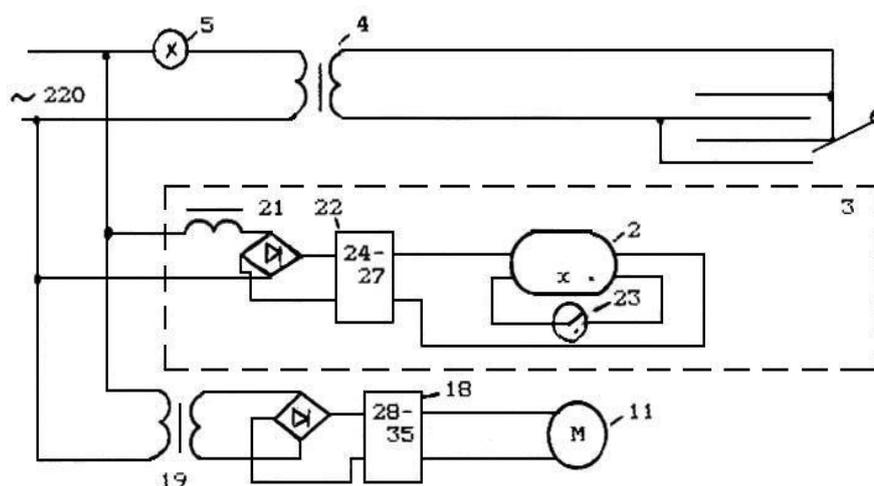


Рисунок 7.12 - Принципиальная электрическая блок-схема светоловушки с реверсированием электродвигателя по а.с. 1685346: 11 - электродвигатель; 18 - схема управления электродвигателем; 21 - дроссель; 22 - выпрямитель

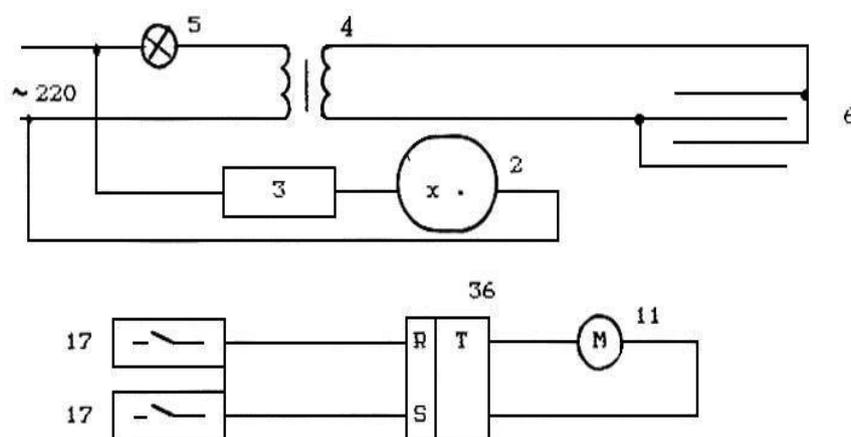


Рисунок 7.13 - Принципиальная электрическая схема светоловушки для насекомых по а.с. 1685346: 36 - RS-триггер

Светоловушка для уничтожения насекомых содержит корпус, РЛ, пускорегулирующую аппаратуру, высоковольтный трансформатор, первичная обмотка которого включена последовательно с РЛ и ЛН, электроды электросетки, расстояние между которыми устанавливаются в пределах от 5 до 7 мм. Оптимальным расстоянием является 6 мм, если устройство предназначено для уничтожения мух. Указанные электроды электросетки соединены между собой и с выводами высоковольтной обмотки ВТ (высоковольтного трансформатора), так, что соседние электроды подключены к разным выводам высоковольтной обмотки трансформатора. На электродах сетки устанавливается разборная диэлектрическая планка-щеточка, состоящая из двух половинок с выемками, расположенными с шагом, равным шагу расположения электродов электросетки. Половинки планки-щеточки соединены подпружиненными винтами, при помощи которых планка соединяется с механизмом параллельного перемещения планки-щеточки. Этот механизм

состоит из двух одноручьевых шкивов, установленных на винтах и двух натяжных тросиков, пропущенных друг другу навстречу через шкивы и закрепленных концами на торцах корпуса светоловушки. На этом же корпусе расположен реверсивный электродвигатель с редуктором привода перемещения планки - щетки.

На планке-щетке укреплен постоянный магнит, а на боковых поверхностях корпуса установлено по одному герконовому контакту, конечных выключателей, входящих в состав схемы управления реверсным двигателем, причем указанная схема соединена с вторичной обмоткой понижающего трансформатора через первый выпрямитель.

ПРА состоит из балластного дросселя, второго выпрямителя, зажигающего устройства и группы контактов реле. Второй выпрямитель через балластный дроссель подключен параллельно первичной обмотке понижающего трансформатора и соединен последовательно с лампой накаливания и первичной обмоткой высоковольтного трансформатора.

Газоразрядная лампа соединена с зажигающим устройством и подключена ко второму выпрямителю через замыкающие контакты реле схемы управления. Следует отметить, что схема управления может быть выполнена на бесконтактных элементах и включить RS-триггер, сопротивление и транзисторы.

Схема содержит для выпрямителя. Первый выпрямитель введен в схему управления для питания реверсивного электродвигателя постоянного тока, выбранного исходя из преимуществ его механических характеристик по отношению к характеристикам двигателя переменного тока.

Второй выпрямитель введен в схему управления для устранения пульсации светового потока РЛ, возникающей при питании лампы от сети переменного тока частотой  $50 \text{ Гц}$  и отпугивающих от ловушки насекомых. Это решение не является единственно возможным. При пользовании в схеме управления полупроводниковой высокочастотной пускорегулирующей аппаратуры, работающей на частоте  $10...30 \text{ кГц}$ , частота пульсаций светового потока находится вне диапазона пульсаций, различаемого насекомыми (для мухи, например, до  $265 \text{ Гц}$ ). При этом учитывалось, что применение полупроводниковой ПРА приведет к существенному удорожанию устройства и снижению надежности его работы.

Использование постоянного тока для питания РЛ потребовало введения в схему управления дополнительных элементов, обеспечивающих устранение явления катафареза, заключающегося в перемещении паров ртути к катоду и приводящее к затемнению части лампы. Периодическое изменение направления тока, обеспечиваемое дополнительными элементами оказалось эффективным средством борьбы с этим давлением.

Устройство работает следующим образом.

При подаче напряжения питания лампа РЛ зажигается и ее излучение активизирует налет мух на светоловушку. Мухи, осуществляя посадку на электросетку, уничтожаются высоковольтным напряжением. При этом вдоль электросетки перемещается планка-щетка, очищая электроды от погибших

насекомых. Лампа накаливания является индикатором перегрузки высоковольтного трансформатора при массовом налете насекомых и ограничивает ток его первичной обмотки в допустимых пределах в случае короткого замыкания.

Это происходит следующим образом.

При отсутствии насекомых между электродами сетки через ЛН и первичную обмотку высоковольтного трансформатора протекает ток холостого хода. Напряжение источника питания распределяется на этих элементах пропорционально величинам активного сопротивления нити накала ЛН и модуля полного сопротивления первичной обмотки высоковольтного трансформатора (ВТ).

При попадании насекомого между электродами сетки происходит замыкание вторичной обмотки ВТ, резко возрастает ток вторичной обмотки, и, соответственно, первичной, потребляемого от источника питания. Однако, при увеличении потребляемого тока возрастает и падение напряжения на ЛН. При этом увеличивается температура нити накала и ЛН светится ярче. Происходит перераспределение напряжения между ЛН и первичной обмотки ВТ. Увеличение температуры нити накала ЛН сопровождается уменьшением его сопротивления, причем, это уменьшение значительно меньше, чем уменьшение входного сопротивления ВТ в режиме короткого замыкания. Перераспределение напряжения приводит к тому, что к первичной обмотки ВТ прикладывается меньшее напряжение и, соответственно, уменьшается ток вторичной обмотки. Устанавливается динамическое равновесие. Путем подбора соотношения между параметрами лампы и ВТ можно ограничить потребляемую мощность и исключить возгорание трансформатора в режиме "металлического" короткого замыкания.

В процессе эксплуатации светоловушки все погибшие насекомые и их остатки после очистки сетки падают вниз, где должны быть собраны в любое из известных устройств для сбора погибших насекомых.

Ситуация, когда погибшие мухи остаются на планке-щетке, исключена благодаря выбору формы щетки. Она может быть выполнена из любого диэлектрика, обладающего достаточно малыми потерями. Наилучшие результаты были получены при использовании щетки из сеталовой керамики.

Таким образом, рассмотренное выше техническое решение светоловушки позволяет обеспечить надежное уничтожение летающих насекомых даже при массовых налетах.

Дальнейшее совершенствование светоловушек проводилось на установленной автором возможности использования элементов ПРА для РЛ в качестве элементов блока уничтожения насекомых. Такое устройство нашло свое воплощение в техническом решении по а.с. 1709970 [133].

На рис. 7.14 представлена принципиальная блок-схема устройства для уничтожения мух.

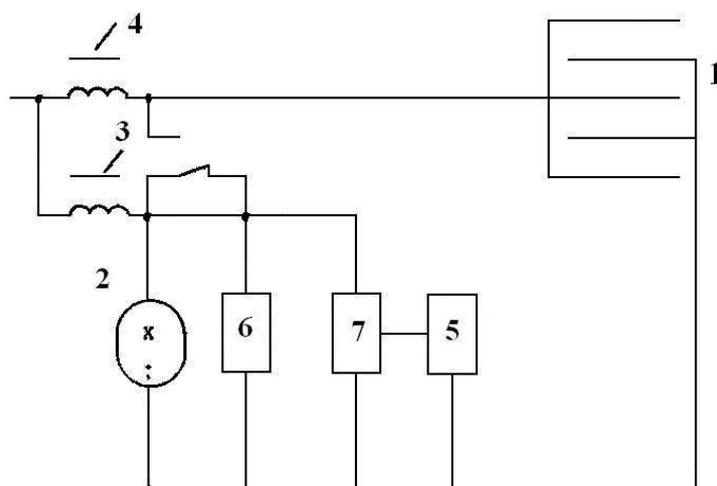


Рисунок 7.14 - Принципиальная блок-схема устройства для уничтожения летающих насекомых по а.с. 1709970: 1 - электросетка; 2 - РЛВД; 3, 4 - балластный дроссель; 5 - высоковольтное реле; 6 - генератор высоковольтных импульсов; 7 - датчик режима работы лампы

Устройство состоит из корпуса с электросеткой, внутри которого расположены РЛ, подключенные последовательно к балластным элементам и к клемме сети питающего напряжения. К этой же клемме подключен высокочастотный дроссель, соединенный с нормально разомкнутым контактом высоковольтного реле и электродами электросетки, причем электроды электросетки соединены таким образом, что половина соединена с нормально разомкнутым контактом реле, а вторая половина - с нулем системы питания. Нормально-замкнутый контакт высоковольтного реле (ВР) подключен к точке соединения РЛ и балласта, а переключающий контакт соединен с генератором высоковольтных импульсов. Обмотка ВР соединена с выходом датчика режима работы РЛ.

Устройство работает следующим образом.

В начальный момент времени, после включения устройства в сеть, РЛ еще не вышла на рабочий режим и ВР отключено, так как датчик режима работы лампы еще не сработал. К высоковольтному генератору (ВГ) через нормально замкнутый контакт прикладывается практически все питающее напряжение и он начинает вырабатывать импульсы, которые подаются на электрод РЛ, соединенный с балластом. Высоковольтные импульсы пробивают разрядный промежуток РЛ, и начинается процесс ее разгорания. Как только РЛ выходит на рабочий режим, срабатывает датчик режима работы лампы и включает ВР. К этому уже нет необходимости подавать на РЛ высоковольтные импульсы. ВР срабатывает и переключает генератор на электросетку. Для переключения генератора высоковольтных импульсов может быть использован любой из известных датчиков. После зажигания РЛ напряжение на нем падает примерно до 30...40 В и затем увеличивается по мере разгорания до 135 В и, соответственно, падает напряжение на балласте. Поэтому в зависимости от типа датчика режима лампы он может быть включен либо параллельно дросселю, либо параллельно лампе. Возможен вариант включения его

последовательно в цепь РЛ - дроссель, учитывая, что рабочий ток лампы в два раза меньше пускового тока.

После срабатывания ВР напряжение питания подается на генератор через высокочастотный дроссель. При отсутствии насекомых электросетка практически представляет собой разрыв сети, и к генератору прикладывается практически все питающее напряжение.

При попадании насекомого между электродами сетки цепь замыкается и к насекомому прикладываются высоковольтные импульсы. Насекомые уничтожаются. Если по каким-либо причинам насекомое приваривается к сетке, то образуется токопроводящий мостик. При этом возрастает нагрузка на генератор, что приводит к уменьшению амплитуды импульсов или вообще к срыву генерации. Но в этом случае к электродам сетки оказывается приложенное напряжение сети, а так как внутреннее сопротивление источника питания ничтожно мало, то ток цепи ограничивается только сопротивлением проводящего моста, что приводит к сгоранию насекомого. Как только проводящий мостик разрушается, нагрузка уменьшается, и генератор высоковольтных импульсов запускается. В качестве генератора высоковольтных импульсов может быть использован практически любой из известных, вырабатывающих достаточно мощные короткие импульсы со схемой защит от перегрузок, например, блокинг-генераторы.

В новом устройстве оказывается возможным в качестве высоковольтного генератора использовать импульсные зажигающие устройства (ИЗИ), для ламп высокого давления, представляющие собой контур ударного возбуждения, подключаемый параллельно электродам сетки. Преимуществом такого схемного решения является то, что при возникновении токопроводящей перемычки в начале амплитуда импульсов уменьшается, а при дальнейшем уменьшении сопротивления нагрузки, когда напряжение на сетке становится меньше порога срабатывания защиты, импульсы срываются. Ток короткого замыкания в этом случае не протекает через генератор высоковольтных импульсов в отличие от схемы зажигания с последовательным поджигом.

Таким образом, при использовании нового технического решения удалось расширить функции светового прибора, который одновременно с освещением может быть использован для уничтожения летающих насекомых. Одновременно расширились и функции ПРА, которая в этом случае используется для получения высоковольтных импульсов для уничтожения мух.

В общем случае применение новых технических решений для уничтожения летающих насекомых позволяет решать вопросы повышения санитарного состояния ферм, способствует получению дополнительного продукта при снижении капитальных и эксплуатационных затрат.

#### **7.4 Светотехническое оборудование и установки для доильных залов**

Одним из заключительных этапов получения молока на молочных фермах является процесс доения животных. В настоящем разделе работы рассмотрены некоторые конструкции светотехнических приборов, предложенных к эксплуатации в молочных залах и блоках.

При подходе животного к месту доения и при использовании автоматизированной системы управления этим процессом оказывается необходимым произвести его опознание, чтобы в последствии произвести учет полученного удоя и зафиксировать показатели здоровья.

Предложено техническое решение по а.с. 1501995 устройство для автоматического опознания животных [137].

На рис. 7.15 представлен общий вид устройства. На рис. 7.16 показан фрагмент блока опознания животного.

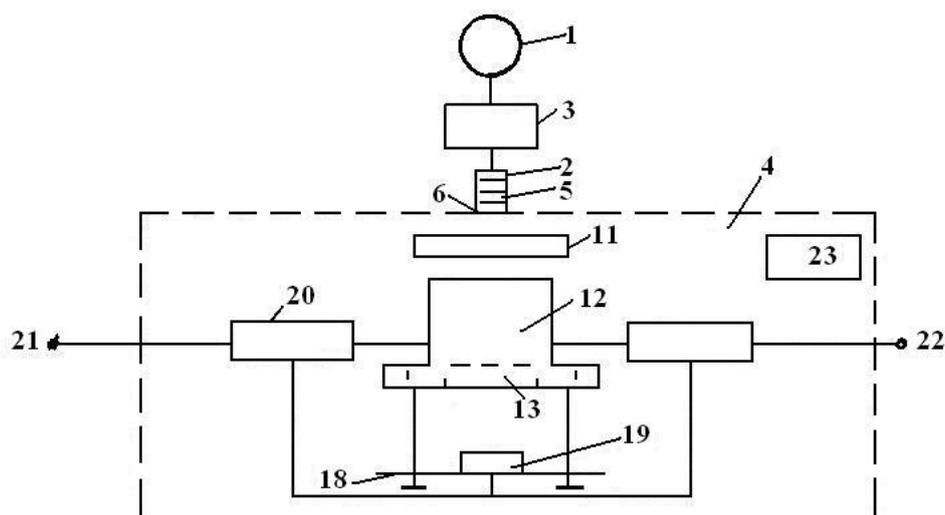


Рисунок 7.15 - Общий вид устройства для опознания животных по а.с. 1501995:

- 1 - цепь-ошейник; 2 - блок кодирования сигналов; 3 - блок механического автозахвата; 4 - блок-дешифратор; 5 - чередующиеся магнитные и немагнитные элементы; 6 - гайка в виде постоянного магнита; 11 - стопор;
- 12 - цилиндрический корпус; 13 - электромагнитная катушка; 18 - основание;
- 19 - элемент приближения в виде геркона

Устройство содержит цепь-ошейник, с закрепленным на нем блоком кодирования сигналов, блок автоматического автозахвата и блок-дешифратор.

Блок кодирования сигналов выполняется в виде чередующихся магнитных и немагнитных элементов. Элементы скрепляются болтом, который через кольцо подвешен к торцу цепи ошейника. В нижней части болта размещается гайка в виде постоянного магнита. Блок захвата содержит механический захват, состоящий из направляющей проема и запорной пластин.

Блок-дешифратор содержит стопор, механизм считывания, состоящий из цилиндрического корпуса, в нижней части выполненного заодно с электромагнитной катушкой, в пазах его верхней части закреплены пружиненные пластины, в нижней части корпуса имеется отверстие, через которое выведена направляющая, жестко закрепленное основание. В центре основания установлен элемент индикатора приближения на базе геркона или конечного выключателя с разомкнутым контактом. Элемент индикатора включен своим разомкнутым контактом в цепь питания катушек с втягивающимися пружиненными сердечниками и подсоединенными к

клеммам питания. Катушка, встроенная в корпус, соединена с выходом преобразователя сигнала код-напряжение. Пластины закреплены шарнирно и подпружинены верхними и нижними пружинами, закрепленными в корпусе. Для усиления сцепления пластин с блоком на их внутренней стороне может быть нанесен материал с повышенным коэффициентом трения.

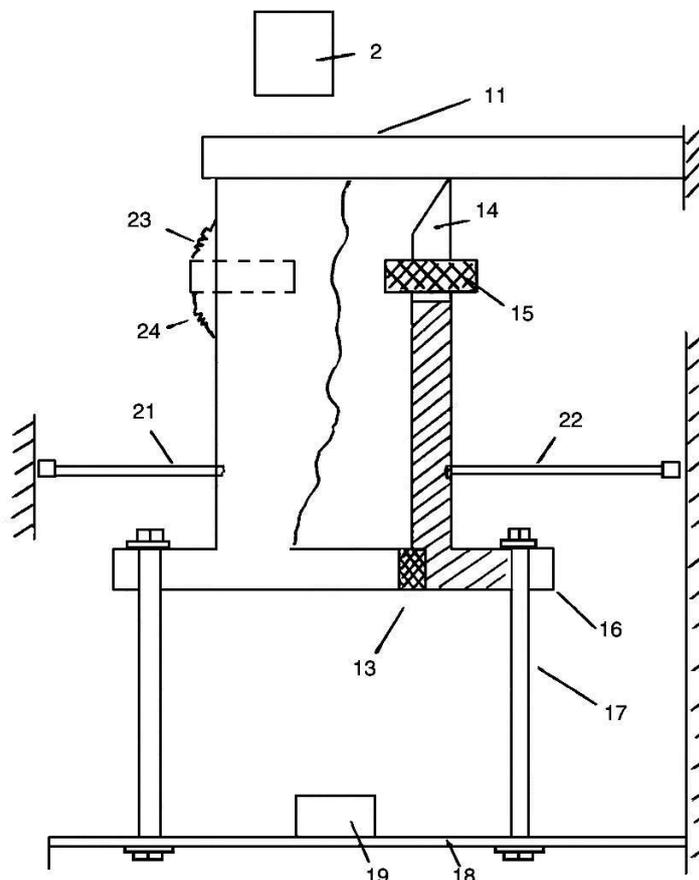


Рисунок 7.16 - Фрагменты блока опознавания номера животного по а.с. 1501995:  
14 - пазы корпуса; 15 - подпружиненные пластины; 16 - отверстие корпуса;  
17 - направляющие корпуса; 21, 22 - контакты подключения катушки;  
23 - верхняя пружина; 24 - нижняя пружина

Устройство работает следующим образом.

Животные, имеющие цепь-ошейник, подходят к пункту опознавания. При попытке животного достать корм из кормушки цепь с блоком кодирования попадает в проем ловушки и происходит автоматическое привязывание животного. Когда животное опускает голову, цепь скользит по направляющим и попадает в цилиндрический корпус, где под весом блока и цепи происходит раскрытие пружин, удерживающих пластины. В этом промежутке времени происходит очистка блока. Далее этот блок достигает конечного положения, при котором его масса давит на выключатель. При этом замыкаются контакты индикатора приближения и катушки электромагнитных захватов подключаются к питающей сети.

При срабатывании электромагнитных захватов стрелки втягиваются в катушки и освобождают корпус, который под собственным весом движется по направляющим к основанию. При этом катушки периодически шунтируются магнитными элементами блока кодирования сигналов и за счет изменения сопротивления происходит подача переменного кодированного сигнала на вход преобразователя сигнала с последующей передачей его на световое табло.

После определения номера животного происходит его подготовка к доению. Для данной технологической операции предложено устройство для облучения животных в процессе их доения по а.с. 1813379 [138].

Целью данного технологического решения является повышение эффективности при использовании процессов доения.

При машинном доении на остановках типа "Тандем" или "Елочка" животные запускаются в станок, затем они направляются к кормушкам, где получают дозированый корм. В этот момент животные фиксируются и момент начала выдачи корма (включение кормораздатчика) является отправным моментом включения ИК ламп для облучения крестца коровы. Следующими операциями подготовительного периода являются: омывание и вытирание вымени, массаж, высушивание, сдаивание первых струек, надевание доильных стаканов. Далее следует сам процесс доения. Окончание процесса сопровождается отключением и снятием доильных стаканов. Это вторая точка, когда ИК облучатели отключаются до момента пуска следующей группы животных. Таким образом, интервал времени, заключенный между началом выдачи корма и отключением доильных аппаратов, соответствует времени облучения крестца коровы.

На установке "Карусель" животное заходит в станок, перемещается к месту выдачи концентрированных кормов, получает корм. После этого начинается процесс доения. Окончание доения сопровождается отключением доильного аппарата и в этот момент, когда станок находится напротив выхода с установки, открывается дверь и животное выходит. Если доение к этому моменту не закончилось, то животное перемещается по кругу еще раз, но корм не получает, а доильный аппарат отключается после завершения процесса доения.

Для установки типа "Карусель" установочный вход S – триггера соединяется с конечным выключателем, расположенным внутри станка и определяющим наличие животного. В этом случае ИК излучатель включается в момент, когда животное входит в станок.

На рис. 7.17 представлены примерные части технологического процесса доения.

На рис. 7.18 показан общий вид устройства для облучения крестца коровы.

На рис. 7.19 дана структурная схема блока управления работой нового устройства.

На рис. 7.20 дана принципиальная схема одного из возможных вариантов выполнения блока управления устройством.

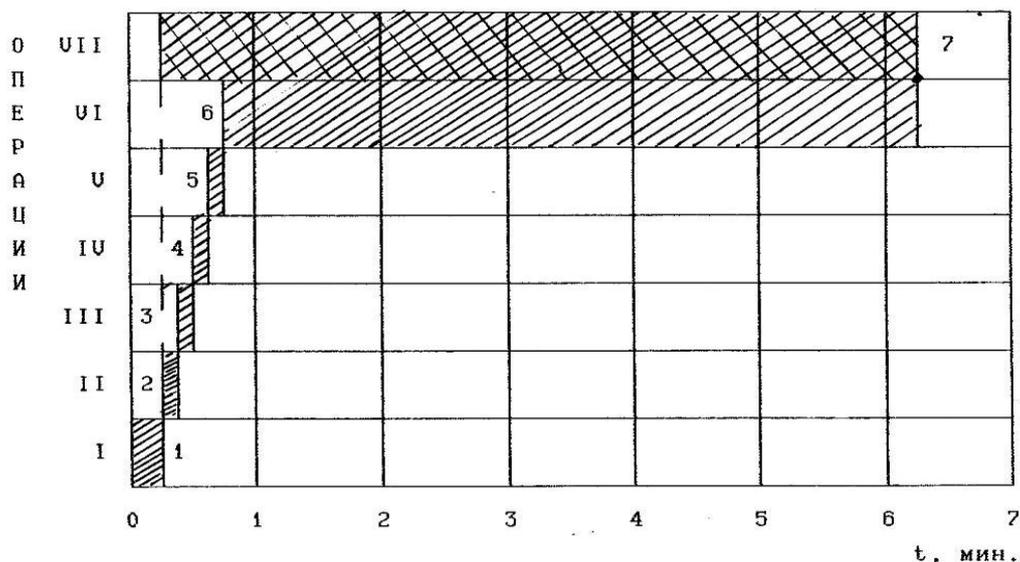


Рисунок 7.17 - Технологическая схема операций в доильном станке установок типа "Тандем" и "Елочка" по а.с. 1501995: I – запуск животных; II - выдача конц. корма; III - омывание; IV - сушка; V - массаж; VI - сдаивание; VII - облучение.

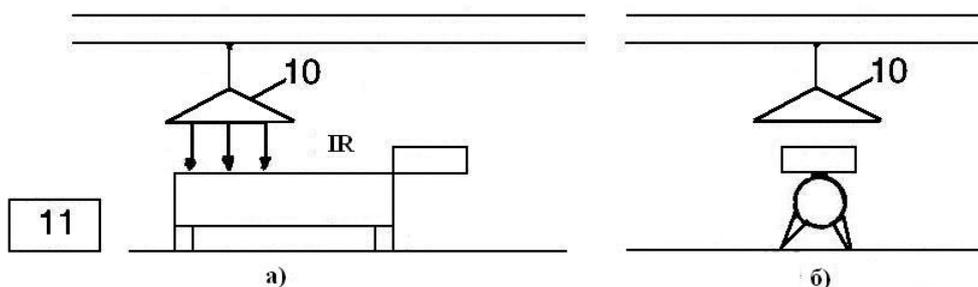


Рисунок 7.18 - Общий вид устройства для облучения крестца животного: 10 - облучатель; 11 - блок управления

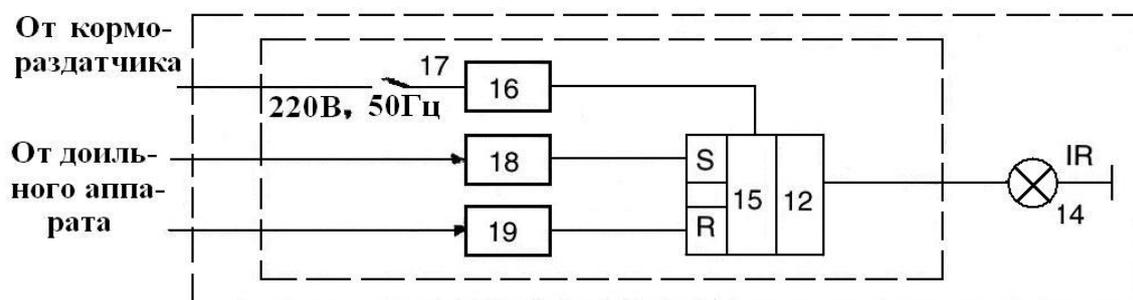


Рисунок 7.19 - Структурная схема блока управления по а.с. 1813379: 12 - схема управления кормораздатчиком; 14 - ИК излучатель; 15 - триггер; 16 - схема подключения триггера; 17 - ключевой элемент; 18, 19 - элементы согласования

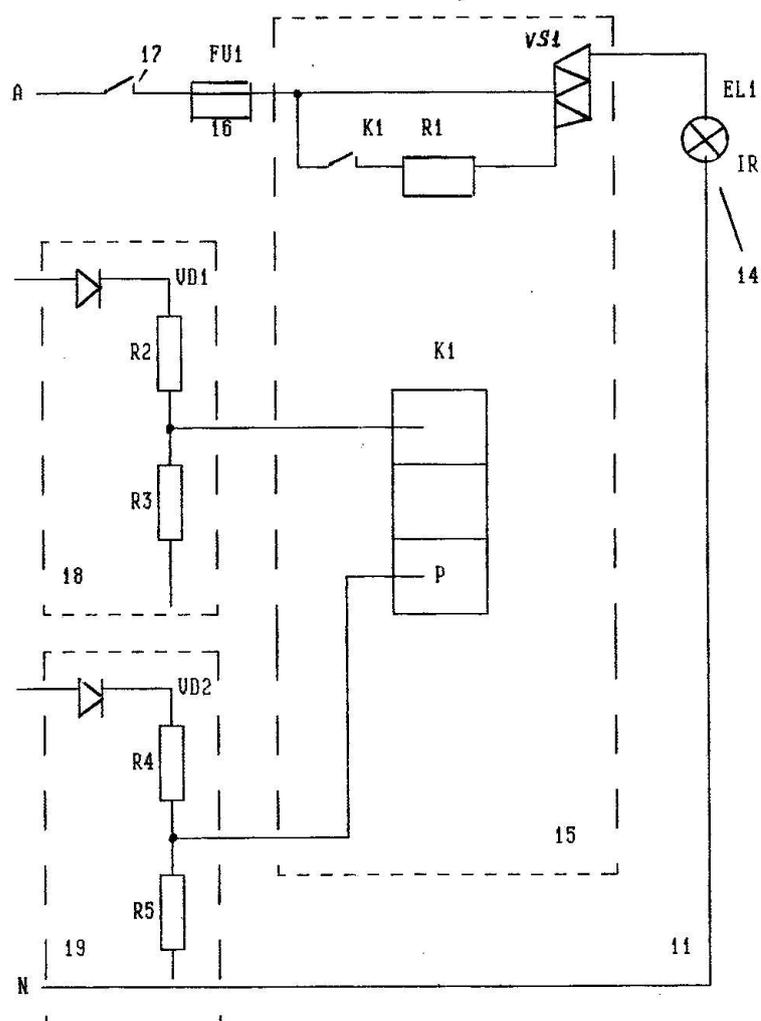


Рисунок 7.20 - Принципиальная электрическая схема блока управления

На рис. 7.17 (графика технологического процесса доения) выделяются следующие точки: 1 - соответствует моменту запуска животного в доильный станок; 2 - начала выдачи концентрированных кормов; 3 - начало омывания вымени; 4 - вытирание или высушивание вымени; 5 - начало массажа вымени; 6 - сдаивание первых струек молока; 7 - окончание доения и отключение доильного аппарата.

Устройство для облучения животного во время доения (рис. 7.18, 7.19, 7.20) содержит ИК облучатели с блоком управления, входы которого являются входами для подключения к схеме управления кормораздатчиков и доильного аппарата.

Инфракрасный излучатель устанавливается в облучателе и подключается к единичному выходу  $Q$  триггера, который через схему согласования и ключевой элемент подключен к питающей сети. Установочный  $S$  вход и выход сброса  $R$  триггера через элементы согласования соединены соответственно со схемами управления кормораздатчиком и доильного аппарата.

Устройство работает следующим образом.

Включается устройство ключевым элементом. В начальный момент времени открываются двери станка и животное входит в доильный станок. В

момент времени 2 включается кормораздатчик концентрированных кормов и животные получают порцию корма.

Сигнал от схемы управления к кормораздатчикам через элемент согласования поступает на установочный вход  $S$  триггера, который устанавливается в единичное состояние, и на его единичном выходе  $O$  появляется переменное напряжение  $220\text{ В}$ ,  $50\text{ Гц}$ , поступающие на ИК излучатель. Начинается излучение крестца коровы.

В момент времени 7 соответствующий окончанию процесса доения, отключается доильный аппарат, и сигнал от схемы управления через элемент согласования поступает на вход  $R$  сброса триггера и переводит его в нулевое состояние. Напряжение питания ИК излучателя отключается, и процесс облучения прекращается. При этом устройство оказывается в исходном состоянии и готово к работе для следующего сеанса.

На ряде ферм в технологических операциях доения используются УФ облучения. Для таких установок предложены специальные схемы включения РЛ. Так устройство по а.с. 1227201 направлено на повышение срока службы разрядных ламп.

На рис. 7.21 представлена принципиальная электрическая схема устройства для облучения животных.

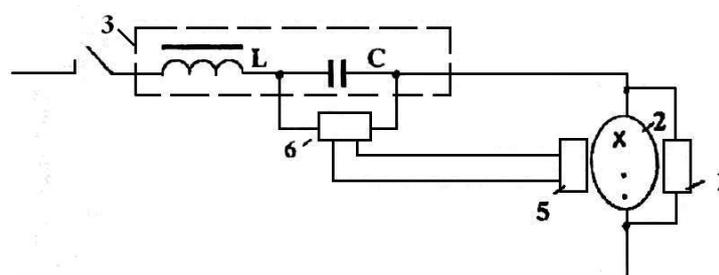


Рисунок 7.21 - Принципиальная электрическая схема включения РЛ с изменяющимся характером нагрузки по а.с. 1227201: 1 - блок зажигания; 2 - РЛ; 3 - блок балластных элементов; 5 - датчик нагрева лампы; 6 - коммутирующий блок

Устройство включает соединенные параллельно блок зажигания и РЛ, подключенные через балластный блок к клеммам сети, датчик нагрева лампы и коммутирующий блок. Балластный блок содержит последовательно включенные дроссель и конденсатор.

Устройство работает следующим образом.

При включении питающей сети обеспечивается зажигание РЛ при зашунтированном балластном конденсаторе. Первоначальная температура стенок колбы РЛ определяется температурой окружающей среды. По мере разгорания лампы температура стенок колбы увеличивается и при достижении номинального режима на колбе достигает  $700^{\circ}\text{C}$ . Этот процесс занимает во времени от 3 до 15 мин. в зависимости от параметров микроклимата доильного зала. Данная температура воспринимается датчиком нагрева лампы, который подает управляющий сигнал и обеспечивает срабатывание коммутирующего

блока. Контакты, шунтирующие конденсатор, размыкаются и конденсатор включается в схему последовательно с лампой и дросселем.

Шунтирование балластного конденсатора в процессе запуска лампы позволяет сократить переходной процесс разгорания РЛ (особенно при использовании нелинейного дросселя), что положительно сказывается на сроке службы электродов, увеличивая их срок не менее чем на 20 %.

На рис. 7.22 представлена принципиальная электрическая схема другого устройства для облучения животных, которое позволяет одновременно включать вместе лампы различной мощности по а.с. 1314300 [140].

Устройство содержит балластные конденсаторы, которые включаются последовательно с РЛ одной и той же мощности, и последовательно с общим дросселем и РЛ удвоенной мощности. При использовании на практике такие схемы можно использовать для облучения преддоильных помещений лампами типа ДРЛ-125, а в доильном зале установить лампу ДРЛ-250.

Включение ламп по данной схеме обеспечивает перераспределение напряжения на элементах балласта и уменьшение падения напряжения на дросселе из расчета на одну лампу. В результате при той же мощности ламп величина потерь мощности на дросселе снижается в два раза, в несколько раз снижается потребное количество облучателей и трудозатрат на изготовление и монтаж установки, повышает коэффициент загрузки светотехнического оборудования: в стандартных облучателях УФ лампы работают 5...40 мин/сут. В новом устройстве облучатели работают в течение всего времени доения, т. е. 4...6 ч/сут.

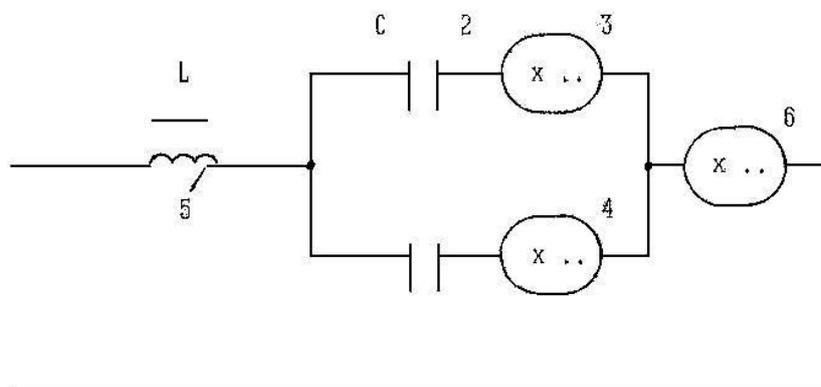


Рисунок 7.22 - Принципиальная электрическая схема включения облучательных ламп высокого давления различной мощности по а.с. 1313400:

2 - балластные конденсаторы; 3, 4 - РЛ одной мощности;  
5 - дроссель; 6 - РЛ удвоенной мощности

Кроме того, расположение УФ лампы в преддоильных помещениях значительно снижает влияние агрессивной среды на спад светового потока лампы и обеспечивает гарантированное получение всеми животными заданной дозы облучения. При этом количество чисток лампы и облучателей также снижается.

В случае применения в доильном зале СТУ с люминесцентными лампами, включенных по схеме а.с. 1312760 [86] оказывается возможным автоматизировать процесс включения СТУ доильного зала, как это предложено по а.с. 1720605 [141].

На рис. 7.23 представлена электрическая блок-схема устройства.

Данное устройство предназначено для повышения экономии электроэнергии путем согласования интенсивности освещения с соответствующими операциями технологического процесса доения.

Поставленная цель достигается за счет того, что СТУ снабжено датчиком вакуума. Последний содержит два нормально разомкнутых контакта. Первый контакт срабатывает при достижении разрежения порядка  $0,28 \text{ кг/см}^3$ , что соответствует обкатке вакуум-насоса, и посредством первого коммутирующего элемента включает первую группу ламп на уровень освещенности 150 лк. Второй контакт датчика срабатывает при достижении разрежения порядка  $0,45 \text{ кг/см}^3$ , что соответствует минимальному разрежению, допустимому при доении, и посредством второго коммутирующего элемента, включая вторую группу ламп, обеспечивает установление в помещении освещенности 300 лк. Описанный режим одновременно обеспечивает повышение трудовой дисциплины.

Для обеспечения жесткого нормирования дозы облучения за счет стабилизации потока излучения ламп в процессе их эксплуатации целесообразно использовать техническое решение по а.с. 1535546 [142].

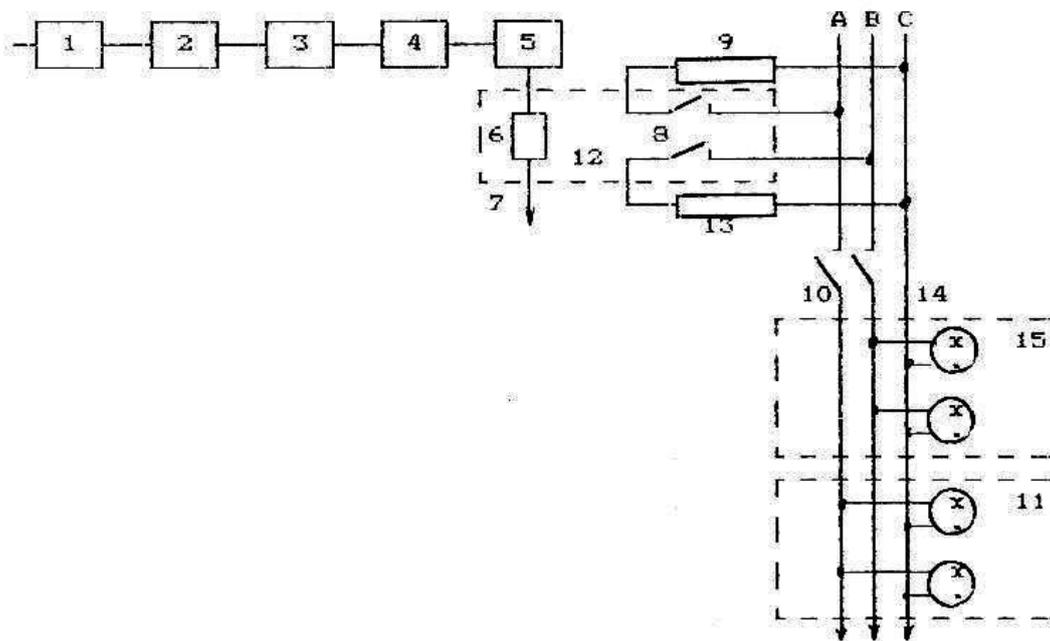


Рисунок 7.23 - Автоматизированное устройство для включения освещения в доильном зале по а.с. 1720605: 1 - вакуум-насос; 2 - предохранительный клапан; 3 - регулятор вакуума; 4 - вакуум-баллон; 5 - вакуумметр; 6 - датчик вакуума; 8, 12 - разомкнутые контакты коммутирующих элементов 9, 13; 11, 15 - группы ламп

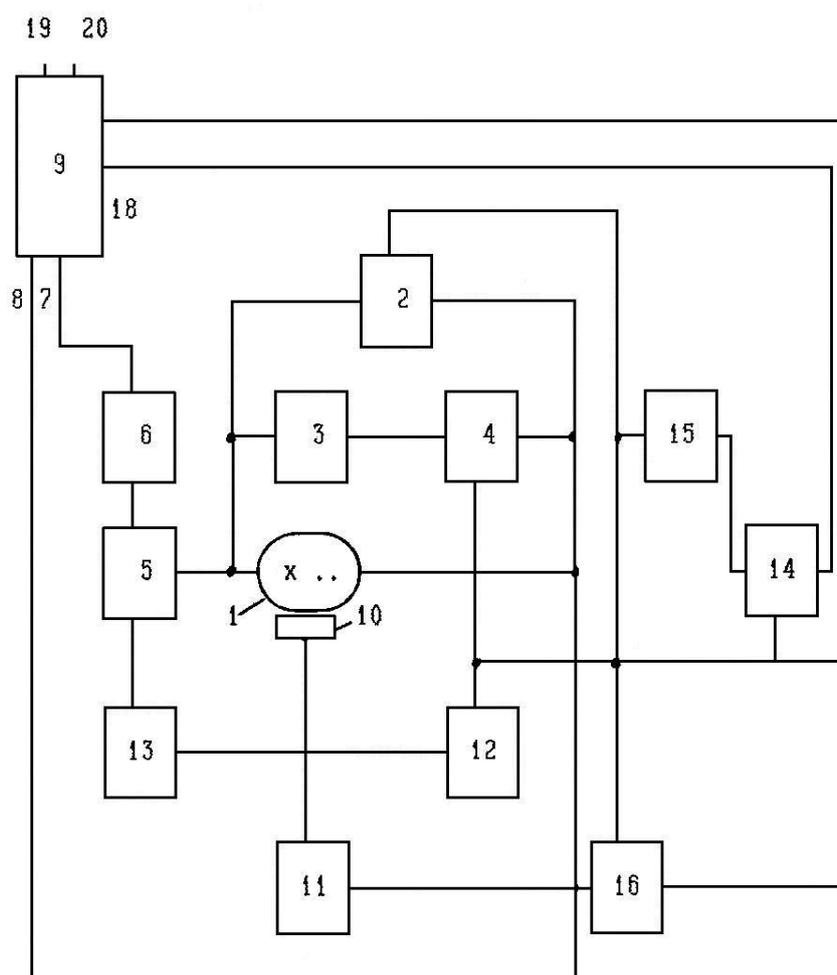


Рисунок 7.24 - Блок-схема устройства для точного дозирования ОИ при облучении животных по а.с. 1535546: 1 - РЛ; 2 - схема сравнения; 3 - блок зажигания; 4 - ключ; 5 - блок регулирования мощности; 6 - блок балластных элементов; 9 - пульт управления; 10 - датчик нагрева; 11-13 - пороговые элементы; 14 - схема "И"; 15 - схема "НЕ"; 16 - схема "ИЛИ"

Данное устройство для облучения животных, представленное на рис. 7.24, содержит газоразрядную лампу 1 с датчиком нагрева 10, пульт управления 9, три пороговых элемента 11, 12, 13, две схемы И 14, 16, управляемый ключ 4. В начальный момент температура колбы лампы определяется температурой окружающей среды и сигнала на выходах блоков 1, 10, 11, 12, 13, 16 нет. Как только РЛ зажигается, на выходе схемы сравнения появляется "1". По мере разгорания РЛ срабатывает пороговый элемент 11. В результате на выходе схемы И 16 появляется сигнал, который поступает на вход 17 пульта 9, и начинается процесс облучения животных. Если в процессе облучения по каким-либо причинам возникает отказ лампы 1, то по сигналу с выхода схемы и 14 прекратится прохождение счетных импульсов через схему стробирования до тех пор, пока не восстановится нормальная работа устройства.

В результате применения устройства удастся точно выдержать дозу облучения, чем обеспечить эффективность применения ОИ при облучении.

Одновременно для повышения качества молока был предложен доильный аппарат по а.с. 1787389 [143].

На рис. 7.25 представлена блок-схема нового доильного аппарата. Сущность нового технического решения заключается в том, что доильный аппарат содержит четыре доильных стакана 1 с молочными шлангами 2, коллектор 5 и емкость 8 для сбора молока с пульсатором. Между каждым доильным стаканом и коллектором посредством молочных шлангов установлены емкости 3 со змеевиками для прохода молока и патрубками для входа и выхода хладоагента. Змеевик каждой емкости сообщен молочными шлангами с доильным стаканом и коллектором. Патрубок хладоносителя каждой емкости сообщен с патрубком входа хладоносителя с последующей емкостью. Патрубок для входа хладоносителя первой по ходу движения хладоносителя емкости сообщен с патрубком для выхода хладоносителя последней емкости посредством последовательно соединенных трубопроводом емкости 4 для хладоносителя и насоса 7 для его подачи.

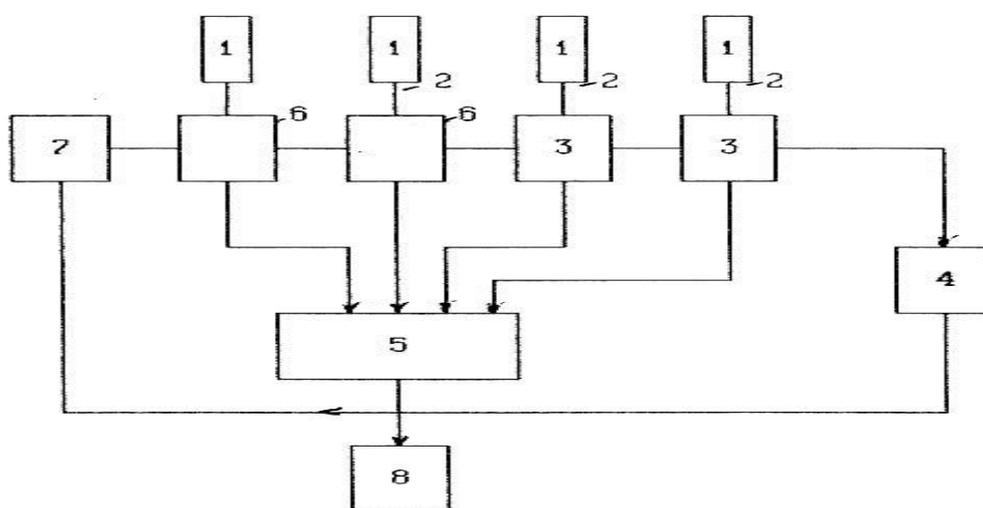


Рисунок 7.25 - Блок-схема доильного аппарата по а.с. 1787389: 1 - доильные стаканы; 2 - шланги; 3 - емкости со змеевиками; 4 - емкость с охладителем; 5 - коллектор; 6 - трубопровод; 7 - насос; 8 - емкость для сбора молока

Применение данного доильного аппарата позволяет уменьшить количество микробов в молоке и тем самым повысить его качество.

Совершенствование доильных аппаратов может идти в направлении использования в аналогичных устройствах УФ излучения соответствующей длины волны.

## 7.5 Разработка и совершенствование индуктивно-емкостных схем включения ламп с групповыми элементами пускорегулирующей аппаратуры

Результатом проведенных теоретических исследований и расчетов явилось создание целого ряда светотехнических установок сельскохозяйственного назначения с групповыми элементами зажигания и

стабилизации, включения и управления электрическими и светотехническими параметрами СТУ. Техническое решение по а.с. 1292211 направлено на повышение надежности работы СТУ за счет уменьшения коэффициента амплитуды тока разряда [105].

На рис. 7.26 представлена принципиальная электрическая схема нового устройства. Особенностью нового устройства является наличие ключа 14 переменного тока между общими точками каждой предыдущей и последующей группами ламп. Исполнение ключа может быть различным, например, в виде вентиля 15, включенного в диагональ моста.

В момент включения устройства ключи 14 включены, что обеспечивает присоединение всех групп ламп к групповой нейтрали. В результате последовательного соединения ламп в момент пробоя напряжение зажигания снижается на 1...20 %. После разгорания ламп ключи 14 отключаются, что позволяет исключить влияние разброса параметров ламп и балластных конденсаторов 8, 9, 10 на увеличение коэффициента амплитуды тока в рабочем режиме из-за уравнивающих токов между группами.

Данное техническое решение позволило снизить коэффициент амплитуды тока до 1,51... 1,53 и обеспечить увеличение срока службы электродов ламп на 15...20 % при соответствующем увеличении надежности работы СТУ.

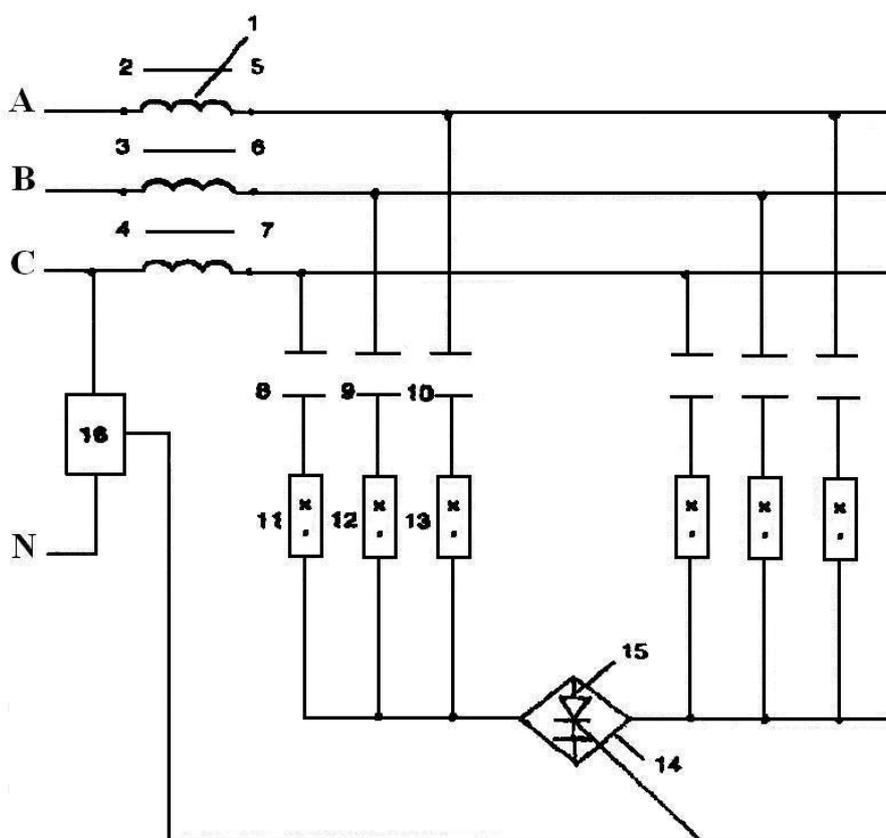


Рисунок 7.26 - Принципиальная электрическая схема многолампового устройства по а.с. 1292211: 1 - групповой дроссель; 2, 3, 4 - входы дросселя; 5, 6, 7 - выходы дросселя; 8, 9, 10 - балластные конденсаторы; 11, 12, 13 – группа ламп; 14 - ключ переменного тока; 15 - вентиль; 16 – блок

Серьезной проблемой в СТУ сельскохозяйственного назначения является компенсация  $\cos \varphi$ . На базе групповых схем включения РЛ разработаны новые ПРА, позволяющие решить данную задачу. Примером такого решения могут служить технические решения по а.с. 1150779 и 1292210 [106, 107].

На рис. 7.27 представлена принципиальная электрическая схема устройства для облучения животных. Устройство содержит облучатели с лампами 1, последовательно с которыми включены дроссели 2 и балластные конденсаторы 3 с электроприводом 4. Конденсаторы 3 соединены с лампами 1, а их выводы объединены групповой нейтралью. Параллельно электроприводу подключены реле времени 5 и магнитный пускатель 6 с разомкнутыми контактами 7 и замкнутыми контактами 8.

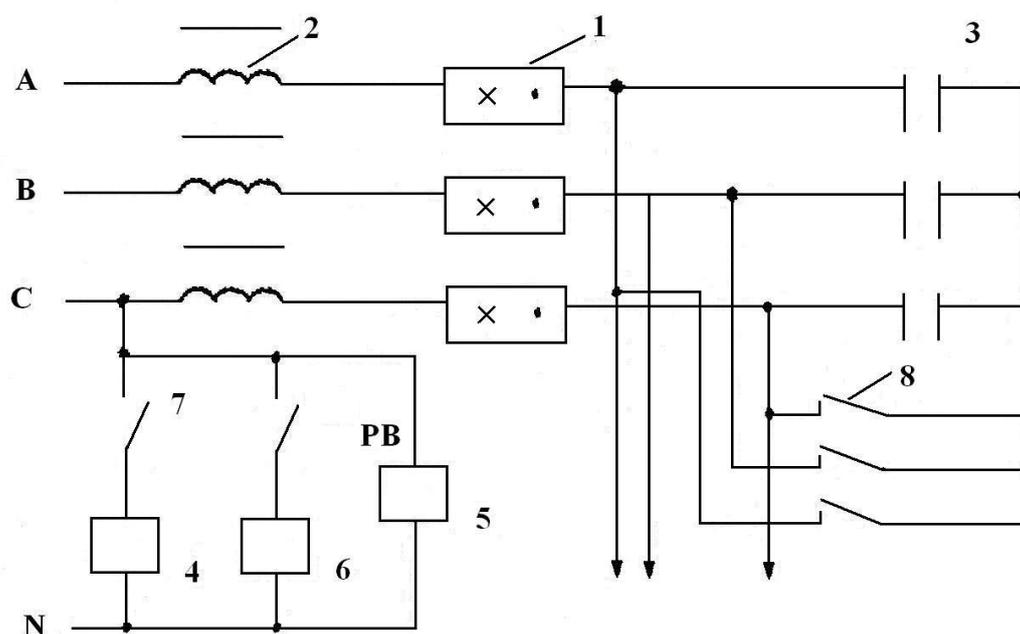


Рисунок 7.27 - Принципиальная электрическая схема устройства для облучения животных по а.с. 1150779: 1 - лампы; 2 - дроссель; 3 - конденсатор; 4 - электропривод; 5 - реле времени; 6 - магнитный пускатель; 7 - разомкнутые контакты; 8 - замкнутые контакты

Устройство работает следующим образом.

При подаче напряжения питания на РЛ 1, они зажигаются и при замкнутых контактах 8, переходной процесс разгорания происходит по индуктивной схеме. По истечении времени, которое зависит от условий микроклимата, реле времени 5 включает магнитный пускатель 6, замыкая контакт 7 в цепи электропривода. При этом размыкание контактов 8 обеспечивает подключение в схему конденсаторов 3 и опрокидывание фаз. Такая операция переводит устройство в емкостной режим работы с  $\cos \varphi$  порядка 0,35...0,5. В результате СТУ может быть использована для компенсации реактивной мощности общей реактивной нагрузки помещения.

На рис. 7.28 приведена принципиальная электрическая схема облучателя установки, которая является развитием предыдущего решения.

Данное устройство содержит лампы 1, дроссели 2, конденсаторы 3, контакты 4 магнитного пускателя 5, дополнительную индуктивность 6, групповую индуктивность 7 и ключ 8.

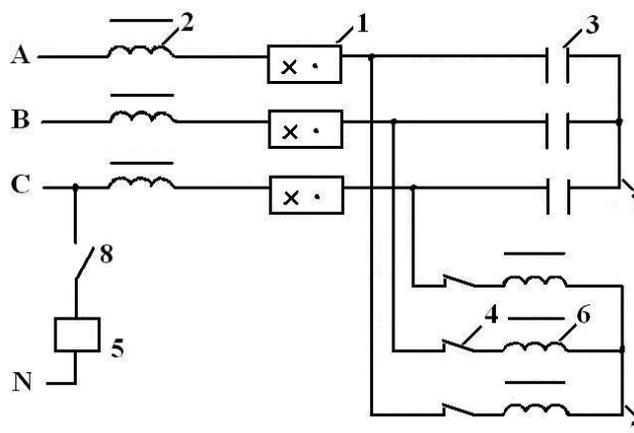


Рисунок 7.28 - Принципиальная электрическая схема облучательной установки по а.с. 1292210: 1 - лампы; 2 - дроссель; 3 - конденсатор; 4- контакты магнитного пускателя 5; 6 - дополнительная индуктивность; 7 - групповая нейтраль; 8 – ключ

Устройство работает следующим образом.

При включении схемы РЛ 1 зажигаются в индуктивной схеме, так как балластные конденсаторы 3 оказываются зашунтированными с помощью контактов 4 МП и дополнительной магнитосвязанной индуктивностью 6, выходы обмоток которой объединены групповой нейтралью. В случае, если общий  $\cos \varphi$  в данный момент времени имеет емкостной характер, то устройство продолжает работать в описанном сочетании элементов.

Если характер общей нагрузки в системе питания становится индуктивным, например, при включении технологического оборудования (транспортеров, доильных аппаратов и т. д.), срабатывает МП и размыкаются контакты 4. При этом дополнительная индуктивность 6 отключается, что обеспечивает автоматическое включение в схему балластных конденсаторов 3. В результате СТУ переходит в емкостной режим работы и может быть использована для компенсации реактивной мощности. Разработка пускорегулирующих аппаратов с изменяющимся по характеру балластным сопротивлением позволила расширить функциональные возможности ПРА в плане компенсации  $\cos \varphi$ .

## 7.6 Новые эффективные схемы включения разрядных ламп

На рис. 7.29 представлена принципиальная электрическая схема нового ПРА для РЛ по а.с. 1415474 [109]. При использовании в СТУ нового технического решения для включения РЛ I используется последовательное соединение дросселя 2 и балластного конденсатора 3. Особенностью ПРА является то, что параметр К выбирается в пределах от 10 до 17 при условии питания комплекта от сети переменного тока промышленной частоты.

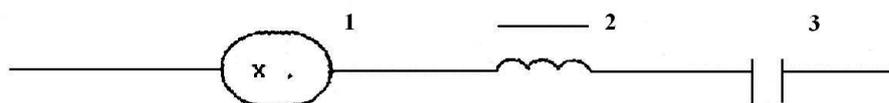


Рисунок 7.29 - Принципиальная электрическая схема включения  $R_L$  в облучательной установке с малогабаритным дросселем по а.с. 1415474:  
1 - лампа; 2 - дроссель; 3 - балластный конденсатор

Важным обстоятельством при этом является то, что напряжение на лампе по отношению к величине напряжения питания не должно быть больше, чем 0,2. Увеличение параметра  $m > 0,2$  приведет к нарушению условий работы РЛ без токовых пауз, снижению стабильности электрических и светотехнических параметров СТУ.

Если иметь в виду, что при работе РЛ в электрической цепи в токе разряда второй, после основной волны, доминирующей гармоникой является третья (ее процентное содержание в токе разряда РЛ может достигать 25 % от основной волны), то при увеличении параметра  $K > 9$  происходит опрокидывание фазы именно этой гармоникой. Третья гармоника становится софазной основной гармонике тока. Это приводит к изменению тока разряда РЛ, его формы, с пикообразной на седлообразную: фронт волны тока значительно возрастает, а форма упрощается. При этом форма кривой напряжения на лампе приближается к форме кривой тока, что обеспечивает увеличение коэффициента мощности лампы до 0,98.

Увеличение параметра  $K > 17$  приводит к нарушению условий работы лампы без токовой паузы, резкому увеличению коэффициента амплитуды тока и соответствующему снижению всех показателей.

Новая схема ПРА позволила в 10 раз снизить расход активных материалов (меди и электротехнической стали) на производство дросселя и уменьшить непроизводительные потери мощности до 3...5 % от мощности лампы. При этом общий вес дросселя и конденсатора снижается в 15...20 раз [113]. В процессе исследований была установлена возможность использования и второго режима работы индуктивно-емкостного комплекта, характеризующегося возбуждением в токе разряда ламп четных гармонических составляющих. На рис. 7.30 показана принципиальная электрическая схема импульсного осветительно-облучательного устройства по а.с. 1012465.

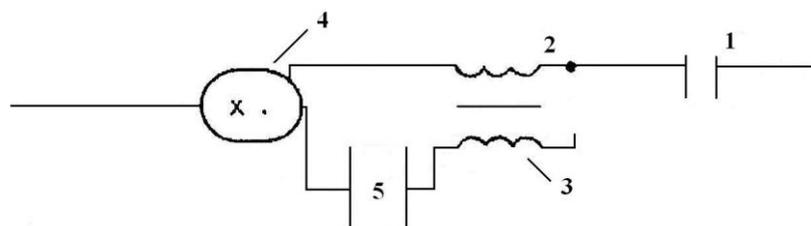


Рисунок 7.30 - Принципиальная электрическая схема включения  $R_L$  в установке для импульсного облучения по а.с. 1012465: 1 - балластный конденсатор; 2 - обмотка дросселя; 3 - дополнительная обмотка дросселя; 4 - лампа; 5 - регулятор тока накала электрода

Данное устройство используется при выработке условных рефлексов у молочных коров при включении его на 3...5 мин. перед началом дойки совместно со звуковым сигналом.

Импульсное устройство отличается тем, что соотношение реактивных параметров балласта, в данном случае, устанавливается в диапазоне от 3,2 до 6 и схема дополнительно снабжается двухобмоточным дросселем и регулятором тока накала электрода.

Устройство работает следующим образом.

При включении питающей сети с синусоидальным напряжением в схеме возникает ток, содержащий высшие гармонические составляющие. Индуктивно-емкостная схема представляет собой резонансный контур, где при соответствующей настройке параметров создаются условия для возбуждения в токе разряда соответствующих гармонических составляющих. Источником этих гармонических составляющих являются лампа, как нелинейный, активный элемент цепи и дроссель.

При соотношении параметра  $K$  в диапазоне от 3,2 до 6 в токе лампы возбуждаются четные гармонические составляющие и в частности вторая гармоника. При этом, как отмечалось выше, в токе разряда возникает токовая пауза и соответствующая пауза в потоке излучения. Схема переходит в импульсный режим работы.

Природа возбуждения четных гармонических составляющих лежит в естественной асимметрии электродов лампы и обусловлена технологическими разбросами при ее изготовлении. Проявляется естественная асимметрия в различных пиках перезажигания газового разряда.

У новых ламп асимметрия электродов мало выражена. В этом случае необходимо асимметрию усилить искусственно, например, за счет перегрева одного из электродов. Зажигание РЛ в новом устройстве может быть осуществлено любым из известных способов.

Зажигание лампы обеспечивает прохождение тока через основную обмотку дросселя. За счет магнитной и электрической связи между основной и дополнительной обмотками дросселя в рабочем режиме через один из электродов лампы проходит ток подогрева. Его прохождение через электрод увеличивает эмиссионную способность и снижает напряжение перезажигания в соответствующий полупериод. При этом возникает искусственная асимметрия электродов, приводящая к возбуждению в токе разряда четной гармонической составляющей и соответствующей пульсации светового потока.

## **7.7 Разработка светотехнических устройств для выращивания зеленой подкормки**

Как уже отмечалось, основой животноводства является качественная кормовая база хозяйства. Поэтому на ряде крупных животноводческих комплексов КРС значительное внимание уделяют выращиванию зеленой подкормки в период стойлового содержания животных. Причем и в этих

технологических процессах оптическое излучение является одним из доминирующих факторов.

Предложено новое устройство для освещения растений по а.с. 1521382 [148].

На рис. 7.31 представлена принципиальная электрическая схема устройства для выращивания растений.

Устройство содержит РЛВД и балластные конденсаторы, включенные в схему "Звезда без нулевого провода" и размещенные в облучателях групповые дроссели, установленные в специальной ванне продольными рядами. Продольные стенки ванны имеют выступы, которые совместно с корпусами дросселей образуют зигзагообразные каналы. Через вводной патрубок в ванну запускается жидкость, например, вода, которая проходит по указанным каналам и снимает тепло с дросселей. Подогретая жидкость через выходной патрубок и трубопровод поступает, например, на полив растений.

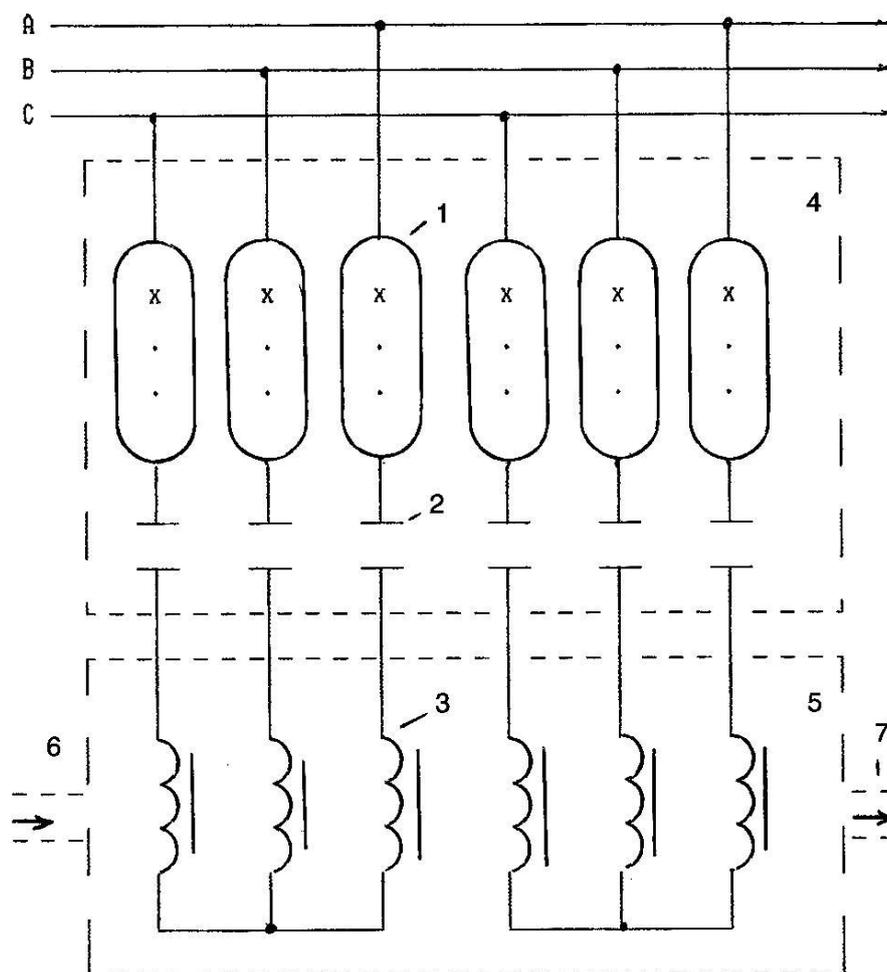


Рисунок 7.31 - Принципиальная электрическая схема включения РЛВД в устройстве для освещения растений по а.с. 1521382: 1 - РЛВД; 2 - балластные конденсаторы; 3 - дроссели; 4 - облучатели; 5 - ванна; 6 - входной патрубок; 7 - выходной патрубок

Осуществить подогрев жидкости оказывается возможным в связи с тем, что дросселя имеют рабочую температуру стенок до 80...90 С°. Температура жидкости для полива растений должна соответствовать 22...24 С°.

Расчет данного устройства проводится традиционным методом расчета водонагревателей, с учетом того, что на дросселе выделяется 10...20 % мощности включаемых ламп. Как правило, в данных устройствах рекомендуется использовать лампы типа ДРЛФ-1000. При этом мощность, выделяемая на одном дросселе, составит 200 Вт.

При определенной перестройке, подогретая вода может быть использована для поения животных или технических нужд.

Омывание дросселей проточной водой позволяет снизить их рабочую температуру и, соответственно, увеличить их срок службы.

При необходимости получения горячей воды в течение суток можно использовать техническое решение по а.с. 1761048, являющееся совершенствованием предыдущего устройства.

На рис. 7.32 представлена принципиальная электрическая схема нового устройства, а на рис. 7.33 показаны возможные варианты включения ламп и дросселей.

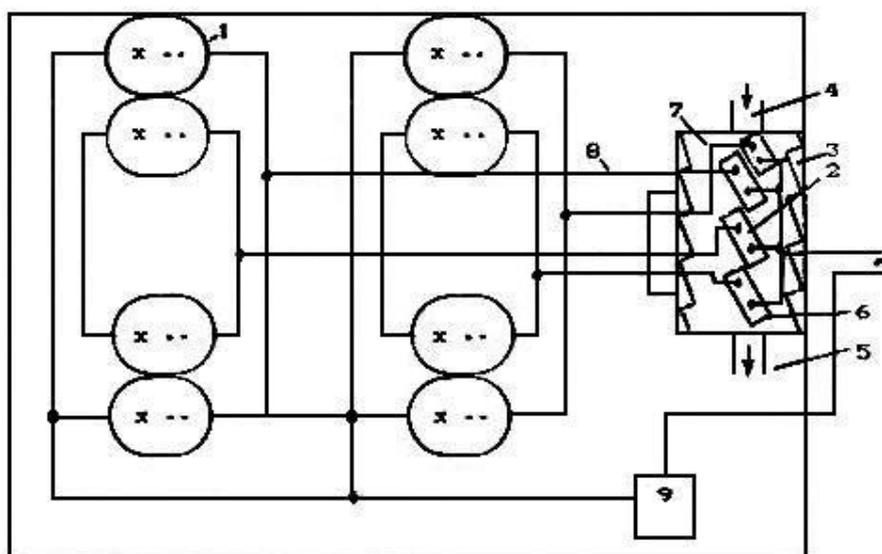


Рисунок 7.32 - Принципиальная электрическая схема устройства для освещения растений по а.с. 1521382: 1 - РЛВД; 2 - дроссели; 3 - ребра ванны; 4, 5 - патрубки; 6 - ребра дросселей; 7 - ванна; 8 - кабель соединительный; 9 - блок коммутации

Устройство содержит РЛВД, подвешенные над рассадой, дросселя, установленные в ванне с ребрами, кабель.

Кроме того, устройство дополнительно снабжено блоком управления с помощью которого осуществляется различное включение РЛ и дросселей:

- включение РЛВД на фазное напряжение в схему "звезда с нулем";
- включение РЛВД на линейное напряжение;
- включение дросселей на фазное напряжение в схему "звезда с нулем";

- включение дросселей на линейное напряжение;
- включение соединенных попарно-последовательно дросселей на линейное напряжение.

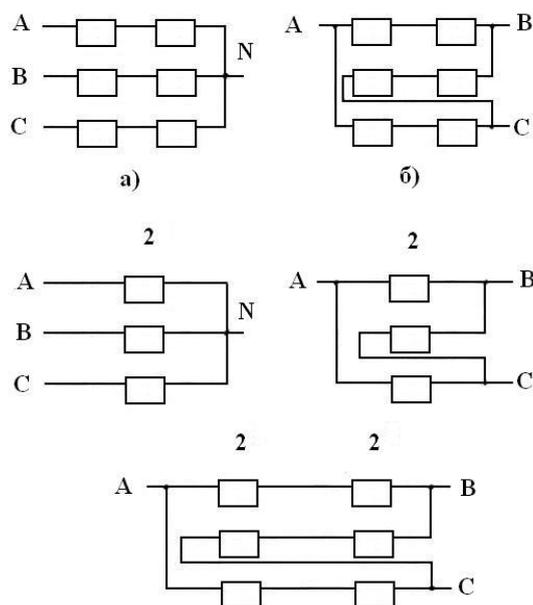


Рисунок 7.33 - Возможные варианты включения газоразрядных ламп (1) и дросселей (2) по а.с. 1761048

Осуществляя переключение ламп и дросселей в новом устройстве удастся получить подогретую воду на протяжении суток без дополнительных нагревателей, что снижает капитальные затраты на электроустановки и дает экономию электроэнергии, например, на теплицу со ста лампами ДРЛФ - 1000, порядка  $480 \text{ кВт} \times \text{ч/сут}$ .

Кроме подогрева воды с помощью отбора тепла от дросселей возникает возможность и уменьшение ее непроизводительного расхода, как это предложено по а.с. 1469575 [150].

На рис. 7.34 представлена принципиальная электрическая схема устройства для облучения растений с автоматизацией процесса подачи теплой воды.

Устройство содержит РЛВД, включенные последовательно с балластными конденсаторами и образующие параллельные ветви "РЛ-конденсатор". Указанные параллельные ветви включены последовательно с групповым дросселем и через выключатель подсоединены к клеммам сети питающего напряжения. Кроме того, в устройство введены электромагнитный клапан с обмоткой, накопительный резервуар и распределительный трубопровод.

Устройство работает следующим образом.

При включении выключателя напряжение подается на РЛВД и они зажигаются. Включение РЛВД приводит к появлению на дросселе напряжения, которое подается на обмотку электромагнитного клапана и клапан закрывается. Закрытие указанного клапана приводит к отключению трубопровода от накопительного резервуара.

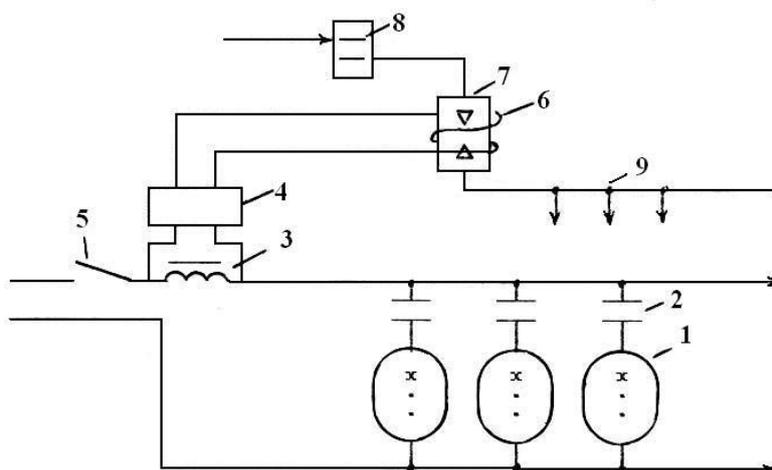


Рисунок 7.34 - Принципиальная схема устройства для облучения растений по а.с. 1469575: 1 - РЛВД; 2 - балластные конденсаторы; 3 - групповой дроссель; 4 - блок управления; 5 - выключатель; 6 - обмотка электромагнитного вентиля 7; 8 - накопительный резервуар; 9 - трубопровод

При поливе растений, чтобы не повредить РЛВД отключают выключатель и лампы гаснут. Одновременно исчезает напряжение на дросселе, что обеспечивает открытие электромагнитного клапана и поступление жидкости для полива из накопительного резервуара в распределительный трубопровод для полива растений.

Таким образом, полив растений производится при выключенных лампах, что обеспечивает их сохранность, снижает непроизводительный расход воды, а блок ПРА приобретает еще одну функцию - управление водораспределением.

## 7.8 Устройство для пастеризации молока с помощью инфракрасного излучения

Важной задачей при производстве молока на фермах и комплексах является получение максимального качества конечного продукта - молока, что достигается его пастеризацией.

Пастеризация молока с помощью ИК-излучения происходит в результате избирательного теплового воздействия на микроорганизм. Сказанное обеспечивается подбором соответствующего спектрального состава излучения нагревателя. При этом максимум интенсивности спектрального состава излучения должен совпадать с максимальной поглощательной способностью микроорганизма. Кроме того, ИК-лучи позволяют передавать одновременно гораздо большие мощности, чем при контактном или конвективном способах.

Недостатком ИК-пастеризаторов является малая глубина проникновения излучения в молоко, составляющая примерно 2, 3 мм, поэтому для получения необходимой производительности и гарантировано высокого пастеризационного эффекта предложено техническое решение по а.с. 1544340 [151].

На рис. 7.35 представлен общий вид ИК-пастеризатора новой конструкции.

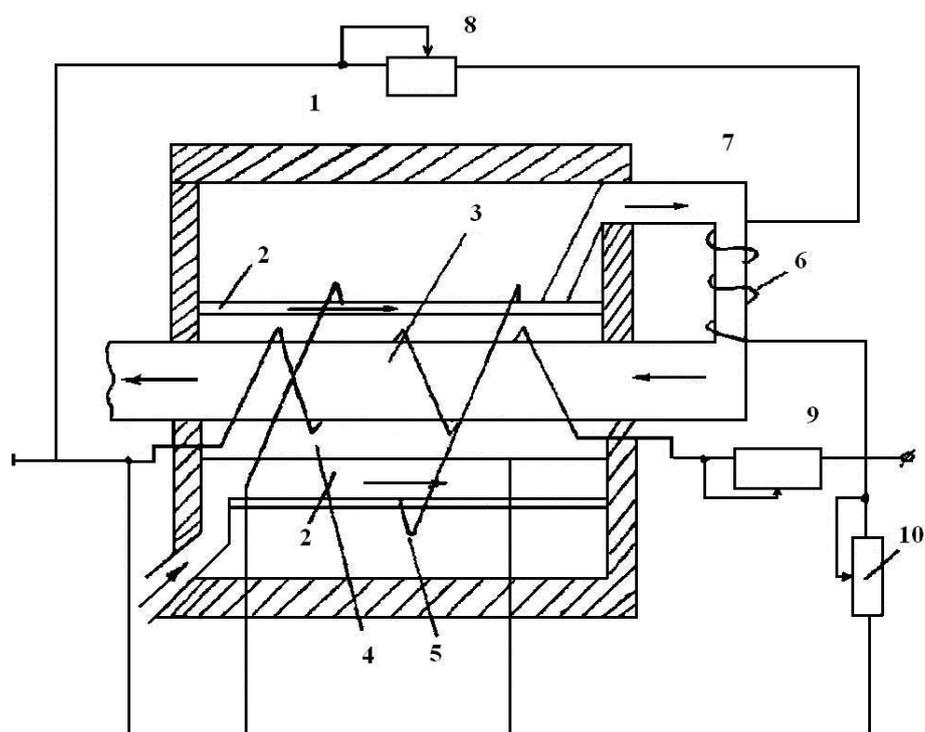


Рисунок 7.35 - Общий вид устройства для пастеризации молока по а.с. 1469575:  
 1 - корпус с отражателем; 2, 3 - оптически прозрачные трубки; 4, 5, 6 -  
 излучатели; 7 - трубопровод; 8, 9, 10 - регулировочные сопротивления

Устройство содержит корпус с отражателем, оптически прозрачные трубки, излучатели, трубопровод и регулировочные сопротивления.

Устройство работает следующим образом.

При подаче напряжения питания на входные клеммы с помощью переменных регулировочных сопротивлений устанавливается заданная температура каждого из трех излучателей. При этом установка режима может осуществляться как в ручную, так и автоматически. Через вводной патрубок аппарата во внешнюю камеру облучения нагнетается молоко, которое облучается от излучателя 4 и дополнительного излучателя 5, расположенных в основной камере. Затем молоко поступает в изогнутый трубопровод 7, где подвергается облучению от излучателя 6. Далее молоко поступает в трубку 3, образующую внутреннюю камеру облучения только от излучателя 4. По мере прохождения молока через зоны облучения первой и второй камер обеспечивается его обработка в соответствии с установленным технологическим режимом. При этом постоянство дозы облучения при прохождении камер, имеющих разные габариты, соответственно, и скорость прохождения жидкости достигается изменением температурного режима соответствующих излучателей с помощью регулировочных сопротивлений.

Новый аппарат позволяет обеспечить полное поглощение излучения от излучателя 4, а облучение молока от двух дополнительных облучателей позволяет увеличить глубину проникновения ИК-излучения в протекающий слой жидкости. В результате оказывается возможным повысить скорость

нагрева и, следовательно, уменьшить температурно-временные параметры режима пастеризации, что обеспечивает снижение энергозатрат.

Наличие регулировочных сопротивлений нагревателей создает постоянство дозы облучения и гарантирует заданный спектр излучения при колебаниях сетевого напряжения. В результате также повышается эффект пастеризации молока.

### 7.9 Устройство для санитарной обработки вымени

При производстве процессов доения на первой фазе производится санитарная обработка вымени коровы. В ряде хозяйств такая обработка проходит с применением дезинфицирующих жидкостей. В результате возникает необходимость приготовления таких жидкостей с определенной температурой.

Обеспечение заданного температурного режима дезинфицирующей жидкости достигается в техническом решении по а.с. 1544303 [93].

На рис. 7.36 представлена общая блок-схема устройства для санитарной обработки вымени.

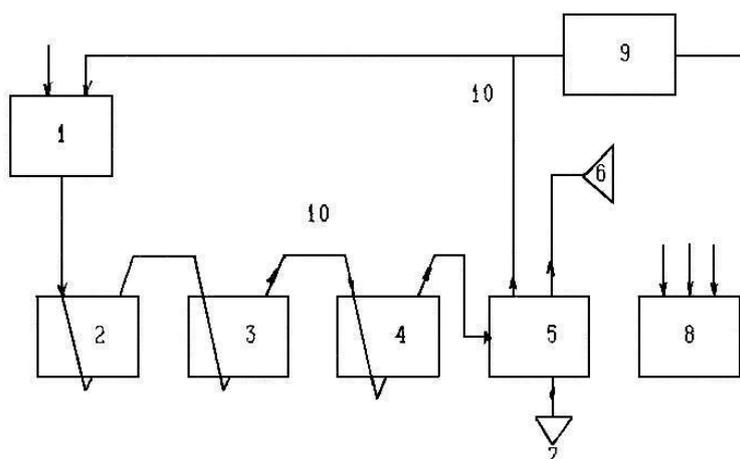


Рисунок 7.36 - Блок-схема устройства для санитарной обработки вымени коровы по а.с. 1544303: 1 – сборно-распределительная емкость; 2 - ПРА; 3 - электродвигатель вентилятора; 4 - РЛВД; 5 - распределитель; 6 – распылитель жидкости; 7 - поилка; 8 - сборный резервуар; 9 - очиститель жидкости; 10 – трубопроводы

Устройство содержит ультрафиолетовую газоразрядную лампу высокого давления с коаксиально намотанным трубопроводом в виде кварцевой трубки, электродвигатель вентилятора, ПРА, сборную емкость и распылитель.

Устройство работает следующим образом.

Дезинфицирующая жидкость из накопительного резервуара проходит по трубопроводу, намотанному на дросселе, затем по второму трубопроводу, намотанному на электродвигателе вентилятора и, в заключение, по кварцевому трубопроводу на РЛВД. Прохождение жидкости через указанные трубопроводы сопровождается отбором тепла в начале от дросселя, затем от электродвигателя вентилятора и на последней фазе - от разрядной трубки РЛВД. При этом на

последней стадии жидкость дополнительно обрабатывается инфракрасным и ультрафиолетовым излучениями и дезинфицируется.

В устройстве предусмотрены переключения трубопроводов на отбор жидкости для поения животных или в накопительный резервуар.

Кроме того, в устройстве предусмотрен сбор жидкости, ее очистка и повторное использование.

Таким образом, в настоящем устройстве удастся полезно утилизировать тепло электродвигателя, дросселя и РЛВД и обойтись без дополнительных нагревателей в зимнее время при соответствующем увеличении срока службы и к.п.д. электрооборудования.

### 7.10 Новые функции пускорегулирующих аппаратов, применяемых в светотехнических приборах и установках на фермах

Широкое использование в технологических процессах животноводческих ферм газоразрядных ламп, включаемых в сеть только с пускорегулирующей аппаратурой, позволило значительно расширить функциональные возможности последней.

На рис. 7.37 приведен перечень основных (классических) и новых, дополнительных функций ПРА, установленных в ходе настоящей работы.

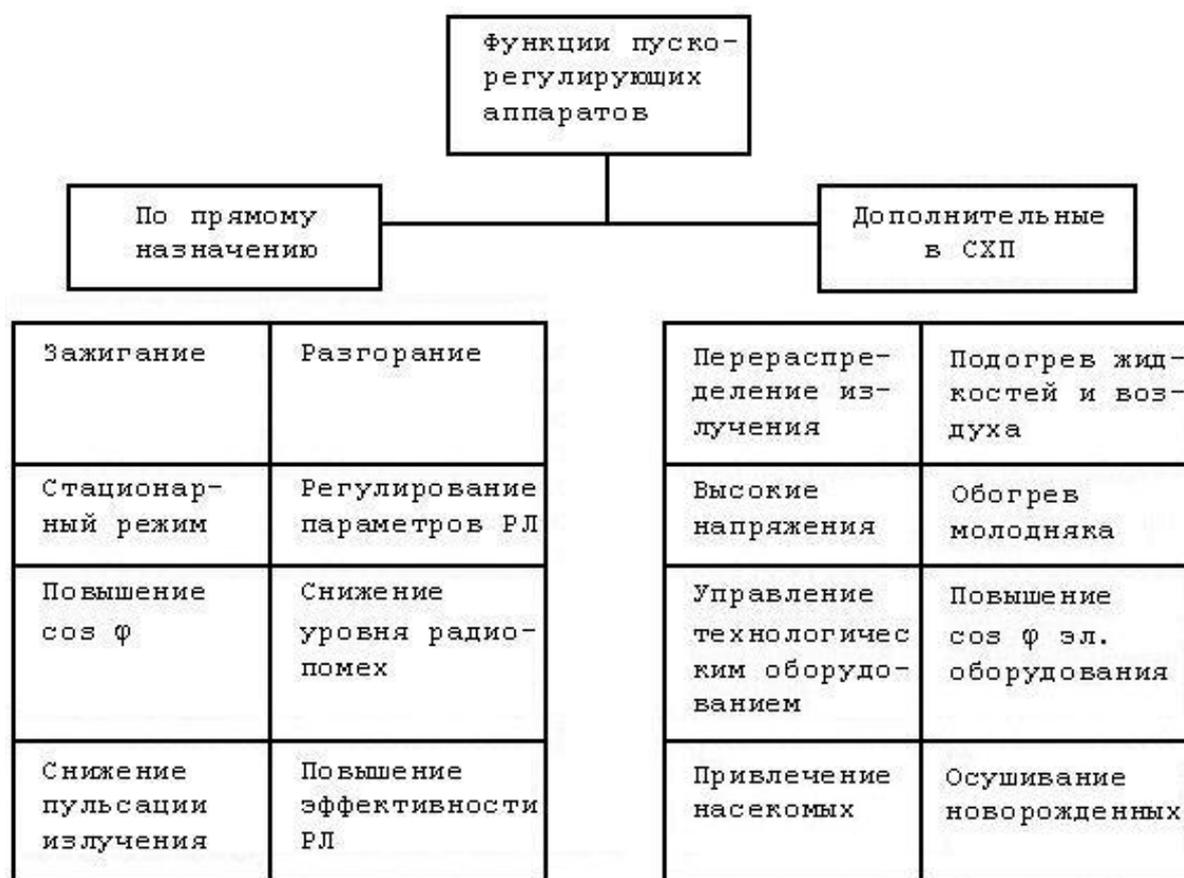


Рисунок 7.37 - Основные и новые (дополнительные) функции пускорегулирующих аппаратов для газоразрядных ламп, установленных в процессе работы

В условиях ферм КРС пускорегулирующая аппаратура может быть использована для перераспределения лучистого потока (а.с. 1734610), причем, чем выше мощность РЛ, тем эффективнее использование ПРА для этой цели.

В устройствах по а.с. 1746110 и 1685346 элементы ПРА используются в качестве приманки за счет тепла, выделяемого дросселем и для уничтожения летающих насекомых. Последняя функция оказывается возможной за счет переключения импульсного зажигающего устройства ПРА на высоковольтный блок уничтожения.

Элементы ПРА, совмещенные с технологическим оборудованием, могут обеспечивать точный график включения и выключения ламп, что гарантирует экономию электроэнергии и повышает трудовую дисциплину (а.с. 1720605 или а.с. 1469575).

Важным новшеством является установленная возможность использования элементов ПРА и СТУ в качестве устройства для компенсации *cos* технологического оборудования, как это решено с а.с. 1292210.

Таким образом, в ходе выполнения настоящей работы были раскрыты новые дополнительные функции ПРА СТУ: перераспределение излучения, подогрев воздуха и жидкостей, получение высоких напряжений, привлечение насекомых, компенсация реактивной мощности, обогрев и осушивание животных.

### **7.11 Заключение (выводы)**

1. Разработаны новые светотехнические приборы с РЛНД обеспечивающие: снижение времени на обслуживание на 20...30 % и экономию электроэнергии на 30...40 %.

2. Предложен ряд конструкций облучательных приборов, устраняющих негативное действие переходного процесса разгорания РЛ БД на формирование дозы УФ облучения, позволяющих обеспечить отклонение облученности на 1...3 % от установленного значения.

3. Расширены функциональные возможности световых приборов и ПРА в плане возможности их применения для уничтожения летающих насекомых.

4. Создано новое светотехническое оборудование для СТУ доильных залов и блоков, обеспечивающее увеличение срока службы электродов ламп на 20 % при точном соблюдении светового графика.

5. Предложен новый способ и устройство для повышения производительности процессов доения за счет облучения крестца коровы дозированным инфракрасным излучением.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен системный анализ использования энергии ОИ в основных технологических процессах содержания КРС и существующих технических средств их обеспечения с учетом энергозатрат, вопросов экологии и производственной деятельности человека в условиях ферм, и установлено существенное отставание данной подотрасли сельскохозяйственной науки и техники.

2. Разработаны методики и экспериментальные светотехнические установки и проведено комплексное исследование по определению влияния уровней освещенности и длительности облучения на основные показатели продуктивности и здоровья животных, а также человека при различных способах содержания и при выполнении стандартных технологических операций. Сформулированы исходные требования и задачи для разработки и создания новых конструкций светотехнических приборов и установок.

3. Разработаны новые способы освещения животных в помещениях во время осенне-зимнего стойлового периода, введены новые технологические операции, увеличивающие продуктивность животных и улучшающие показатели здоровья. Предложены математические модели, определяющие влияние уровней освещенности на основные показатели продуктивности животных.

Новые способы освещения помещений с животными позволяют получить:

- при беспривязном содержании коров: увеличение удоев на 9,7...12 % при увеличении расхода кормов на 3,8...6 % и снижение расхода кормов из расчета на единицу полученной продукции на 4,5...6 % при возрастании почти на 37 % средней интенсивности молоковыведения и соответствующей полноты выдаивания;

- при динамичном освещении в случае беспривязного содержания: увеличение расхода кормов на 7...8 %, двигательной активности - на 13 %, на 20...21 % продолжительности приема корма при 10...12 % увеличении удоев;

- при привязном содержании достигается увеличение удоев на 5...6 % при увеличении количества оплодотворенных коров за три осеменения на 3,2 %.

4. Новый способ освещения телят позволяет получить дополнительно привесы не менее 7...8 % при снижении на 65 % количества больных телят.

5. Введение новых способов освещения помещений для доения животных обеспечивает снижение утомляемости операторов машинного доения на 18...25 % и зависит от возраста работающего.

6. Применение новых светотехнических устройств и способов воздействия на биологически активные точки молочных коров позволяет сократить длительность процесса доения на 7...12 % при уменьшении количества молока ручного дооя на 4...33 %.

7. Установлено, что применение лазерной техники для облучения биологически активных точек может дать существенное увеличение

производительности доильных установок и требует дальнейших всесторонних исследований.

8. Теоретический анализ наиболее экономичных схем включения РЛ позволил определить одно из наиболее перспективных направлений по совершенствованию ПРА: создание трехфазных трехпроводных схем, на базе которых созданы высокоэффективные установки, обеспечивающие:

- снижение потерь электроэнергии на 15...25 %;
- увеличение срока службы электродов РЛ на 15...2 %;
- получение емкостного  $\cos\varphi$  порядка 0,35...0,5 и использование новых схем СТУ для компенсации реактивной мощности общего технологического электрооборудования ферм;
- снизить вес и габариты светотехнических приборов на 15...50 %;
- экономию электроэнергии на 8...10 %.

9. Изучение технологических процессов содержания животных, их особенностей, позволило разработать новые типы световых и облучательных приборов, обеспечивающих:

- снижение эксплуатационных расходов на 20...30 % за счет снижения трудозатрат на обслуживание;
- повышение эффективности облучения за счет увеличения равномерности распределения освещенности и облученности.

10. Созданы комбинированные светотехнические приборы, которые наряду с выполнением основных функций используются для приманки и уничтожения летающих насекомых.

11. Предложено новое оборудование, позволяющее провести автоматическое опознание животных в доильных залах и устройства для создания комфортных условий труда животноводов, работающих в энергосберегающих режимах.

12. Разработан и экономически обоснован наиболее выгодный интервал периодичности чисток ламп и светильников, соответствующий 1 разу в месяц.

13. Предложены наиболее быстро реализуемые в настоящих условиях способ и схема утилизации газоразрядных ртутесодержащих ламп.

14. Разработаны специальные устройства и установки для выращивания зеленой подкормки, пастеризации молока, санитарной обработки вымени коров, в которых решены вопросы утилизации тепла, выделяемого светотехническим оборудованием и обеспечивающие снижение энергозатрат, увеличение срока службы дросселей и ламп.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ПЕРВОИСТОЧНИКОВ

1. Георгиевский В. И. Физиология сельскохозяйственных животных / В. И. Георгиевский. - М.: Агропромиздат, 1990. - 511 с.
2. Голосов И. М. Применение лучистой энергии на животноводческих фермах и комплексах / И. М. Голосов. - Л.: Лениздат, 1981. - 104 с.
3. Биофизика // под общ. ред. акад. АН СССР П. Г. Костюка. - К.: Вища шк. Головне вид-во, 1988. - 504 с.
4. Юрков В. М. Влияние света на резистентность и продуктивность животных / В. М. Юрков // - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Росагропромиздат, 1991. - 192 с.
5. Щербина А. И. Влияние различных световых режимов на обмен веществ животных и развитие их потомства/ А. И. Щербина // Автореф. дисс. канд. с-х наук. - Харьков, 1961.
6. Погребная Н. П. Влияние различных световых режимов на газообмен и молочную продуктивность коров / Н. П. Погребная // Автореф. дисс. канд. с-х наук. - Л., 1962.
7. Зенков В. Г. Уровни освещенности в животноводческих помещениях / В. Г. Зенков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1974. - № 3. - 22 с.
8. Поляков А. А. Профилактика болезни животных на комплексах / А. А. Поляков, И. А. Дудницкий // Ветеринария. - 1976. - № 7. - С. 41-45.
9. Кожевникова Н. Ф. Применение оптического излучения в животноводстве / Н. Ф. Кожевникова. - М.: Россельхозиздат, 1987. - 88 с.
10. Симонова Н. П. Влияние различной освещенности на физиологические показатели и продуктивность коров / Н. П. Симонова // Скотоводство в Забайкалье и Амурской области". - 1984. - С. 18-22.
11. Гаврилов П. В. Анализ результатов использования оптического излучения на животноводческих комплексах / П. В. Гаврилов // Автоматизация и повышение качества электроснабжения животноводческих и птицеводческих комплексов. - К.: Сб. научн. тр. МИИСП, 1984. - С. 54-60.
12. Зенков В. Г. Нормирование освещенности в сельскохозяйственных помещениях/ В. Г. Зенков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1973. - № 10. - 50 с.
13. Амбросимова Р. С. Влияние освещенности на газоэнергетический обмен и продуктивность крупного рогатого скота / Р. С. Амбросимова // Животноводство. - 1976. - № 2. - С. 87-88.
14. Освещение помещений животноводческих комплексов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1974. - № 10. - 22 с.
15. Юрков В. М. Влияние света на продуктивность животных / В. М. Юрков. - М.: Россельхозиздат, 1980. - 125 с.
16. Муругов П. В. Основные научно-технические проблемы применения оптического излучения в сельском хозяйстве / П. В. Муругов, Л. Г. Прищеп // Светотехника. - 1978. - № 5. - С. 2-4.
17. Тихомирова Л. И. Влияние светового режима на коров и телят / Л. И. Тихомирова, П. Д. Колчин // Ветеринария. - 1978. - № 5. - С. 30-32.

18. Быстрицкий Д. Н. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве / Д. Н. Быстрицкий [и др.]. - М.: Энергоиздат, 1981. - 152 с.
19. Жилинский Ю. М. Электрическое освещение и облучение / Ю. М. Жилинский, В. Д. Кумин. - М.: Колос, 1982. - 272 с.
20. От редакционной коллегии // Светотехника. – 1981. - № 9. - С. 19-22.
21. Об эффективных величинах и единицах // Светотехника. – 1981. - № 9. - С. 19-22.
22. Самойлов Л. Н. К вопросу об эффективных величинах и единицах / Л. Н. Самойлов [и др.] // Светотехника. – 1979. - № 5. - С. 10-13.
23. Рекомендации по применению ультрафиолетового излучения в животноводстве и птицеводстве // М.: Колос, 1979. - 32 с.
24. Рекомендации по инфракрасному обогреву молодняка сельскохозяйственных животных и птицы // М.: Колос, 1979. - 31 с.
25. Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений // М.: Колос, 1980. - 21 с.
26. Гаврилов П. В. Применение оптического излучения на фермах и комплексах крупного рогатого скота / П. В. Гаврилов // Межвуз. сб. научн. трудов "Проблемы сельскохозяйственной светотехники". - Л.: ЛГАУ, 1991. - С. 75-80.
27. Бородин М. Ф. Автоматизация технологических процессов / М. Ф. Бородин, Н. М. Недилько. - М.: Колос, 1986. - 368 с.
28. Марусидзе Д. Н. Установки для создания микроклимата на животноводческих фермах / Д. Н. Марусидзе [и др.]. - Изд. 2-е перераб. и доп. - М.: Колос, 1979. - 327 с.
29. Изилов Ю. С. Основы молочного и мясного скотоводства / Ю. С. Изилов. - М.: Агропромиздат, 1985. - 349 с.
30. Зоогиена и ветеринарная санитария в промышленном животноводстве // Под ред. Г. К. Волкова. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Колос, 1992. - 414 с.
31. Петруша Е. З. Операційні технології виробництва молока / Е. З. Петруша [и др.]. - К.: Урожай, 1988. - 200 с.
32. Производство молока // Отв. ред. И. А. Даниленко. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Колос, 1972. - 336 с.
33. Справочная книга по светотехнике // Под ред. Ю. Б. Айзенберга. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 472 с.
34. Мешков В. В. Осветительные установки: учебн. пособ. для вузов / В. В. Мешков, М. М. Епанешников. - М.: Энергия, 1972. - 360 с.
35. Киров К. Особенности светового режима в промышленном скотоводстве / К. Киров // Зоогиена и санитария. – 1979. - № 10. – С. 5, 32.
36. Газилов Ф. Х. Влияние интенсивности естественного и искусственного освещения телятников на органы телят / Ф. Х. Газилов // Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. – Казань, 1975.
37. Менгель И. В. Естественная освещенность коровников и влияние ее на состояние и продуктивность коров / И. В. Менгель // Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. - М., 1968.

38. Лямцов А. К. Некоторые вопросы освещения зданий для содержания крупного рогатого скота / А. К. Лямцов, Г. А. Тищенко // Светотехника. – 1978. - № 5. - С. 4-5.
39. Левитин И. Б. Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве / И. Б. Левитин. - Л.: Энергоиздат, отд. 1981. - 262 с.
40. Степанов В. П. Светотехническое оборудование в сельскохозяйственном производстве: справ. пособие / В. П. Степанов. - Мн.: Урожай. 1987. - 216 с.
41. Штурм К. Г. Пускорегулирующие аппараты и схемы включения люминесцентных ламп / К. Г. Штурм. - М.: Изд-во иностр. лит-ра, 1961. - 375 с.
42. Фугенфиров Е. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами / Е. И. Фугенфиров. - М.: Энергия. 1974. - 368 с.
43. Афанасьева Е. И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура: учебн. для техн. / Е. И. Афанасьева, В. М. Скобелев. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 272 с.
44. Краснопольский А. Е. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп / А. Е. Краснопольский. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 208 с.
45. Ртутные лампы высокого давления / Перераб. и доп. пер. с англ. - Под ред. И. М. Весельницкого и Г. М. Рохлина. - М.: Энергия, 1978. - 328 с.
46. Импульсные источники света / Под общ. ред. И. С. Маршака. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергия, 1978. - 472 с.
47. Гаврилов П. В. Результаты обследования осветительных установок ферм крупного рогатого скота / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко // Светотехника. – 1989. - № 6. - С. 21-22.
48. Руководство по проектированию освещения животноводческих помещений // НИИСФ Госстроя СССР, ВИЭСХ, ВАСХНИЛ. - М.: Стройиздат, 1981. - 47 с.
49. ГОСТ 24.940-81. Здания и сооружения. Метод измерения освещенности. - М., 1981.
50. ГОСТ 15.001-88. Продукция производственно-технического назначения. - М., 1988.
51. ГОСТ 17.616-82. Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. - М., 1982.
52. ГОСТ 17.677-82. Светильники. Общие технические условия. - М., 1982.
53. ГОСТ 23.198-72. Лампы газоразрядные. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик. - М., 1972.
54. ГОСТ 22.466.4-82. Источники высокоинтенсивного оптического излучения газоразрядные непрерывного действия. Методы электрических параметров. - М., 1982.
55. ГОСТ 16.948-79. Источники света искусственные. Метод определения интенсивности ультрафиолетового излучения при климатических испытаниях в лабораторных условиях. - М., 1979.
56. ГОСТ 15.001-73. Разработка и постановка продукции на производство. Основные положения. - М., 1973.
57. ГОСТ 16.308-75. Контроль точности технологических процессов. Методы расчета допусков на настройку. - М., 1975.

58. Методические рекомендации по устройству и расчету систем обеспечения микроклимата животноводческих помещений / Под ред. Ю. Н. Пчелкина. – Запорожье: ЦНИПТИМЭЖ, 1980. – 87 с.
59. Организация и проведение опытов в условиях промышленных комплексов / НИИЖ Л и П УССР: Харьков, 1975. - 35 с.
60. Методические рекомендации по технологии машинного доения / ВАСХНИЛ. - НИИЖ Л И П УССР: Харьков. - 27 с.
61. Световой календарь городов Украинской ССР / МКХ УССР. – Киев, 1971. - 103 с.
62. Коваленко Ю. С. Нормативный метод планирования, учета и контроля затрат в животноводстве / Ю. С. Коваленко, В. Г. Линник. - М.: Агропромиздат, 1990. - 127 с.
63. Нормативы времени на обслуживание крупного рогатого скота в мясном скотоводстве // Госагропром. ком. СССР. Лаб. нормативов по труду и агропром. пр-ве. - ВИЭСХ. - М.: Россельхозиздат, 1988. – 56 с.
64. Белов А. Д. Физиотерапия и физиопрофилактика болезней животных: справ. издан. / А. Д. Белов. - М.: Колос, 1983. - 207 с.
65. Баланин В. И. Зоологический контроль микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях / В. И. Баланин. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, Ленинград. отд., 1988. - 144 с.
66. Рудаков В. В. Ионизация воздуха в животноводческих помещениях / В. В. Рудаков, С. К. Александрова. - Л.: Агропромиздат, Ленинград. отд., 1987. - 64 с.
67. Муругов В. П. Методические рекомендации по применению оптического излучения в животноводстве / В. П. Муругов. - М.: ВИЭСХ, 1978. - 63 с.
68. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений / М.: ВНИИПИ, 1982. - 41 с.
69. Дзепзитис Э. Э. Управление системами кондиционирования микроклимата: справ. посіб. / Э. Э. Дзепзитис. - М.: Стройиздат, 1990. - 176 с.
70. Знаменский В. Г. Эффективность искусственного освещения зданий для содержания крупного рогатого скота молочного направления / В. Г. Знаменский // Науч. тр. ВНИИЭСХ. – 1983. - Т. 57. - С. 54-58.
71. ГОСТ 16.809-78. Аппараты пускорегулирующие для газоразрядных ламп. - М., 1978.
72. Руководство по проектированию динамического освещения в производственных помещениях // НИИСФ Госстроя СССР. - М., 1980. - 31 с.
73. Гаврилов П. В. Исследование влияния освещенности на продуктивность молочных коров / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко, Е. З. Петруша // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. - № 4. - С. 44-45.
74. Петруша Е. З. Эффективность повышения уровня искусственного освещения помещений для производства молока / Е. З. Петруша, Н. М. Рыбалко, П. В. Гаврилов // Тез. докл. научно-технич. конф. "Новое в технологии содержания высокопродуктивных коров". - Эстонск. с/х академ. Г. Тарту. - 1989. - С. 76-78.

75. ОСТ 70.23.1-74. Комплект оборудования для создания микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях. Программа и методы измерений. - М., 1974.
76. ГОСТ 19.348-82. Изделия светотехнические сельскохозяйственного назначения. Общие технические условия, маркировка, упаковка, транспортировка и хранение. - М., 1982.
77. Световой календарь городов Львовской области Украинской ССР. (Руководство по определению оптимального времени работы уличного освещения. - Львов, 1970. - 37 с.
78. Глозман Ц И. Метрологическое обеспечение измерения волн источников излучения / Ц. И. Глозман, Г. И. Лейбенгардт, В. Л. Шур. - М.: Госстандарт СССР, 1989. - 36 с.
79. Бакшиев П. Д. Штучне опромінення тварин / П. Д. Бакшиев. - К.: Урожай, 1980. - 80 с.
80. Гаврилов П. В. Устройство для облучения молодняка животных / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко, В. В. Боцман // Тез. докл. всесоюз. н/т конф. "Повышение эффективности использования электропривода в с/х производстве". - Челябинск, 1989. - С. 36-37.
81. Гаврилов П. В. Опыт эксплуатации передвижных УФ установок / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман // Тез. докл. 1 межвуз. научн. конф. "Многоскоростной и электронизированный электропривод в с/х". - Зерноград, 23-25 октября 1990. - 20 с.
82. Гаврилов П. В. Разработка и внедрение полупроводникового пульта автоматического управления передвижной УФ установкой / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман // Тез. докл. 1 межвуз. научн. конф. "Многоскоростной и электронизированный электропривод в с/х". - Зерноград, 23-25 октября 1990. - 21 с.
83. Лисиченко Н. Л. Новые эффективные схемы включения источников оптического излучения на фермах и комплексах КРС / Н. Л. Лисиченко, В. В. Боцман, П. В. Гаврилов // Тез. докл. научно-практ. конф. "Проблемы интенсификации пр-ва молока". - Минск, 1991. - 167 с.
84. Гаврилов П. В. Экспериментальные светотехнические установки для ферм крупного рогатого скота / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко, В. В. Боцман, [и др.] // Тез. докл. XX конф. молодых ученых "Актуальные вопросы обеспечения АПК". - Херсон, 1993. - 103 с.
85. Справочник по теории автоматического управления // Под ред. А. А. Красовского. - М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 712 с.
86. А. с. СССР № 1312760. Мкл Н 05 В 41/23. Устройство для облучения животных и птицы / П. В. Гаврилов [и др.]. - 1987. - б. и. № 19.
87. А. с. СССР № 1588334. Мкл А 01 К 1/00. Способ осенне-зимнего содержания коров / П. В. Гаврилов, Е. З. Петруша, Н. Л. Лисиченко, В. Д. Никитин. - 1990, б. и. № 32.
88. Гаврилов П. В. Применение оптического излучения в животноводческих помещениях / П. В. Гаврилов [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. - 1991. - № 4. - С. 49-51.

89. А. с. СССР № 1711742. Мкл А 01 К 1/00. Способ стойлового содержания молочных коров / П. В. Гаврилов, Е. З. Петруша, Н. Л. Лисиченко, В. П. Свицерский. - 1992. - б. и. № 6.
90. Методика исследования светотехнических изделий и комплектов, эксплуатируемых в помещениях сельскохозяйственного назначения // УААН, УОТКЗИЖ. - Новое в методиках зоотехнических исследований. - Ч. 11 - Харьков, 1992. - С. 229-230.
92. Боцман В. В. Разработка, исследование и внедрение автоматизированной системы управления оптическим излучением на фермах и комплексах крупного рогатого скота / В. В. Боцман // Дисс. на соиск. учен. степени к.т.н. – ХИМЭСХ. - Харьков, 1993. - 231 с.
93. Знаменский В. Г. Эффективность искусственного освещения зданий для содержания крупного рогатого скота молочного направления / В. Г. Знаменский // Науч. труды ВНИИЭСХ. – 1983. – Т. 57. - С. 54-58.
94. А. с. СССР № 1544303. Мкл. А 01 I 7/00. Устройство для санитарной обработки вымени / П. В. Гаврилов, И. П. Гаврилов, В. Н. Глущенко, В. Д. Никитин. – 1990. - б. и. № 7.
95. А. с. СССР № 1667780. Мкл. А 01 К 67/02. Способ стимуляции молочной продуктивности коров / П. В. Гаврилов, Е. З. Петруша, Н. Л. Лисиченко, Е. И. Кузнецов. – 1991. - б. и. № 29.
96. Плахотин М. В. Иглоакупация в ветеринарии / М. В. Плахотин. - М.: Колос, 1982. - 169 с.
97. Аверкиев А. Л. О возможности применения лазерного излучения для регуляции лактации / А. Л. Аверкиев, Н. К. Комаров // Тез. докл. Всесоюз. симпоз. по машинному доению с/х животных. – Рига, 1979. – 5 с.
98. Аверкиев А. Л. Влияние оптических квантовых регуляторов на удои при машинном доении / А. Л. Аверкиев, Н. К. Комаров // Тез. докл. Всесоюз. симпоз. по физиол. и биохимии лактации - Л., 1978. - 6 с.
99. Безверхний М. А. Сельские профессии лазерного луча / М. А. Безверхний. - М.: Агропромиздат, 1985.
100. ГОСТ 19348- 82. Изделия электротехнические сельскохозяйственного назначения: общие требования. - М., 1982.
101. ГОСТ 13264-88. Молоко коровье. Требование при закупках. - М., 1988.
102. Гаврилов П. В. Трехфазные трехпроводные схемы включения люминесцентных ламп с общим дросселем / П. В. Гаврилов. - Светотехника. – 1978. - № 4. - С. 7-10.
103. Троицкий А. М. Метод расчета контура линейный емкостноиндуктивный балласт - газоразрядная лампа / А. М. Троицкий // Светотехника. – 1973. - № 9. - С. 9-11.
104. Краснопольский А. Е. Газоразрядная лампа с нелинейным индуктивным балластом / А. Е. Краснопольский // Светотехника. – 1963. - № 3. - С. 7-8.
105. Гаврилов П. В. Теоретический анализ режимов работы ламп типа ДРТ 400 в облучательных установках / П. В. Гаврилов, Ю. П. Кравченко // Сб. научн. тр. МИИСП. – М., 1983. - С. 28-33.

106. А. с. СССР № 1292211. Мкл. Н 05 В 41/23. Многоламповое устройство / П. В. Гаврилов, В. Ф. Рой, В. Н. Бурма. – 1987. - б. и. № 7.
107. А. с. СССР № 1150779. Мкл. Н 05 В 41/23. Устройство для облучения животных / П. В. Гаврилов, Ю. П. Кравченко, Е. З. Петруша. – 1985. - б. и. № 14.
108. А. с. СССР № 1292210. Мкл. Н 05 В 37/02. Облучательная установка / П. В. Гаврилов, В. Г. Волков, Е. Д. Дьяков, Ю. Кравченко. – 1987. - б. и. № 7.
109. Гаврилов П. В. Работа люминесцентных ламп с индуктивно-емкостным пускорегулирующим аппаратом / П. В. Гаврилов, П. Л. Пахомов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. - № 6. - С. 55-57.
110. Гаврилов П. В. О выборе оптимального режима в индуктивно-емкостных схемах включения люминесцентных ламп / П. В. Гаврилов, Е. Н. Жариков // Светотехника. – 1975. - № 4. - 6 с.
111. А. с. СССР № 1415474. Мкл. Н 05 В 41/23. Осветительное устройство / П. В. Гаврилов, А. М. Троицкий, Е. З. Петруша, В. П. Свищерский. – 1988. - б. и. № 14.
112. А. с. СССР № 1012465. Мкл. Н 05 В 41/23. Устройство для импульсного облучения / П. В. Гаврилов. – 1983. - б. и. № 14.
113. А. с. СССР № 828444. Мкл. Н 05 В 41/24. Пускорегулирующее устройство для включения газоразрядных ламп / П. В. Гаврилов. – 1981. - б. и. № 17.
114. Гаврилов П. В. О применении сети 660/380 В для питания многоламповых осветительных установок / П. В. Гаврилов, Е. Н. Жариков // Светотехника. – 1974. - № 10. - 14 с.
115. А. с. СССР № 936474. Мкл. Н 05 В 41/392. Устройство для питания газоразрядных ламп. / П. В. Гаврилов, В. Ф. Рой, Н. Г. Бурма. – 1982. - б. и. № 22.
116. А. с. СССР № 944172. Мкл. Н 05 В 41/392. Устройство для регулирования напряжения накала люминесцентной лампы / П. В. Гаврилов, В. Ф. Рой, Н. Г. Бурма. – 1982. - б. и. № 26.
117. А. с. СССР № 1574977. Мкл. F 21 S 3/02. Светильник / П. В. Гаврилов, В. Г. Березинский, В. Ф. Захарченко [и др.]. – 1990. - б. и. № 24.
118. А. с. СССР № 1583712. Мкл. F 21 S 3/02. Светильник / П. В. Гаврилов, В. Г. Березинский, К. К. Намитоков. – 1990. - б. и. № 29.
119. А. с. СССР № 1734510. Мкл. А 01 К 29/00. Облучатель для животных / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко, П. Л. Пахомов [и др.]. – 1992. - б. и. № 19.
120. А. с. СССР № 1428327. Мкл. А 01 К 29/00. Устройство для облучения животных / П. В. Гаврилов, К. К. Намитоков, В. Г. Березинский [и др.]. – 1988. - б. и. № 37.
121. А. с. СССР № 1445658. Мкл. А 01 К 31/20. Устройство для облучения животных и птицы / П. В. Гаврилов, К. К. Намитоков, В. Г. Березинский [и др.]. - 1988. - б. и. № 47.
122. А. с. СССР № 1319807. Мкл. А 01 К 1/02. Устройство для освещения и облучения животных / П. В. Гаврилов, В. Н. Глущенко, В. И. Ступаков [и др.]. – 1987. - б. и. № 24.

123. Жилинский Ю. М. Лазерное излучение в биологии / Ю. М. Жилинский // БСЭ. - Т. 14. - М.: Советская энциклопедия, 1973. – 114 с.
124. А. с. СССР № 993890. Мкл. А 01 К 1/02. Устройство для облучения животных / П. В. Гаврилов, Ю. П. Кравченко. – 1983. - б. и. № 45.
125. А. с. СССР № 1311676. Мкл. А 01 К 1/02. Устройство для облучения животных / П. В. Гаврилов, И. П. Гаврилов, В. Ф. Захарченко. – 1987. - б. и. № 19.
126. А. с. СССР № 1119640. Мкл. А 01 К 29/00. Устройство для облучения животных / П. В. Гаврилов, Ю. П. Кравченко. – 1984. - б. и. № 39.
127. А. с. СССР № 1113059. Мкл. А 01 К 1/02. Облучатель для животных / П. В. Гаврилов, А. В. Могилко, А. И. Писаревский. – 1984. - б. и. № 34.
128. А. с. СССР № 1351551. Мкл. А 01 К 29/00. Облучатель / П. В. Гаврилов, Е. З. Петруша, В. Н. Глущенко [и др.]. – 1987. - б. и. № 42.
129. А. с. СССР № 1360673. Мкл. А 01 К 29/00. Установка для облучения животных / П. В. Гаврилов, В. И. Ступаков, Е. Н. Пряничков [и др.]. – 1987. - б. и. № 47.
130. А. с. СССР № 1520154. Мкл. А 01 К 31/20. Облучатель для молодняка животных / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман, В. С. Черномаз [и др.]. – 1989. - б. и. № 47.
131. Поляков В. А. Ветеринарная энтопология и арахнология / В. А. Поляков, У. Я. Узаков, Г. А. Веселкин // Справочник. - М.: Агропромиздат, 1990. - 299 с.
132. А. с. СССР № 1746110. Мкл. F 21 V 33/00. Светильник / Л. Г. Прищеп, П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко. – 1992. - б. и. № 25.
133. А. с. СССР № 1685346. Мкл. А 01 М 1/22. Светоловушка для уничтожения летающих насекомых / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман, М. Х. Ахметзянов [и др.]. – 1991. - б. и. № 39.
134. А. с. СССР № 1709970. Мкл. А 01 М 1/22. Устройство для уничтожения насекомых / П. В. Гаврилов, В. В. Домайн, Т. В. Домайн [и др.]. – 1992. - б. и. № 5.
135. А. с. СССР № 1737551. Мкл. Н 01 Н 51/28. Магнитоуправляемое коммутационное устройство / К. К. Намиток, В. Г. Брезинский, Ю. П. Кравченко [и др.]. – 1992. - б. и. № 20.
136. А. с. СССР № 1436755. Мкл. Н 01 Н 51/28. Устройство для преобразования напряженности магнитного поля в электрическую величину / В. И. Гуревич, П. В. Гаврилов, Е. Н. Пряничков [и др.]. – 1987. - б. и. № 33.
137. А. с. СССР № 1354276. Мкл. Н 01 Н 51/28. Датчик тока / В. И. Гуревич, Е. Н. Пряничков, П. В. Гаврилов [и др.]. – 1987. - б. и. № 43.
138. А. с. СССР № 150199. Мкл. А 01 К 11/00. Устройство для автоматического опознания животного / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман, Е. З. Петруша [и др.]. – 1989. - б. и. № 31.
139. А. с. СССР № 1813379. Мкл. А 01 К 1/00. Устройство для облучения животных в процессе их доения / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман, Н. Л. Лисиченко. – 1993. - б. и. № 17.

140. А. с. СССР № 1227201. Мкл. А 01 К 5/06. Устройство для облучения животных / П. В. Гаврилов, И. П. Гаврилов, Е. Н. Пряничков [и др.]. – 1986. - б. и. № 16.
141. А. с. СССР № 1313400. Мкл. А 01 К 1/00. Устройство для облучения животных / П. В. Гаврилов, И. П. Гаврилов, Е. З. Петруша [и др.]. – 1987. - б. и. № 20.
142. А. с. СССР № 1720605. Мкл. А 01 К 1/00. Устройство для освещения помещений для дойки коров / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко, В. Ф. Захарченко [и др.]. – 1992. - б. и. № 11.
143. А. с. СССР № 1535546. Мкл. А 61 N 5/06. Устройство для облучения животных / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман, В. Е. Соловов [и др.]. – 1990. - б. и. № 2.
144. А. с. СССР № 1787389. Мкл. А 01 У 9/04. Доильный аппарат / Е. И. Кузнецов, Н. Л. Лисиченко, П. В. Гаврилов. – 1993. - б. и. № 2.
145. Гаврилов П. В. Периодичность чисток светильников с люминесцентными лампами в коровниках / П. В. Гаврилов // Светотехника. – 1992. - № 1. - С. 19-20.
146. А. с. СССР № 1254597. Мкл. Н 05 В 41/23. Способ подключения люминесцентной лампы в схеме питания с подогревом электродов / П. В. Гаврилов, И. П. Гаврилов, В. И. Ступаков [и др.]. – 1986. - б. и. № 32.
147. А. с. СССР № 1475555. Мкл. А 01 К 1/02. Способ управления включением двух газоразрядных ламп высокого давления, соединенных параллельно в облучательной установке / П. В. Гаврилов, В. П. Свидерский, В. Ф. Захарченко [и др.]. – 1989. - б. и. № 16.
148. А. с. СССР № 1419492. Мкл. Н 05 В 41/22. Облучательное устройство с резервными газоразрядными лампами / П. В. Гаврилов, В. И. Гуревич, И. П. Гаврилов [и др.]. - 1987.
149. А. с. СССР № 1521382. Мкл. А 01 G 9/26. Устройство для освещения растений / П. В. Гаврилов, В. И. Гуревич, В. В. Дойман [и др.]. – 1989. - б. и. № 42.
150. А. с. СССР № 1761048. Мкл. А 01 G 9/24. Устройство для освещения растений / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман, В. В. Дойман. – 1992. - б. и. № 34.
151. А. с. СССР № 1469575. Мкл. А 01 G 9/24. Устройство для облучения растений / П. В. Гаврилов, Е. Н. Пряничков, В.Н. Глущенко [и др.]. - 1987.
152. А. с. СССР № 1544340. Мкл. А 23 С 3/02. Аппарат для облучения жидкости / П. В. Гаврилов, В. И. Магда, Б. П. Симонов [и др.]. – 1990. - б. и. № 7.
153. Грановский В. А. Электрический ток в газах / В. А. Грановский. - М.: Наука, 1971. - 543 с.
154. Литвинов В. С. Тепловые источники оптического излучения / В. С. Литвинов, Г. Н. Рохлин. - М.: Энергия, 1975. - 248 с.
155. Рохлин Г. Н. Газоразрядные источники света / Г. Н. Рохлин. - М.: Энергия, 1966. - 560 с.
156. Ветеринария. Режим освещения в свиноводстве и птицеводстве // Стандарт ГДР TGL 34312 (введен 01.11.1985). Перевод № 56019. - 1989.

157. Draghici C. Lumina sianimalete domes tice II. Folosirea luminii in practica cresterii animalelor / C. Draghici. - Med. Vetur, 1987. - An. 37. - № 5, 9, 48-54.
158. De Iong S. De invloed van extra Licht op vruchtbaarheid en produktie / S. De Iong. - Veeteelt, 1984. - № 6. - P. 474-475.
159. Mehlhorn G. Die gestaltung von Belenchtungsregimen in der Schiveine und Rinder produktion / G. Mehlhorn, W. Dorn // Mitteilungshefter fur veterinare medizin. - 1987. - V. 42. - № 20. - P. 742-746.
160. Benziger W. Risparmio di energia con. l regolatore di luminosita Elstromlux per lampade al sodio e al mercucio / W. Benziger, V. Hutter. - Luce. - № 3. - 1982. - P. 131-133.
161. Corsi P. Il contributo al risparmio energetico attraverso la regolazione del flusso luminoso delle lampade fluorescenti in ambienti "Luce" / P. Corsi, P. Preti. - 1983. - V. 22. - № 3. - P. 122-127.
162. Гаршин С. Б. Определение продолжительности использования искусственного освещения в животноводческих помещениях / С. Б. Гаршин // Исследования по строительной светотехнике. - М.: Госстрой СССР, 1981. - С. 62-66.
163. Molnar I. Fenyszabalyoxas - az energia takerekos munkahely vilagitas eszkozc / I. Molnar. - Villamossag. - 1982. - V. 30. - № 8. - P. 241-242.
164. Automatic Lighting Output System / Energy Engineering. - 1982. - V. 79. - № 1. - P. 49-55.
165. Kertess I. Vizsgabaton voilagitari berendezesek kapcsolasi indopontjainak meghatarozasaza / I. Kertess, T. Lantos. - Epuletgepeszet. - 1983. - V. 4. - № 32. - P. 159-165.
166. Слободской А. П. Обоснование спектральной характеристики инфракрасного излучателя для обогрева ягнят / А. П. Слободской, С. А. Растемишин, В. Н. Растрингин [и др.] // Электротехническая промышленность. Серия электротермия. - 1983. - № 11. - С. 1-3.
167. Герасимович Л. С. Сравнительная оценка инфракрасных обогревателей / Л. С. Герасимович // Техника в сельском хозяйстве. - 1982. - № 1. - С. 23-24.
168. Ильясов С. Г. Оценка ИК излучателей / С. Г. Ильясов, А. К. Лямцов, Б. В. Алексеев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1974. - № 10. - С. 21-22.
169. Кожевников А. В. Расчет и проектирование инфракрасных облучательных установок / А. В. Кожевников // Науч. труды ВНИИЭСХ. - 1983. - Т. 57. - С. 21-27.
170. Растемишин С. А. Расчет необходимой энергетической освещенности, создаваемой ИК излучением в установке для обогрева ягнят / С. А. Растемишин, В. Н. Растрингин, А. К. Лямцов // Электротехническая промышленность. Серия электротермия. - 1983. - № 11. - С. 13-14.
171. Мартыненко И. И. Проблемы автоматизации сельскохозяйственного производства / И. И. Мартыненко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1982. - № 5.
172. Баласанов Г. Н. Моделирование и оптимизация в автоматизированных системах управления / Г. Н. Баласанов. - М.: Атомиздат, 1972.

173. Краусп В. Р. Комплексная автоматизация в промышленном животноводстве / В. Р. Краусп. - М.: Машиностроение, 1980.
174. Ливак Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б. Г. Ливак. - М.: Патент, 1996. - 271 с.
175. Лямец Л. И. Системный анализ: учебное пособие / Л. И. Лямец, А. Д. Тевяшев. - Харьков: ХГТУРЭ, 1998. - 252 с.
176. Петруша Е. З. Експериментальне обґрунтування параметрів утримання молочних корів / Е. З. Петруша. - Харків: РВП Оригінал, 1998. - 192 с.
177. Mehlhorn J., Dron W. Die Gestaltung von Beleuchtungsregimen in der Schweine und Rinderproduktion / J. Mehlhorn, W. Dron // Mitteilungshefte für Veterinäre Medizin. - 1987. - № 20. - P. 742-746.
178. De Jong S. De invloed van exira licht op vruchtbaarheid en produktie / S. De Jong // Veeteelt. - 1984 - № 6. - P. 474-475.
179. Stanisiewski E. P. Effect of photoperiod on milk yield and milk fat in commercial dairy herds / E. P. Stanisiewski, R. W. Mellenbergek, C. R. Anderson // J. of dairy Science. - 1985. - № 5. - P. 1134-1140.
180. Намитоков К. К. Математическое моделирование тепловых процессов в газовой плазме / К. К. Намитоков, П. Л. Пахомов, С. Н. Харин. - Алма-Ата: Наука, 1988. - 208 с.
181. Ковальчикова М. Адаптация и стресс при содержании и разведении сельскохозяйственных животных / М. Ковальчикова, К. Ковальчик. - М.: Колос, 1978. - 271 с.
182. Пехович А. И. Расчеты теплового режима твердых тел / А. И. Пехович, В. М. Жидких. - Л.: Энергия, 1976. - 352 с.
183. Шуйский Н. Н. Лазерное излучение в биологии / Н. Н. Шуйский // БСЭ. - М.: Советская энциклопедия, 1973. - Т. 14. - 114 с.
184. Гаврилов П. В. Расчет облученности молодняка сельскохозяйственных животных и птицы от точечных и линейных излучателей / П. В. Гаврилов, А. П. Семак, В. В. Боцман [и др.] // Сб. науч. трудов Вопросы электрификации сельского хозяйства. - Харьков: ХГТУСХ, 1996. - С. 39-42.
185. Семак А. П. Разработка новых инфракрасных излучателей для сельскохозяйственного производства / А. П. Семак, П. В. Гаврилов, В. И. Ткаченко // Ювілейний науковий збірник Питання електрифікації сільського господарства. - Харків: ХДТУСГ, 1998. - С. 125-127.
186. Гаврилов П. В. Определение конструктивных параметров инфракрасных излучателей для облучения биологических объектов / П. В. Гаврилов // Ювілейний науковий збірник Питання електрифікації сільського господарства. - Харків: ХДТУСГ, 1998. - С. 142-145.
187. Гаврилов П. В. Проект галузевих нормативів технологічного освітлення приміщень для великої рогатої худоби та свиней / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман, Н. Л. Лисиченко [и др.] // Енергозбереження. Інф. аналіт. вістн. - Харків, 1998. - № 7-8. - С. 15-17.
188. Гаврилов П. В. Проект галузевих нормативів технологічного освітлення приміщень для великої рогатої худоби та свиней / П. В. Гаврилов, В. В. Боцман,

- Н. Л. Лисиченко [и др.] // Энергобережения. Инф. анализ. вестн. – Харьков, 1998. - № 9-10. - С. 24-26.
189. Пахомов П. Л. расчету теплового воздействия лазерного излучения / П. Л. Пахомов, П. В. Гаврилов // Комунальне господарство міст. Наук. техн. збірн. - 1999. - Вип. 20. - Ч. 1. - С. 146-151.
190. Гаврилов П. В. Построение математических моделей влияния уровней освещенности на технологические процессы содержания молочных коров / П. В. Гаврилов, В. Ф. Захарченко, В. Б. Репка // Вістник, ХДТУСГ. Питання електрифікації сільського господарства. – 2000. - Вип. 2. - С. 183-187.
191. Гаврилов П. В. Моделирование влияния оптического излучения на технологические процессы содержания молочных коров / П. В. Гаврилов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1. - Т. 19. - Мелітополь: ТДАТА, 2001. - С. 75-83.
192. Петруша Е. З. Обгрунтування параметрів і режимів роботи автоматичних пристроїв управління штучним освітленням приміщень з прив'язним утриманням корів / Е. З. Петруша, В. В. Боцман, П. В. Гаврилов [и др.] // Збірн. наук. праць, ХДЗВА - 2001. - Вип. 9 (33). - Ч. 3. - С. 255-257.
193. Гаврилов П. В. Методика измерения бактерицидного излучения косвенным методом / П. В. Гаврилов, В. Ф. Захарченко, Ю. К. Дунаев // Вістник ХДТУСГ Проблеми енергозабезпечення та енергобереження АПК України. - 2001. - Вип. 6. - С. 455-458.
194. Червінський Л. С. Обгрунтування та визначення критерію ефективності біологічної дії оптического излучения на тваринний організм / Л. С. Червінський // Вістник ХДТУСГ Проблеми енергозабезпечення та енергобереження в АПК України. - Вип. 6. – Харьков, 2001. - С. 343-349.
195. Гаврилов П. В. Нові джерела інфрачервоного випромінювання для тваринництва / П. В. Гаврилов, А. П. Сьомак, В. Ф. Захарченко // Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. ХЗВИ. - Вип. 4. - Т. 2, ветеринарні науки. - Харьков, 1998. - С. 38-41.
196. Гаврилов П. В. Способы управления светотехническими характеристиками газоразрядных ламп в осветительных установках животноводческих помещений / П. В. Гаврилов, П. Л. Пахомов, Ю. П. Кравченко // Сб. научн. трудов МИИСП. - М., 1982. - С. 45-52.
197. Гаврилов П. В. Устройство для уничтожения насекомых на фермах / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко, В. В. Боцман [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. - 1993. - №3. - С. 18-19.
198. Гаврилов П. В. Устройство для включения ламп высокого давления / П. В. Гаврилов, Е. З. Петруша // Техника в сельском хозяйстве. - 1986. - № 9. – 38 с.
199. Гаврилов П. В. Устройство для дозирования ультрафиолетового облучения / П. В. Гаврилов // Светотехника. - 1985. - № 11. - С. 7-8.
200. Гаврилов П. В. Совершенствование устройств для облучения животных / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко, Е. З. Петруша // Техника в сельском хозяйстве. - 1988. - № 5. - С. 36-37.

201. Гаврилов П. В. Новое осветительное оборудование для нужд сельскохозяйственного производства / П. В. Гаврилов // Электроснабжение предприятий сельскохозяйственного производства. Сб. научн. трудов МИИСП. - М., 1985. - С. 70-71.
202. Петруша Е. З. Влияние освещения на продуктивность коров / Е. З. Петруша, П. В. Гаврилов // Молочное и мясное скотоводство. - 1990. - № 5. - С. 39-41.
203. Гаврилов П. В. Исследование влияния освещенности на продуктивность молочных коров / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко, Е. З. Петруша // Техника в сельском хозяйстве. - 1989. - № 4. - С. 44-45.
204. Гаврилов П. В. Прилад автоматично розпізнає тварин / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко // Техника в АПК. - 1995. - № 3. - 28 с.
205. Гаврилов П. В. Освітлювальні установки у доїльних залах / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко // Техника АПК. - 1996. - №2. - С. 30-31.
206. Петруша Е. З. Осветительные установки в животноводческих помещениях / Е. З. Петруша, П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко // Светотехника. – 1990. - № 5. - С. 21-22.
207. Гаврилов П. В. К вопросу утилизации разрядных ламп в условиях сельскохозяйственного производства / П. В. Гаврилов, Н. Л. Лисиченко, В. Д. Никитин // Светотехника. – 1991. - № 2 - С. 30-31.
208. Гаврилов П. В. Схемы включения газоразрядных ламп с групповыми элементами ПРА / П. В. Гаврилов, Е. Д. Дьяков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. - № 5. - С. 54-46.
209. Светотехническое оборудование // Метод. материалы к отраслевой инструкции по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в электротехнической промышленности. - М.: Информэлектро, 1986. – 9 с.
210. Гаврилов П. В. Способы управления светотехническими характеристиками газоразрядных ламп в осветительных установках животноводческих помещений / П. В. Гаврилов, П. Л. Пахомов, Ю. П. Кравченко // Сб. научн. трудов МИИСП. - 1982. - С. 45-52.
211. Гаврилов П. В. Розробка теоретичних основ нормування опромінення біологічних об'єктів сільськогосподарського призначення інфрачервоними вимірювачами / П. В. Гаврилов // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. - Вісн. ХДТУСГ. - Вип. 10. – Харків, 2002. С. 263-275.
212. Карпов В. Н. Энергосбережение: метод конечных отношений / В. Н. Карпов. – СПб. – 2005. – 138 с.
213. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2005. – 972 с.
214. Кинз Н. В. Энергосбережение в сельскохозяйственных технологиях / Н. В. Кинз // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. - № 3. – С. 21-22.

215. Ракутько С. А. Общие принципы энергетического анализа прикладной теории энергосбережения и их практическое применение / С. А. Ракутько // Энергетический вестник: Сб. науч. Тр. – СПбГАУ, 2009. – С. 90-96.
216. Гаврилов П. В. Розробка теоретичних основ нормування опромінення біологічних об'єктів сільськогосподарського призначення інфрачервоними випромінювачами / П. В. Гаврилов // Вестник науки и техники. – Вып. 1. – Харьков, 2003. – С. 18-29.
217. Гаврилов П. В. Особливості дії оптичного випромінювання на тварин / П. В. Гаврилов // Вістник ХНТУСГ ім. П. Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Вып. 43. – Т. 2. – Харків: ХНТУСГ, 2006. – С. 200-208.
218. Гаврилов П. В. Експериментальна оцінка дії оптичного випромінювання на молочних корів / П. В. Гаврилов // Вістник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Вып. 102. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – С. 136-138.
219. Гаврилов П. В. Аналіз досліджень енергетичного впливу оптичного випромінювання на тварин / П. В. Гаврилов, А. П. Семак, О. М. Кунденко // Вістник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. – Вып. 117. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – С. 149-151.
220. Гаврилов П. В. Основание параметров локальных устройств для содержания молодняка животных / П. В. Гаврилов // Вістник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України"– Вып. 130. – Харків: ХНТУСГ, 2012. – С. 109-111.
221. Гаспаровский Д. Новый подход к определению кривых спада светового потока ОУ в различных условиях / Д. Гаспаровский, П. Жанига, М. Мача, А. Смола // Светотехника. – 2012. - № 1. – С. 51-58.
222. Бижак Г. Спектры излучения светодиодов и спектр действия для подавления секреции мелатонина / Г. Бижак, М. Б. Кобав // Светотехника. – 2012. - № 3. – С. 11-16.
223. Миллз Э. Освещение на неэлектрифицированных птицефермах: демонстрация возможностей освещения светодиодами в птицеводстве / Э. Миллз, Дж. Трейси // Светотехника. – 2011. - № 4. – С. 35-41
224. Корякин-Черняк С. Л. Электротехнический справочник / С. Л. Корякин-Черняк, О. Н. Партала, Ю. Н. Давиденко, В. Я. Володин. – СПб.: Наука и техника, 2009. – 464 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### СХЕМА МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЖИВОТНЫХ ПРИ ИХ ОБЛУЧЕНИИ

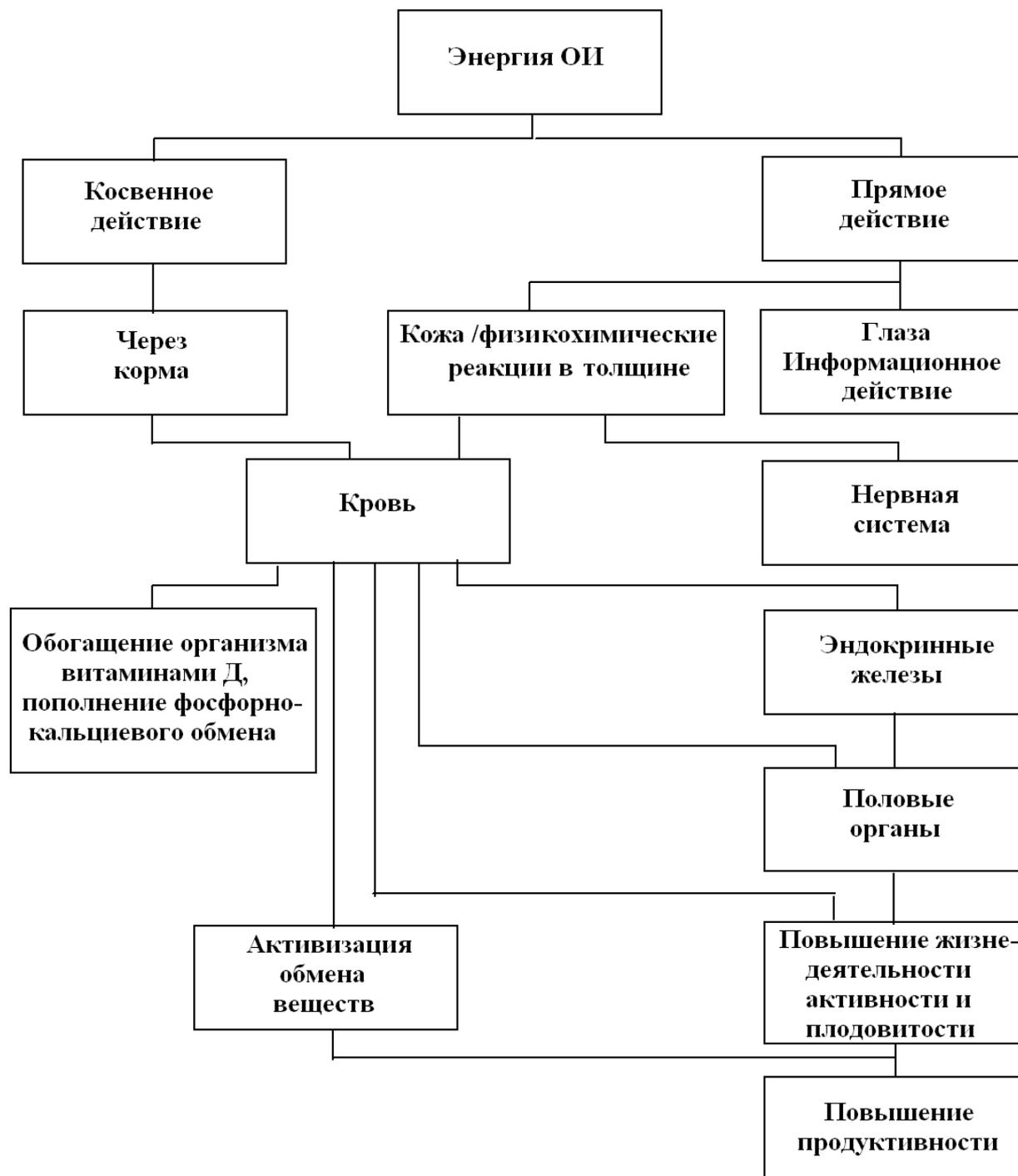


Рисунок 1А - Схема механизма действия оптического излучения на организм животных при их облучении

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОЛОЧНЫХ КОРОВ ПРИВЯЗНОГО СОДЕРЖАНИЯ

Для изучения влияния различных режимов искусственного освещения на молочную продуктивность коров и воздействия световых и звуковых раздражителей поставлено два опыта. Первый опыт по изучению действия различных уровней искусственного освещения проводится на ферме в 200 голов совхоза им. Красной Армии Харьковской области. В первом коровнике находилось 196 коров, в коровнике № 2 - 189 голов. Из общего количества животных выделено по 16 коров - аналогов. Животные - аналоги подбирались по таким параметрам:

- возрасту в отелах;
- породе и породности;
- живой массе после отела;
- стадии лактации (дата отела);
- молочной продуктивности за 305 дней лактации;
- жирности молока;
- удоям в пересчете на 1 % жирности.

Примечание:

1. Кормление в подготовительный период в обеих группах одинаковое.
2. Кормление животных в процессе опыта – по фактическому удою.
3. Различия по основным показателям между животными в опытной и контрольной группах не превышала 10 %, а по животным - аналогам – 5 % от среднего показателя по группам.

Режимы искусственного освещения на протяжении суток приведены в таблице 1Б.

Таблица 1Б - Режим работы искусственного освещения

Часы суток, ч	Уровень освещенности, лк
4.30 – 5.00; 8.00 - 11.00	
14.00 - 17.00; 20.00 - 20.30	150
5.00 - 8.00; 17.00 - 20.00	300
20.30 - 4.30	10

ПРИЛОЖЕНИЕ В

СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПУЛЬТА АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ  
ТЕЛЯТНИКА НА 600 ГОЛОВ

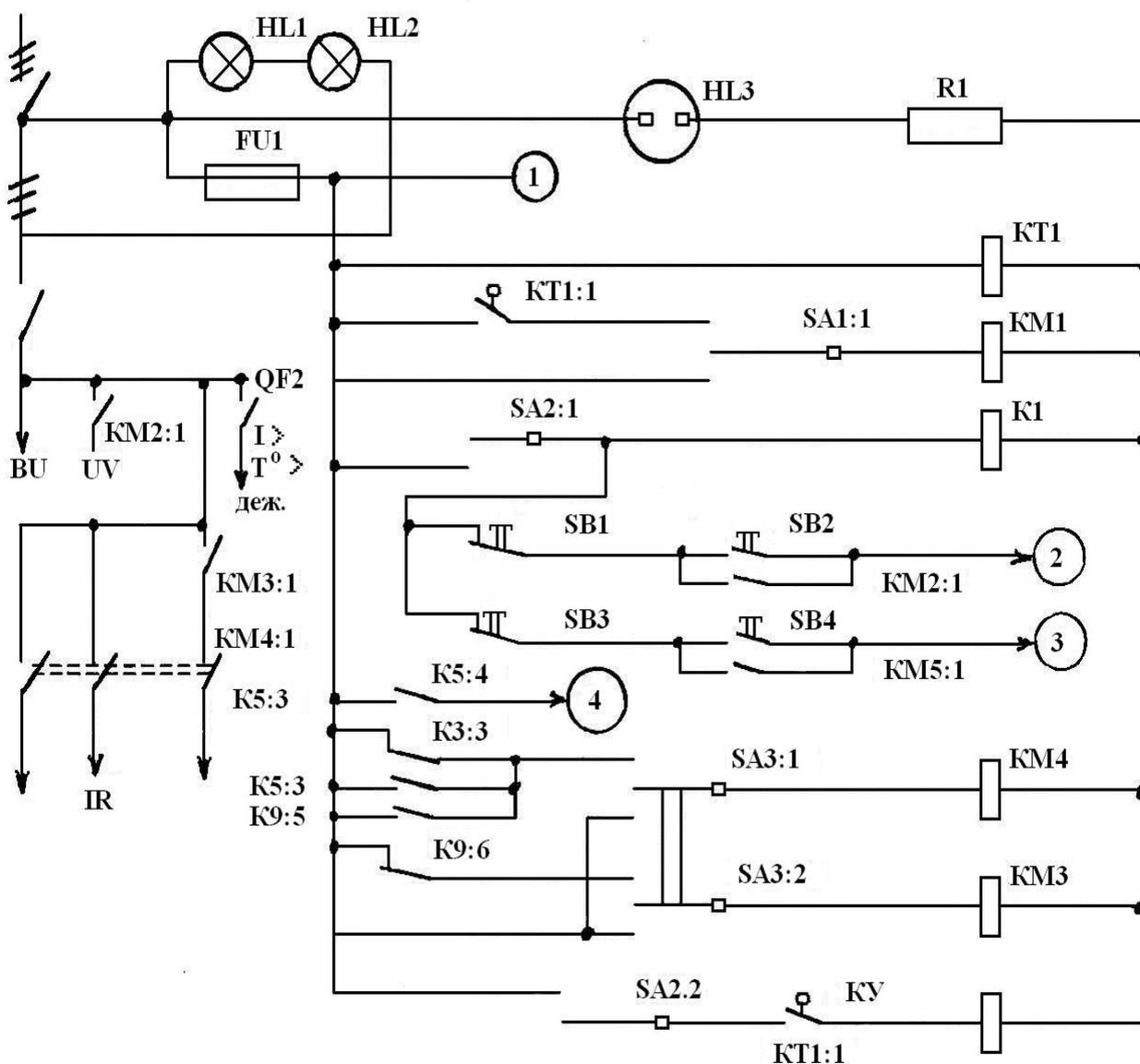


Рисунок 1В - Схема электрическая пульта автоматического управления светотехнической установкой телятника на 600 голов

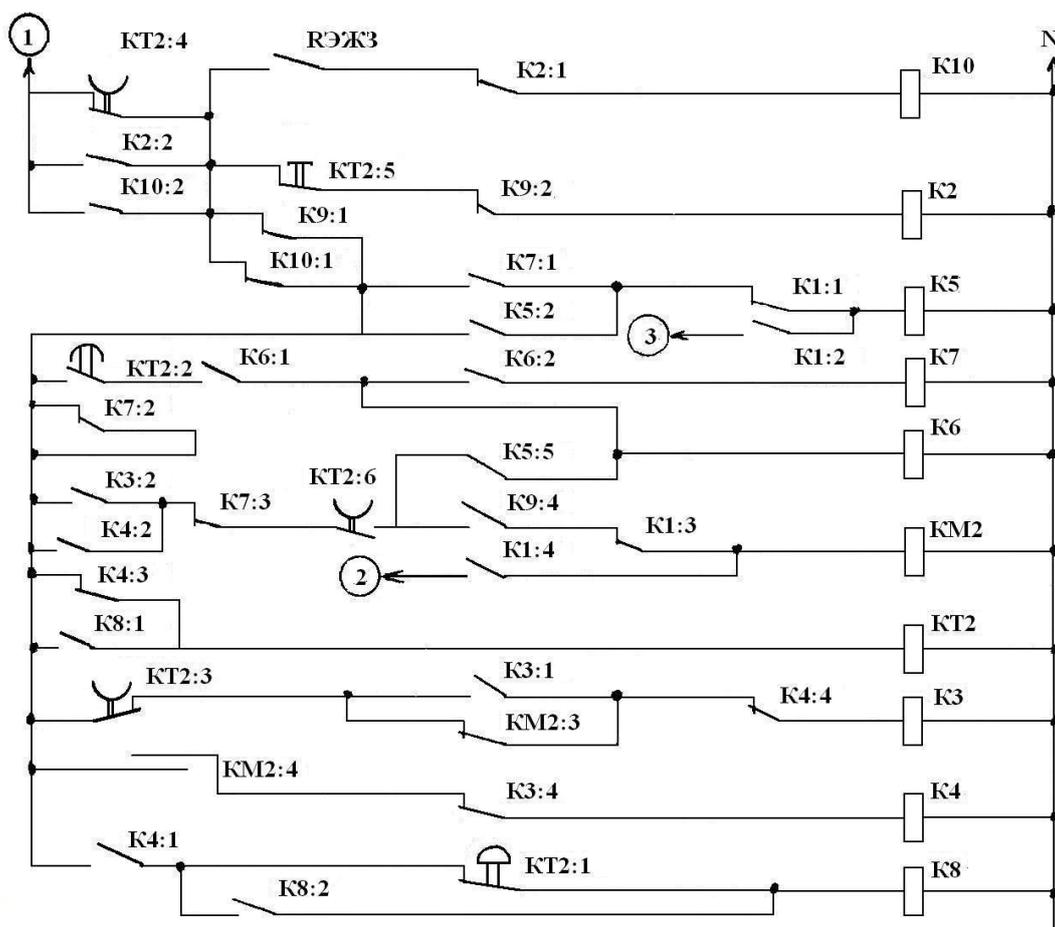


Рисунок 2В - Схема электрическая пульта автоматического управления светотехнической установкой телятника на 600 голов

Таблица 1В - Перечень элементов схемы ПАУ СТУ для облучения телят

Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
FU1	Плавкая вставка 6 А	1	115 50
HL1; HL2; HL3	Лампы: БК - 220 - 100 ТН - 01	2 1	
R1	Резистор МЛТ-0.5-100=10%	1	
SA1...SA3	Тумблер П 2Т - 2	3	
SB1...SB4	Кнопка КЕ 011У3	4	
Магнитные пускатели			
KT1...KT10	ПМЕ 071	10	
KM1, KM2	ПМА 310	2	
KM3, KM4	ПМЕ 111	2	
Реле времени			
KT1	2 РВМ	1	
TKT2	BC 10 - 34 УА	1	1-30 мин
Автоматические выключатели			
QF1	АЕ 2056	1	25 А
QF2	АЕ 2023	1	6.3 А

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЖИВОТНЫХ ПРИ БЕСПРИВЯЗНОМ СОДЕРЖАНИИ

### 1 Основные хозяйственные данные

В результате производственной оценки установлено, что использование повышенного уровня освещенности (100, 150 и 200 лк) при продолжительности светового дня 16 ч/сут. способствует улучшению состояния здоровья и воспроизводительных функций коров, повышению потребления и усвоения питательных веществ, поддержанию более высоких среднесуточных удоев. Для ферм беспривязного содержания молочных коров наиболее эффективным является уровень освещенности 150 лк, создаваемых лампами высокого давления, в сравнении с нормативным уровнем освещенности 30 лк, создаваемого светильниками с лампами накаливания.

Под воздействием освещенности 150 лк с октября по апрель расход кормов в расчете на 1 кг молока уменьшился с 1.34 до 1.26 кг к.е. или на 6 %. При этом полностью были исключены заболевания коров эндотермитом и случаи задержания последа, количество случаев оказания помощи при родах уменьшилось с 4 до 1, продолжительность сервис-периода снизилась с 87 до 65 дн., а индекс осеменения с 1.8 до 1.4.

В расчете на 1 корову за 212 дней испытаний при освещенности 150 лк было получено по 2658 кг молока или на 233 кг больше, чем при освещенности 30 лк. При этом средняя освещенность молоковыведения при доении коров в доильном зале на установке "Елочка" увеличилась с 1.6 до 2.2 кг/мин.

Применение РЛ ВД позволило увеличить уровень освещенности до 150 лк без увеличения расхода электроэнергии. Уровень годовой продуктивности промышленного стада достиг 4000...4500 кг молока.

### 2 Обоснованный расчет

При получении ежегодно от коровы по теленку продолжительность межотельного периода (МОП) составляет 365 дн. Это означает, что плодотворное осеменение произошло через два месяца после отела. Данный показатель и признан как нормативный при расчете убытков от недополучения продукции в связи с бесплодием коров. За нормативный взят сервис-период 60 дней.

В рассматриваемом случае коровы, которые содержались при освещенности 150 лк, имели сервис-период 65 дн., а при нормативном уровне 30 лк – 87 дн., т.е. бесплодие коров уменьшилось на 22 дня. В соответствии с методикой расчета сумма экономического ущерба от бесплодия на каждый день яловости и на 1000 кг продуктивности составляет от 1.11 до 1.14 руб. (в ценах

1901 г.). Данный показатель в среднем равен 1.12 руб. Установлено, что ущерб в сумме 1.12 руб. имеет место независимо от продуктивности и продолжительности бесплодия коров. Многочисленные дополнительные расчеты подтверждают закономерность существования этого показателя. На основании этого была выведена формула с помощью которой определяют убыток, причиняемый бесплодием коров:

$$y_{я} = 1,12 \cdot L_{б} \cdot П \cdot n, \quad (Г1)$$

где  $y_{я}$  - сумма экономического ущерба от яловости коров, грн.;

1,12 - коэффициент, учитывающий суммы убытка на каждый день бесплодия и каждые 1000 кг продуктивности, грн.;

$L_{б}$  - дни бесплодия коров - разница между фактической продолжительностью сервис-периода и 60 дн. (норма);

$П$  - продуктивность коров, тыс. кг.;

$n$  - число коров, голов.

Выражение (1) разработано для районов Ленинградской обл. Для Украины применяют уточненную формулу:

$$y_{я} = 3,25 \cdot L_{б} \cdot П \cdot n \cdot Z_{ц}, \quad (Г2)$$

где 3,25 - постоянный коэффициент для районов Украины;

$Z_{ц}$  - закупочная цена 1 кг молока базисной жирности для конкретного региона, грн.

При расчете использованы следующие данные:

- средняя продуктивность стада - 4464 кг;
- продолжительность сервис-периода в группе коров с освещенностью 150 лк - 65 дн.; при освещенности 30 лк - 87 дн.;
- поголовье коров - 72 головы;
- закупочная цена 1 кг молока - 0,34 грн. в ценах 1990 г.

Расчет по формуле 2 дает:

$$y_{я} = 3,25 \cdot 22 \cdot 4,464 \cdot 0,34 \cdot 72 = 7813,4 \text{ грн.} \quad (Г3)$$

Таким образом, для коровника с освещенностью 30 лк убыток составил 7813.4 грн., что для коровника 1 с освещенностью 150 лк является прибылью.

Кроме того, за этот же период от 72 коров в коровнике N 1 получено по 233 кг молока дополнительно по закупочной цене 0,34 грн./кг, что составляет:

$$\mathcal{E}_m = 233 \times 0.34 \times 72 = 5703,8 \text{ грн.}, \quad (\Gamma 4)$$

где  $\mathcal{E}_m$  - эффект, дополнительно полученный от реализации молока, грн.

Общий экономический эффект от внедрения повышенного уровня освещенности в коровнике беспривязного содержания составил:

$$\mathcal{E} = 7813.4 + 5703.8 = 13517.2 \text{ грн.}, \quad (\Gamma 5)$$

в сравнении с нормативным уровнем 30 лк.

### 3 Расчет эффективности динамического режима освещения коровников с беспривязным содержанием

Под воздействием динамического освещения потребление корма в расчете на одну корову возросло на 7.8 %, среднесуточные удои - на 14.7 %, что обеспечило получение от каждой коровы дополнительно по 356 кг молока. При этом расход кормов в расчете на 1 ц молока уменьшился на 6 %, продолжительность сервис-периода снизилась с 87 дн. до 66 или на 21 день, расход электроэнергии в расчете на 1 ц молока уменьшился на 2.18 кВт·ч или в 5.8 раза.

Для расчета использованы следующие данные:

- средняя продуктивность стада - 4464 кг;
- сокращение сервис-периода - 21 день;
- поголовье коров - 68 голов;
- закупочная цена 1 кг молока – 0,34 грн. (в ценах 1990 г.).

$$\mathcal{E}_я = 3.25 \times 21 \times 4.464 \times 0.34 \times 68 = 7043,9 \text{ грн.} \quad (\Gamma 6)$$

За счет дополнительного получения 356 кг молока на каждую корову эффект составил:

$$\mathcal{E}_m = 356 \cdot 0.34 \cdot 68 = 8230,7 \text{ грн.} \quad (\Gamma 7)$$

Эффект, за счет экономии электроэнергии в расчете на 1 ц по 2.18 кВт·ч при стоимости 1 кВт·ч - 0.01 грн., составил:

$$\mathcal{E}_э = 3.56 \text{ ц} \cdot 68 \text{ гол.} \cdot 2.18 \text{ кВтч} \cdot 0.01 \text{ грн.} = 5,28 \text{ грн.} \quad (\Gamma 8)$$

Общий экономический эффект от использования динамического освещения равен:

$$\mathcal{E} = 7043,9 + 8230,7 + 5,28 = 15279,88 \text{ грн.} \quad (\Gamma 9)$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ УРОВНЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ 10, 150 И 300 ЛК НА МОЛОЧНЫХ КОРОВ ПРИ ПРИВЯЗНОМ СОДЕРЖАНИИ И АВТОМАТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ СТУ

Таблица 1Д - Значения колебания величины напряжения питания во время экспериментальных исследований

Время работы СТУ	Величина напряжения питания, В
4.30 - 8.00	208 = 4
8.00 – 17.00	219 = 3
17.00 - 20.00	203 = 5
20.00 - 22.00	212 = 4
22.00 - 4.30	234 = 3

Таблица 2Д - Динамика изменения уровня искусственного освещения коровников по месяцам опыта

Режим управления, номер коровника	Время обследо- вания	Уровень искусственного освещения на высоте вымени коровы по месяцам опыта, лк				
		1	2	3	4	5
Коровник N 1 (автоматический режим управления)	Во время доения	318	312	307	299	291
	Другие процессы	168	162	155	148	143
Коровник N 2 (ручное управление)	Во время доения	316	311	306	301	292
	Другие процессы	167	161	154	149	142
Месяцы опыта		1	2	3	4	5

Анализ результатов таблиц 1Д – 5Д.

Данные табл. 1Д показывают, что отклонение напряжения питания во время эксперимента составляло: снижение - до 198 В (-10% от номинального значения 220 В) и превышение - до 237 В (+7,7 % от номинального значения). Отмеченное позволяет заключить, что реальные отклонения напряжения питания в СТУ сельскохозяйственного назначения превышают предельно допустимые нормативные значения (равны 5 % от номинала).

Данные табл. 2Д соответствуют реальному изменению уровней освещенности в процессе экспериментальных исследований. Так освещенность операций доения изменилась на 8.5 %, при других операциях на 15 % от максимальных первоначальных значений, что находится в рамках допустимого.

Таблица 3Д - Количество случаев отклонения моментов переключения СТУ по уровням при ручном режиме управления

Характеристики нарушений графика переключений	Количество нарушений по месяцам опыта, раз				
	1	2	3	4	5
Освещение помещения на уровне 150 лк во время обеденного перерыва с 11.00 до 14.00	5	9	7	3	4
Освещение помещения на уровне 300 лк с 8.00 до 17.00	9	3	4	7	3
Освещение помещения на уровне 150 лк в ночное время с 20.30 до 4.30	7	13	8	12	6

Таблица 4Д - Расход электроэнергии при разных режимах управления СТУ

Режим управления освещением	Расход электроэнергии на освещение по месяцам опыта, кВт ч				
	1	2	3	4	5
Коровник N 1 (опытный) автоматическое управление	2317	2392	2398	2264	2170
Коровник N 2 (контрольный) ручное управление	3023	3148	3256	3117	2844
Ручной режим по отношению к автоматическому, %	130.5	131.6	140.4	137.7	131.0

Таблица 5Д - Показатели воспроизводства коров в зависимости от режима управления освещением в коровнике

Показатели воспроизводства	Номер коровника и режим управления освещением	
	N 1 - автоматический	N 2 - ручной
Продолжительность сервис-периода по всем коровам, дн.	84.6	91.3
Продолжительность сервис-периода по коровам-аналогам, дн.	84.5	90.8
Индекс осеменения по всем коровам	1.58	1.63
Индекс осеменения по коровам-аналогам	1.55	1.66

Анализ нарушений (табл. 3Д), возникших при эксплуатации СТУ ручного управления, показывает, что основная масса приходится на ночное время и

объясняется нежеланием ночных сторожей производить уборку навоза при малых освещенностях (10 лк). Таким образом, эти нарушения являются субъективными, сопровождаются неоправданным перерасходом электроэнергии в связи с нарушением трудовой дисциплины и технологического процесса и говорят в пользу внедрения автоматических систем управления СТУ.

Хронометражные наблюдения за поведением коров в ночное время показали, что 93 %, если их не беспокоить, отдыхают в лежачем положении до 6...6.5 ч. Это обусловило изменение режима работы ночного сторожа в плане увеличения продолжительности очистки стойл и удаления навоза на 0.5 ч вечером (с 20 до 20.30 ч на время с 20.00 до 21.00 ч) и утром с 4.00 до 5.00 ч. Продолжительность отдыха коров за сутки в лежачем положении в коровнике N 1 (автоматическое управление) была на 7.8 % большей чем в коровнике N 2 (ручное управление). В коровнике N 2 за счет включения высокого уровня освещенности ночью, было зафиксировано 16 случаев столкновения коров возле кормушек, а в коровнике N 1 таких случаев не наблюдалось. Однако продолжительность поедания кормов и жвачки была выше в коровнике с ручным управлением на 5.7 %.

В результате можно сделать вывод, что длительность светового дня в помещении при автоматическом управлении СТУ следует устанавливать с 4.00 утра и до 21.00 вечера с удлинением режима отдыха с 10.00 ч до 14.00 ч дня.

Данные табл. 4Д наглядно показывают, к какому перерасходу электроэнергии приводит несоблюдение технологического процесса в коровнике N 2: общий расход электроэнергии при ручном управлении увеличился на 31.0 %.

Данные по показателям воспроизводства коров в зависимости от режима освещения, приведенные в табл. 5Д, указывают на сокращение длительности сервис-периода у животных, которые находились в коровнике с точным дозированием ОИ. При этом наблюдается некоторое улучшение и показателей продуктивности: молочная продуктивность, при использовании ПАУ, возрастает на 2.9 % при автоматическом управлении режимом освещения.

Введение в коровники устройства для выработки световых и звуковых сигналов также дало положительные результаты. Можно заключить, что уже на 5...7 день воздействия практически все коровы самостоятельно направляются в доильный блок.

Это позволило снизить трудозатраты (обычно подгонка животных к блоку доения занимает от 8 до 15 мин. времени). Отмеченное выше позволяет отдать предпочтение системе автоматического управления режимами работы СТУ коровника.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е****К РАСЧЕТУ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Зависимость изменения внутривыменного давления от длительности воздействия на БАТ.

Таблица 1Е - Изменение внутривыменного давления при различных режимах воздействия

Время $X$ , мин	Давление $Y$ , Па
0	1157
1	1219
5	1388
10	1401

Вид модели:

$$y = \frac{ab + cx''}{b + x''}, \quad y = (a \cdot b + c \cdot x'') / (b + x''); \quad (E1)$$

где коэффициенты

$$a = 1157;$$

$$b = 2.9916783;$$

$$c = 1404.4841;$$

$$d = 2.3212194$$

Научное издание

**Кунденко Николай Петрович**  
**Гаврилов Павел Васильевич**  
**Кунденко Алексей Николаевич**

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ  
СРЕДСТВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ  
КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

*Монография*

Авторская редакция

Компьютерный набор и верстка: Торбиевская И. В.

Видавництво ТОВ «Планета-прінт»  
Свідоцтво про держреєстрацію ДК № 4568 від 17.06.2013 р.  
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16

Подп. к печати 03.07.2017. Формат 60\*84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать Ризо.  
Ум. друк. арк. 9,67. Обл. вид. арк.16,8.  
Тираж 300 экз.

Друк: ФОП Томенко Ю. І., м. Харків, пл. Руднева, 4. Тел. 757-93-82