ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ»

На правах рукописи

Галлямова Татьяна Ратмировна

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РАВНОМЕРНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПТИЧНИКА

05.20.02 – электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

к.т.н., доцент
Широбокова Т.А.

Москва - 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ …… 5

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Современное состояние птицеводческого комплекса России и перспективы его развития……. 12

1.2 Роль светового режима в создании микроклимата птичника …… 14

1.3 Анализ существующих источников искусственного освещения птицеводческих помещений …… 19

1.4 Особенности содержания куриц кросса РОСС 308 и проблемы освещения при напольном содержании птиц …… 24

1.5 Анализ методов решения проблемы равномерного освещения птичника с напольным содержанием птицы……. 27

1.6 Задачи исследования …… 32

1.6.1 Выводы из анализа состояния вопроса …… 32

1.6.2 Постановка задач исследования …… 33

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

2.1 Оценка эффективности точечных источников света с круглосимметричным светораспределением…… 34

2.2 Определение кривой силы света, обеспечивающей равномерное освещение поверхности……... 39

2.3 Исследование светотехнических характеристик линейных источников света ……..... 43

2.4 Моделирование светового поля светильника равномерного освещения с линейками точечных направленных источников света…….. 48

2.4.1 Обоснование и выбор линейного светильника равномерного освещения……. 48
2.4.2 Моделирование оптимального светораспределения светильника равномерного освещения в продольной плоскости…….. 51
2.4.3 Моделирование оптимального светораспределения светильника равномерного освещения в поперечной плоскости…….. 56
2.5Обсуждение результатов и промежуточные выводы по пунктам 2.1-2.4 62
2.5.1 Обсуждение результатов по пп. 2.1-2.4……... 62
2.5.2 Промежуточные выводы по главе…… 64
2.6 Математическая модель освещённости птичника с оценкой оптимального энергопотребленя…….. 64
2.6.1 Постановка задачи и допущения, принятые для математического моделирования ……... 64
2.6.2 Физическое моделирование освещённости птичника…… 68
2.6.3 Особенности расчётов и оценка оптимальных значений основных параметров при помощи целевой функции……. 75
2.7. Основные результаты и выводы по главе 2…….. 82
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
3.1 Выбор входных параметров для компьютерных исследований…… 84
3.2 Методика компьютерных расчётов…… 88
3.3 Методики экспериментальных исследований …… 91
3.4 Основные результаты и выводы по главе 3……. 96
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
4.1 Результаты компьютерных исследований систем светодиодного освещения птичников ……... 97

4.2 Результаты сравнительного анализа освещённости лабораторных измерений и компьютерного расчёта ……. 102
4.2.1 Результаты для одного светильника…….. 103
4.2.2 Результаты для двух светильников…….. 104
4.2.3 Высота подвеса двух светильников при освещённости в 100лк….. 108
4.3 Методика исследования и результаты производственных испытаний светодиодных светильников…….. 109
4.4 Основные результаты и выводы по главе 4……... 113
ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ С ЛИНЕЙНЫМИ СВЕТОДИОДНЫМИ СВЕТИЛЬНИКАМИ
5.1 Оценка энергетической эффективности …… 116
5.2 Определение эффективности внедрения светодиодных линейных светильников в птичнике с содержанием кур родительского стада кросса ROSS 308…… 117
5.3 Выводы по главе……. 126
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ……. 127
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……. 129
ПРИЛОЖЕНИЯ…… 141

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Птицеводство – наукоёмкая и наиболее динамичная отрасль агропромышленного комплекса, характеризующаяся быстрыми темпами воспроизводства поголовья, интенсивным ростом, высокой продуктивностью и жизнеспособностью, наименьшими затратами живого труда и материальных средств на единицу продукции. В условиях ограниченных зерновых ресурсов в птицеводстве достигается наибольшая отдача в расчёте на единицу затраченного корма, труда и других ресурсов. Затраты кормов и труда в птицеводстве ниже в 2-4 раза, чем в свиноводстве и скотоводстве: чтобы вырастить 1кг курятины нужно 2,5кг корма, тогда как на килограмм свинины и говядины соответственно 5кг и 10кг [96, 111]. Диетическая продукция птицеводства существенно дешевле, чем другие виды продукции, содержащие животный белок. Поэтому, с позиции интересов населения и государства в части решения продовольственной проблемы развитие птицеводства должно осуществляться на приоритетной основе.

Одним из приоритетных направлений развития науки, технологий и техники являются энергоэффективность и энергосбережение. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии согласно указу президента от 7 июля 2011г. входят в перечень критических технологий. Федеральный закон от 23 ноября 2009г. №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» устанавливает ряд ограничений в области использования ламп накаливания. В частности, с 1 января 2014 года на территории Российской Федерации запрещены к обороту лампы накаливания мощностью 25 ватт и более. Ещё до появления ФЗ №261 модернизация системы освещения осуществлялась простой заменой ламп накаливания на энергосберегающие люминесцентные лампы. При этом достоинством такой замены являлась

экономия электроэнергии до 30% - 40%. Однако существенные недостатки люминесцентных ламп: невозможность регулирования освещённости, эффекты мерцания, содержание вредного для здоровья человека и животных ртути – значительно ограничивают перспективу практического использования их в птицеводстве.

В 2000-х гг. лампы накаливания и люминесцентные лампы начали заменять светодиодами. Уровень светового потока светодиодов достиг значения 100 лм и выше. Появились белые светодиоды, дающие теплые и холодные оттенки со спектром излучения, схожим с естественным освещением. Экономия электроэнергии (до 10 раз), повышение срока службы (в 50 и более раз), а также отсутствие мерцания и возможность регулирования освещенности способствуют в настоящее время переходу систем освещения птичников на основе светодиодов. Однако такая модернизация недостаточно обоснована, а вопросы повышения эффективности светодиодного освещения являются малоизученными.

Большой вклад в развитие теоретических и практических основ технологий облучения животных и техники оптического излучения внесли: А. Майер, А. Маккинли, Н.М. Данциг, Д.Н. Лазарев, Г.М. Франк, В.М. Юрков, А.К. Лямцов, И.И. Свентицкий, А.Л. Вассерман, А.И. Учеваткин, Г.В. Новикова, А.Б. Матвеев, Е.Н. Живописцев, А.В. Чурмасов, Б.Н. Орлов, Н.П. Симонова. Фундаментальные работы в области исследования высокоэффективных источников оптического излучения и световых приборов принадлежат зарубежным и отечественным ученым: В. Эленбаасу, Д. Уэймаусу, Г.Н. Рохлину, С.П. Решенову, Г.С. Сарычеву, А.Е Атаеву, Ю.Б. Айзенбергу, В.В. Трембачу, А.М. Кокинову и многим другим. Разработкой и исследованиями с целью *повышения эффективности систем освещения* птицеводческих помещений занимались российские ученые: Пигарев Н.В., Фисинин В.И., Кавтарашвили А. Ш., Юрков В.М., Кондратьева Н.П., Овчукова С.А., Акатова Е.В., Агеев В.Н., Ларионов В. Ф., Юферев Л.Ю., Михалёв А.А., Новосёлов И.М., Новоротов Е.Н. и другие. Исследования ученых показали, что наилуч-

шими источниками искусственного освещения являются светильники на основе *светодиодов белого тёплого цвета* [29, 30, 32, 40].

В птицеводстве содержание кур подразделяется на клеточное и напольное. При клеточном содержании практически невозможно создать одинаковые условия в каждой ячейке каждого яруса клеточной батареи при общем освещении. Различия в условиях содержания (в том числе освещения) приводят к неоднородности поголовья по весу и к увеличению процента падежа и браковки птицы. По этой причине птицы тяжелых мясных кроссов Kobb 500 и ROSS -308 не предназначены для содержания в клетках. С 2012 года в Европе в клеточных батареях полностью запрещено производство и столового яйца [51, 95].

В настоящее время, не смотря на высокую стоимость земли, в большинстве европейских государств и в Израиле применяется напольное содержании птицы. Вступление России в ВТО стало важным и актуальным аргументом для российского птицеводства в пользу напольного содержания [31,111]. На птицефабрике «Удмуртская» города Глазова Удмуртской Республики внедрение напольного содержания птицы позволило повысить экономическую эффективность производства [9, 10, 97], но вопросы повышения эффективности светодиодного освещения остаются открытыми.

Повышение эффективности и равномерности светодиодного освещения для напольного содержания птиц является малоизученной актуальной проблемой. Для решения проблемы необходимо, прежде всего, создать режим наименьшего энергопотребления (или потребляемой мощности) светодиодов и наиболее равномерного освещения при заданной величине нормированной освещённости птичника [10, 12, 13,14, 15, 23]. В этом смысле энергопотребление можно считать оптимальным, если отличие средней освещённости, создаваемой светодиодами, от заданной величины нормированной освещённости будет минимальным. При этом параметры, от которых зависит энергопотребление и качество светодиодного освещения, являются основными параметрами системы освещения птичника. Для обоснованной оценки основных

параметров необходимы исследования.

Цель работы – повышение эффективности и равномерности светодиодного освещения птичника с напольным содержанием кур за счёт оптимального энергопотребления и повышения качества освещения при заданной величине нормированной освещённости.

Для достижения данной цели сформулированы следующие **задачи исследования:**

1. Обосновать актуальность исследований и возможность повышения эффективности и равномерности светодиодного освещения для напольного содержания кур.
2. Разработать математическую модель, позволяющую методом оптимизации оценить энергопотребление птичника при его наиболее равномерном освещении.
3. Разработать компьютерную программу для оценки оптимального энергопотребления птичника.
4. Разработать и изготовить опытные образцы светодиодных светильников и провести исследования освещённости для обоснования применимости математической модели.
5. Провести производственные испытания и выполнить технико-экономическое обоснование использования светодиодных светильников при напольном содержании промышленного родительского стада кур.

Объект исследования - светодиодное освещение для напольного содержания кур, позволяющее повысить их продуктивность при оптимальном энергопотреблении.

Предмет исследования – закономерности пространственного распределения светового потока светодиодных светильников, обеспечивающие нормируемую освещённость на плоской (горизонтальной) рабочей поверхности.

Научную новизну результатов исследования составляют:

- математическая модель освещённости птичника, позволяющая методом оптимизации оценить энергопотребление птичника при его наиболее равномерном освещении;
- методика компьютерных исследований по оценке оптимального энергопотребления и результаты компьютерных расчётов освещённости птичника;
- научно обоснованная конструкция светильника с линейками светодиодов.

Новизна технических решений подтверждена патентами РФ.

Практическую значимость представляют разработанная конструкция светодиодного светильника и рекомендации по повышению эффективности светодиодного освещения птичников с напольным содержанием кур.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Математическая модель освещённости птичника с оценкой оптимального энергопотребления, обеспечивающего эффективный режим освещения;
2. Методика компьютерного исследования и результаты компьютерных расчётов освещённости птичника, позволяющие обосновать конструкционные параметры системы освещения птичника;
3. Научно обоснованные конструктивные параметры светодиодного светильника, обеспечивающие нормированную величину освещённости и наиболее равномерное освещение птичника, позволяющие повысить продуктивность родительского стада кур;
4. Результаты исследований освещённости, создаваемой изготовленными опытными образцами светильников, которые позволяют оценить применимость математической модели и её компьютерной реализации при разработке энергоэффективной системы светодиодного освещения.

Методы исследования.

При выполнении диссертационной работы применялись аналитические, компьютерные и экспериментальные методы исследования. При разработке математической модели использован метод физического моделирования с представлением Фурье для периодической функции и метод нулевого порядка

теории оптимизации. Исследования проводились с использованием основных законов светотехники, геометрии, тригонометрии, дифференциального и интегрального исчисления. Компьютерные расчёты проводились в среде Паскаль с конвертацией файлов для обработки в «Microsoft Excel», Mathcad 14.

Реализация результатов исследований. Работа проведена в соответствии с планом НИОКР ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, регистрационный номер 01200951811 «Повышение эффективности работы технологических энергоустановок в сельском хозяйстве Удмуртской Республики». Разработанные рекомендации по определению светотехнических и конструктивных параметров светодиодного светильника для освещения кур при напольном содержании приняты к внедрению в «Региональном научно-технологическом парке «Удмуртия», на птицефабрике «Удмуртская» г. Глазова УР. Результаты исследований используются в учебном процессе по дисциплине «Светотехника» в ФГБОУ ВО: «Ижевская ГСХА», «Южно – Уральский ГАУ» г. Челябинск и «Саратовский ГАУ им. Вавилова».

Апробация результатов исследования.

Материалы теоретических и экспериментальных исследований доложены и одобрены на Всероссийских научно-практических конференциях ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА» (2011…2015 гг.); Международных научно-технических конференциях «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве» 12-16 мая 2012г, 21-22 мая 2014г, 24-25 мая 2016 г., 6-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Инновации в сельском хозяйстве» 15-16 декабря 2015 г., Москва, ФГБНУ ВИЭСХ; 4th International ScientificConference *“Applied Sciencesin Europe: tendencies of contemporary development”:* Papers of the 4th International Scientific Conference. November 4-5, Stuttgart, Germany 2013г; LIII Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» 29-31 января 2014г, Челябинск, ФГБОУ ВПО ЧГАА.

Публикации. Результаты теоретических и экспериментальных исследований отражены в 18 печатных работах, в том числе: в четырёх статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК, двух патентах № 132859 (2013г), №159705 (2016г) и одном свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617923 (2015г).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа содержит 140 страниц машинописного текста, 48 иллюстраций, 18 таблиц, приложения и список литературы из 112 наименований, в том числе 14 на иностранном языке.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Современное состояние птицеводческого комплекса России и перспективы его развития

В 90-е годы XX в. в птицеводстве (как и во всём агропромышленном комплексе России) произошло существенное сокращение объёмов производства. Так, производство яиц в России в 2000 г. сократилось по сравнению с 1990 г. на 34 %, а мяса птицы — на 57,8 %. Меры, предпринимаемые всеми заинтересованными сторонами (учеными, практиками, инвесторами, министерствами и ведомствами) позволили не только остановить спад производства птицеводческой продукции, но и создать предпосылки для динамичного развития отрасли [99, 101, 103].

В настоящее время происходит бурное развитие птицеводческой отрасли России, при этом ежегодный прирост производства птицы составляет 15%. Ведомственная программа «Развитие птицеводства до 2012 г. и на период до 2018-2020 гг.» ставит задачу увеличить производство мяса в 2020 г. до 4,5 млн. т и начать экспорт мясо птицы за рубеж [95, 99].

Вступление России в ВТО даёт возможность расширить рынок сбыта, но для этого необходимо обеспечить высокое качество продукции и соблюдать ветеринарные требования, которые в ряде стран более жёсткие, чем в России. В таблицах 1 и 2 отражена предполагаемая динамика отечественного производства яиц и мяса птицы в соответствии с концепцией развития птицеводства в 2013–2020 гг. [99, 100]

При выполнении Программы на 2013–2020 гг. планируется за счёт разработки и внедрения инноваций в птицеводстве выйти на новые мировые рубежи: среднесуточные приросты бройлеров увеличить с 51 до 60 г, затраты кормов снизить с 1,83 до 1,60 кг на 1 кг прироста живой массы; в яичном птицеводстве увеличить среднюю яйценоскость кур-несушек с 312 до 325 шт. в год при снижении затрат корма на 10 яиц с 1,31 до 1,24 кг.

Таблица 1.1 - Прогноз отечественного производства яиц в хозяйствах разных категорий, млн. шт.

Годы	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Все категории хозяйств	44000	45000	46000	47000	47500	48000	49000	50000
Сельхозпредприятия (птицефабрики)	34200	35200	36100	37100	37500	38000	39000	40000
Сельхозпредприятий в общем производстве, %	78	78	78	79	79	79	80	80
Личные подсобные хозяйства (ЛПХ), крестьянские хозяйства (КФХ)	9800	9800	9900	9900	1000	1000	1000	1000
Доля ЛПХ и КФК в общем производстве	22	22	22	21	21	21	20	20

Таблица 1.2 - Прогноз отечественного производства мяса птицы в хозяйствах разных категорий, тыс. тонн в убойной массе

Годы	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Все категории хозяйств	3500	3700	3900	4100	4200	4300	4400	4500
Сельхозпредприятия (птицефабрики)	3180	3380	3570	3770	3860	3960	4050	4150
Сельхозпредприятий в общем производстве, %	91	91	92	92	92	92	92	92
Личные подсобные хозяйства (ЛПХ), крестьянские хозяйства (КФХ)	320	320	330	330	340	340	350	350
Доля ЛПХ и КФК в общем производстве	9	9	8	8	8	8	8	8

Реальность решения поставленных задач основана на том, что уже в настоящее время передовые птицеводческие предприятия России достигли таких показателей.

Удмуртская республика так же имеет высокий уровень развития птицеводческой отрасли. В республике расположено 5 птицефабрик (3 яичного направления и 2 мясного), контролируемые концерном «Комос». Яйценос-

кость кур-несушек птицефабрики «Вараксино» считается самой высокой в стране [96]. В 2011 г. на птицефабрике «Удмуртская» (г. Глазов) начато успешное внедрение светодиодных систем освещения. К 2015г птицефабрика провела замену устаревших систем освещения на энергоэффективные КЛЛ и СД в 11 птичниках. В 2009 году 3 птицефабрики попали в рейтинг АГРО-300 [96, 97].

Промышленное птицеводство базируется на использовании сбалансированного питания, обеспечивающего физиологические потребности птицы в основных питательных и биологически активных веществах, а также на оптимизации условий ее содержания, одним из которых является освещение [24, 27, 28, 29, 31, 59].

Эффективность работы систем технологического освещения в промышленном птицеводстве в значительной степени определяется световым режимом и цветом освещения [18, 100].

1.2 Роль светового режима в создании микроклимата птичника.

Микроклимат в птичнике оказывает существенное влияние на уровень продуктивности птицы. Его ухудшение провоцирует снижение продуктивности птицы и повышение расхода кормов. Освещение в птичнике играет важную роль при выращивании кур всех направлений, позволяет управлять процессами физиологического развития птицы, обеспечивать более комфортные условия её содержания и добиваться существенного роста продуктивности стада. Оно так же способствует увеличению выживаемости молодняка, уменьшению затрат кормов и улучшению их усвоения, помогает снизить травматизм птицы затраты электроэнергии в 4-5 раз [11, 38, 40, 54, 67, 70, 72, 73,74, 75, 79, 111].

Световой режим является одним из важнейших факторов искусственно созданной среды и имеет большое значение в повышении продуктивности птицы. Постоянное удлинение светового дня в период выращивания молод-

няка стимулирует их половое созревание и вызывает раннюю интенсивную яйцекладку. Постепенное сокращение светового режима в период выращивания птицы задерживает половое созревание, но способствует её хорошему росту и высокой продуктивности. При более позднем начале яйцекладки куры дольше несут крупные яйца, скорлупа которых отличается прочностью. Установлено, что круглосуточное освещение снижает газообмен и угнетает рост молодняка [5, 20, 21, 29, 30, 31, 32, 52, 60, 61, 63, 92, 93, 101, 106, 107].

При недостаточном освещении птичников трудно рассчитывать на оптимальную производительность птицы всех пород, что особенно проявляется в зимний период их содержания. Согласно существующим нормативным документам оптимальными условиями для содержания птицы является освещенность 10…100 лк в зависимости от породы птицы в течение 14…24 часового дневного периода [55, 106]. Практически доказано, что хорошее освещение, включая оптимальное управление светом, может повысить количество яиц и привесы [13, 24, 28, 33, 38, 41, 51, 60, 63, 70, 74].

Рисунок 1.1 - Птичник с напольным содержанием птицы и искусственным освещением.

В зависимости от интенсивности и продолжительности свет может оказывать положительное или резко отрицательное действие на физиологическое состояние и продуктивность молодняка и взрослого поголовья птицы.

Режимы освещения можно подразделять на постоянные и прерывистые. Постоянные режимы освещения, в свою очередь, подразделяются на режимы с постоянной продолжительностью светового дня и с изменяющейся. Яйцекладка у кур стимулируется не столько продолжительностью освещения, сколько ее постепенным увеличением, как это бывает в весеннее время. Известно множество исследований, проведенных в разное время по разработке рационального режима постоянного освещения для ремонтного молодняка и кур яичного направления [24, 33, 38, 43, 49,70, 72, 88, 90, 91, 92].

Нельзя недооценивать огромное влияние света на здоровье, плодовитость, обмен веществ и продуктивность птицы, что подтверждается исследованиями, проведенными во многих странах (Германии, Канаде, США, Великобритании, Италии, Дании, Израиле) [81, 84, 86, 94, 95, 100].

Автоматическое регулирование длительности светового дня возможно осуществить с помощью электронных устройств за счёт включения искусственного освещения в утренние и вечерние часы, что может принести предприятию дополнительные экономические преимущества.

На сегодняшний день механизмы воздействия освещения на кур достаточно хорошо изучены. Основные параметры освещения, влияющие на жизнедеятельность кур – это освещенность, спектр излучения осветителей, длительность светового дня и ее изменение.

Режимы освещения с сокращающимся в период выращивания и возрастающим в продуктивный период световым днём получили большее распространение, так как позволяют экономить электроэнергию [20, 24]

Экономически выгодно использовать режимы прерывистого освещения [5, 17, 28]: куры лучше несутся, повышается масса яиц и прочность их скорлупы, удлиняется период продуцирования птицы, одновременно снижаются затраты корма на единицу продукции, экономится дорогостоящая электро-

энергия. Режимы освещения в помещениях могут быть как циклические, так и прерывистые. Но при этом большое значение имеет функция плавного включения и выключения света – «рассвет-закат», так как при резкой смене уровня освещения птица может пугаться, а при большом количестве голов в отсеке увеличивается травматизм и гибель птицы [23, 24, 25, 31].

Правильно организованная система освещения совместно с правильно спроектированной программой освещения позволяет влиять на возраст полового созревания, обеспечить оптимальный режим развития птицы, увеличить яйценоскость, длительность периода яйцекладки, размер яиц и их массу, прочность скорлупы, оплодотворность, снизить бой яиц. А также увеличить выживаемость молодняка, снизить затраты кормов и улучшить их усваиваемость, снизить травматизм птицы и уменьшить затраты электроэнергии в 1.5-3 раза.

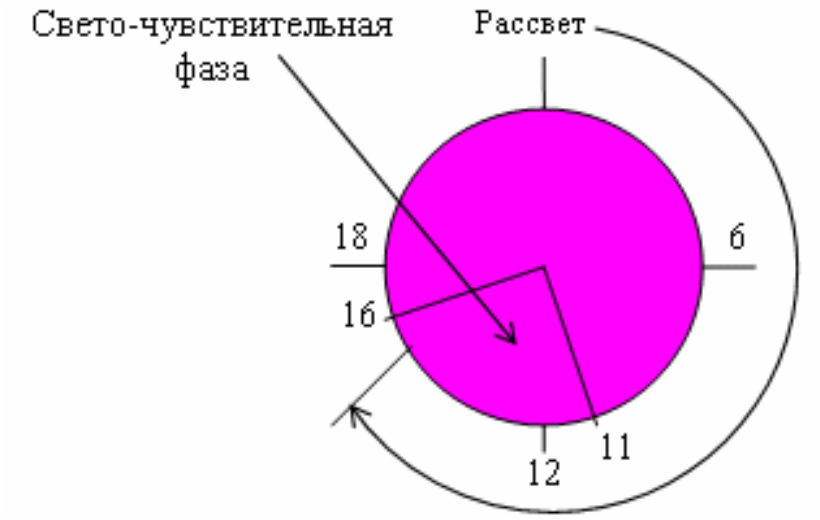


Рисунок. 1.2 - Светочувствительная фаза у кур

Установлено, что ритмы дневной активности и ночного покоя у кур регулируются эпифизом путем выделения фермента, отвечающего за превращение серотонина в мелатонин, при повышении уровня которого в крови куры садятся на насест, засыпают, и температура тела у них понижается. Эксперименты показали, что эпифиз чувствителен к свету, однако эта чувствительность различна в разные периоды суток. Предполагают, что длитель-

ность суток измеряется с помощью эндогенного ритма, который состоит из двух полуциклов: «светочувствительного» и «темночувствительного». Световая стимуляция происходит только тогда, когда продолжительность светового дня распространяется на «темночувствительную» часть эндогенного ритма. По последним данным, светочувствительная фаза для кур наступает спустя 11 часов после первого включения света («рассвета») и продолжается 5 часов, несмотря на то, что этот период может прерываться короткими периодами темноты [74, 102]

В первые дни выращивания рекомендуемая освещенность – 30-40 лк. Такая освещенность создает в поилках так называемое «зеркало воды», что в свою очередь стимулирует потребление воды цыплятами. Далее освещенность постепенно снижается до 5-7 лк в 3-х недельном возрасте и остается на таком уровне до конца выращивания. При содержании взрослых кур-несушек рациональной является освещенность 10 лк, а родительского стада – 15 лк (при освещенности ниже указанного уровня половая активность петухов заметно снижается) [53].

Снижение яркости освещения также позволяет снизить явление ощипывания перьев и каннибализма у птицы. Минимальная яркость освещения для выращивания молодняка составляет 5 люкс, измеренная возле кормушки. При содержании кур на полу освещенность, разумеется, должна быть выше, чем в клетках. В настоящее время многие зарубежные фирмы рекомендуют освещенность 20-25 лк. Это связано с тем, что если в птичнике имеются зоны с пониженной освещенностью (ниже 10 лк), куры в этих местах сносят яйца и резко повышается их загрязненность и яйцо следует выбраковывать [111].

Система освещения должна быть спроектирована с некоторым запасом, т.к. яркость ламп со временем снижается, и со временем они запылятся и засоряются.

Исследования показали, что цвет освещения также оказывает влияние на поведение, рост и воспроизводство птицы [25, 26, 27, 33]. Куры воспринимают свет как через сетчатку глаза, так и через фоточувствительные клет-

ки мозга. Поскольку длинноволновая (красная) часть светового спектра лучше проникает сквозь кожу и кости черепа, чем коротковолновая, было установлено [35,83,84,85], что рост и поведение связаны с рецепторами сетчатки, а репродуктивные функции связаны с фоточувствительными клетками мозга.

1.3 Анализ существующих источников искусственного освещения птицеводческих помещений

Предпосылки интенсификации птицеводства были заложены в середине 20-х — начале 30-х годов XX в. созданием первых крупных птицеводческих хозяйств. Первые птичники не имели ни принудительной вентиляции, ни искусственного освещения. И только спустя годы ученые предложили применять освещение для птичников с целью повышения эффективности производства. Основными идеями были улучшенный старт роста цыплят за счёт более высокого уровня освещённости в первые дни жизни, и попытка обойти биологические ритмы птицы, изменяя режимы освещения, с целью повышения продуктивности. [27, 30, 60, 61, 62, 74, 82, 87, 89, 97]

В настоящее время существует множество вариантов и технических решений для организации систем освещения в птицеводческих помещениях.

До конца прошлого века каждая птицефабрика использовала для освещения обычные лампы накаливания, как правило, это закрытые светильники с лампами накаливания 60-100 ватт. Новый век требует от каждого производителя значительно снижать свои расходы с целью уменьшения конечной стоимости выпускаемого продукта. Система освещения, использующая обычные лампы накаливания, имеет достоинства и недостатки.

К достоинствам можно отнести следующее. Излучаемый лампами накаливания свет по спектральному составу значительно ближе к естественному, чем свет, излучаемый люминесцентными лампами. Энергия, выделяемая в виде тепла в холодные периоды года, служит для обогрева птичников.

Эффекты “закат-рассвет”, обеспечивающие плавное включение-выключение, увеличивают срок службы ламп накаливания в несколько раз. Они не испускают ртутных паров и не требуют специальных условий для утилизации. Лампы накаливания безопасны при эксплуатации, повсеместно распространены и имеют минимальную стоимость.

Недостатками ламп накаливания являются:

1. 97% энергии расходуется непосредственно на нагрев спирали.
2. Низкая светоотдача (до 10 лм/Вт).
3. Низкий срок службы - примерно 1000 часов работы, из-за чего полная замена ламп осуществляется каждые три месяца.

Повышенное потребление электроэнергии при использовании традиционных ламп накаливания на государственном уровне ограничивает их применение. Федеральный закон №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» устанавливает ряд ограничений в области использования ламп накаливания. В частности, с 1 января 2013 года на территории Российской Федерации запрещены к обороту лампы накаливания мощностью 75 Вт и более, а с 1 января 2014 года – лампы накаливания мощностью 25 Вт и более.

Развитием системы освещения является простая замена ламп накаливания на энергосберегающие компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). Например, система освещения Orion Light System, использующая компактные люминесцентные лампы хорошо известна в России и за рубежом. В Европе её реализуют несколько фирм, что свидетельствует о большом распространении этого освещения. Система Orion универсальна: ее используют как в птичниках с напольным содержанием, так в птичниках с клетками.

Основным плюсом данной замены является существенная экономия электроэнергии до 30% - 40%, взаимозаменяемость обычными лампами накаливания, сравнительно невысокая цена (люминесцентное освещение для птичника обходится фабрике примерно в 30000 рублей) [31].

По сравнению с лампой накаливания электроэнергия экономится в разы, однако эффективность КЛЛ почти вдвое ниже, чем у линейной люминесцентной лампы. Кроме того, срок службы такой лампы 6-8 тысяч часов, что втрое меньше, чем у линейной люминесцентной лампы, и в десять раз меньше, чем у светодиодной лампы. Наиболее существенный недостаток в применении компактных люминесцентных ламп на птицефабрике - это невозможность регулировать яркость и обеспечить функцию «рассвет-закат». Следовательно, не будут соблюдаться зоотехнические нормы содержания птицы. Помимо этого, правительство РФ заявило об отказе от планов по строительству заводов по производству КЛЛ, и сосредоточении на выпуске инновационных светодиодных светильников. Напрашивается справедливый вывод о неблагоприятных перспективах применения компактных люминесцентных ламп, необходимых для того, чтобы обеспечить качественное освещение для птицефабрик [96, 99, 108].

Рисунок 1.3 – Птичник с напольным содержанием кур при искусственном освещении

В 1962 г. был изобретен первый светодиод видимого спектра Н. Холоньяком, работающим в компании General Electric [21].

Длительное время эта технология была слишком дорога и широко не применялась. Но исследования продолжались, и каждые 10 лет испускаемый диодами световой поток увеличивался примерно в 20 раз [22], а цена единицы количества такого света уменьшалась примерно в 10 раз.

Появление мощных светодиодов со стабильными характеристиками в последнее время определило новый путь развития системы освещения. Изначально осуществлялась простая замена светильников накаливания на светодиодные, при этом достоинства этой системы:

- сокращение затрат на электроэнергию в 10-15 раз;
- срок службы 50 000 часов;

Светодиодные лампы позволяют плавно регулировать уровень освещенности, имеют улучшенную цветопередачу, не зависящую от уровня освещенности и имеют огромный срок службы (до 100 тыс. ч.) при котором период замены ламп может составить 400 месяцев.

Развитием светодиодных систем освещения явилось появление линейных и локальных источников света, для равномерной освещенности как при клеточном, так и при напольном содержании птиц.

Светодиодное освещение в птицеводстве по праву можно назвать инновационным, так как его преимущества перед уже известными источниками света неоспоримы, а его использование практически не имеет недостатков, которыми обладали его предшественники [19, 23, 25].

Рисунок 1.4 - Светодиодная система освещения ИСО «Хамелеон» для птицефабрик.

К преимуществам светодиодных источников света относятся:

- высокое качество освещения при мгновенном запуске и отсутствии низкочастотной пульсации;

- экономия электроэнергии более чем в три раза по сравнению с люминесцентными лампами и более, чем в 10 раз по сравнению с лампами накаливания;

- возможность уменьшения сечения кабеля или мощностной разгрузки существующего. На данный момент значительная часть электрических сетей обветшала, и уменьшение нагрузки существенно увеличит их срок службы;

- отсутствие затрат на обслуживание: срок службы светодиодов достигает 100 000 часов (а это более 11 лет беспрерывной работы), не требуется замены ламп, дросселей, стартеров;

- отсутствие инфракрасного и ультрафиолетового излучения в спектре;

- возможность применения низковольтных драйверов на 24В и 12В, что позволяет использовать светодиодные светильники в помещениях, особо критичных с точки зрения пожарной безопасности и взрывозащищенности;

- очень высокая вандалоустойчивость, простота обеспечения высокой пыле- и влагозащищённости;

- безвредность для здоровья и окружающей среды при использовании и утилизации.

Светодиодное освещение, не смотря на относительно высокую стоимость светодиодов, интенсивно развивается в последнее время и постепенно вытесняет с рынка все имеющиеся на сегодняшний день системы. Прогресс в этой отрасли сопоставим с лавинообразной компьютеризацией нашего общества. Светодиодное освещение для птицефабрик – это уж совсем не далекое будущее и можно сказать это реальное настоящее. Уже сейчас передовые хозяйства приобретают такой свет в расчете на энергосбережение, долговечность и быструю окупаемость.

Ведущую роль в развитии систем освещения отечественного птицеводства по праву занимают ученые: Пигарев Н.В., Фисинин В.И., Кавтарашвили А. Ш., Юрков В.М., Акатова Е.В., Агеев В.Н., Ларионов В. Ф., Овчукова С.А., Кондратьева Н.П., Юферев Л.Ю., Михалёв А.А., Новосёлов И.М., Новоротов Е.Н. и другие.

1.4.Особенности содержания куриц кросса ROSS-308 и проблемы освещения при напольном содержании птиц

В большинстве стран, например, в Израиле кур кросса ROSS-308 содержат напольно. Данный кросс не предназначен для содержания в клетках, потенциал тяжелых пород необходимо реализовать с наибольшей выгодой,

то есть стоимость цыпленка в стоимости 1 кг мяса необходимо минимизировать за счет получения более высоких весов птицы (бройлеров), что практически исключено сделать в клетках. Бройлеров необходимо разделять по полу уже в инкубаторе для реализации их генетического потенциала. Затем самцы и самки выращиваются с перегородками в одном птичнике либо разводятся по раздельным корпусам. Самки отправляются на убой в возрасте 38 – 40 дней живым весом 2 – 2.25 кг. После самок перегородки в птичнике снимаются, и самцы получают дополнительную площадь. За счёт этого самцы получают большее ускорение в росте и развитии. В итоге самцы отправляются на убой в возрасте 43 – 45 дней живым весом 2.7 – 2.95 кг.

Напольное выращивание птицы обладает следующими основными преимуществами:

1. Надежность, простота в эксплуатации, сравнительная дешевизна оборудования.
2. Напольное оборудование позволяет аккуратно и без потерь отлавливать и грузить птицу при ее отправке на убой, максимально использовать генетический потенциал птицы с точки зрения веса.
3. Напольное оборудование в высшей степени гигиенично, легко и быстро моется и дезинфицируется.
4. Уровень ветеринарного обслуживания при напольном содержании гораздо качественнее, так как существует простая и эффективная схема работы с инактивированными вакцинами, а не только с живыми.
5. Процент падежа и браковки птицы при напольном содержании гораздо ниже.
6. Комплекты напольного оборудования позволяют создавать птичники для бройлеров размерами 16 метров на 168 метров, что существенно снижает стоимость оборудования на 1 $м^2$ птичника.
7. Качество тушки птицы в убойном цехе гораздо выше, чем при клеточном содержании.

Основными недостатками клеточного выращивания являются следующие:

1. Клеточное оборудование в 3 и более раз дороже напольного оборудования.
2. Мойка и дезинфекция клеточного оборудования достаточно сложны, трудоёмки и продолжительны во времени.
3. Менее качественный уровень ветеринарного обслуживания.
4. Процент падежа и браковки птицы гораздо выше.
5. Практически невозможно обеспечить качественную вентиляцию, равномерный обогрев, равномерное соответствующее освещение всего поголовья птицы.
6. Сложно обеспечить однородность поголовья по весу, так как создать одинаковые условия содержания для птицы в каждой точке птичника, в каждой ячейке каждого яруса клеточной батареи практически невозможно [111].

Важным аргументом в пользу напольного содержания птицы стало вступление России в ВТО. Одним из основных факторов успешной работы на западных мясных рынках является гуманизм содержания животных и птицы [95]. Клеточное содержание бройлеров противоречит общественным нормам о гуманизме, а общественное мнение важнейшее условие успешной реализации продуктов питания и особенно, мяса. В европейских странах партия зелёных, различные общественные организации по охране окружающей среды, общественные организации по защите животных и общественное мнение добиваются запрета производства в клеточных батареях даже столового яйца [64, 95, 100].

К началу 2012 года на ООО «Удмуртская птицефабрика» завершена замена родительского стада отечественного кросса птицы «Смена 7» высокопродуктивным кроссом «ROSS-308». В результате перехода на новый кросс птицефабрика ежегодно наращивает объемы производства: с 33,9 тыс. т в 2012г. до 54 тыс. т в 2014г. Постоянная работа над улучшением условий содержания родительского стада и переход на высокопродуктивный кросс ROSS-308 позволили достичь высоких показателей: вывод цыплят – 82%, сохранность поголовья - 93%. Специалисты птицефабрики освоили все детали технологии напольного содержания кросса, изменили ветеринарные требова-

ния, улучшив здоровье птицы. На прежнем кроссе при приросте 50 г в сутки, цыпленок набирал стандартный вес за 41 день. Сейчас цыпленок достигает веса 2,1 кг за 39 дней, что повышает экономическую эффективность производства [64, 97, 111].

Таким образом, для успешной реализации продукции птицеводства напольное содержание птицы является наиболее перспективным и актуальным как в России, так и за рубежом. С целью обеспечения однородности поголовья по весу необходимо создание одинаковых условий содержания в каждой точке птичника. Поскольку световой режим является одним из важнейших факторов микроклимата птичника, то для решения проблемы освещения птичника с напольным содержанием птицы следует наиболее равномерно осветить большое по площади помещение, обеспечив при этом требуемую освещённость (порядка 100 люкс) с возможностью её регулирования (Приложение А – тех. задание). Увеличение продолжительности и интенсивности освещения, особенно при содержании в безоконных птичниках, приводит к перерасходу энергии, что значительно увеличивает издержки производства и себестоимость продукции. Поэтому создание режима оптимального энергопотребления птичника является основной задачей в решении проблемы равномерного освещения птичника с напольным содержанием птицы.

1.5 Анализ методов решения проблемы равномерного освещения птичника с напольным содержанием птицы

В Европе для решения этой проблемы преимущественно используются светильники с линейными люминесцентными лампами Т8. Очень часто реклама систем кормления или поения сопровождается иллюстрацией с изображением реального птичника. На заднем плане таких иллюстраций можно увидеть другие элементы оборудования, в том числе и светильники. На фотографии птичника (рис.1.5) виден теплый белый цвет ламп. Высокий потолок и отсутствие колонн в помещении позволили получить высокую равно-

мерность освещения при использовании всего лишь двух рядов поперечно расположенных светильников[107].

Рисунок 1.5 - Птичник с люминесцентным освещением (Германия)

В Италии нестандартно относятся к проектированию и часто используют возможности естественного освещения. На фотографии итальянского птичника (рис.1.6) видны светопрозрачные форточки при использовании люминесцентных светильников.

Рисунок 1.6 – Птичник с люминесцентным освещением дополняется естественным освещением (Италия)

В последнее время для технологического освещения птичников с целью энергосбережения лампы накаливания и люминесцентные лампы заменяются светодиодными светильниками [9, 22, 24, 26, 31, 32,45, 53, 73].

Использование светильника LED-19.2 производства ООО «Резерв» [98, 105, 106, 110] позволяет реализовать способ искусственного освещения для содержания птицы, когда пространство клетки или площадь помещения освещается равномерно, без образования характерных световых и температурных пятен. При этом используется большое количество светодиодов малой мощности, расположенных на удлинённых платах (рис.1.7)

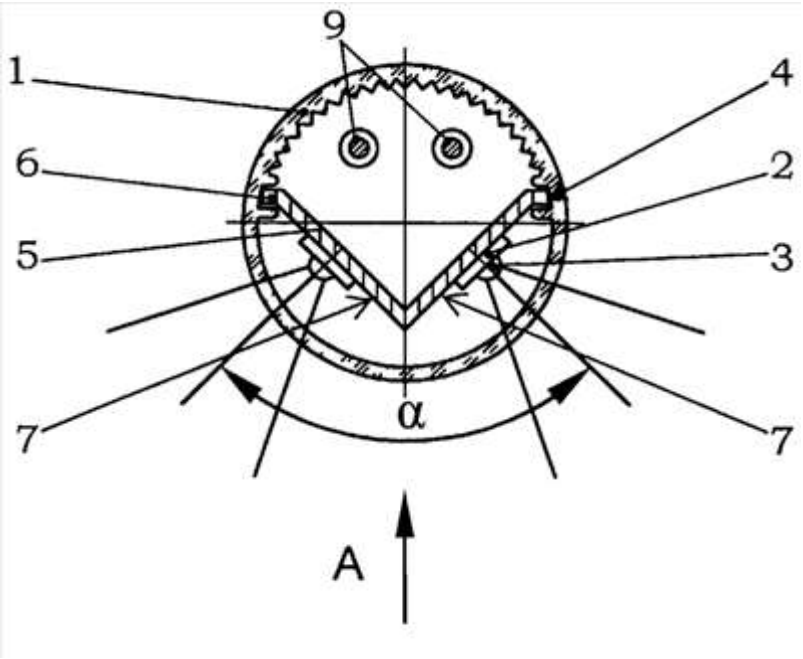


Рисунок 1.7 – Светодиоды 3 малой мощности, расположенные на удлинённых платах 2 светильника производства ООО «Резерв»

Дешевый светильник необходимой световой мощности не использует принудительное охлаждение, герметичный для периодической обработки моющими и дезинфицирующими средствами. К недостаткам данного светильника следует отнести следующее:

1) для улучшения равномерности освещения поверхности или пространства с помощью большого количества светодиодов малой мощности возникает необходимость регулирования и фиксации угла между максимумами диаграммы направленности светодиодов также и в продольном направлении светильника, что требует для каждого светодиода промежуточных (например, клиновидных) прокладок. Изготовление промежуточных прокладок ведёт к удорожанию конструкции.

2) для фиксации и электропитания светодиодов необходима технологическая операция сверления отверстий в платах, что также ведёт к удорожанию конструкции;

3) для фиксации удлиненных плат светодиодов требуется по крайней мере два оппозитно расположенных продольных паза на внутренней поверхности светопропускающей трубчатой колбы, выполнение которых также ведёт к удорожанию конструкции;

4) дальнейшее увеличение числа рядов светодиодов (плат) более трёх значительно усложняет конструкцию светильника и тем самым резко ограничивает возможности регулирования равномерности освещения в поперечном направлении.

Повышение качества освещения с целью улучшения микроклимата в птичнике возможно за счёт уменьшения коэффициента неравномерности освещения Z (в пределе до единицы: $Z \rightarrow 1$). Вопросы неравномерности освещения и расчёты коэффициента Z при содержании кур-несушек в клеточных батареях рассмотрены в [53]. Объект освещения представляет собой последовательно расположенные кормушки вдоль прямой линии, что ограничивает применение результатов этой работы для разработки системы освещения рабочей площади напольного содержания птиц. На наш взгляд, вывод о необходимости учёта светодиодов соседних линеек при расчёте освещённости в рассматриваемой точке в [53] следует расширить и учитывать влияние на освещённость в данной точке всех N точечных светодиодов, распределённых по всем светильникам системы освещения птичника.

В [20] для расчёта освещённости рабочей площади предложен численный метод, реализованный для местного освещения (небольшой по сравнению с используемой в птичниках площадью) при помощи одного двумерного светодиодного модуля. Влияние на освещённость в данной точке всех N точечных светодиодов, распределённых по модулю, учитывается по принципу суперпозиции. Показано улучшение равномерности освещения с увеличением количества светодиодов N и уменьшением расстояния между светодиодами в продольном направлении. Однако вопросы оптимального энергопотребления и повышения качества освещения в данной работе не рассматриваются.

Расчёт значений оптимальных параметров светодиодного освещения является сложной задачей, аналитическое решение которой не известно. Сложность задачи заключается в учёте влияния каждого светодиода, число которых по распределённым светильникам в птичнике достигает нескольких десятков тысяч. Дальнейший анализ литературы показывает, что проблема светодиодного освещения птичника большой площади (порядка 1000 м^2 и более) с использованием большого числа (порядка 100 и более) светильников, подвешенных на нескольких (двух и более) линиях является недостаточно изученной.

Для решения проблемы необходимо разработать математическую модель, позволяющую при помощи расчётов получать оценки тех значений оптимальных параметров, от которых явно зависит качество освещения и энергопотребление (потребляемая мощность) при напольном содержании птиц.

Согласно сказанному выше, параметром, явно определяющим качество освещения, является коэффициент неравномерности освещения Z. Параметром, от которого явно зависит потребляемая мощность P системы освещения (при известной потребляемой мощности p_1 одного светодиода), является общее число светодиодов N, распределённых по всем светильникам, так как $P = Np_1$. Для расчёта освещённости в точке рабочей плоскости по принципу суперпозиции также необходим параметр N.

Таким образом, коэффициент неравномерности освещения Z и общее число светодиодов N являются основными параметрами светодиодного освещения птичника. Для обоснованной оценки основных параметров необходимы исследования.

1.6 Задачи исследования

1.6.1 Выводы из анализа состояния вопроса

1. Анализ литературы показывает, что освещение играет ведущую роль в создании микроклимата в птичнике.
2. Наиболее перспективным является освещение при помощи светодиодов, способствующих экономии электроэнергии и повышению срока службы системы освещения, а также позволяющих регулировать величину и качество освещения.
3. Энергопотребление (потребляемая мощность) и качество освещения явно зависят от основных параметров светодиодного освещения птичника – числа светодиодов N, распределённых в птичнике по светильникам и коэффициента неравномерности освещения Z.
4. С целью повышения эффективности энергопотребления и качества светодиодного освещения для напольного содержания птиц требуется проведение исследований по следующим направлениям:

- теория равномерного освещения поверхности при помощи точечных светодиодов;
-установление взаимосвязи между основными параметрами, определяющими энергопотребление и качество освещения и конструкционными параметрами, задающими геометрию птичника и системы освещения;
- проведение лабораторных и компьютерных экспериментов;

- оценка технико-экономической эффективности использования светодиодных светильников при напольном содержании промышленного родительского стада кур.

1.6.2 Постановка задач исследования

1. Разработать математическую модель, позволяющую методом оптимизации оценить энергопотребление птичника при его наиболее равномерном освещении.

2. Разработать компьютерную программу для оценки оптимального энергопотребления реального птичника.

3. Изготовить опытный экземпляр светодиодного светильника и провести исследования освещённости для обоснования применимости математической модели.

4. Оценить ожидаемую экономическую эффективность использования светодиодных светильников при напольном содержании промышленного родительского стада кур.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОЧЕЧНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА

2.1 Оценка эффективности точечных источников света с круглосимметричным светораспределением

Для освещения горизонтальной рабочей поверхности (далее поверхности) используются светильники со следующими стандартными типами кривых сил света (КСС): М (равномерная), Д (косинусная), Г (глубокая), Л (полуширокая), Ш (широкая). Большинство светильников имеют косинусную или близкую к ней КСС [1, 47, 68].

Сравним эффективности светильников с вышеприведёнными типами КСС. В качестве критериев эффективности КСС принимаем: 1) величину светового потока Φ, необходимую для создания нормируемой освещенности на поверхности; 2) коэффициент использования светового потока K_Φ; 3) величину коэффициента неравномерности освещаемой поверхности Z. Наиболее эффективной КСС будет обладать тот светильник, у которого Φ – минимален, а K_Φ и Z близки к единице.

Для сравнения эффективности светильников введём следующие допущения:

1. Светильник является точечным источником света с круглосимметричным светораспределением, имеющим КСС типа М, Д, Г, Л и Ш.

2. Угол излучения светильника по условиям комфортности освещения поверхности принят равным 90 градусов.

3. Освещаемая рабочая поверхность имеет вид окружности.

4. Расчетные исследования проводятся в относительных единицах.

Математические модели стандартных типов КСС [36, 37] имеют вид:

для КСС типа М $$I_{\alpha 1} = I_{01}; \qquad (2.1)$$

для КСС типа Д $$I_{\alpha 2} = I_{02} \cdot cos\alpha\,; \qquad (2.2)$$

для КСС типа Г $$I_{\alpha 3} = I_{03} \cdot cos\left(1{,}65\alpha\right), \qquad (2.3)$$

для КСС типа Л $$I_{\alpha 5} = \frac{I_{05} \cdot cos\alpha}{cos(70^0 \cdot sin^{1,2} 1{,}66 \cdot \alpha\,)}, \qquad (2.4)$$

для КСС типа Ш $$I_{\alpha 6} = \frac{I_{06} \cdot cos\alpha}{cos(84{,}4^0 \cdot sin^{1,5} 1{,}2 \cdot \alpha\,)}. \qquad (2.5)$$

Световой поток в зональном телесном угле определяется по формулам[3]:

$$\Phi_{полн} = \sum_i \Phi_{\alpha_i - \alpha_{i+1}} = \sum_i I_{\frac{\alpha_i + \alpha_{i+1}}{2}} \cdot \omega_{\alpha_i - \alpha_{i+1}} \qquad (2.6)$$

и

$$\Phi_{\alpha_1 - \alpha_2} = 2 \cdot \pi \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} I_\alpha \cdot sin\alpha \cdot d\alpha\,. \qquad (2.7)$$

Величина светового потока светильника при угле излучения 90 градусов согласно (2.7) составляет:

для КСС типа М:

$$\Phi_1 = 2\pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} I_{01} \cdot sin\alpha d\alpha = 2\pi \cdot I_{01} \int_0^{\frac{\pi}{4}} sin\alpha d\alpha = 2\pi \cdot I_{01} \cdot (-cos\alpha \Big|_0^{\frac{\pi}{4}}) = 2\pi \cdot I_{01} \cdot (-cos\frac{\pi}{4} + cos0\,) = 1{,}8403 \cdot I_{01}, \qquad (2.8)$$

для КСС типа Д:

$$\Phi_2 = 2\pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} I_{02} \cdot c\ os\alpha \cdot sin\alpha d\alpha = 2\pi \cdot I_{02} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} sin\alpha d(sin\alpha) =$$

$$2\pi \cdot I_{02} \cdot \frac{(sin\alpha)^2}{2}\Bigg|_0^{\frac{\pi}{4}} = \pi \cdot I_{02} \cdot ((sin\frac{\pi}{4})^2 - (sin0)^2) = \quad , \quad (2.9)$$

$$= 1{,}5708 \cdot I_{02}$$

для КСС типа Г:

$$\Phi_3 = 2\pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} I_{03} \cdot cos(1{,}65\alpha) \cdot sin\alpha d\alpha =$$

$$= \pi \cdot I_{03} \int_0^{\frac{\pi}{4}} (sin(-0{,}65\alpha) + sin(2{,}65\alpha)) d\alpha = \quad , \quad (2.10)$$

$$= \pi \cdot I_{03} (\frac{cos(0{,}65\alpha)}{0{,}65} - \frac{cos(2{,}65\alpha)}{2{,}65})\Bigg|_0^{\frac{\pi}{4}} = I_{03} \cdot 1{,}1486$$

для КСС типа Л и Ш вычисления проведены по формуле Симпсона при 2n=10 с шагом π/40:

$$\Phi_5 = 2\pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} I_{04} \cdot \frac{cos\alpha \cdot sin\alpha}{cos\alpha(\frac{7\pi}{18} \cdot sin^{1,2} \cdot 1{,}66\alpha)} d\alpha = 2{,}5916 \cdot I_{04}, \quad (2.11)$$

$$\Phi_5 = 2\pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} \cdot \frac{I_{05} cos\alpha \cdot sin\alpha}{cos\alpha(\frac{21{,}1}{45}\pi \cdot sin^{1,5} \cdot 1{,}2\alpha)} d\alpha = 2{,}1294 \cdot I_{05}. \quad (2.12)$$

Полученные выражения (2.8) и (2.12) световых потоков светильников с различными КСС должны обеспечивать нормируемую освещённость на рабочей горизонтальной поверхности на границе окружности. Угол направления силы света от источника на границу окружности составляет 45 градусов согласно принятому допущению. Нормируемая освещённость в точке на границе окружности связана с силой света основным законом светотехники [1, 2, 36, 37, 68]:

$$E = \frac{I_\alpha \cdot cos^3\alpha}{h^2}. \qquad (2.13)$$

Нормируемая освещённость и высота подвеса светильника приняты равными единице. Из выражения (2.13) сила света под углом направления 45 градусов для светильника с любой КСС равна:

$$I_{\alpha=45} = \frac{1}{cos^3 45^0}. \qquad (2.14)$$

Значения осевых сил света светильников с разными КСС определяются путём подстановки выражения (2.14) в формулы (2.1) - (2.5), которые принимают вид:

для КСС типа М $$I_{\alpha 1} = 2{,}828, \qquad (2.15)$$

для КСС типа Д $$I_{\alpha 2} = 4 \cdot cos\alpha, \qquad (2.16)$$

для КСС типа Г $$I_{\alpha 3} = 10{,}420 \cdot cos(1{,}65\alpha), \qquad (2.17)$$

для КСС типа Л $$I_{\alpha 4} = \frac{1{,}561 \cdot \cos\alpha}{\cos\alpha(70^0 \cdot \sin^{1,2}(1{,}66\alpha))}, \qquad (2.18)$$

для КСС типа Ш $$I_{\alpha 5} = \frac{1{,}916 \cdot \cos\alpha}{\cos\alpha(84.4^0 \cdot \sin^{1,5}(1{,}2\alpha))}. \qquad (2.19)$$

Выражения (2.15) и (2.19) являются математическими моделями КСС, обеспечивающими нормируемую освещенность на рабочей поверхности. Подставляя значения осевых сил света из (2.15) - (2.19) в (2.8) – (2.12), получим величины световых потоков точечных светильников с разными типами КСС, обеспечивающими нормируемую освещенность на поверхности. Световые потоки для стандартных типов КСС рассчитаны также и по формулам (2.6). Результаты расчётов световых потоков по (2.6) и (2.7) приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчетов световых потоков пяти типов КСС.

Тип КСС	$2\Omega_{0,5}$, град	$I_{0(45^0)}$	$\Phi_{\cup}$ по формуле 2.6		$\Phi_{\cup}$ по формуле 2.7		$К_ф = \frac{\Phi_{45^0}}{\Phi_{90^0}} \cdot 100\%$	
			$0 \le \alpha \le 180$	$0 \le \alpha \le 90$	$0 \le \alpha \le 180$	$0 \le \alpha \le 90$	по формуле 2.6	по формуле 2.7
М	180	2,828	17,7714	5,2051	17,7715	5,2052	29,3	29,3
Д	120	4	12,5664	6,2832	12,6144	6,2892	50	49,9
Г	60	10,420	13,0779	11,9682	13,1301	12,0040	91,5	91,4
Л	140	1,561	10,0842	4,0450	10,0983	4,0410	40,1	40
Ш	160	1,914	20,8517	4,0755	20,9206	4,0677	19,5	19,4

Неравномерность освещения рабочей поверхности определяется коэффициентом неравномерности освещения [1, 2, 36, 37]

$$z = \frac{E_{max} + E_{min}}{2 \cdot E_{min}}, \qquad (2.20)$$

Учитывая, что при выборе потока светильников допускается расхождение с номинальным потоком -10…+20% [46, 47], принимаем значение коэффициента неравномерности в интервале, выражаемое неравенством

$$1{,}1 < Z < 1{,}2 . \qquad (2.21)$$

Распределение освещенности по рабочей поверхности получаем из основного закона светотехники (2.13), подставляя в него выражения (2.15) – (2.19) изменяя угол направления силы света от 0 до 45 градусов. Очевидно,

что максимальное значение освещённости в центре круга (угол 0), а минимальное на границе (угол 45°). Результаты расчёта приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Значения расчётных освещённостей и коэффициенты неравномерности освещения *Z* поверхности точечными светильниками со стандартными КСС

Тип КСС	М	Д	Г	Л	Ш
$E_{мин}$	1	1	1	1	1
$E_{макс}$	2,83	4	10,4	1,56	1,92
Z	1,92	2,5	5,70	1,28	1,46

Проведенный анализ оценки эффективности точечных светильников со стандартными КСС показывает:

1. Светильники с полуширокой (Л) и широкой (Ш) КСС имеют наименьшие значения светового потока, обеспечивающие нормируемую освещенность поверхности, и минимальные значения коэффициента неравномерности освещения, однако $K_Ф$ при этом 40% и 20% соответственно.

2. Для светильника с глубокой (Г) КСС коэффициент использования светового потока $K_Ф$ > 90 %, а коэффициент неравномерности больше требуемого более чем в 5 раз, а величина светового потока больше в 3 раза, чем у (Л) и (Ш).

3. Светильники со стандартными КСС не удовлетворяют требованию неравномерности освещения (2.21), и поэтому возникает необходимость поиска светильника, с эффективной КСС.

2.2 Определение кривой силы света, обеспечивающей равномерное освещение поверхности

Для освещения горизонтальной рабочей поверхности требуется создание равномерной освещённости, являющейся одной из важнейших характеристик, определяющих качество освещения. При освещении поверхности одним светильником наибольшая равномерность горизонтальной освещённости

обеспечивается при кривых сил света типов Л и Ш (см. выводы п.2.1). Действительно, такого рода кривые используются в установках наружного освещения, где особенно важно увеличение расстояние между светильниками. При освещении же больших горизонтальных поверхностей внутри зданий они почти не находят применения. В этом случае на каждый светильник приходится слишком большая площадь *S*, тогда при относительно высоком значении освещённости *E*, требуемой для внутреннего освещения, получаем столь большое значение необходимого светового потока *Ф=ES*, какого не имеет ни одна стандартная лампа [36,37].

Большинство светильников внутреннего освещения имеют косинусную, или близкую к ней КСС [1, 2, 36, 37, 77, 98,104, 105]. Величина светового потока имеет максимальное значение на оптической оси светильника по мере удаления от которой освещённость поверхности уменьшается согласно (2.13). Это создает дискомфорт при перемещении в помещении и увеличивает время адаптации к освещению. При освещении поверхности одним светильником полная равномерность освещения горизонтальной поверхности может быть достигнута, если сила света выражается как [36, 37]

$$I_{\alpha} = \frac{K}{cos^3\alpha}, \qquad (2.22)$$

где *К* - постоянная величина.

Будем называть КСС по формуле (2.22) специальной КСС типа И.

Исследуем эффективность светильника, имеющего специальную КСС типа И, аналогично пункту 2.1. Математическая модель КСС типа И [16, 42, 43, 44] имеет вид:

$$I_{\alpha б} = \frac{I_{0б}}{cos^3\alpha}. \qquad (2.23)$$

Величина светового потока светильника, с КСС типа И, при угле излучения 90 градусов согласно (2.7) составляет:

$$\Phi_7 = 2\pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{I_{06} \cdot sin\alpha}{cos^3\alpha} d\alpha = 3{,}1416 \cdot I_{07} \qquad (2.24)$$

Осевая сила света находится подстановкой (2.14) в формулу (2.23) $I_{06} = 1$, тогда поток $\Phi_и$ = *3,1416*.

Светотехнические характеристики (световой поток светильника, распределение освещённости по поверхности и коэффициент неравномерности) специальной КСС типа И, приведены на рис. 2.1-2.3 в сравнении со стандартными КСС типа М, Д, Г, Л, Ш по п.2.1.

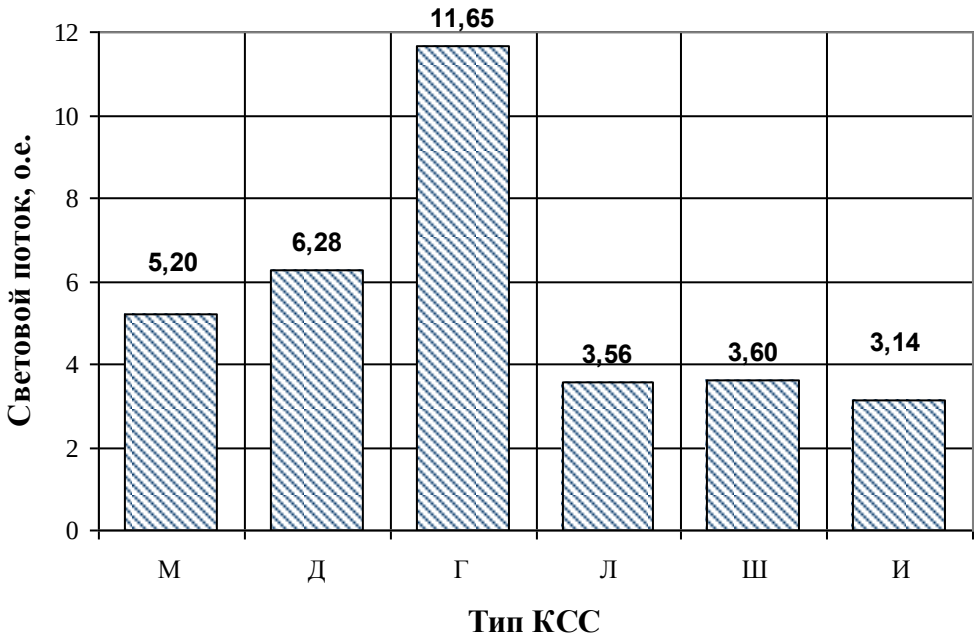


Рисунок 2.1 - Световой поток светильников с разными типами КСС, обеспечивающий нормируемую освещенность на рабочей горизонтальной поверхности

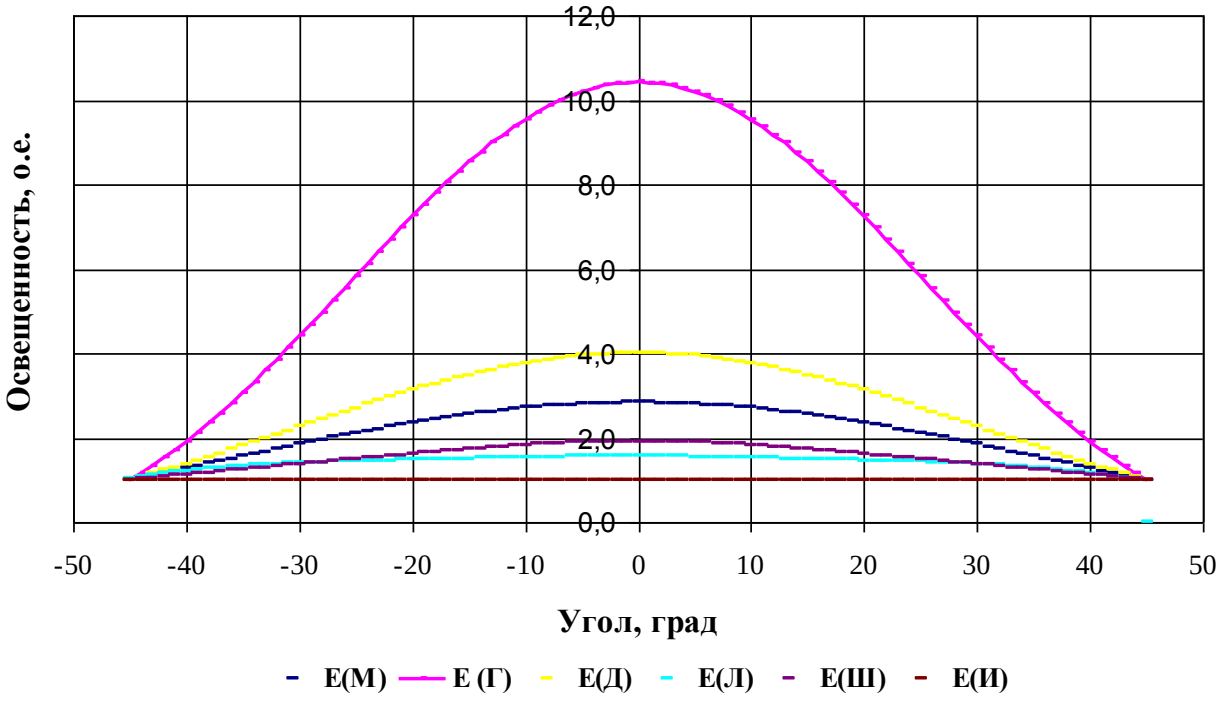


Рисунок 2.2 - Изменение освещенности рабочей поверхности от центра до края окружности от светильников с разными КСС

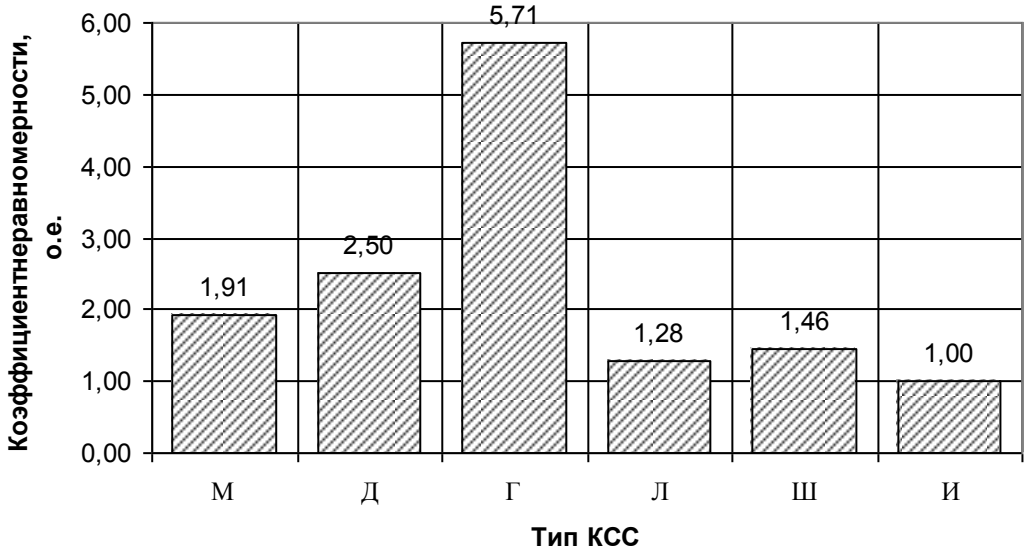


Рисунок. 2.3 - Неравномерность освещения рабочей поверхности от светильников с разными КСС

Сравнение светотехнических характеристик светильников со стандартными КСС типа М, Д, Г, Л, Ш и светильника с КСС типа И позволяет сделать вывод: светильник, обеспечивающий минимальный световой поток и коэффициент неравномерномерности Z=1 должен иметь КСС близкую к специальной типа И.

2.3 Исследование светотехнических характеристик линейных источников света

Для освещения рабочей поверхности в установках внутреннего освещения преобладают линейные светильники, в которых можно выделить два направления: продольное и поперечное. Основным достоинством этих светильников является обеспечение повышенной равномерности освещения рабочей поверхности в продольном направлении при расположении их в линию. В поперечном направлении (поперечной плоскости) светильника равномерность освещения зависит от формы кривой силы света [36, 37]. Проведём исследования светотехнических характеристик для линейных источников света аналогично п. 2.1.

В качестве световых и конструктивных параметров для исследования общего освещения от линейного светильника выбираем:

1) КСС в поперечной плоскости линейного светильника;

2) осевую силу света I_0 линейного светильника;

3) силу света $I\gamma$, направленную на освещаемую горизонтальную поверхность под углом γ к вертикальной оси симметрии поперечной плоскости линейного светильника;

4) световой поток Φ линейного светильника;

5) прямую составляющую освещенности E в любой точке освещаемой горизонтальной площадки.

Для исследования выбраны светильники со следующими стандартными КСС (М, D, Л, Ш) [36, 37] (светильник с КСС типа Г исключён из рассмотре-

ния в связи с наименее эффективными светотехническими параметрами по п.2.1) и светильник со специальной формой КСС типа И [37], введенный в пункте 2.2.

Математические модели исследуемых типов КСС имеют вид по (2.1) - (2.5), (2.23).

Принимаем следующие допущения:

1. Линейный светильник представляет собой прямую линию, имеющую длину и не имеющую толщины.
2. Сила света линейного светильника в продольной плоскости распределена равномерно вдоль его длины и направлена перпендикулярно горизонтальной оси светильника.
3. Сила света линейного светильника в поперечной плоскости определяется кривой силы света, симметричной относительно вертикальной оси излучателя.
4. Линейный светильник располагается на высоте h над серединой освещаемой горизонтальной площадки.
5. Длина линейного светильника L равна длине a освещаемой площадки.
6. Ширина b освещаемой площадки определяется высотой подвеса h линейного светильника и углом $\theta = 45°$ по условиям исключения ослеплённости (блёскости).
7. Осевая сила света I_0 и световой поток Φ линейного светильника определяются видом КСС и величиной нормируемой освещенности $E_н$ для любой точки освещаемой площадки.
8. Прямая составляющая освещенности E в любой точке горизонтальной площадки определяется силой света $I\gamma$, направленной в эту точку, углом γ и высотой подвеса h линейного излучателя над освещаемой площадкой.
9. Отраженная составляющая освещенности E в любой точке освещаемой горизонтальной площадки не учитывается.
10. Все расчёты проводятся в относительных единицах.

Одним из критериев сравнения светильников с разными КСС является величина светового потока Φ (см. п.2.1). Световой поток линейного светильника длиной L в поперечной плоскости определяется следующей расчётной формулой:

$$\Phi_{\gamma_1-\gamma_2} = \int_0^L \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} I_\gamma d\gamma dl \qquad (2.25)$$

Согласно принятым допущениям световой поток в поперечной плоскости не зависит от длины светильника:

$$\Phi_{\gamma_1-\gamma_2} = L \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} I_\gamma d\gamma \qquad (2.26)$$

Величина светового потока светильника в поперечной плоскости при угле излучения 90 градусов согласно (2.25) составляет:

для КСС типа М $$\Phi_1 = 2 \cdot L \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} I_{01} d\gamma = 1{,}5708 \cdot L \cdot I_{01} \qquad (2.27)$$

для КСС типа Д $$\Phi_2 = 2 \cdot L \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} I_{02} \cdot cos\gamma d\gamma = 1{,}4142 \cdot L \cdot I_{02} \qquad (2.28)$$

для КСС типа Л

$$\Phi_3 = 2L \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{I_{03} cos\gamma}{cos(70^0 \cdot sin^{1,2}\ 1{,}66\gamma)} d\gamma = 3{,}1152 \cdot L \qquad (2.29)$$

для КСС типа Ш

$$\Phi_4 = 2L \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{I_{04} cos\gamma}{cos(84{,}4^0 \cdot sin^{1,5}(1{,}2\gamma))} d\gamma = 3{,}23 \cdot L \qquad (2.30)$$

для КСС типа И $$\Phi_5 = 2L \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{I_{05}}{cos^3\gamma} d\gamma = 2,2956 \cdot L \qquad (2.31)$$

Результаты расчетов световых потоков по формулам (2.26 – 2.30) приведены на рисунке 2.4.

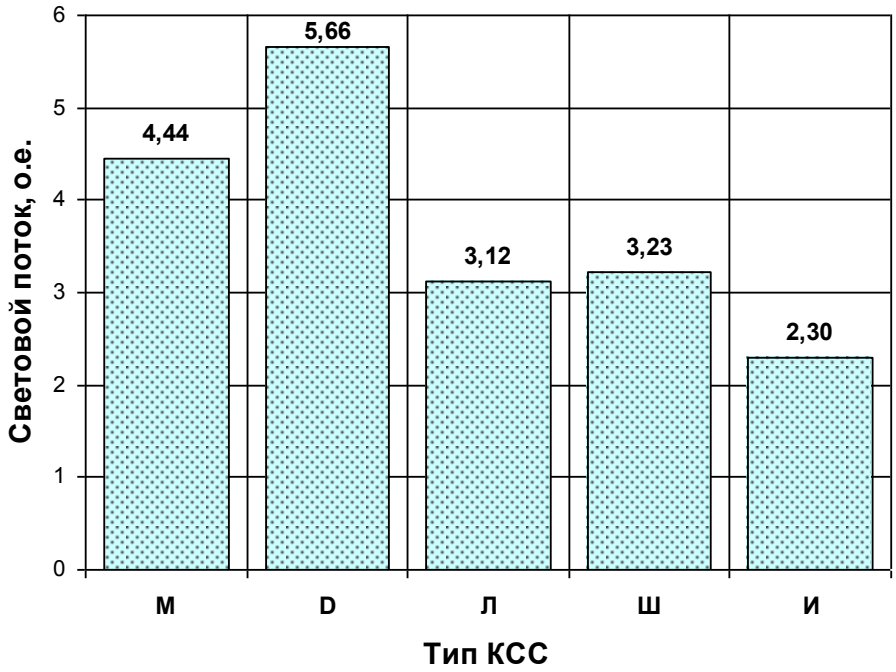


Рисунок 2.4 - Световой поток линейных светильников с разными типами КСС, обеспечивающий нормируемую освещённость на горизонтальной рабочей поверхности в поперечной плоскости симметрии светильника.

Распределение освещённости по рабочей поверхности в поперечной плоскости симметрии светильника получается из основного закона светотехники (2.13), подстановкой в него выражений (2.1) – (2.5).

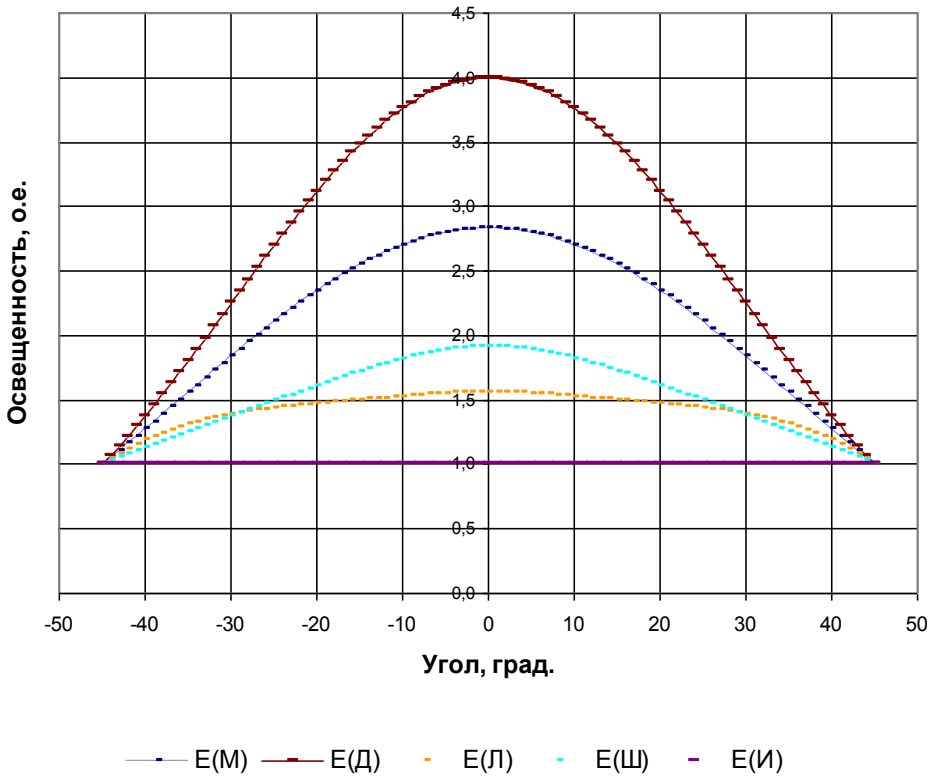


Рисунок 2.5 - График освещённости рабочей поверхности в поперечной плоскости симметрии от линейных светильников с разными типами КСС

Результаты неравномерности освещения рабочей поверхности согласно формуле (2.20) приведены на рис. 2.6.

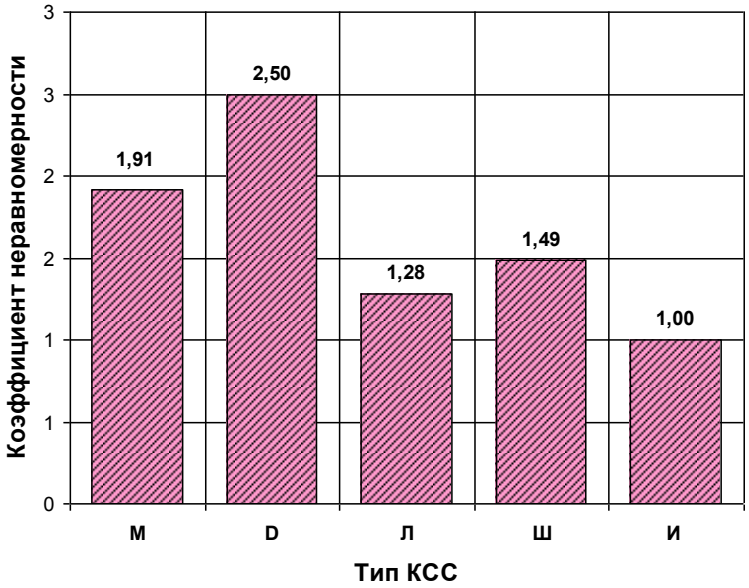


Рисунок 2.6 - Неравномерность освещения рабочей поверхности в поперечной плоскости симметрии линейных светильников с разными типами КСС

Анализ полученных результатов, позволяет сделать следующие выводы:

1) наиболее эффективным является линейный светильник, имеющий в поперечной плоскости специальную (И) или близкую к ней КСС;

2) с уменьшением Z (при неизменной нормируемой освещённости на горизонтальной рабочей поверхности) уменьшается и суммарный световой поток, а при минимальной неравномерности освещения Z = 1 нормируемая освещённость обеспечивается при минимальном световом потоке.

Для разработки светильника, обеспечивающего нормируемую освещённость при качественном освещении (с величиной Z близкой к 1), световое поле линейного светильника будем изучать при помощи дискретной модели световых и конструктивных параметров общего освещения.

2.4 Моделирование светового поля светильника равномерного освещения с линейками точечных направленных источников света

2.4.1 Обоснование и выбор линейного светильника равномерного освещения

Рабочей поверхностью, на которой необходимо создать заданную освещенность, является пол птичника, или горизонтальная рабочая поверхность. С учетом изложенного выше, для освещения горизонтальной рабочей поверхности принимаем линейный светильник, который:

1) расположен параллельно стенам вдоль птичника;

2) является прямой линией и имеет длину L;

3) включает в себя несколько линеек точечных направленных источников света;

4) число линеек точечных направленных источников света j;

5) осевая сила света каждой линейки направлена под углом γ к нормали горизонтальной поверхности;

6) точечный направленный источник света имеет круглосимметричное светораспределение и кривую силы света в виде

$$I_\alpha = I_0 \cdot (\cos\alpha)^m, \tag{2.32}$$

где I_0 – осевая сила света точечного источника света, кд; α – угол между направлением осевой силы света и направлением на освещаемую точку рабочей поверхности, град.; I_α – сила света точечного источника света в направлении угла α, кд; m – показатель степени, о.е. [36, 37].

Полный поток одного круглосимметричного точечного источника света равен [1]:

$$\begin{aligned}
\Phi &= 2\cdot\pi\cdot\int_0^\pi I_\alpha \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha = 2\cdot\pi\cdot\int_0^\pi I_0\cdot(\cos\alpha)^m \cdot \sin\alpha\cdot d\alpha = \\
&= 2\cdot\pi\cdot I_0\cdot\left(-\frac{(\cos\alpha)^{m+1}}{m+1}\right)\Bigg|_0^\pi = \\
&= 2\cdot\pi\cdot I_0\cdot\left[\left(-\frac{(\cos\pi)^{m+1}}{m+1}\right)-\left(-\frac{(\cos 0)^{m+1}}{m+1}\right)\right] = \\
&= 2\cdot\pi\cdot I_0\cdot\left[\left(-\frac{(-1)^{m+1}}{m+1}\right)-\left(-\frac{(1)^{m+1}}{m+1}\right)\right] = \\
&= \frac{2\cdot\pi\cdot I_0}{m+1}\cdot\left[(1)^{m+1}-(-1)^{m+1}\right] = \frac{4\cdot\pi\cdot I_0}{m+1}.
\end{aligned} \tag{2.33}$$

При заданной осевой силе света полный поток точечного источника света обратно зависит от степени m, как показано на рисунке 2.7.

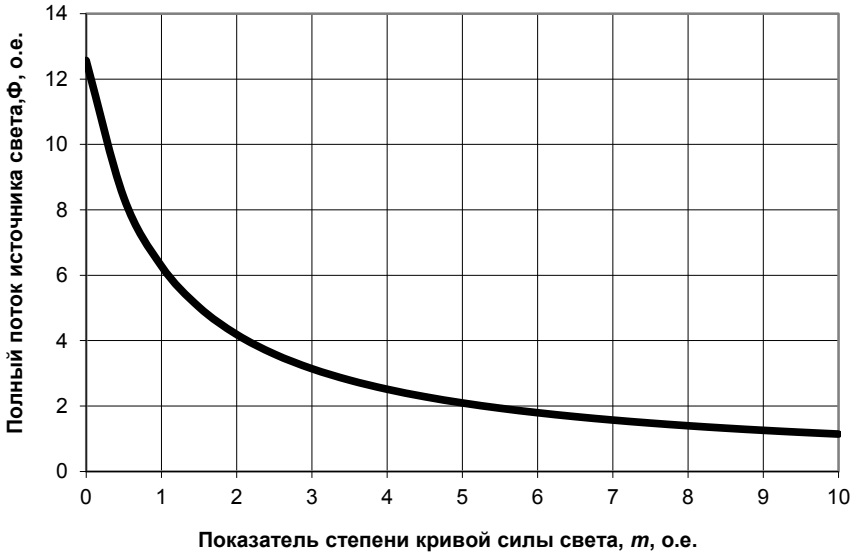


Рисунок 2.7 – Зависимость полного светового потока точечного источника света от показателя *m* кривой силы света

Осевая сила света одного круглосимметричного точечного источника света согласно выражению (2.32) пропорциональна степени *m* и величине полного потока *Ф*:

$$I_0 = \frac{m+1}{4 \cdot \pi} \cdot \Phi \quad , \qquad (2.34)$$

а при неизменном полном потоке линейно зависит от степени *m*, как показано на рис. 2.8.

Параметры выбранного светильника с линейками точечных направленных источников света необходимо исследовать в его продольной и поперечной плоскостях симметрии.

Рисунок 2.8 – Зависимость осевой силы света
точечного источника света от показателя *m* кривой силы света

2.4.2 Моделирование оптимального светораспределения светильника равномерного освещения в продольной плоскости

Освещение линии расчётной поверхности линейкой точечных источников света показано на рисунке 2.9 [13].

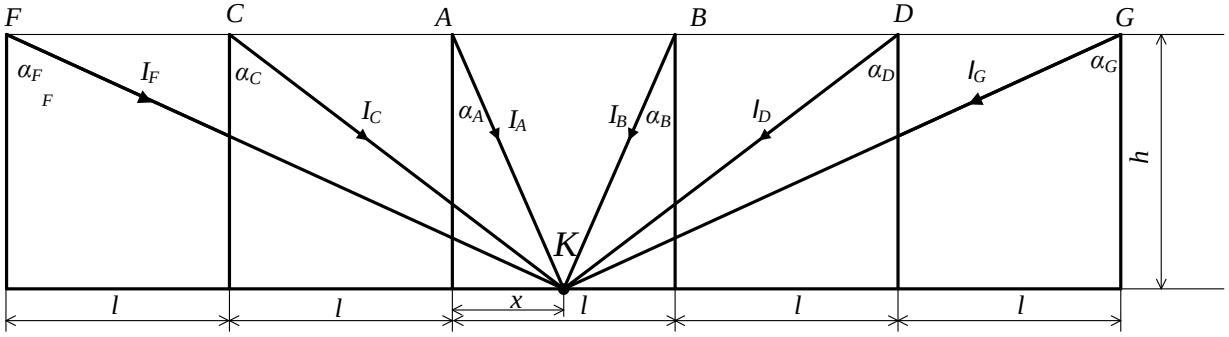


Рисунок 2.9– Освещение линии расчётной поверхности линейкой
точечных источников света

На рисунке 2.9 приняты следующие обозначения:

A, B, C, D, F, G – точечные источники света; *K* – контрольная точка в которой определяется освещенность; *h* – расстояние от линейки точечных источников света до линии расчётной поверхности, м; *l* – расстояние между точечными источниками света в линейке, м; I_A, I_B, I_C, I_D, I_F, I_G – силы света от точечных источников света в направлении контрольной точки, кд; α_A, α_B, α_C, α_D, α_F, α_G – углы, под которыми направлены силы света от точечных источников света к контрольной точке, град.; *x* – координата контрольной точки *K* ($0 \le x \le l$); $\lambda = l/h$ – относительное расстояние между точечными направленными источниками света, о.е.

Анализ светораспределения светильника в продольной плоскости проведен в относительных единицах при следующих допущениях:

1) точечный источник света имеет кривую силы света

$$I_\alpha = I_0 \cdot (\cos\alpha)^m; \qquad (2.35)$$

2) осевая сила света точечного источника света $I_0 = 1$;

3) высота линейки точечных источников света над линией расчётной поверхностью $h = 1$;

4) относительное светотехническое расстояние между точечными источниками света равно $\lambda = \frac{l}{h} = \frac{l}{1} = l$.

Суммарная освещенность в точке *K* равна:

$$E_K = E_K^A + E_K^B + E_K^C + E_K^D + E_K^F + E_K^G. \qquad (2.36)$$

Подставляя в формулу (2.36) значения освещенности в точке *K* от точечных источников *A, B, C, D, F, G*, а также учитывая принятые допущения и конструктивные параметры, приведенные на рис. 2.9, получаем выражение для определения суммарной освещенности в контрольной точке.

$$E_K = \frac{I_A \cdot cos^3 \alpha_A}{h^2} + \frac{I_B \cdot cos^3 \alpha_B}{h^2} + \frac{I_C \cdot cos^3 \alpha_C}{h^2} + \frac{I_D \cdot cos^3 \alpha_D}{h^2} + \frac{I_F \cdot cos^3 \alpha_F}{h^2} +$$

$$+ \frac{I_G \cdot cos^3 \alpha_G}{h^2} = I_A \cdot cos^3 \alpha_A + I_B \cdot cos^3 \alpha_B + I_C \cdot cos^3 \alpha_C + I_D \cdot cos^3 \alpha_D +$$

$$+ I_F \cdot cos^3 \alpha_F + I_G \cdot cos^3 \alpha_G = cos^m \alpha_A \cdot cos^3 \alpha_A + cos^m \alpha_B \cdot cos^3 \alpha_B +$$

$$+ cos^m \alpha_C \cdot cos^3 \alpha_C + cos^m \alpha_D \cdot cos^3 \alpha_D + cos^m \alpha_F \cdot cos^3 \alpha_F + cos^m \alpha_G \cdot cos^3 \alpha_G =$$

$$= cos^{m+3} \alpha_A + cos^{m+3} \alpha_B + cos^{m+3} \alpha_C + cos^{m+3} \alpha_D + cos^{m+3} \alpha_F + cos^{m+3} \alpha_G =$$

$$= \left(\frac{h}{\sqrt{h^2 + x^2}} \right)^{m+3} + \left(\frac{h}{\sqrt{h^2 + (\lambda - x)^2}} \right)^{m+3} + \left(\frac{h}{\sqrt{h^2 + (\lambda + x)^2}} \right)^{m+3} + \left(\frac{h}{\sqrt{h^2 + (2\lambda - x)^2}} \right)^{m+3} + \tag{2.37}$$

$$+ \left(\frac{h}{\sqrt{h^2 + (2\lambda + x)^2}} \right)^{m+3} + \left(\frac{h}{\sqrt{h^2 + (3\lambda - x)^2}} \right)^{m+3} = \left(\frac{1}{\sqrt{1 + x^2}} \right)^{m+3} + \left(\frac{1}{\sqrt{1 + (\lambda - x)^2}} \right)^{m+3} +$$

$$+ \left(\frac{1}{\sqrt{1 + (\lambda + x)^2}} \right)^{m+3} + \left(\frac{1}{\sqrt{1 + (2\lambda - x)^2}} \right)^{m+3} + \left(\frac{1}{\sqrt{1 + (2\lambda + x)^2}} \right)^{m+3} + \left(\frac{1}{\sqrt{1 + (3\lambda - x)^2}} \right)^{m+3}$$

Или кратко

$$E_K = \sum_{i=-3}^{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + (X + i \cdot \lambda)^2}} \right)^{m+3} \tag{2.38}$$

Полученная формула (2.38) позволяет определить максимальное E_{max} и минимальное E_{min} значения освещённости, а также рассчитать среднюю освещённость и неравномерность освещения на линии расчётной поверхности. При заданной величине неравномерности освещения на линии расчётной поверхности формула (2.38) позволяет определить оптимальное соотношение значений λ и m, обеспечивающих необходимую равномерность освещения. В качестве максимально допустимого значения неравномерности освещения вдоль линии расчётной поверхности принимаем условие (2.21): $Z_{доп} = 1{,}2$.

Задаваясь условием $Z_{доп} \leq 1{,}2$, определим максимально возможное расстояние λ_{max} между светодиодами при различных значениях показателя m.

Расчёт освещенности (от трёх точечных источников света в обе стороны от расчётной точки *К*) проводим методом последовательных приближений (итераций) с помощью электронных таблиц Microsoft Excel. Задаваясь

произвольным значением λ, определяем значение суммарной освещённости в точке K по формуле (2.38) при изменении текущей координаты x в интервале $0 \le x \le l$.

В качестве примера на рисунке 2.10 показано изменение суммарной освещенности в точке K при λ=1 и m=7.

По данным рисунка 2.10 при m = 7 имеем: Z = 1,3 - 1,2;

поэтому уменьшаем λ, вновь повторяем расчет и определяем Z. Расчеты повторяем до тех пор, пока не получим $Z_{доп} \le 1{,}2$, которому соответствует λ_{max}.

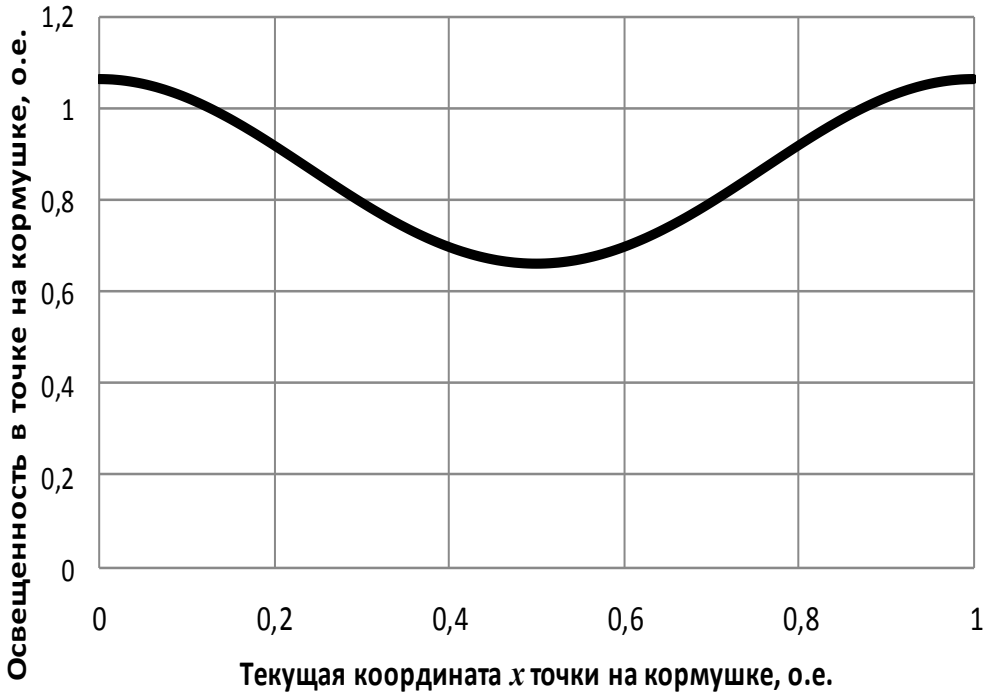


Рисунок 2.10– Изменение суммарной освещенности в контрольных точках вдоль линии расчётной поверхности при λ = 1 и m = 7

Затем значение показателя m кривой силы света изменяется, и все операции повторяются. Таким образом, по результатам численных расчётов получаем два массива значений m и λ_{max}, при которых неравномерность освещения вдоль линии не превышает допустимых значений (таблица 2.3, рисунок 2.11).

Таблица 2.3 – Максимально допустимые значения λ_{max} при разных значениях m, обеспечивающие заданную равномерность освещения на линии расчётной поверхности

m	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
λ_{max}	1,870	1,828	1,793	1,755	1,722	1,694	1,661	1,634	1,604	1,584	1,556	1,535

m	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
λ_{max}	1,510	1,495	1,472	1,455	1,434	1,413	1,396	1,365	1,300	1,233	1,181	1,133
m	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	15	20	35	50	100
λ_{max}	1,097	1,047	0,974	0,928	0,875	0,841	0,812	0,685	0,603	0,412	0,397	0,283

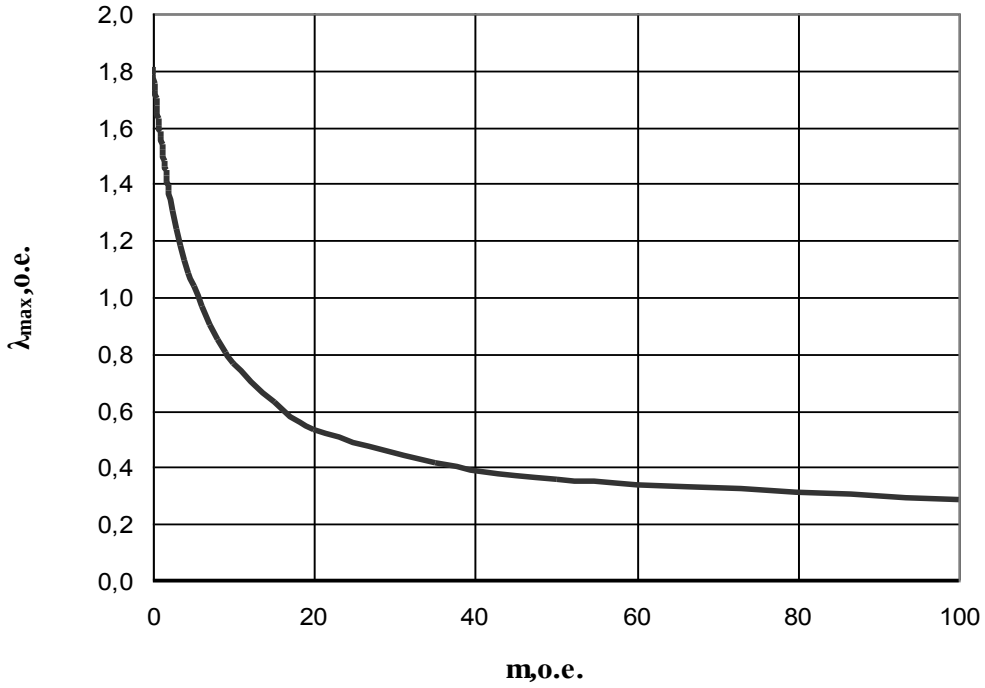


Рисунок 2.11 – Зависимость $\lambda_{max} = f(m)$

Аналитически функция, полученная методом наименьших квадратов, имеет следующий вид:

$$\lambda_{max} = 0{,}2 + \frac{1{,}429}{0{,}886 + 0{,}163 \cdot m} \qquad (2.39)$$

(расхождение значений аппроксимирующей функции и значений, полученных при расчётах, оценивается среднеквадратичным значением и составляет 0,018).

Суммарная освещенность на линии расчётной поверхности, как видно из рис. 2.10, достигает максимума в точке под источником света и минимума в точке, расположенной посередине между источниками света. При умень-

шении λ увеличивается число источников света, которые влияют на величину освещенности в точке K, поэтому точность и достоверность расчета E_{max} и E_{min} ухудшается.

Проведенные теоретические исследования показывают, что выбранная модель светильника с линейками точечных направленных источников света позволяет:

1) провести моделирование оптимального светораспределения светильника в продольной плоскости;

2) рассчитать максимальное E_{max} и минимальное E_{min} значения освещенности, среднюю освещенность и неравномерность освещения Z на линии расчётной поверхности;

3) получить расчётным и аналитическим путём зависимость светотехнически выгодного расстояния между точечными источниками света в линейке светильника от показателя степени модели кривой силы света точечного источника света

$$\lambda_{max} = 0{,}2 + \frac{1{,}429}{0{,}886 + 0{,}163 \cdot m}$$

обеспечивающую для различных значений показателя m допустимую неравномерность $z \leq 1{,}2$ освещения линии расчётной поверхности при минимальном числе точечных источников света в линейке светильника.

2.4.3 Моделирование оптимального светораспределения светильника равномерного освещения в поперечной плоскости

Принятые в п. 2.4.1 параметры светильника с линейками направленных точечных источников света позволяют считать все точечные направленные

источники света расположенными в одной точке, а эту точку считать точкой подвеса светильника.

Оптимальным светораспределением светильника с линейками точечных источников света считаем такое, которое обеспечивает одинаковую освещённость в расчётных точках, через которые проходят осевые линии кривых сил под углами γ, 2γ, 3γ в поперечном направлении:

$$E_1=E_2=\ldots=E_n=E. \qquad (2.40)$$

Освещённость E в любой точке горизонтальной поверхности под светильником будет одинакова, если сила света, направленная в данную точку, определяется формулой (2.23), то есть имеет специальную КСС типа И. Максимальная величина угла γ направления луча света ограничивается углом θ между осью зрения и направлением на яркий источник света [36, 37, 46, 75]:

$$\theta = 90^\circ - \gamma \geq 50^\circ, \qquad (2.41)$$

откуда диапазон изменения угла α составляет

$$0 \leq \gamma \leq 40^\circ. \qquad (2.42)$$

Зависимость (2.23) при $I_0 = 1$ и условии (2.41) приведена на рис. 2.12. Диапазон изменения угла γ при заданных габаритах помещения (длина, ширина и высота) определяет размеры равномерно освещаемой горизонтальной поверхности. Светодиод представляет собой точечный направленный источник света с круглосимметричным светораспределением. Кривая силы света (рисунок 2.12) определяет значения осевой силы света отдельных светодиодов в заданном направлении для светодиодного светильника с круглосим-

метричным светораспределением или для поперечной плоскости линейного светодиодного светильника.

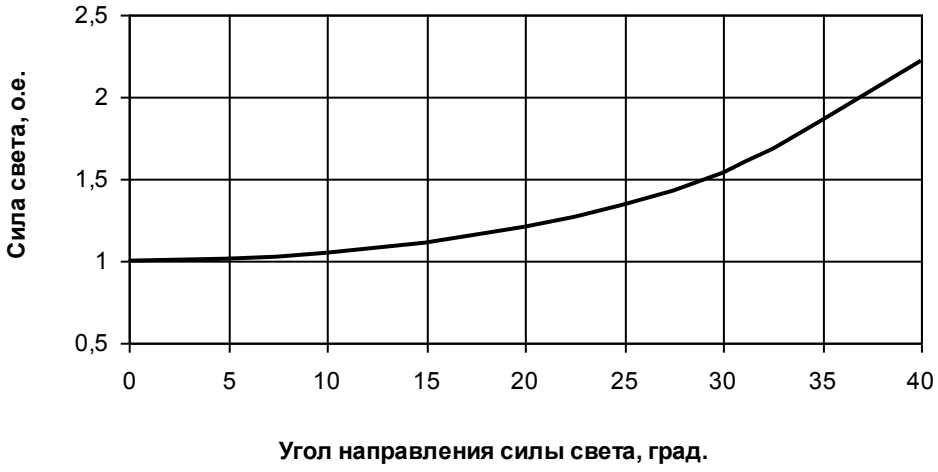


Рисунок 2.12 – Зависимость $I_\alpha = f(\gamma)$, обеспечивающая постоянство горизонтальной освещенности

Пространственное распределение светового потока точечного направленного источника света (светодиода), определяется кривой силой света по формуле (2.32). Световой поток светодиода в пределах всей полусферы определяется половиной интеграла по (2.33):

$$\Phi = \frac{2 \cdot \pi \cdot I_0}{m+1} . \qquad (2.43)$$

Результаты расчета по выражению (2.43) при $I_0 = 1$ приведены в таблице 2.4.

Данные таблицы 2.4 показывают, что чем выше значение показателя степени кривой силы света светодиода *m*, тем в меньшем телесном угле сосредоточен световой поток светодиода. Обеспечить постоянство освещенности горизонтальной плоскости можно разным числом линеек светодиодов с учетом показателя степени *m* кривой силы света светодиодов.

Таблица 2.4 – Пространственное распределение светового потока светодиода при разных значениях показателя степени кривой силы света

α_1 - α_2, град.	$\Phi_{\alpha 1-\alpha 2}$ / Φ, о.е. при значениях m, равных						
	10	*50*	*100*	*200*	*400*	*800*	*1000*
5	0,041	0,177	0,320	0,535	0,783	0,953	0,978
10	0,155	0,542	0,787	0,954	0,998	1,000	1,000
15	0,317	0,829	0,970	0,999	1,000	1,000	1,000
20	0,496	0,958	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000
25	0,661	0,993	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
30	0,794	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
35	0,889	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
40	0,947	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
45	0,978	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
50	0,992	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
55	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
60	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
65	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
70	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
75	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
80	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
85	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
90	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Характер пространственного распределения светового потока светодиода при разных значениях показателя степени кривой силы света приведен на рис. 2.13.

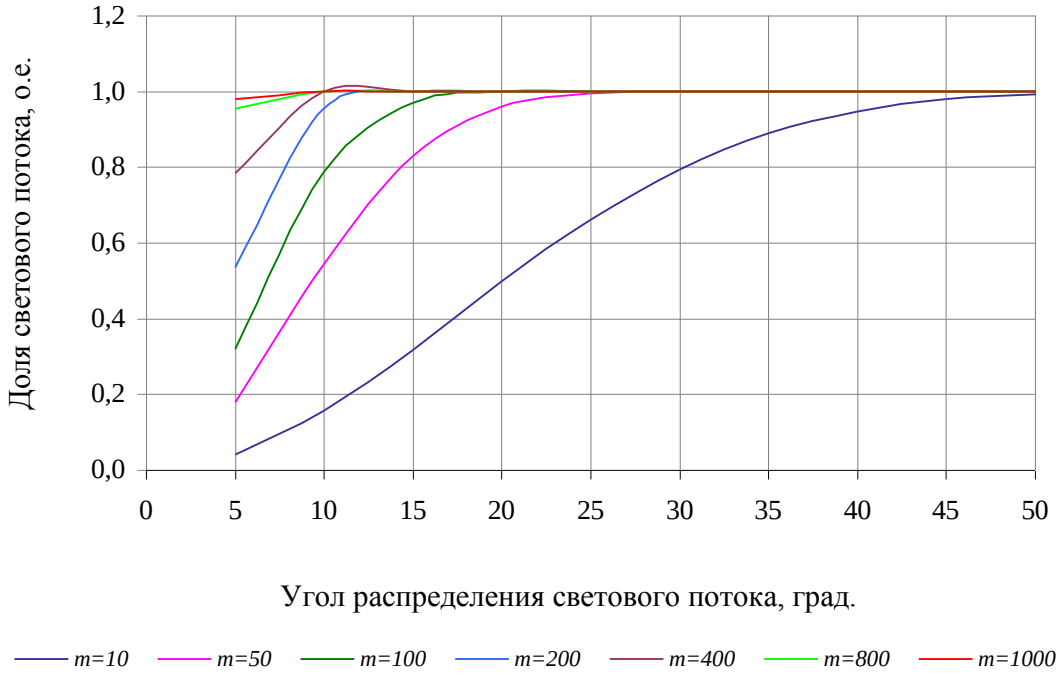


Рисунок 2.13 – Распределение светового потока светодиода при разных значениях показателя степени *m* кривой силы света

Точечная модель светодиода с *m* = 100

Таблица 2.5 – Пространственное распределение светового потока светодиода с кривой силы света $I_\alpha = I_0 \cdot cos^{100}\alpha$

α_1 - α_2, град.	5	10	15	17	19	20	21	22	23
$\Phi_{\alpha 1-\alpha 2}$ / Φ, о.е.	0,320	0,787	0,970	0,989	0,997	0,998	0,999	1,000	1,000

Весь поток светодиода с кривой силы света $I_\alpha = I_0 \cdot cos^{100}\alpha$ находится внутри угла α =22º относительно осевой силы света. Выбираем семь линеек светодиодов, расположенных с интервалом 10° (одна – вертикальная и по три с каждой стороны). Рассмотрим подробнее возможности этого варианта конструкции светодиодного светильника.

Обозначим линейку светодиодов, осевая сила света которой направлена вертикально вниз, номером 0. Линейку, осевая сила света которой направле-

на под углом γ_1 = 10° к вертикали, номером 1. Линейку, осевая сила света которой направлена под углом γ_2 = 20° к вертикали, номером 2. Линейку, осевая сила света которой направлена под углом γ_3 = 30° к вертикали, номером 3. Осевую силу света каждой из линеек обозначим, соответственно, I_{00}; I_{01}; I_{02}; I_{03}.

$$I_{00} = \frac{E \cdot h^2}{(\cos\gamma)^3} = \frac{1}{(\cos 0)^3} = \frac{1}{1} = 1; \tag{2.44}$$

$$I_{01} = \frac{E \cdot h^2}{(\cos\gamma_1)^3} = \frac{1}{(\cos 10°)^3} = \frac{1}{0{,}9848^3} = \frac{1}{0{,}9551} = 1{,}0470; \tag{2.45}$$

$$I_{02} = \frac{E \cdot h^2}{(\cos\gamma_2)^3} = \frac{1}{(\cos 20°)^3} = \frac{1}{0{,}9397^3} = \frac{1}{0{,}8298} = 1{,}2052 \tag{2.46}$$

$$I_{03} = \frac{E \cdot h^2}{(\cos\gamma_3)^3} = \frac{1}{(\cos 30°)^3} = \frac{1}{0{,}8660^3} = \frac{1}{0{,}6495} = 1{,}5396. \tag{2.47}$$

Каждая из линеек светодиодов в поперечной плоскости светильника имеет согласно (2.32) кривую силы света:

$$I_{\alpha 0} = I_{00} \cdot \cos^m \alpha_0 = 1 \cdot \cos^{100} \alpha_0 = \cos^{100} \alpha_0; \tag{2.48}$$

$$I_{\alpha 1} = I_{01} \cdot \cos^m \alpha_1 = 1{,}0470 \cdot \cos^{100} \alpha_1; \tag{2.49}$$

$$I_{\alpha 2} = I_{02} \cdot \cos^m \alpha_2 = 1{,}2052 \cdot \cos^{100} \alpha_2, \tag{2.50}$$

$$I_{\alpha 3} = I_{03} \cdot \cos^m \alpha_3 = 1{,}5396 \cdot \cos^{100} \alpha_3, \tag{2.51}$$

Обозначим точки освещаемой горизонтальной поверхности, в которые направлены осевые силы света линеек 0, 1, 2 и 3, соответственно, номерами 0, 1, 2 и 3, а освещенности этих точек E_0, E_1, E_2 и E_3. Примем, что освещённость в указанных точках одинакова и равна единице (2.40), что следует из выражений (2.44) – (2.47), определяющих осевые силы света линеек. Расчеты проведем с интервалом 1°. Результаты приведены на рис.2.14.

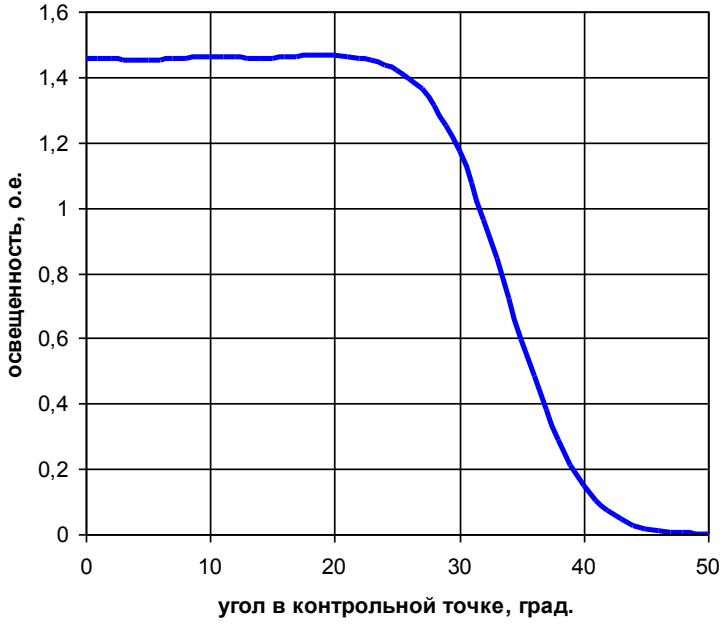


Рисунок 2.14 – Распределение освещенности горизонтальной поверхности в одну сторону от оси симметрии светодиодного светильника в поперечной плоскости симметрии светильника (всего 7 линеек светодиодов с m = 100 через 10 градусов)

Коэффициент неравномерности для освещения горизонтальной плоскости равен 1,006 (для углов до 23°); 1,016 (для углов до 25°) и 1,126 (для углов до 30°).

2.5 Обсуждение результатов и промежуточные выводы по пунктам 2.1-2.4

2.5.1.Обсуждение результатов по пп. 2.1-2.4

1.В п.2.1 и 2.2 изучена эффективность КСС точечных светильников. Светильник, обеспечивающий минимальный световой поток и коэффициент неравномерности Z=1, должен иметь КСС близкую к специальному типу И, кривая силы света которой задаётся по (2.1).

2. В п.2.3 предложена методика исследования линейных светильников.

Светильник с КСС типа И в поперечной плоскости линейного светильника позволяет получить равномерное освещение горизонтальной рабочей поверхности (Z=1) при минимальных затратах световой энергии (минимальном суммарном световом потоке светильника).

3. В п.2.4 проведено моделирование светового поля в продольном и поперечном направлениях светильника с линейками точечных направленных источников света с КСС точечного источника по (2.31). Моделирование светового поля в продольном направлении в п.2.4.2 позволило: рассчитать максимальное E_{max} и минимальное E_{min} значения освещенности, среднюю освещенность и неравномерность освещения Z на линии расчётной поверхности, а также получить зависимость расстояния λ между точечными источниками света в линейке светильника от показателя степени m модели кривой силы света точечного источника света. Оптимальное соотношение значений λ и m обеспечивают необходимую равномерность освещения $z \leq 1,2$ при минимальном числе точечных источников света в линейке светильника.

4.Моделирование светового поля в поперечном направлении в п.2.4.3 позволило: обеспечить постоянство освещенности горизонтальной плоскости в поперечном направлении за счёт изменения числа линеек светодиодов с учётом показателя степени m кривой силы света светодиодов. Точечная модель светодиода с m = 100 для 7 линеек в поперечном направлении светильника (через 10 градусов) приводит к коэффициенту неравномерности освещения Z=1,02 для углов раскрытия до 25º.

5. При уменьшении λ увеличивается число источников света, которые влияют на величину освещенности в точке, поэтому точность и достоверность расчё-

та E_{max} и E_{min} ухудшается, а формула (2.40) не учитывает влияние соседних линеек.

2.5.2 Промежуточные выводы по главе

1. Поиск оптимального варианта *равномерного* освещения птичника можно проводить на основе оптимизации расстояния λ между точечными светодиодами в линейке светильника.
2. Моделирование оптимального светораспределения в поперечном и продольном направлениях должно проводиться с учётом влияния не только соседних линеек, но и большого числа всех светодиодов, распределённых по светильникам системы технологического освещения птичника.
3. Задача расчёта оптимального варианта технологического освещения птичника при помощи большого числа светодиодов, связанная с большим объёмом вычислительной работы, может быть решена при помощи компьютера на основе соответствующей математической модели освещённости птичника.

2.6. Математическая модель освещённости птичника с оценкой оптимального энергопотребления

Как сказано выше (Введение и п.1.5) число светодиодов N, распределённых по светильникам в птичнике и коэффициент неравномерности освещения Z являются основными параметрами светодиодного освещения птичника. В этом пункте разрабатывается математическая модель освещённости птичника, включающая в себя оценку оптимального значения N при ограниченном коэффициенте неравномерности освещения Z.

2.6.1. Постановка задачи и допущения, принятые для математического моделирования

Коэффициент неравномерности освещения Z [1,3, 46] является важным параметром, определяющим качество освещённости, и согласно (2.21) был рекомендован в интервале $1{,}1 \le Z \le 1{,}2$. В данной работе далее принято, что система светодиодного освещения птичника, коэффициент Z которой удовлетворяет условию

$$1 < Z < 1{,}1 \tag{2.52}$$

соответствует освещённости *повышенной* равномерности, а оптимальные параметры следует оценивать при ограничении (2.52).

Освещённость от всех светодиодов $E(x, y)$ в точке, координаты которой x и y соответственно в продольном и поперечном направлениях плоскости, определяется по принципу суперпозиции, использованный в [20]:

$$E(x,y) = \sum_k E_k(x,y,k), \tag{2.53}$$

где число слагаемых в сумме равно числу всех светодиодов N, распределённых по светильникам системы освещения птичника. Потребляемая мощность P системы освещения птичника явно зависит от N:

$$P = Np_1, \tag{2.54}$$

где p_1 - известная потребляемая мощность одного светодиода.

Таким образом, число светодиодов N и коэффициент неравномерности освещения Z явно определяют энергопотребление и качество освещения. С целью повышения эффективности энергопотребления и качества освещения **поставим задачу**: оценить оптимальные значения основных параметров при требуемом уровне освещённости птичника E_0 с коэффициентом запаса k_0..

Освещённость E_k, создаваемая точечным светодиодом с номером k обратно пропорциональна квадрату расстояния r от светодиода до данной точки:

$$E_k(x,y,k) = \frac{I_\alpha \cos\theta(x,y,k)}{r^2}. \tag{2.55}$$

Будем считать, что светодиод имеет круглосимметричное светораспределение, применяемое для реальных светильников [1, 36, 37, 46], в виде

$$I_\alpha = I_0 \cos^m \theta(x,y,z) \ , \qquad (2.56)$$

где $\theta(x,y,k)$ – угол между осевой линией кривой силы света светодиода и направлением на точку с координатами x и y; I_0 – осевая сила света светодиода с номером k. Показатель степени m связан с углом раскрытия светового потока светодиода α_0 как

$$m = \frac{ln(0,5)}{ln[cos(0,5 \cdot \alpha)]}, \ . \qquad (2.57)$$

Расстояние r в (2.55) выражается через координаты светодиода x_s, y_s, z_s:

$$r_s = \sqrt{(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 + z_s^2} \ . \qquad (2.58)$$

Если светодиоды расположены на линейках с шагом λ, а светильники размещены на высоте H по линиям, расстояние между которыми L_0, то x_s, y_s, z_s можно выразить соответственно через λ, L_0 и H. Для задания y_s и z_s надо знать угол между линейками γ и номер линейки из заданного числа линеек j в светильнике. Обычно H известна заранее, поэтому для расчёта освещенности по (2.53) и (2.55) необходимо знание параметров γ, j, λ, L_0 и параметров светодиода по (2.56) и (2.57). При выбранном светодиоде величины I_0, α_0 (а значит и m) заданы.

При выбранном числе линеек j, угол между линейками при равномерном распределении в пределах угла ослеплённости определится как

$$\gamma = \frac{\pi}{2(j-1)}. \qquad (2.59)$$

Для m порядка 100 в [15, 17, 75] предложено число линеек $j=7$. Увеличение числа линеек j более семи значительно усложняет конструкцию светильника. Однако и уменьшение их ограничивает возможности регулирования равномерности освещения. Кроме этих параметров для расчёта освещён-

ности по (2.53), необходимо знать величину N, её распределение по светильникам, а также длину светильника и расстояние между ними в линии.

Между параметрами λ и N можно установить зависимость при следующем *допущении*: длина светильника и расстояние между светильниками в линии составляет 1м. Анализ информации [25,105, 106, 109] о габаритах светодиодных светильников не противоречит принятому допущению.

Тогда число светильников S_0 в птичнике будет

$$S_0 = \frac{a \cdot N_L}{2}, \tag{2.60}$$

где a - длина птичника, N_L - число линий, которое связано с шириной птичника b и расстоянием первой и последней линий от стен птичника y_b как:

$$b = (N_L - 1) \cdot L_0 + 2y_b. \tag{2.61}$$

Пусть в одном светильнике N_1, j и n_1 выражают соответственно число светодиодов, число линеек и число светодиодов на линейке также длиной 1м, тогда:

$$N = S_0 \cdot N_1; \quad N_1 = j \cdot n_1; \quad \lambda = \frac{1}{n_1}. \tag{2.62}$$

Используя (2.59), (2.60) и (2.61), получим связь между λ и N в виде:

$$\lambda = \left(\frac{a \cdot j}{2N}\right) \cdot \left(1 + \frac{b - 2y_b}{L_0}\right) = \left(\frac{a \cdot j}{2N}\right) \cdot N_L. \tag{2.63}$$

Для определения взаимосвязи между основными параметрами и конструкционными параметрами в (2.63), задающими геометрию птичника и системы освещения, обратимся к методу физического моделирования.

2.6.2 Физическое моделирование освещённости птичника

Известно, что при физическом моделировании используется математическая аналогия различных по физической природе процессов, происходящих по законам, выражающимися одинаковыми уравнениями (формулами). Таким образом, разные физические явления, характеризующиеся одинаковыми количественными соотношениями, являются основой для физического моделирования [71, 78].

В нашем случае используем аналогию между освещённостью, создаваемую точечным светодиодом и напряженностью электрического поля, создаваемого точечным зарядом из электростатики. Аналогия основана на том, что *освещенность* и *напряженность* электрического поля меняются обратно пропорционально квадрату расстояния от точки соответственно до точечного светодиода и точечного заряда. В направлении нормали к плоскости эта пропорциональность выражается одинаково для двух явлений

$$E_к(x, y.k) \sim \frac{\cos\theta}{r^2} \quad , \qquad (2.64)$$

где θ - угол между нормалью к плоскости и направлением вектора r.

Отметим также и принцип суперпозиции, выполняющийся для двух явлений:

$$E\ (x, y) = \Sigma E_k\ (x, y, k), \qquad (2.65)$$

Пусть расстояние между линиями равно L_0, а линии представляют параллельные заряженные нити бесконечной длины. Напряженность поля заряженной бесконечной нити обратно пропорциональна расстоянию R от нити. Если нити лежат в плоскости xOy параллельно оси x, то $E\ (y,z)$ от x не зависит и $R = (y^2+z^2)^{1/2}$

$$E(y,z) \sim 1/R\ , \qquad (2.66)$$

То есть при любом x в плоскости yOz заряженные нити будут видны в виде точечных зарядов (например, положительных), находящихся на расстоянии L_0 друг от друга (рисунок 2.15)

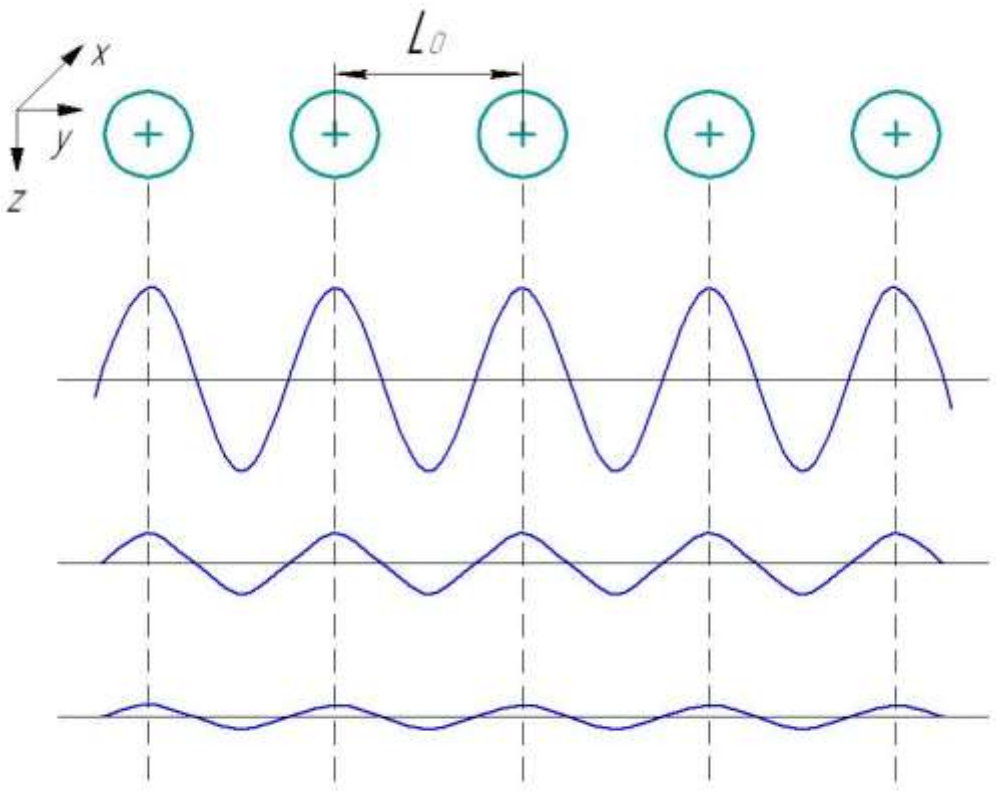


Рисунок 2.15 – Распределение потенциала под параллельными заряженными нитями бесконечной длины

Потенциал φ точечного заряда обратно пропорционален расстоянию R от заряда аналогично напряженности поля заряженной бесконечной нити по(2.66). Согласно этой аналогии, при помощи потенциала φ мы моделируем напряженность, а значит и освещённость. Поэтому результаты, полученные для потенциала, будем использовать для интересующей нас освещённости.

Потенциал, создаваемый точечными зарядами, в точке плоскости yOz согласно Фейнману можно представить в виде периодической функции [78]

$$\varphi(y,z) = F_n(z)\cos(2\pi ny/L_0)\ , \qquad (2.67)$$

где $n = 1,2,3\ldots$ – число колебаний. В области под нитями потенциал должен удовлетворять уравнению Лапласа и быть единственным решением при заданных граничных условиях. После подстановки функции $\varphi(y,z)$ в уравнение Лапласа $\Delta\varphi = 0$ получаем компоненту Фурье n – ой гармоники поля $F_n(z)$ на расстоянии $z = H$ от заряженных нитей

$$F_n(H) = A_n exp(-2\pi nH/L_0), \qquad (2.68)$$

Известно, что коэффициенты Фурье A_n убывают, а при $n=1$ и $n=2$

$$exp\ (-2\pi H/L_0)] > [exp\ (-2\pi H/L_0)]^2\ , \qquad (2.69)$$

тогда для оценки достаточно рассмотреть случай $n=1$:

$$F_1(H) = A_1 exp(-2\pi H/L_0), \qquad (2.70)$$

при A_1 равной средней величине поля (потенциала, напряжённости или освещённости). В нашем случае, A_1 равна также нормированной освещённости E_0 с коэфициентом запаса k_0:

$$A_1 = (E_{max} + E_{min})/2 = k_0 E_0\ . \qquad (2.71)$$

Используя амплитуду колебаний освещённости $E_1(H)$ как

$$E_1(H) = (E_{max} - E_{min})/2 \qquad (2.72)$$

и коэффициент неравномерности освещения $Z= (E_{max} + E_{min})/2\ E_{min}$ получим связь между высотой подвеса светильников H и расстоянием между линиями L_0 через коэффициент неравномерности освещения Z в виде функции $f(Z)$:

$$\frac{H}{L_0} = f(z) = \frac{1}{2\pi} \cdot ln\left(\frac{z}{z\text{-}1}\right). \qquad (2.73)$$

По этой функции (рисунок 2.16) для $Z < 1.1$ должно быть

$$H/L_0 > 0.382 \quad \text{или} \quad L_0 < 2.62H \qquad (2.74)$$

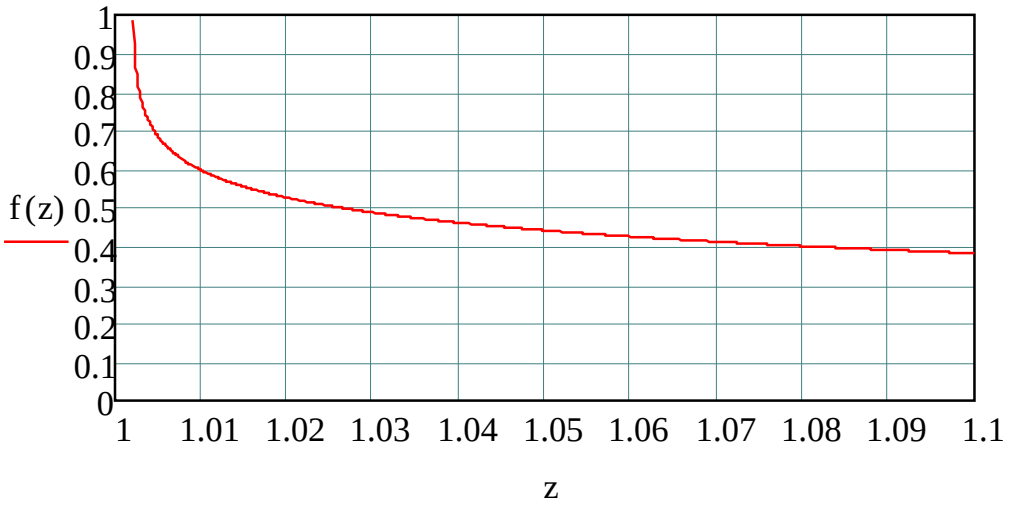


Рисунок 2.16 – Зависимость $H/L_0 = f(z)$ по (2.73) от коэффициента неравномерности освещения Z. Условие повышенной равномерности освещения $Z < 1.1$ выполняется при $H/L_0 > 0.382$

Изучим освещённость на рабочей поверхности птичника (при $z = H$) в направлении y, то есть в поперечном направлении. Согласно (2.67) потенциал $\varphi(y,z)$ является периодической функцией. Поэтому напряженность поля, а значит и освещённость будет также периодической функцией в поперечном направлении с периодом L_0. Из представления произвольной периодической функции в виде ряда Фурье при числе колебаний $n=1$ запишем освещённость $E(y)$ в поперечном направлении как

$$E(y) = \frac{a_0}{2} + A \cdot \cos[(\frac{2\pi y}{L_0}) + \theta_1], \qquad (2.75)$$

где $a_0/2 = (E_{max}+E_{min})/2$, $A = (E_{max} - E_{min})/2$ – амплитуда колебаний освещенности в поперечном направлении относительно k_0E_0 – нормируемой освещенности с коэффициентом запаса k_0 (рис.2.17)

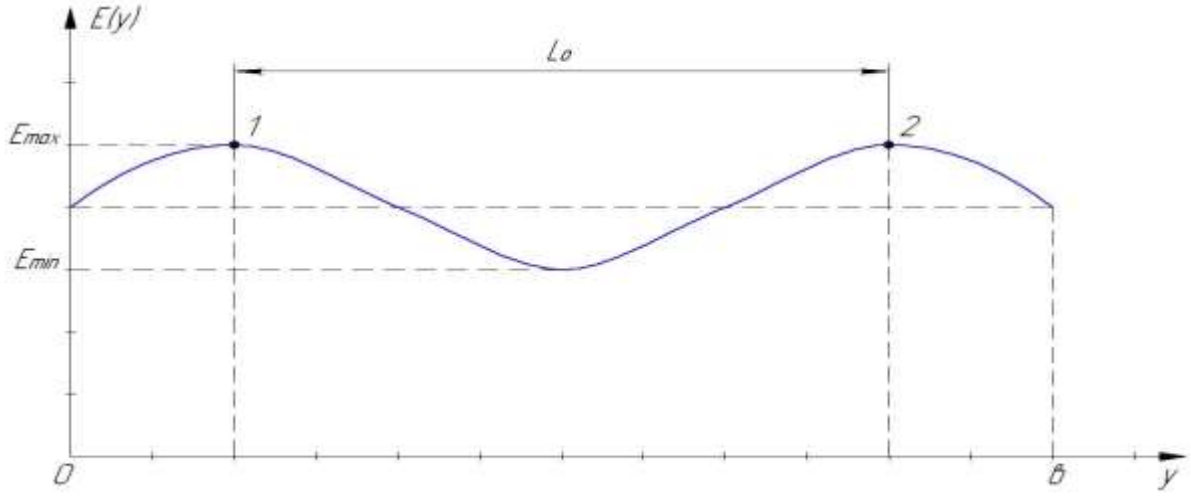


Рисунок 2.17 – Освещённость *E(y)* в поперечном направлении для периодической функции с периодом L_0 (для числа линий $N_L = 2$, расположенных перпендикулярно плоскости рисунка)

Выражение (2.75) должно удовлетворять следующим *граничным условиям,*

$$E(0)=\frac{E_{max}+E_{min}}{2}=k_0E_0 \qquad E(b)=\frac{E_{max}+E_{min}}{2}=k_0E_0, \tag{2.76}$$

которые означают, что на границе пола и стены птичника освещённость должна быть одинаковой и близкой к нормируемой E_0 с коэффициентом запаса k_0.

Функция (2.75) удовлетворяет граничному условию $E(0) = k_0E_0$ при фазе $\theta_1 = \pi/2$, тогда $E(y)$ выражается через синус

$$E(y)=\frac{a_0}{2}+A\cdot\sin(\frac{2\pi y}{L_0}) \tag{2.77}$$

Для выполнения граничного условия $E(b) = k_0E_0$ должно быть

$$\frac{2\pi b}{L_0}=\pi n., \tag{2.78}$$

где $n = 0,1,2\ldots$

Так как ширина птичника b больше (или равна) расстояния L_0 между линиями светильников, то

$$b = n\,L_0/2 \quad \text{при } n \geq 2 \tag{2.79}$$

Из (2.73) и (2.79) следует связь между величинами H, b и n в виде

$$\frac{H \cdot n}{2b} = f(z), \tag{2.80}$$

поэтому для выполнения $Z < 1{,}1$ должно быть

$$n > 0{,}764\frac{b}{H} \tag{2.81}$$

Таким образом, для известного отношения b/H получаем округлённое до целого значение n по (2.81) и рассчитываем расстояние между линиями L_0 как

$$L_0 = \frac{2b}{n}, \tag{2.82}$$

которое можно использовать в качестве начального параметра, необходимого для расчёта освещённости птичника.

Из (2.61) запишем

$$b - (N_L - 1)L_0 = 2y_b > 0, \tag{2.83}$$

откуда число линий светильников определяется округлением до целого из неравенства

$$N_L < \frac{b}{L_0} + 1. \tag{2.84}$$

Известно, что ширина птичника b стандартная и кратна 6м:

$$b = 12\text{м};\ 18\text{м и } 24\text{м} \tag{2.85}$$

В нашей модели заряженных нитей при одинаковой высоте H расстояние между линиями L_0 должно быть одинаковым независимо от числа n и от ши-

рины птичника, что подтверждается (таблица 2.6) при высоте подвеса светильников *H=5,0м.*

Таблица 2.6 – Результаты оценки параметров L_0 и N_L при *H=5,0 м* для птичников стандартной ширины *b*

b, м	*0.764b/H*	n	*2b/n, м*	L_0, *м (среднее)*	N_L
12	1,83	2	12,00		2
18	2,75	3	12,00	12,00	2
24	3,67	4	12,00		3

Обычно высота подвеса светильников *H* находится в интервале от 3м до 4м, поэтому далее параметры L_0, N_L и расстояние первой и последней линий от стен птичника y_b оценим при *H = 3м; 3,5м и 4м*. Так как в модели заряженных нитей при одинаковой высоте *H* расстояние между линиями L_0 должно быть одинаковым для каждой ширины *b* из ряда(2.85) берём среднее значение L_0 (таблицы 2.7– 2.9)

Таблица 2.7 – Результаты оценки параметров L_0, N_L и y_b при *H=3,0 м* для птичников стандартной ширины *b*

b, м	*0.764b/H*	*n*	*2b/n, м*	L_0, *м (среднее)*	N_L	y_b , *м*
12	3,06	4	6,00	6,69	2	2,66
18	4,58	5	7,20		3	2,31
24	6,11	7	6,86		4	1,97

Таблица 2.8 – Результаты оценки параметров L_0, N_L и y_b при *H=3,5 м* для птичников стандартной ширины *b*

b, м	*0.764b/H*	*n*	*2b/n, м*	L_0, *м (среднее)*	N_L	y_b , *м*

12	2,62	3	8,00	8,33	2	1,84
18	3,93	4	9,00		3	0,67
24	6,11	6	8,00		3	3,67

Таблица 2.9 – Результаты оценки параметров L_0, N_L и y_b при *H=4,0 м* для птичников стандартной ширины *b*

b, м	*0.764b/H*	*n*	*2b/n, м*	L_0, *м (среднее)*	N_L	y_b, *м*
12	2,29	3	8,00	8,87	2	1,57
18	3,44	4	9,00		3	0,13
24	4,58	5	9,60		3	3,13

Полученные оценки параметров L_0, N_L можно использовать в качестве начальных (входных) параметров, необходимых для расчёта освещённости птичника.

2.6.3 Особенности расчётов и оценка оптимальных значений основных параметров при помощи целевой функции

Преобразуем (2.53) с учётом (2.55) и (2.56) к виду

$$E_k(x,y,k) = \frac{I_0 cos^{m+1}\theta(x,y,k)}{r_k^2} \tag{2.86}$$

и обозначим сумму справа через S:

$$S = \sum_{k=1}^{N} \frac{cos^{m+1}\theta(x,y,k)}{r_k^2} . \tag{2.87}$$

При идеальной (*Z=1*) равномерности освещения величина *E(x,y)* постоянна и одинакова в любой точке. Тогда, для выбранного точечного светодиода с I_0 и α_0, сумма *S* должна быть также постоянной, численное значение которой зависит от *N*. Аналитического метода расчёта *N* пока не существует, так как явно выразить *N* из (2.87) не представляется возможным.

Однако, многократными расчётами при помощи компьютера можно получить малое отличие I_0S от требуемой освещённости $E\ (x,y) = const$ при некотором N. Обеспечение равномерного освещения горизонтальной поверхности в *поперечном* направлении (вдоль оси y) птичника более проблематично, поэтому компьютерные расчёты N следует проводить в *поперечной* плоскости x = *const* для принятой равномерности освещения (2.52).

Расчёт освещённости в точке P в поперечном направлении y проводится с учётом вклада каждого светодиода в системе освещения (рис. 2.18). При этом освещённость, создаваемая светодиодом, расположенном на j линейке определяется как

$$E_j = \frac{I_0 \cdot cos^m\theta \cdot cos\theta}{r^2} = \frac{I_0 \cdot cos^{m+1}\theta}{r^2}, \qquad (2.88)$$

а освещённость в рассматриваемой точке согласно принципу суперпозиции есть

$$E_P = \Sigma E_j \qquad (2.89)$$

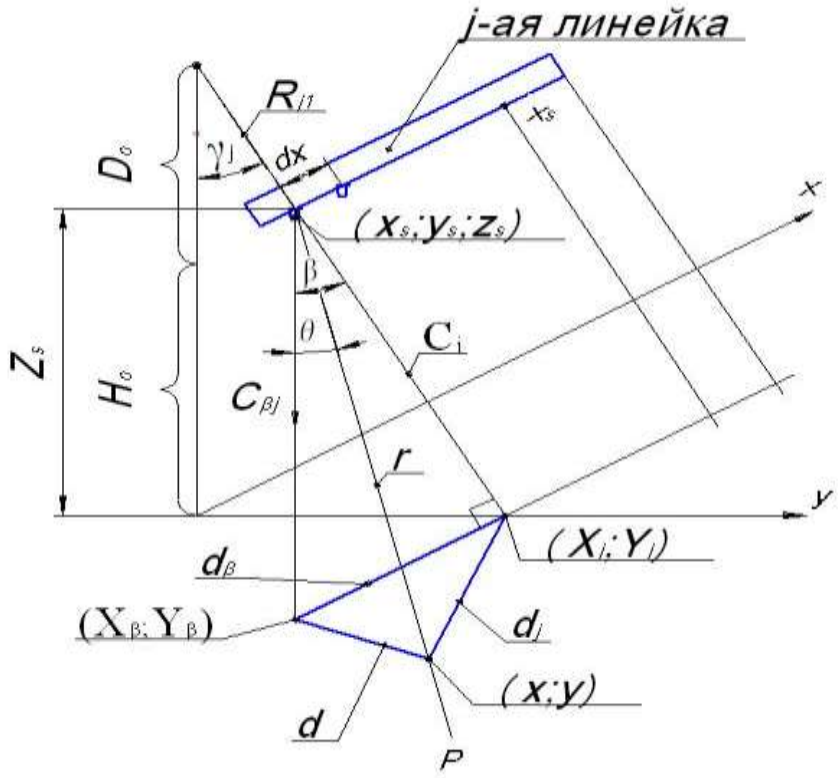


Рисунок 2.18 – К расчёту освещённости точки *P* светодиодом. Оси «x» и «y» задают продольное и поперечное направления, а также рабочую поверхность птичника.

где *r* расстояние от точечного светодиода с координатами (x_s; y_s ;z_s)

$$r_s = \sqrt{(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 + z_s^2} \quad , \tag{2.90}$$

при

$$x_s = dx \cdot K_s + x_0 \ , \quad y_s = R_j \cdot sin(j\gamma) \ , \quad z_s = H_0 + D_0 - R_j \cdot cos(j\gamma) \tag{2.91}$$

где $dx = \lambda$ – расстояние (шаг) между точечными светодиодами в линейке, а

x_0 – расстояние от стены вдоль линии светильников,

K_s – номер светодиода на линейке.

Величины

$$R_j = \frac{D_0}{2}\sqrt{2(1 + cos(2j\gamma))} \tag{2.92}$$

и

$$cos\theta = \frac{r^2 + c_{\beta j}^2 + d^2}{2r \cdot c_{\beta j}} \tag{2.93}$$

выражаются по теореме косинусов при

$$c_{\beta j} = \frac{c_j}{cos\,\beta} \qquad \text{и} \qquad d = \sqrt{(y - Y_\beta)^2 + (x - X_\beta)^2} \tag{2.94}$$

Остальные величины

$$Y_j = (H_0 + D_0) \cdot tg(j\gamma) \tag{2.95}$$

$$Y_\beta = Y_j \qquad Y_\beta = y_s \qquad X_\beta = x_s - c_j \cdot tg\beta = x_s - d_\beta \tag{2.96}$$

$$c_j = \sqrt{Y_j^2 + (H_0 + D_0)^2} - R_j \tag{2.97}$$

$$d_j = \sqrt{(y - Y_j)^2 + (x - X_j)^2} \quad \text{при} \quad X_j = x_s \tag{2.98}$$

$$d_\beta = \sqrt{(Y_j - Y_\beta)^2 + (X_j - X_\beta)^2} \tag{2.99}$$

определяются по рисунку 2.18

После расчёта освещённости в точках поперечного направления при значении числа светодиодов на одной линейке n_0, получим массив $E(x=const, y)$, из которого определяются E_{min} и E_{max}, среднее значение которых должно быть не меньше требуемого уровня освещённости. Поэтому для обеспечения нормированного уровня освещённости E_0 с коэффициентом запаса k_0 необходимо исследовать целевую функцию в виде

$$f(t) = k_0 E_0 - 0.5(E_{max} + E_{min}) \tag{2.100}$$

при параметрах светодиодного освещения птичника $t = t_1, t_2 \ldots t_n$, через которые $f(t)$ явно не выражается. Отметим, что параметрами $t = t_1, t_2 \ldots t_n$, являются число светодиодов N, конструкционные параметры, задающие геометрию птичника и системы освещения: длина a и ширина b птичника, высота подвеса светильников Н, расстояние между линиями L_0, число линеек в светильнике j, угол между светодиодными линейками γ и т.д.

Для оценки оптимального значения N выполняется проверка целевой функции $f(t)$ на условие

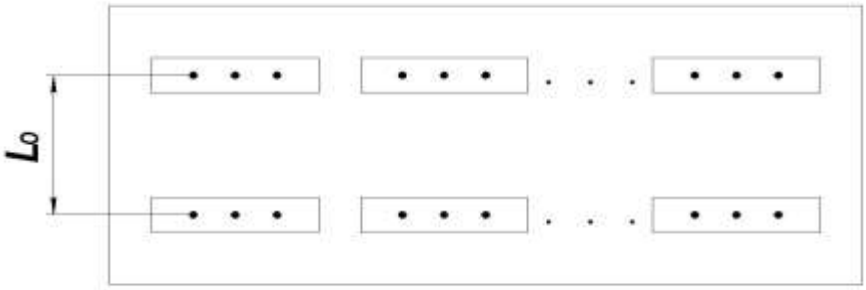
$$f(t) = k_0 E_0 - 0{,}5(E_{max} + E_{min}) \le 0, \tag{2.101}$$

при этом идёт вычисление коэффициента неравномерности освещения

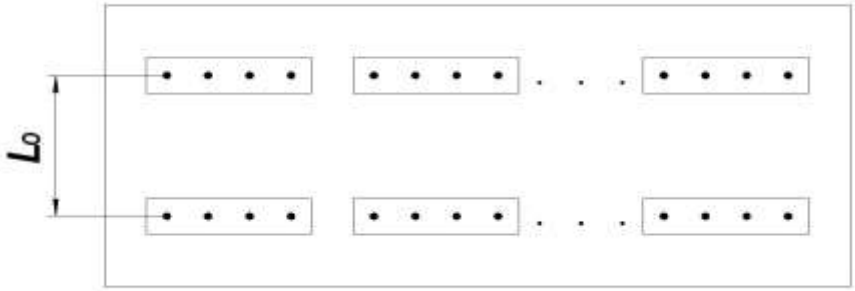
$$Z=\frac{E_{max}+E_{min}}{2E_{min}} \qquad (2.102)$$

и проверка условия повышенной равномерности освещения (2.52). Невыполнение (2.101) означает, что освещённости в поперечной плоскости недостаточно, тогда следует добавить по одному светодиоду на каждой светодиодной линейке, а расчёт освещённости $E\ (x=const,\ y)$ повторить при

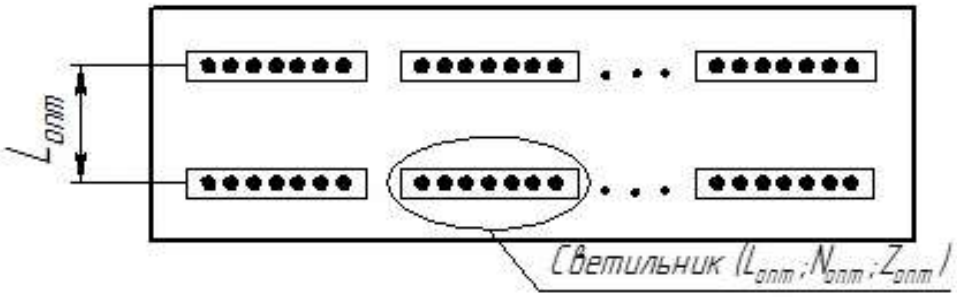
$$n_i = n_i + 1 \qquad (2.103)$$



а)



б)



в)

Рисунок 2.19 – К оценке оптимальных значений параметров системы освещения птичника:
а) – при начальном значении числа светодиодов на одной линейке каждого светильника $n_i = n_1$ (условно показано $n_1 = 3$).
б) – при увеличении n_i по (2.103) на единицу (условно показано $n_i = 4$).
в) – оптимальное число светодиодов, полученное в расчётах, распределяется по светильникам – оптимальным для данного птичника.

Отметим, что увеличение числа светодиодов на одной линейке на единицу приводит к увеличению числа светодиодов N во всей системе освещения на

$$\Delta N = jS_0, \qquad (2.104)$$

где j и S_0 и N_L определены выше. (Так, если $j = 7$, $S_0 = 66$, то очевидно $\Delta N = 462$). Это означает, что значение параметра N кратно ΔN, а целевая функция (2.100) не является непрерывной функцией N, что затрудняет её дифференцирование. Поэтому минимум целевой функции определяем при переходе её через ноль, то есть при выполнении условия (2.101).

Таким образом, расчёты повторяются при увеличении n_i на один светодиод до выполнения условий (2.101) и (2.52). Выполнение (2.101) даёт нам согласно (2.63) величину N, которую обозначим как N_0 и назовём промежуточным числом светодиодов в системе освещения птичника. Выбранное при физическом моделировании значение L_0 можно назвать также промежуточным расстоянием между линиями светильников.

Из (2.88) можно увидеть, что левая часть $E(x, y)/I_0$ может быть неизменной и при меньшем N_0, если каждое слагаемое будет содержать большее значение $\cos^{m+1}\theta(x,y,k)$ и меньшее значение r_k^2. Тогда L_0 может быть уменьшено, что позволит получить новое значение меньшее, чем промежуточное N_0 при некотором $L_{опт}$ (рис.2.20).

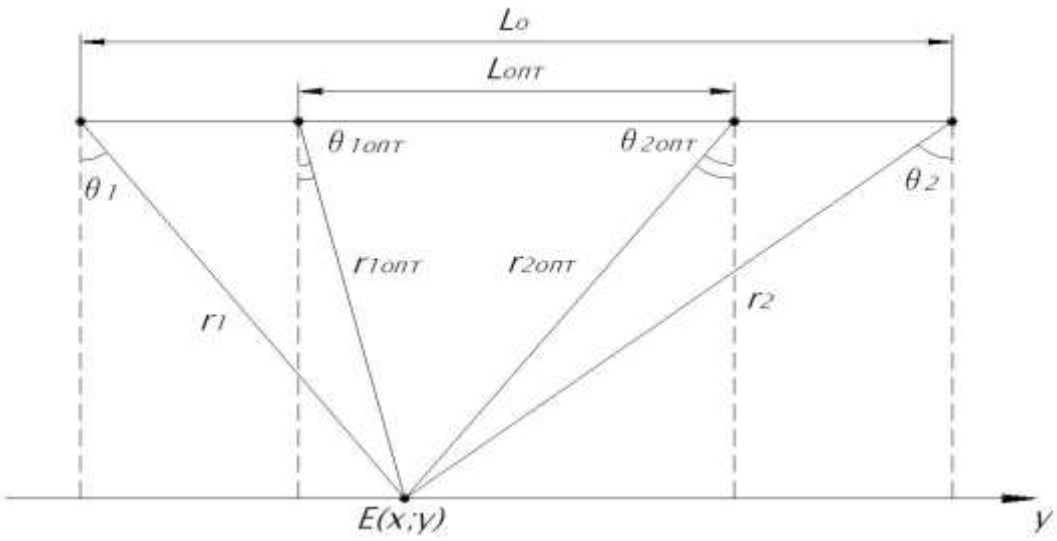


Рисунок 2.20 - При уменьшении расстояния между линиями L_0 угол $\theta(x,y,k)$ и r уменьшаются.

Однако промежуточное значение L_0 может быть заранее меньше $L_{опт}$ (на рис.2.20 не показано). Поэтому расчёты должны продолжаться с небольшим шагом h_L и при увеличении L_0. Это означает, что $L_{опт}$ надо искать около значения L_0 в виде

$$L_{опт} = L_0 \pm \Delta L_0, \tag{2.105}$$

где ΔL_0 кратно величине шага h_L.

При некотором ΔL_0 достигается такое $L_{опт}$, которое даёт наилучшие значения $N_{опт}$, а также оценку оптимальной потребляемой мощности

$$P_{опт} = p_1 N_{опт} \tag{2.106}$$

С точки зрения теории оптимизации мы реализовали *метод нулевого порядка* [4, 49], при котором не требуется вычислять производные целевой функции, а направление минимизации определяется последовательными вычислениями значений целевой функции.

Связь между λ и N согласно (2.63) позволяет получить и оценку оптимального расстояния между светодиодами в линейке светильника $\lambda_{опт}$. Параметры, использованные при расчётах целевой функции: j – число линеек в поперечной плоскости, I_0 – осевая сила света светодиода, α – угол раскрытия светового потока светодиода, β_0 – начальный угол (для первого на линейке светодиода) между максимумом диаграммы направленности светодиода и линей кромки платы (светодиодной линейкой), γ - угол между светодиодными линейками в поперечной плоскости светильника, а также $\lambda_{опт}$ должны быть известны и необходимы при конструировании и изготовлении опытного образца светильника.

2.7. Основные результаты и выводы по главе 2

1. Исследованы модели светильников с точечными источниками света, на основе которых разработана математическая модель освещённости птичника, включающая в себя оценку оптимальных параметров.

2. При разработке математической модели применён метод физического моделирования, с помощью которого получены аналитические зависимости между геометрическими размерами птичника и коэффициентом неравномерности освещения. Получены следующие зависимости:

- между высотой подвеса светильников H и расстоянием между линиями L_0 через коэффициент неравномерности освещения Z в виде функции $f(Z)$:

$$\frac{H}{L_0} = f(z) = \frac{1}{2\pi} \cdot ln\left(\frac{z}{z-1}\right);$$

- между шириной птичника b и расстоянием L_0 между линиями светильников в виде

$$b = n\,L_0/2 \quad \text{при} \quad n>0{,}764\frac{b}{H} \quad \text{для } Z<1{,}1.$$

- между числом линий светильников в птичнике N_L и параметрами b и L_0 в виде неравенства

$$N_L < \frac{b}{L_0} + 1.$$

3. Переход целевой функции

$$f(t) = k_0 E_0 - 0.5(E_{max} + E_{min})$$

через ноль позволяет оценить оптимальную потребляемую мощность $P_{опт}$ при оптимальном числе светодиодов $N_{опт}$, распределённых по светильникам, а также оптимальное значение расстояния между линиями светильников $L_{опт}$ при ограничении $Z < 1,1$.

4. Полученная оценка оптимального значения расстояния (шага) между светодиодами в линейке светильника $\lambda_{опт}$ и параметры, определяющие конструкцию светильника и использованные при расчётах целевой функции, служат основой для конструирования и изготовления опытного образца светильника.

5. Увеличение числа светодиодов на одной линейке на единицу приводит к увеличению числа светодиодов N во всей системе освещения на большое значение ΔN (более 100), и следует ожидать, что оценка оптимальных значений параметров потребует большого объёма вычислительной работы. Для этого необходимо разработать компьютерную программу.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Выбор входных параметров для компьютерных исследований

Для расчёта освещённости и последующей оценки оптимальной потребляемой мощности по целевой функции главы 2 разработана компьютерная программа (Приложение Б), реализованная в программной среде Pascal с конвертированием массива освещённости в базу электронных таблиц Excel. Компьютерные расчёты освещённости, создаваемой при помощи N точечных светодиодов, построены на базе математической модели, рассмотренной в главе 2.

В результате расчётов необходимо получить оценки оптимального числа светодиодов $N_{опт}$ при ограничении $Z < 1,1$ в качестве выходного параметра, который (как сказано выше) определяет потребляемую мощность P (энергопотребление) системы технологического освещения птичника. К выходным параметрам относится также числовое значение оценки оптимального расстояния между линиями светильников в птичнике $L_{опт}$, для получения которого необходимо задать начальное значение L_0 согласно физическому моделированию.

Выходной параметр $N_{опт}$, связан с числом линеек N_1 в одном светильнике и числом светодиодов на линейке n_1, которое в свою очередь связано по формуле (2.63) с шагом светодиодов (расстоянием между светодиодами) в линейке λ. Поэтому все четыре параметра будут зависимыми *выходными* параметрами, для получения которых достаточно одного. Удобнее искать оценку оптимального значения числа светодиодов для одной линейки светильника $n_{1опт}$, так как расчёты освещённости E должны повторяться при увеличении n_1 на один светодиод по (2.103). Все остальные параметры, необходимые для расчётной оценки параметров, различаются по смыслу на два вида –

входные и переменные. Запишем все три вида параметров, используемых в расчётах.

Входные параметры:

a, b – длина и ширина птичника, [м];

l_c – длина светильника, [м];

H – высота светильника над освещаемой поверхностью, [м];

h_x – шаг в продольном направлении, [м];

h_y – шаг в поперечном направлении, [м];

N_L – число линий светильников;

L_0 – начальное расстояние между линиями светильников, [м];

S_0 – число светильников в системе освещения;

k_0 – коэффициент запаса освещенности;

I_0 – осевая сила света светодиода, [кд];

E_0 – нормированная освещенность [лк];

α – угол раскрытия светового потока светодиода, [рад];

β_0 – начальный угол (первого на линейке светодиода между осевой линией кривой силы света и поперечным направлением), [рад]

γ - угол между светодиодными линейками в поперечной плоскости светильника, [рад];

j – число линеек в поперечной плоскости;

n_0 – начальное число светодиодов на 1 м линейки светильника;

I, U– ток и напряжение для одного светодиода соответственно [А], [В];

$p_1 = IU$ – потребляемая мощность одного светодиода [Вт].

Выходные параметры:

$n_{1опт}$ – оценка оптимального значения числа светодиодов для одной линейки;

$Z_{опт.}$ – оценка оптимального значения коэффициента неравномерности освещения;

$L_{опт}$ – оценка оптимального значения расстояния между линиями, [м] ;

$P_{опт} = p_1 N_{опт}$ – оценка оптимального значения потребляемой мощность системы освещения птичника, [Вт];

Переменные:

x,y – координаты в продольном и поперечном направлениях, [м];

x_s,y_s,z_s – координаты светодиода на высоте z_s, [м];

n_1 – число светодиодов на 1 м линейки светильника;

$\lambda = (1/n_1) = dx$ – расстояние(шаг) между светодиодами на плате, [м];

β – угол между осевой линией кривой силы света светодиода и поперечным направлением в плоскости платы, [рад];

r – расстояние между светодиодом и точкой с координатами x и y, [м];

$E(x,y)$ – освещённость в точке с координатами x и y, [лк];

Z – коэффициент неравномерности освещения;

Θ – угол между осевой линией кривой силы света светодиода и направлением на точку с координатами x и y, [рад].

Для выбора *входных* параметров будем исходить из следующего. При реализации способа искусственного освещения для содержания птицы, когда площадь помещения освещается равномерно, используется большое количество светодиодов малой мощности [56, 58]. При этом светильник необходимой световой мощности не использует принудительное охлаждение.

Чтобы использовать большое количество светодиодов, не требующих систем теплоотвода, выбираем сверхъяркий светодиод малой мощности p_1 = 0,06Вт (при напряжении $U=3B$ потребляемый ток $I=0,02A$). Чтобы считать их точечными, выбираем круглосимметричный светодиод (рис.3.1) диаметром не более 5 мм (рис.3.1).

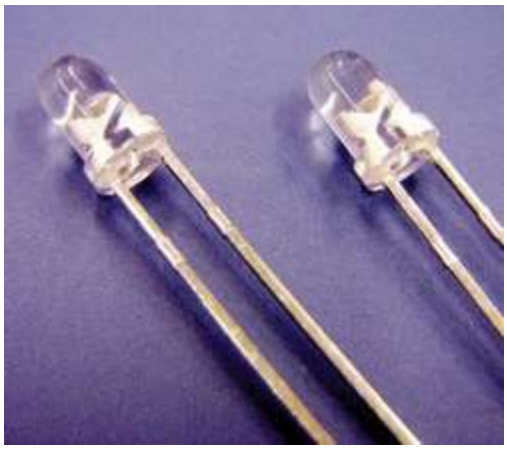


Рисунок 3.1 – пример исполнения сверхяркого светодиода.

Исследования проводились для углов раскрытия светового потока светодиодов α от 15° до 30°. Тогда согласно (2.57) показатель степени m имеет порядок 100. При осевой силе света в $I_0 = 20кд$ выбранные светодиоды не требуют охлаждения.

Используя результат главы 2 (п.2.4.3), выбираем семь линеек светодиодов, расположенных с интервалом не менее $10°$ (одна – вертикальная и по три с каждой стороны), поэтому принимаем $j=7$ и $\gamma = 15^0 = \frac{\pi рад}{12}$. При выбранном угле γ величина $3\gamma = 45^0$ не нарушает условие слепящего действия (40- 50°) [36, 37], из которого выбирается и начальный угол $\beta_0 = \pi/4$ рад.

Алгоритм программы предусматривает расчёт числа светодиодов на линейке n_1 при заданном числе светильников S_0, предназначенных для освещения с одинаковой высоты H рабочей площади птичника длиной a и шириной b. Согласно принятым допущениям п.2.6.1 главы 2 при длине светильников l_c = 1м и подвешенных друг от друга на расстоянии также 1м, число светильников на одной линии будет численно равно, $a/2$, тогда S_0 будет в N_L раз больше по (2.59): $S_0 = (a/2)\ N_L$. Число линий светильников N_L определяется согласно физическому моделированию из неравенства (2.85) главы 2.

Очевидно, что начальное число светодиодов на 1 м линейки светильника должно определяться простым неравенством $1 < n_0 < n_{1опт}$, где $n_{1опт}$ разумеется заранее неизвестно, поэтому $n_0 > 1$. Если стоит задача повышения эффективности энергопотребления светодиодного освещения реального птичника, то потребляемая мощность P_1 одного светильника известна. Тогда для ускорения компьютерных расчётов начальное значение входного параметра n_0 можно выбрать из следующего неравенства

$$1 < n_0 < P_1/p_1 j, \qquad (3.1)$$

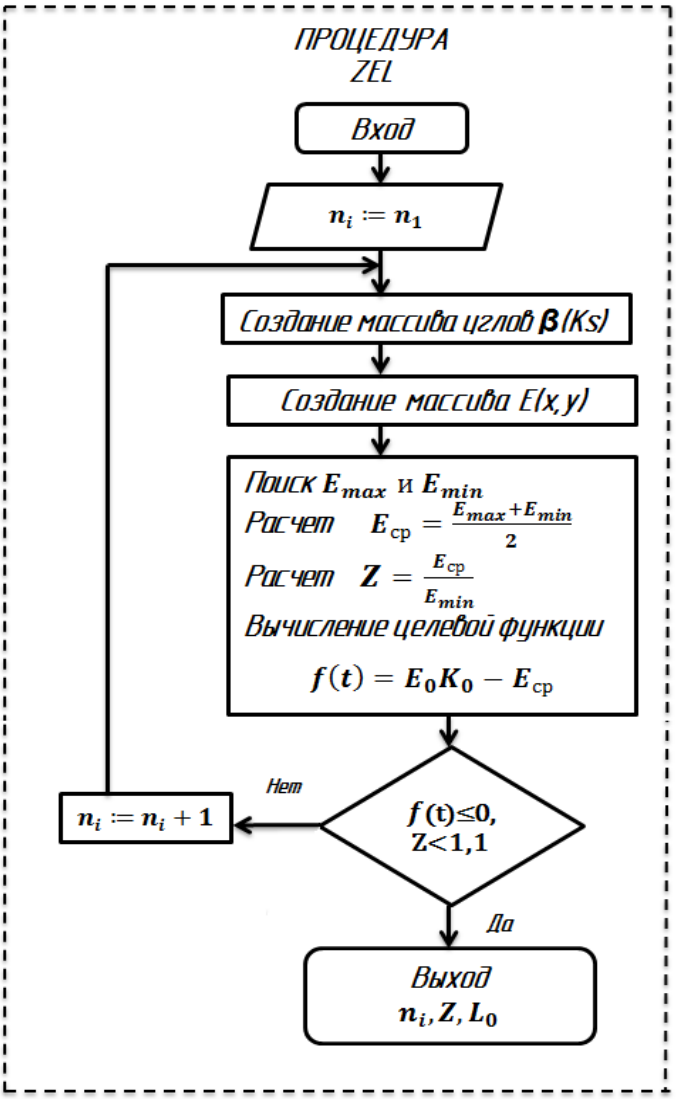
где $p_1 = 0{,}06Вт$ и $j = 7$ – принятые выше соответственно потребляемая мощность одного светодиода и число линеек в светильнике. Так для светоди-

одного светильника длиной $l_c = 1м$ производства ООО «Гелан» [109] потребляемая мощность составляет 16 Вт, тогда $1 < n_0 < 38$.

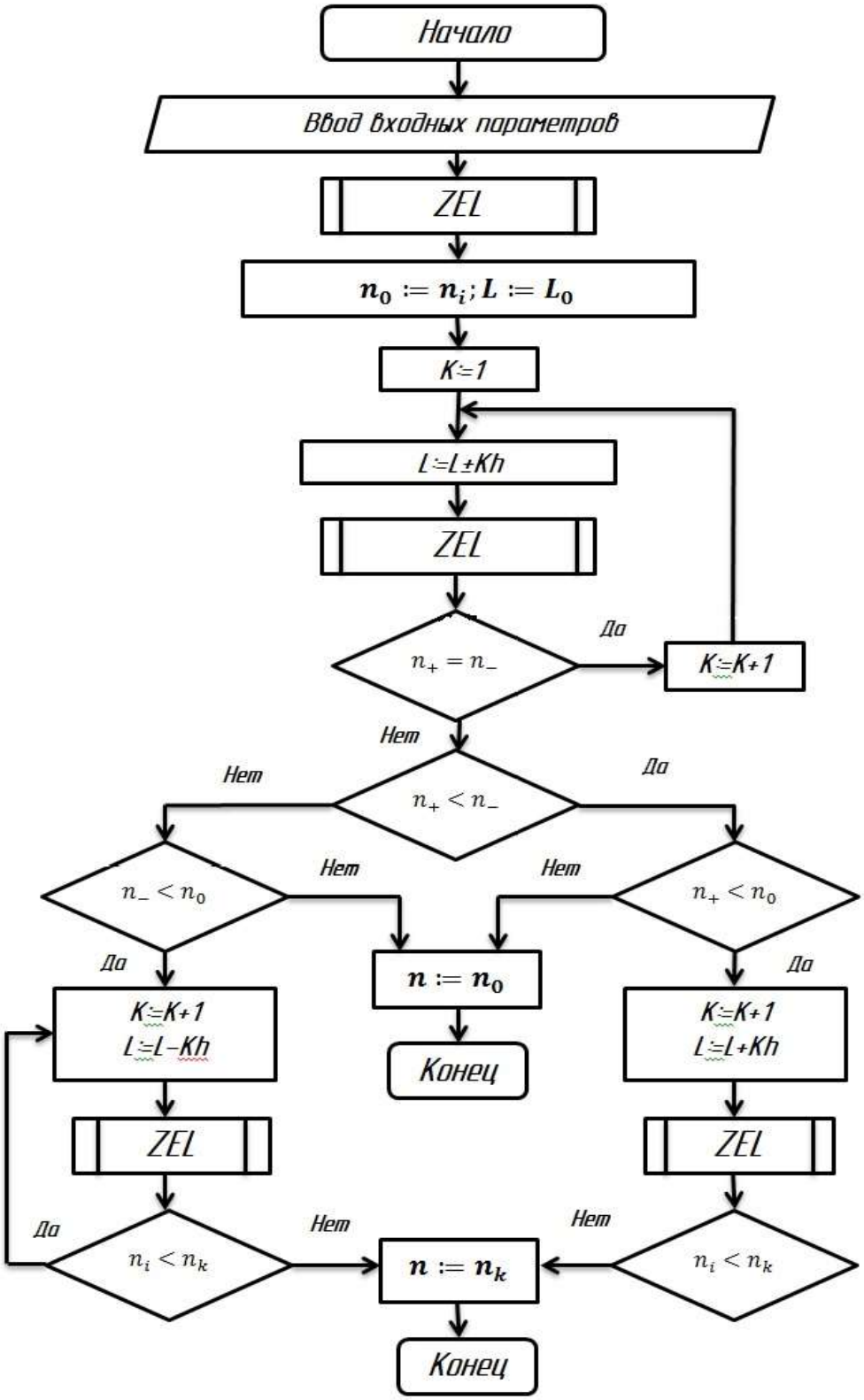
Входные параметры *a, b* и *H* обычно известны заранее.

3.2 Методика компьютерных расчётов

После ввода входных параметров (рис.3.2) программа обращается к подпрограмме (процедуре ZEL) и приступает к расчёту освещённости с созданием массива *E(x, y)*, из которого определяются E_{min} и E_{max} .



а)



б)

Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритма компьютерной оценки оптимальных значений главных параметров: а) – подпрограмма (процедура ZEL); б) – полный алгоритм с обращением к подпрограмме

Оценка оптимального значения основного параметра осуществляется по двум циклам с постусловием (Приложение Б):

- в первом цикле, при возрастании числа светодиодов на одной линейке на единицу, условием выхода из цикла является переход целевой функции через ноль: превышение среднего (медианного) значения освещённости в поперечном направлении $Ey=0.5(E_{max}+E_{min})$ над величиной k_0E_0. При этом вычисляется текущий коэффициент неравномерности освещения Z как $0.5(E_{max}+E_{min})/ E_{min}$. Если после выхода из первого цикла Z >1.1(больше допустимой неравномерности освещения), то выполняется второй цикл;

- во втором цикле условием выхода из цикла является выполнение условия Z <1,1 также при возрастании числа светодиодов на одной линейке на единицу.

После выполнения двух циклов получим оценки промежуточных значений параметров N_0 и Z_0 при постоянном значении конструкционного параметра L_0, выбранного при физическом моделировании.

Для оценки оптимального значения конструкционного параметра L_0 расчёты выполняются с небольшим шагом h_L около L_0 .Условием выхода из цикла является ухудшение (увеличение) рассчитываемых значений N или Z по сравнению с предыдущими значениями (начиная с промежуточных значений N_0 и Z_0). Тогда оценку оптимального значения $L_{опт}$ получим в виде (2.105)

$$L_{опт} = L_0 \pm \Delta L_0 ,$$

Это означает, что при некоторой величине ΔL_0 (как сказано выше) достигается такое $L_{опт}$, которое даёт наилучшие значения $N_{опт}$:

$$N_{опт} \leq N_0$$

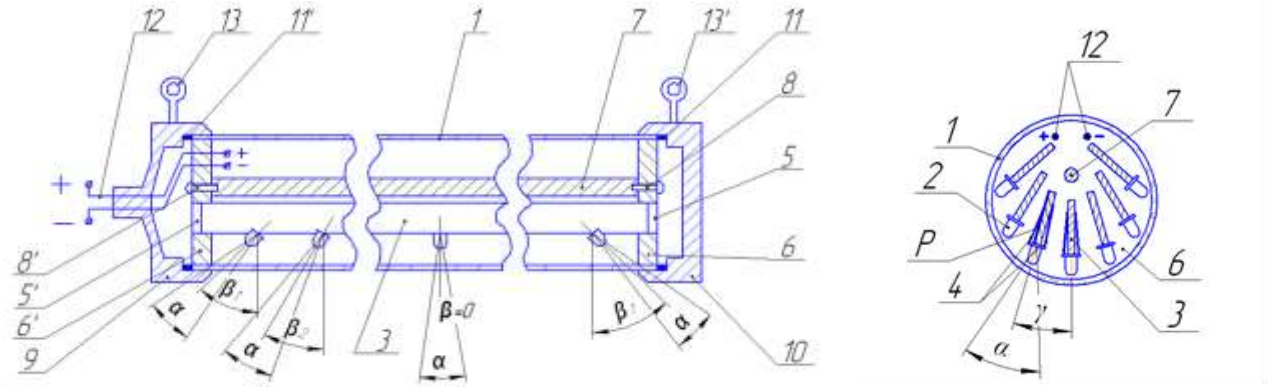
Полученные значения массива $E(x,y)$ при значениях $N_{опт}$ конвертируются в базу электронных таблиц Excel для последующей обработки и построения графиков.

Предложенный метод компьютерного исследования освещённости с оценкой оптимального энергопотребления можно использовать для реального птичника.

3.3.Методика экспериментальных исследований

Параметры светодиодного светильника, при которых рассчитаны значения параметров $N_{опт}$ и $L_{опт}$ в дальнейшем применяются для конструирования опытного образца. Для изготовления опытного образца светильника предложена конструкция, учитывающая недостатки светильников, защищенных патентами РФ №132859 от 12.04.2013г. и №2453762 от 20.01.2011г. Новый способ расположения светодиодов на кромке платы (в отличие от способа расположения светодиодов на плоскости платы) способствует более компактному расположению плат в поперечном направлении (рис.3.3). Это позволяет увеличить их число в поперечной плоскости в 2-3 раза и соответственно повысить равномерность освещения рабочей поверхности. [56, 57,58, 76, 80].

Согласно предложенной конструкции изготовлен опытный образец светодиодного светильника, внешний вид которого представлен на рис.3.4 Эксперименты по измерению освещённости проводились на лабораторном стенде с целью проверки адекватности разработанной математической мо-



а) б)

Рисунок 3.3 – Конструкция светодиодного светильника:

а) – вид спереди; б) – вид сбоку; 1 – светопропускающая трубчатая колба; 2 – светодиоды; 3 – двухсторонние платы (светодиодная линейка); 4 – выводы светодиода; 5 – пазы; 6 – фланцы; 7 – стягивающий фланцы стержень; 8 – винты; 9,10 – торцевые крышки;11 – уплотняющая прокладка;12 – кабель питания; 13 – подвесной рым-болт

дели и её программной реализации путём сравнения расчётных результатов освещённости с экспериментальными значениями. Для этого в компьютерную программу вводились параметры опытного образца светильника: длина 600 мм, число светодиодных линеек 7, расстояние между светодиодами на одной линейке 25мм, угол между линейками 15°.

Рисунок 3.4 – Внешний вид опытного образца светодиодного светильника

В светильнике использовались круглосимметричные светодиоды марки *FYL – 3014WWC/S*(тепло-белый) с паспортными данными для осевой силой света $I_0 = 15кд$ и угла излучения $\alpha_0 = 30^o$. Измерения (по выборке из 20 светодиодов) осевой силы света I_0 и угла излучения α_0 дали следующие результаты:

$$I_0 = (14{,}9 \pm 0{,}6)\ кд \qquad (3.1)$$

$$\alpha_0 = (29{,}4^o \pm 1{,}5)^o. \qquad (3.2)$$

Оснащение стенда включало в себя: исследуемый светодиодный светильник, источник питания «Agilent» E3634A, поверенный люксметр-пульсметр Аргус-07 (Приложение Е). Паспортная погрешность люксметра-пульсметра составляет 8%.

Светильник фиксировался на изготовленной рамочной конструкции (рис.3.4) при определённой высоте над координатной сеткой с рабочей областью 3м х 3м. В узлах сетки (число узлов:16 х 16 = 256) с шагом 20 см производились измерения освещённости при помощи датчика люксметра(рис.3.5). Результаты измерений представлены в главе 4 (п.4.2.1).

а)

б)

Рисунок 3.5 – Фиксация светильника на рамочной конструкции лабораторного стенда над координатной сеткой на различной высоте Н: а) – Н = 2,755м, б) – Н = 2,185м

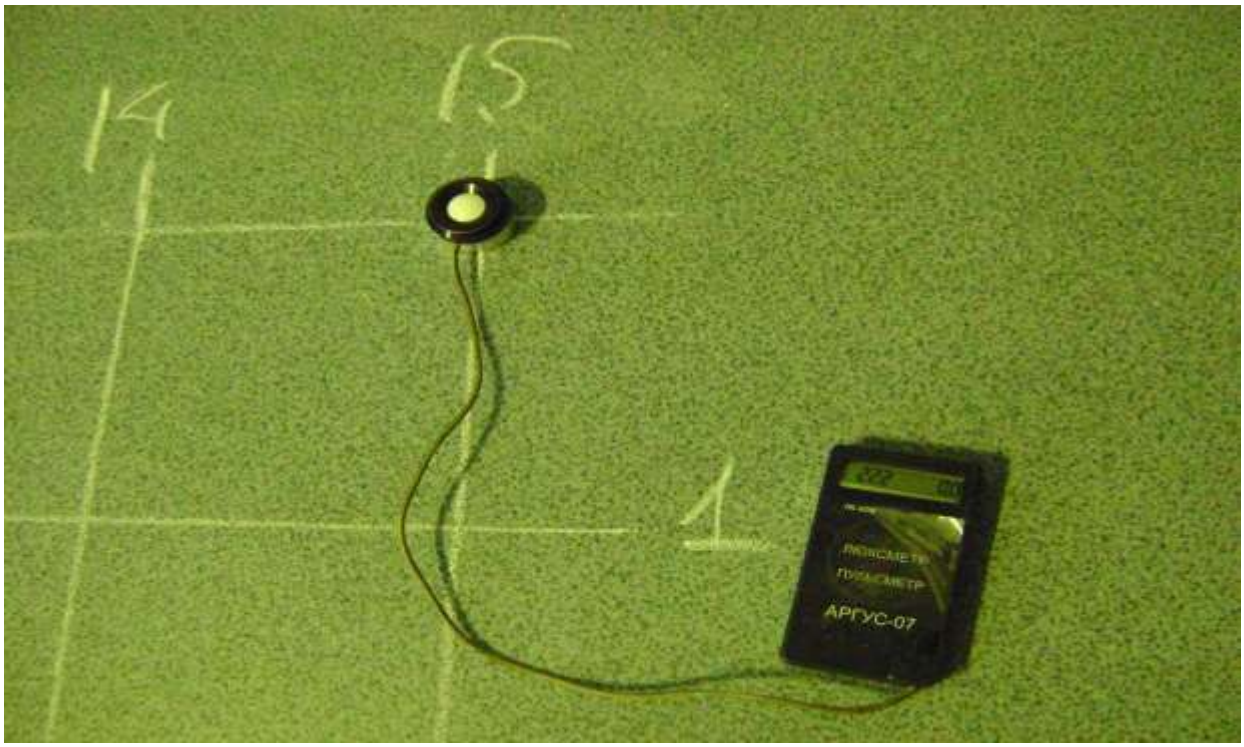


Рисунок 3.6 – Датчик люксметра при измерении освещённости.
Размер сетки: 20см х 20см.

а)

б)

Рисунок 3.7 – Расположение двух светильников на рамочной конструкции стенда над координатной сеткой на высоте *H=2,80м*: а) – параллельно (L_0 = *1,5м*), б) - последовательно (a_x=*0,38м*)

Для дальнейшей проверки адекватности, разработанной математической модели и её программной реализации был изготовлен второй экземпляр опытного образца светильника. Светильники фиксировались на рамочной конструкции стенда на высоте H=2,80м над координатной сеткой параллельно и последовательно друг относительно друга (рис 3.7). При параллельном расположении светильников расстояние между ними (параметр L_0) изменялось в интервале до 1,5м. При последовательном расположении светильников промежуток между ними был равен a_x=0,38м.

Параметры координатной сетки и размеры рабочей области оставались прежними. Результаты измерений освещённости представлены в главе 4 (п.4.2.2 – два параллельных светильника; п.4.2.3 – два последовательных светильника).

3.4 Основные результаты и выводы по главе 3

1. Разработана методика компьютерных экспериментов, включающая выбор входных параметров и алгоритм измерения (расчёта) освещённости с последующей оценкой оптимальных значений основных параметров по целевой функции.
2. Данная методика позволяет проводить компьютерные исследования реальной системы светодиодного освещения.
3. Разработана методика экспериментальных исследований, включающая в себя лабораторные измерения освещённости на горизонтальной поверхности в узлах сетки при помощи датчика люксметра.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты компьютерных исследований систем светодиодного освещения птичников

Компьютерные исследования освещённости и оценка оптимальных значений параметров проводились для систем технологического светодиодного освещения двух птичников птицефабрики «Удмуртская» города Глазова Удмуртской Республики.

Выбор входных параметров для обоих птичников осуществлялся согласно п.3.2, по которому выбрано $j=7$ линеек, расположенных с интервалом $\gamma = 15^0$. Выбранная величина угла γ не нарушает условие слепящего действия: 40- 50°, из которого выбирается и начальный угол $\beta_0 = 45^o$.

Чтобы использовать большое количество светодиодов малой мощности p_1, выбраны круглосимметричные светодиоды диаметром не более 5 мм. Исследования проводились для углов раскрытия светового потока светодиодов α от 15° до 30°. При осевой силе света $I_0 = 20кд$ и потребляемой мощности одного светодиода $p_1 = 0,06Вт$ выбранные светодиоды не требуют охлаждения и работают при напряжении $U=3В$ и токе $I=0,02А$. Применение методики компьютерных экспериментов главы 3 продемонстрируем для угла раскрытия светового потока светодиода α = 20° в каждом птичнике.

1. В птичнике размерами, $a = 66м$, $b = 12м$ для технологического освещения используется 72 светодиодных светильника LED-19.2 (сд $p_1=0,08Вт$, $\eta=62,5лм/Вт$), распределённых по $N_L = 3$ продольным линиям. Высота подвеса светильников $H = 3,5м$.

При потребляемой мощности каждого светильника в *19,2 Вт* суммарное энергопотребление P_0 составляет 1382,4 Вт. Выполненные замеры освещённости (рис.4.0) дают интервал коэффициента неравномерности освеще-

ния Z в поперечной плоскости от *1.146* до *1,430* .

Рисунок 4.0– Замеры освещённости птичника птицефабрики «Удмуртская» города Глазова Удмуртской Республики. Для освещения используется 72 светодиодных светильника LED-19.2, распределённых по $N_L = 3$ продольным линиям.

Согласно физическому моделированию принимаем расстояние между линиями светильников $L_0=8$ *м* при числе линий $N_L=2$. Если принять длину светильника l_c = 1м и подвешивать их на расстоянии также 1м, то число светильников на одной линии должно быть, $a/2=33$, тогда $S_0 = (a/2)$ и $N_L = 66$.

Далее применяем алгоритм по п.3.2 для угла раскрытия светового потока светодиода $\alpha = 20^o$. В результате расчётов получены промежуточные значения числа светодиодов $N_0= 18018$ и коэффициента неравномерности освещения $Z_0 =1,086$ при $L_0 = 8,00м$. После оценки оптимального значения расстояния между линиями получено $L_{опт}$ = 8,11м, при котором наилучшие значения числа светодиодов и коэффициент неравномерности освещения составляют соответственно $N_{опт}$= 18018 и $Z_{оптт}$ =1,081 (рис.4.1)

Для выбранных светодиодов потребляемая мощность системы освещения должна быть $W_{опт} = W_1 * N_{опт}$ = 0,06Вт х 18018=1081,1Вт, что на 27,9% меньше при использовании светильников производства ООО «Резерв» [110].

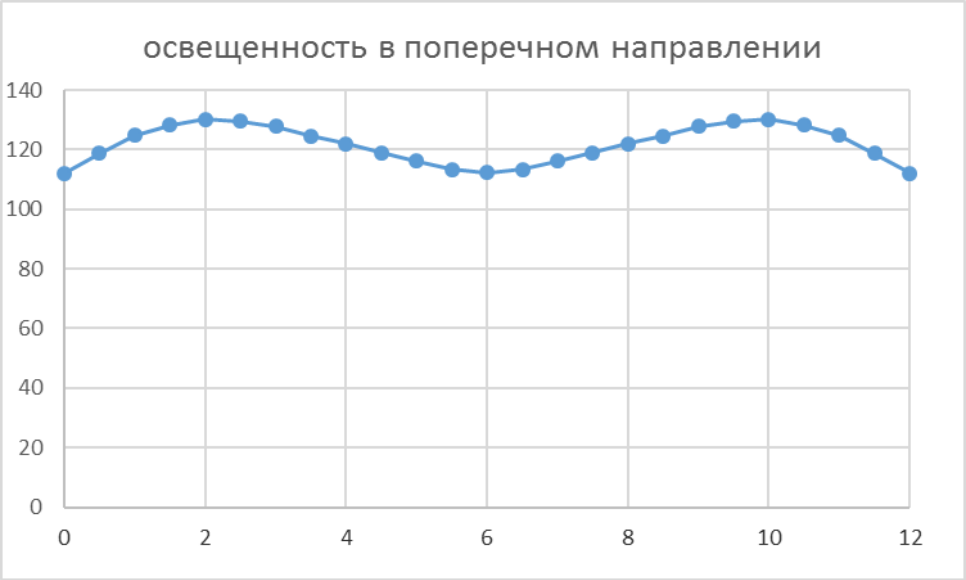


Рисунок 4.1 –Расчётная освещенность в поперечном направлении для птичника размерами 66м х 12м при х=33м; E_{min} = 112,20лк; E_{max} =130,33лк $Z_{опт}$=1,081 при $L_{опт}$= 8,11м
ось абсцисс – расстояние в поперечном направлении птичника, [м];
ось ординат – величина освещённости в точках Е, [лк].

Результаты исследования освещённости данного птичника для углов раскрытия светового потока светодиодов α от 15° до 30° сведём в таблицу 4.1.

Таблица 4.1– Результаты оценки оптимальных значений N, Z и L_0 при различных α для птичника 66м х12 м с энергопотреблением и W_0 =1382,4 Вт

α, град.	η, лм/Вт	$E_{ср}$, лк	$L_{опт}$, м	Z	$N_{опт}$	$W_{опт}$, Вт	$W_0/W_{опт}$
15	18	120,2	8,04	1,080	30594	1835,6	0,753
20	**31,83**	**121,3**	**8,11**	**1,081**	**18018**	**1081,1**	**1,279**
25	49,67	125,5	7,94	1,105	12012	720,7	1,918
30	71,33	130,4	7,84	1,130	8778	526,7	2,625

Как видно из таблицы 4.1 применение светодиодов с углом раскрытия 30° приводит к повышению эффективности энергопотребления птичника в 2,6 раза при незначительном (меньше 3%) превышении Z=1.1. Отметим малое (не более чем на 2,5%) отличие оценки оптимального значения расстоя-

ния между линиями светильников $L_{опт}$ от полученного при физическом моделировании значения $L_0 = 8{,}00$ м.

Таблица 4.2 – Сравнение систем освещения для птичника 66мх12м

Объект	Существующая система освещения					
Птичник 66мх12м	тип светильника (*l=2м)*	кол-во сд в светильнике	Мощность лампы, Вт	Кол-во светильников	Число линий светильников	Световой поток светильника, лм
	LED-19.2	240	19,2	72	3	1200
	Модернизированная система освещения					
Птичник 66мх12м	предлагаемый свет-к (*l=1м)*	133	7,98	66	2	569,24

Таким образом, для птичника размерами, a = 66м, b = 12м можно рекомендовать применение 66 светодиодных светильников, распределённых по $N_L = 2$ продольным линиям (вместо трёх линий) при расстоянии между линиями 7,84м. Число светодиодов (с углом раскрытия 30°) в одном светильнике равно 133, а потребляемая мощность светильника 7,98 Вт, что в 2,4 раза эффективнее светильника LED-19.2. При этом качество освещения близко к Z =1,1.

2. Во втором птичнике размерами, a = 78м, b = 18м, используется 160 светодиодных светильников GL036-D016.0N (сд w1=1Вт, η=112,5лм/Вт), распределённых по $N_L = 4$ продольным линиям. При потребляемой мощности каждого светильника в 16 Вт суммарное энергопотребление W_0 составляет 2560 Вт.

Согласно физическому моделированию принимаем расстояние между линиями светильников $L_0=8$ *м* и число линий $N_L=3$. При длине светильника l_c = 1м и подвесе их на расстоянии также 1м друг от друга, число светильников на одной линии должно быть, $a/2=39$, тогда $S_0 = (a/2)\ N_L = 117$. В результате компьютерных расчётов (также при α = 20°) получены промежуточные значения числа светодиодов $N_0= 31122$ и коэффициента неравномерности освещения $Z_0 = 1{,}071$ при $L_0 = 8{,}00$ *м*. Оценка оптимального значения расстояния

между линиями привела к окончательному значению $N_{опт}$= *30303* и коэффициенту неравномерности освещения *Z =1,046* при $L_{оп}$ = *7,83м* (рис. 4.2)

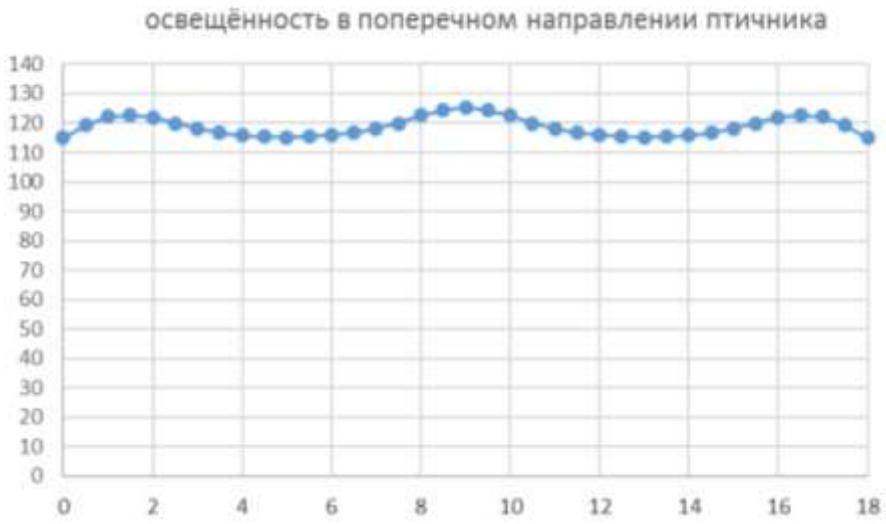


Рисунок 4.2 – Расчётная освещенность в поперечном направлении для птичника размерами 78м х 18м при х=39м; E_{min}=114,93лк; E_{max}=125,44лк $Z_{оп}$=1,046 при $L_{оп}$ = 7,83м.
ось абсцисс – расстояние в поперечном направлении птичника, [м];
ось ординат – величина освещённости в точках Е, [лк].

Результаты расчётов, проведённые для х от 9м до 69м с шагом 5м не отличаются от результатов полученных при х=39м.

Для выбранных светодиодов потребляемая мощность системы освещения должна быть W = W_1*$N_{опт}$ = 0,06Вт*30303=1818,2Вт, что на 40,8% меньше при использовании светильников производства ООО «Гелан» [109].

Таблица 4.3– результаты компьютерной оценки оптимальных значений основных параметров при различных углах раскрытия светового потока выбранного светодиода α для птичника размерами 78м х18 м при W_0 =2560 Вт

α, град.	η, лм/Вт	$E_{ср}$, лк	$L_{опт}$, м	$Z_{опт}$	$N_{опт}$	$W_{опт}$, Вт	$W_0/W_{опт}$
15	18	120,2	7,94	1,078	54054	3243,2	0,789
20	**31,83**	**120,2**	**7,83**	**1,046**	**30303**	**1818,2**	**1,408**
25	49,67	124,7	7,60	1,078	19656	1179,4	2,171
30	71,33	120,4	7,46	1,108	13104	786,2	3,256

Из таблицы 4.3 также видно, что применение светодиодов с углом раскрытия от 15° до 25° приводит к повышению эффективности энергопотребления птичника от 13,3% до 117,1% при повышенном качестве освещения Z<1.1. При незначительном ухудшении (мене 0,8%) качества освещения эффективность энергопотребления для данного птичника возрастает более чем в 3 раза при α =30°. Отличие оценки оптимального значения расстояния между линиями светильников $L_{опт}$ от полученного при физическом моделировании значения L_0 = 8,00 м составляет менее 7,2%

Таблица 4.4 – Сравнение систем освещения для птичника 78мх18м

Объект	Существующая система освещения					
Птичник 78мх18м	тип светильника	кол-во сд в сетильнике	Мощность лампы, Вт	Кол-во светильников	Число линий светильников	Световой поток светильника, лм
	GL036-D016.0N	16	16	160	4	1800
	Предлагаемая система освещения					
Птичник 78мх18м	предлагаемый светильник	112	6,72	117	3	479,36

Таким образом, для птичника размерами, *a = 78м, b = 18м* можно рекомендовать применение 117 светодиодных светильников, распределённых по $N_L = 3$ продольным линиям (вместо четырёх линий) при расстоянии между линиями 7,46м. Число светодиодов (с углом раскрытия 30°) в одном светильнике равно 112, а потребляемая мощность светильника 6,72 Вт, что в 2,4 раза эффективнее светильника GL036-D016.0N. При этом качество освещения очень близко к *Z =1,1*.

4.2 Результаты сравнительного анализа освещённости экспериментальных измерений и компьютерного расчёта

Проверка адекватности разработанной математической модели и её программной реализации проводилась путём сравнения расчётных результа-

тов освещённости с экспериментальными значениями согласно методике главы 3.

В первой серии экспериментов исследовалась освещённость, создаваемая одним светильником (изготовленным опытным образцом светодиодного светильника) [17, 56, 57].

Во второй серии экспериментов измерялась освещённость, создаваемая двумя одинаковыми опытными образцами. Измерения проводились для параллельного и последовательного расположения светильников, высота подвеса которых была одинаковой.

4.2.1 Результаты для одного светильника

Результаты измерений освещённости (Приложение, таблица В), создаваемой изготовленным опытным образцом получены в виде пространственного распределения (рис.4.3) на рабочей плоскости размерами 3м х 3м.

Для сравнительного анализа освещённости экспериментальных измерений и компьютерного расчёта рассмотрены поперечные плоскости х =1,6м и х=3,0м (рис. 4.4) распределения освещённости на рабочей поверхности.

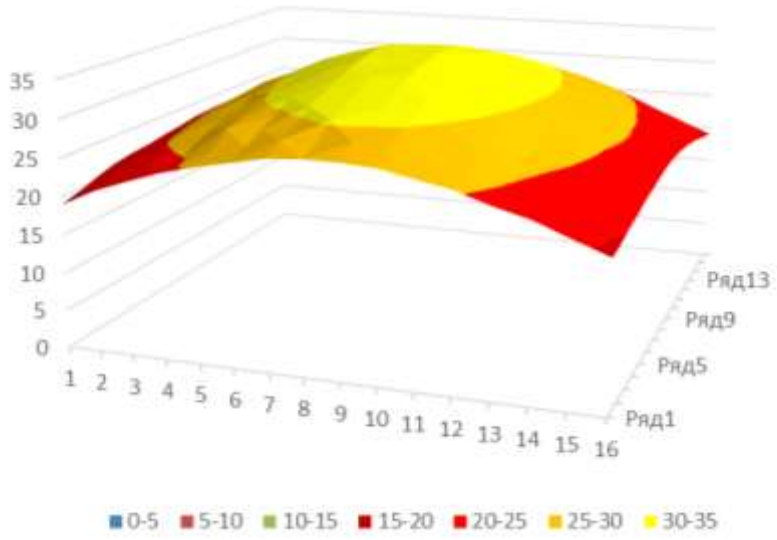
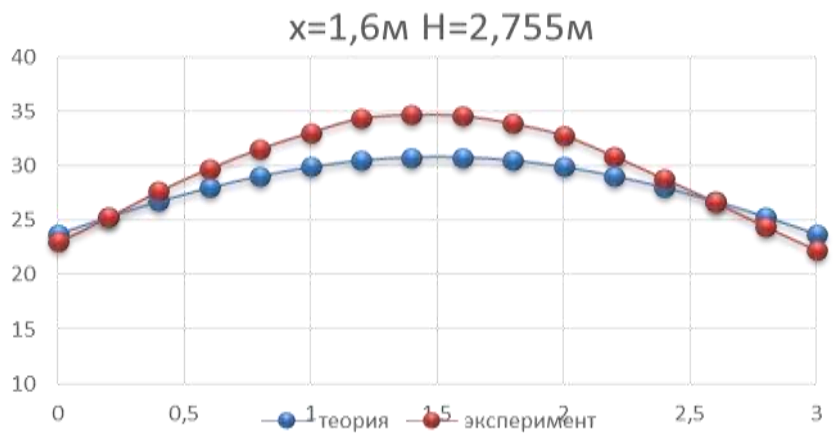
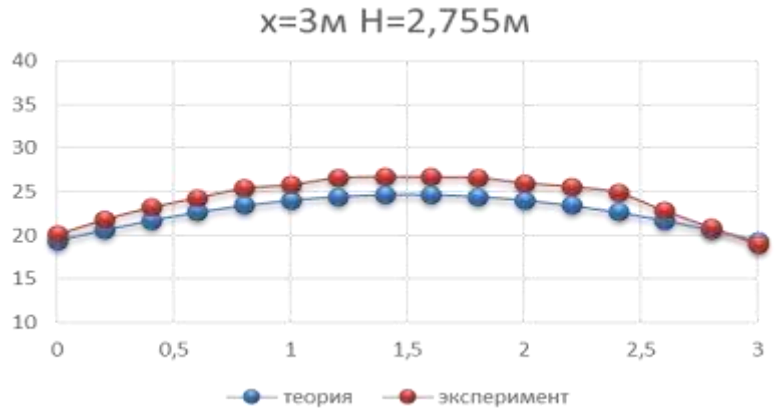


Рисунок 4.3 – Пространственное распределение освещённости, создаваемой изготовленным опытным образцом светодиодного светильника



а)



б)

Рисунок 4.4 – Результаты лабораторных измерений освещённости(•) в поперечной плоскости светильника в сравнении с компьютерным расчётом(•). Освещённость E(y) в лк. Высота светильника над датчиком люксметра H=2,755м.
а) – плоскость x=1,6м близкая к центральной;
б) – плоскость x = 3,0м наиболее удалённая от центральной;

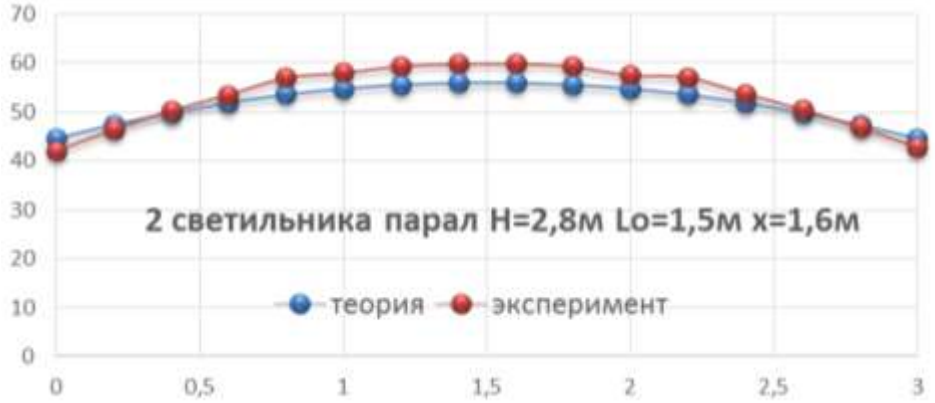
Обработка результатов измерений освещённости, создаваемой опытным образцом светильника в поперечном направлении, показала, что стандартное (среднеквадратичное) отклонение измеренных значений освещенности от расчётных с надёжностью 95% не превышает паспортную погрешность люксметра в 8%.

4.2.2 Результаты для двух светильников

Результаты эксперимента и компьютерного расчёта для двух светильников на рис. 4.5

а)

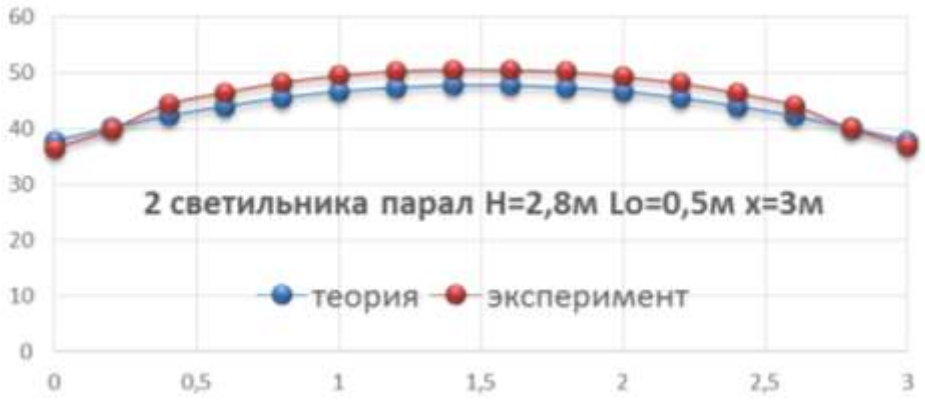
б)



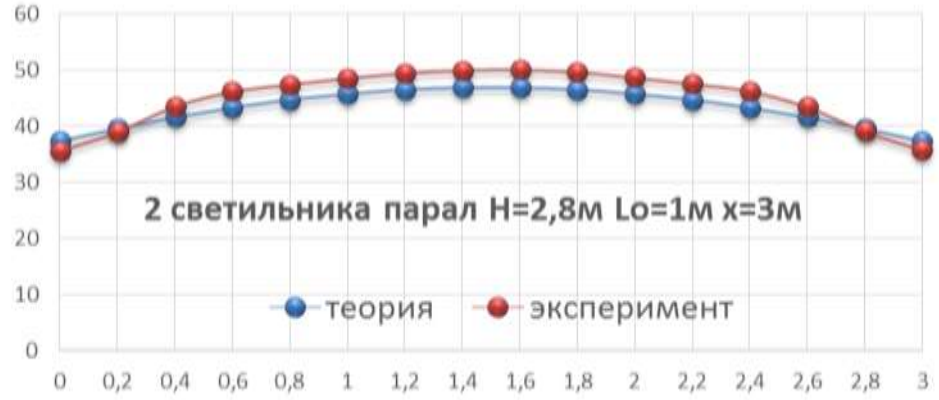
в)

Рисунок 4.5 – Результаты лабораторных измерений освещённости(•) в поперечной плоскости двух параллельных светильников в сравнении с компьютерным расчётом (•). Высота светильника над датчиком люксметра H=2,80м. Плоскость x=1,6м близкая к центральной. Освещённость E(y) в лк для различных расстояний L_0 между светильниками.

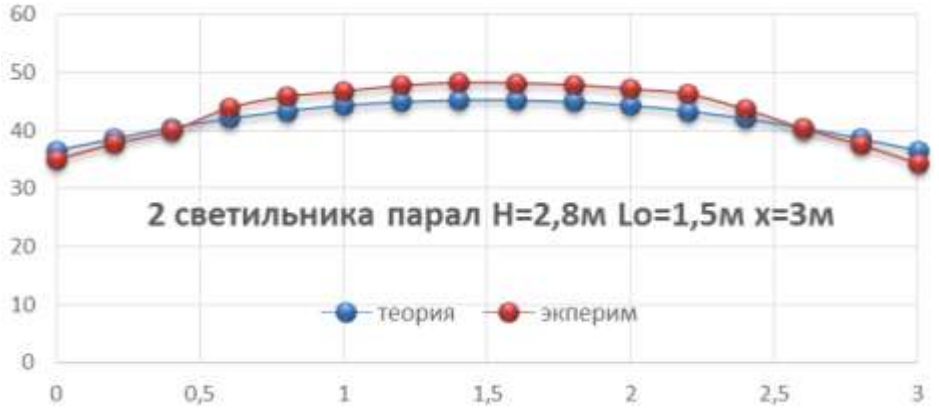
а) – $L_0 = 0{,}5м$; б) – $L_0 = 1м$; в) – $L_0 = 1{,}5м$



а)



б)



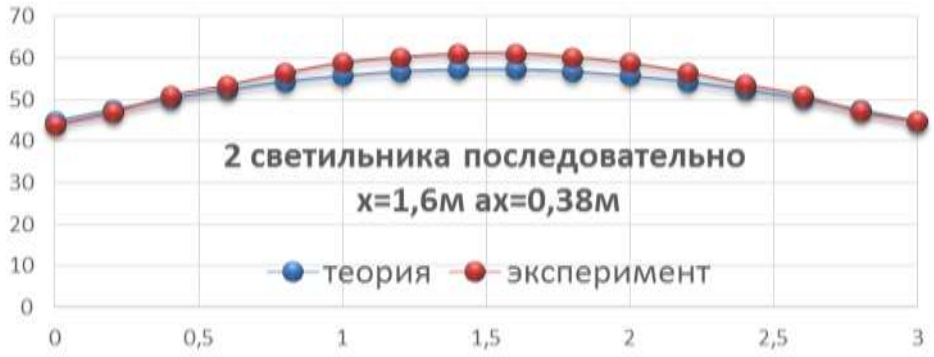
в)

Рисунок 4.6 – Результаты лабораторных измерений освещённости(•) в поперечной плоскости двух параллельных светильников в сравнении с компьютерным расчётом (•). Высота светильника над датчиком люксметра H=2,80м. Плоскость x=3м наиболее удалённая от центральной. Освещённость E(y) в лк для различных расстояний L_0 между светильниками.

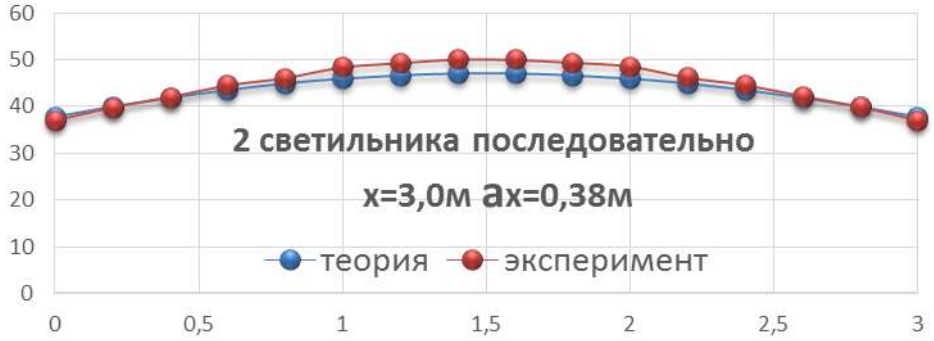
а) – $L_0 = 0{,}5м$ б) – $L_0 = 1м$ в) – $L_0 = 1{,}5м$

Результаты экспериментальных измерений и результаты компьютерных расчётов освещённости (Приложение В: таблицы В3– В8), создаваемой двумя опытными образцами получены для параллельного расположения светильников также как в п.4.2.1 на рабочей плоскости размерами 3м х 3м.

Сравнительный анализ освещённости экспериментальных измерений и компьютерного расчёта проведён для поперечных плоскостей *x =3,0м* и *x=1,6м* (рисунки 4.5 и 4.6).



а)



б)

Рисунок 4.7 – Результаты лабораторных измерений освещённости(•) в поперечной плоскости двух последовательных светильников в сравнении с компьютерным расчётом (•). Высота светильника над датчиком люксметра H=2,80м. Освещённость E(y), лк для расстояния a_x= 0,38м между светильниками. а) – плоскость x=1,6м близкая к центральной; б) – плоскость x=3м наиболее удалённая от центральной.

Результаты экспериментальных измерений и результаты компьютерных расчётов освещённости (Приложение В: таблицы В9, В10), создаваемой

двумя последовательно расположенными светильниками также как в предыдущих пунктах получены на рабочей плоскости размерами *3м* х *3м*.

Для сравнительного анализа освещённости экспериментальных измерений и компьютерного расчёта рассмотрены также поперечные плоскости $x = 3{,}0м$ и $x = 1{,}6м$ (рисунок 4.7) при расстоянии между светильниками $a_x = 0{,}38м$.

Обработка результатов измерений освещённости в поперечном направлении (как при параллельном, так и при последовательном расположении двух светильников) показала, что стандартное (среднеквадратичное) отклонение измеренных значений освещенности от расчётных с надёжностью 95% не превышает паспортную погрешность люксметра в 8%, что подтверждают применимость предложенной математической модели и её программной реализации [48, 66].

4.2.3 Высота подвеса двух светильников при освещённости в 100лк

При напольном содержании кур на птицефабрике «Удмуртская» города Глазова Удмуртской Республики нормированная освещённость составляет 100лк (Тех.задание, приложение А). Из предыдущих пунктов данной главы следует, что экспериментальные и расчётные значения средней освещённости $E_{ср}$, создаваемой при помощи двух светильников, расположенных на высоте Н=2,80м не превышает 60лк (при параллельном или последовательном расположении). Высоту Н, при которой $E_{ср}$ будет близка к 100лк, определим из расчётной зависимости $E_{ср}(H)$ для х =1,6м при параллельном ($L_0 = 1м$) и последовательном($a_x = 0{,}38м$) расположении двух опытных образцов светильников (рис. 4.10)

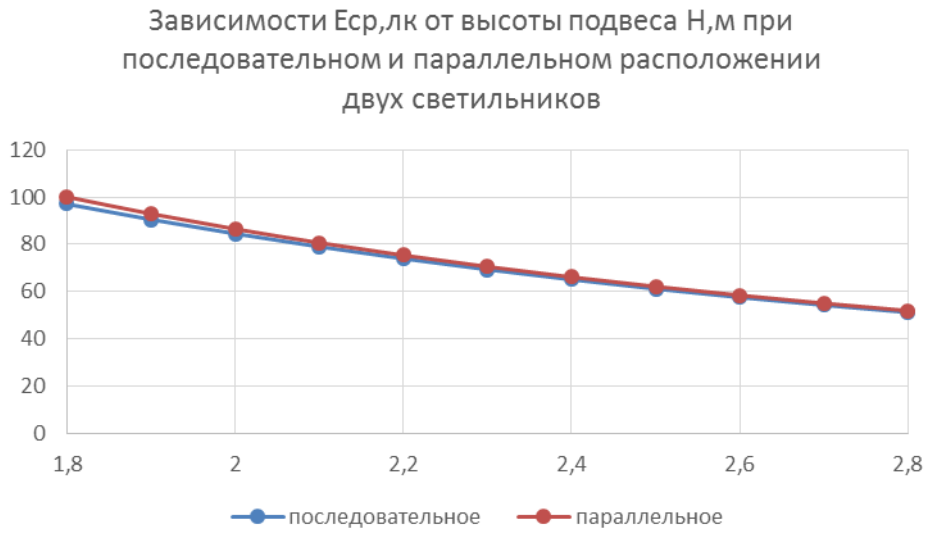


Рисунок 4.10 – Средняя освещённость в 100лк на площади 3м х 3м создаётся при параллельном или последовательном расположении двух опытных образцов светильников при высоте подвеса Н=1,8м двух опытных образцов светильников при высоте подвеса Н=1,8м.

Таким образом, на площади 3м х 3м среднюю освещённость в 100лк можно создать при помощи двух опытных образцов светильников при высоте подвеса Н=1,8м.

4.3 Методика исследования и результаты производственных испытаний светодиодных светильников.

Свет оказывает значительное воздействие на организм птицы: газообмен, деятельность органов кроветворения, биохимический состав крови, работу эндокринных желез, в том числе и половых. Он может стимулировать или, наоборот, тормозить развитие половых желёз и их деятельность. Наибольшее влияние оказывает продолжительность светового дня. Поэтому широко используют дополнительное освещение для стимулирования продуктивности птицы [18, 27, 30, 32, 34]. Важные параметры освещения, влияющие на жизнедеятельность кур - это освещенность, неравномерность освещения, спектр излучения осветителей, длительность светового дня и её изменение. Однако, типовое оборудование, применяемое в птицеводстве, не полностью обеспечивает необходимые технологические параметры освещения, что пре-

пятствует более полному использованию заложенных природой возможностей организма птицы.

В настоящее время произведен ряд исследований по изучению эффективности различных источников освещения при производстве яиц и мяса птицы, которые значительно снижают потребление электроэнергии и вредное воздействие на окружающую среду, имеют большой срок службы и низкую стоимость [33,35,39,45, 51, 53, 70, 74, 79].

Производственные испытания предлагаемых светодиодных светильников проведены на экспериментальной площадке ООО птицефабрика «Удмуртская» г. Глазова в период с сентября по декабрь 2015 г.

В ходе производственных испытаний разработанных светодиодных светильников установлено снижение потребляемой электроэнергии, выявлено влияние испытуемых светильников на продуктивность птицы.

На экспериментальной площадке, представляющую из себя два помещения размерами 9 кв.м. было размещено 2 группы курочек в возрасте 175 суток методом пар-аналогов, в количестве 20 шт. в каждой группе. После формирования групп птицу содержали напольно на глубокой подстилке. Для освещения в контрольной группе использовали один люминесцентный светильник типа ЛСП 2х36, в опытной – разработанные светодиодные светильники мощностью 10 Вт в количестве 2 шт. Светильники размещались на высоте 2 м, в контрольной группе один, в опытной – два светильника параллельно друг другу на расстоянии 1 м. В цилиндрическом корпусе (из прозрачного акрилового стекла) светодиодного светильника под углами 15 градусов по отношению друг к другу располагаются линейки светодиодов (рис.3.3 и 3.4). Используемые светодиоды фирмы FORYARD марки FYL – 3014WWC/S (паспортные данные: цветовая температура 2700-3500 К, цвет тепло-белый, осевая сила света светодиода $I_0 = 15$ *кд*, угол излучения $\alpha = 30^o$).

В обеих группах средняя освещённость на уровне кормушек была одинаковой и составила 90 люкс (измерения проведены люксметром «Аргус-07») с обеспечением эффекта «рассвет-закат».

За время эксперимента (приложение А) фиксировались зоотехнические показатели (сохранность кур, выход инкубационных яиц, масса яйца и другие морфологические показатели, расход корма) и энергетические показатели (потребляемая электроэнергия). При этом условия содержания и кормления были одинаковыми для обеих групп и соответствовали рекомендуемым нормам [64].

Графические результаты опытов представлены на рис. 4.13-4.15.

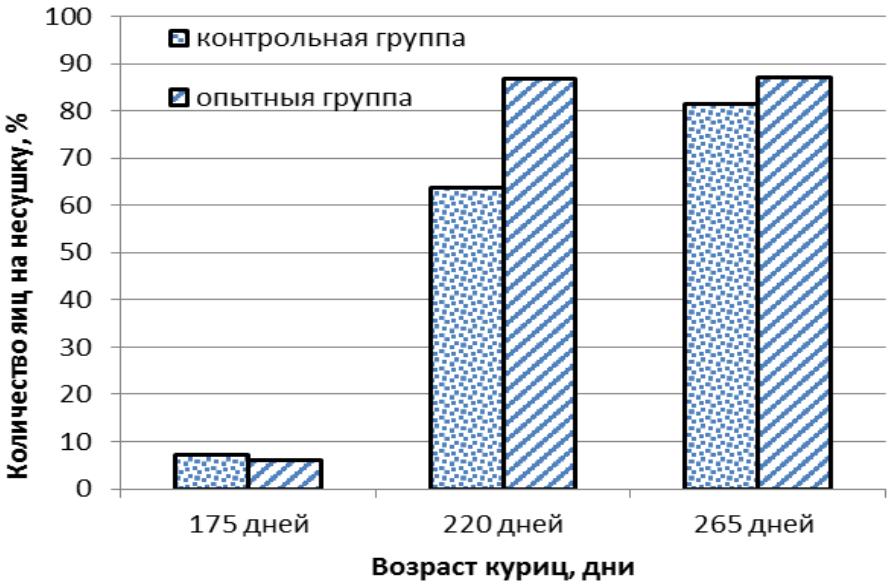


Рисунок 4.13 – Динамика яйцекладки на начальную несушку по возрастам при освещении люминисцентными лампами (контрольная группа) и при освещении разработанными светодиодными светильниками (опытная группа – обозначена наклонной штриховкой)

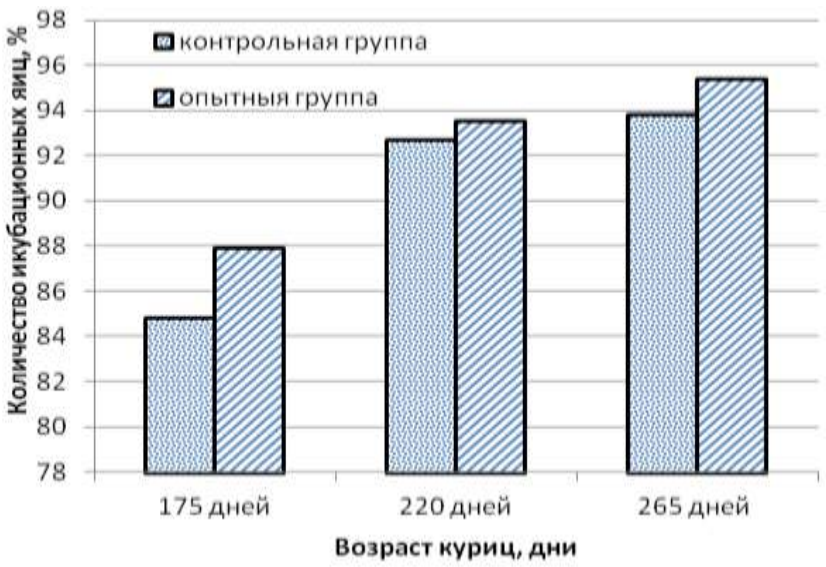


Рисунок 4.14 – Динамика выхода инкубационных яиц по возрастам при освещении люминисцентными лампами (контрольная группа) и при освещении разработанными светодиодными светильниками (опытная группа – обозначена наклонной штриховкой)

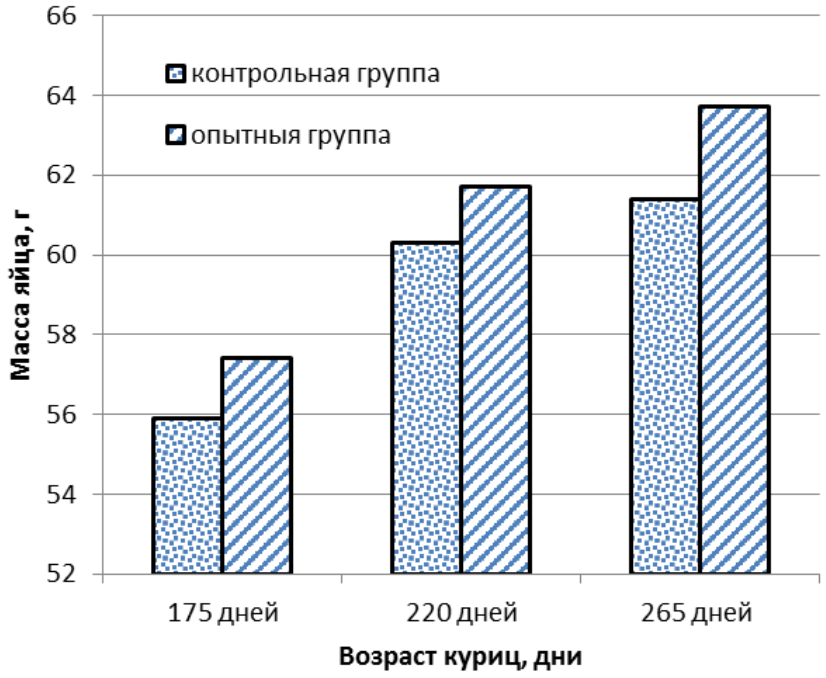


Рисунок 4.15 – Динамика массы яйца по возрастам при освещении люминисцентными лампами (контрольная группа) и при освещении разработанными светодиодными светильниками (опытная группа– обозначена наклонной штриховкой)

Потребление электроэнергии существующей системой освещения на люминесцентных лампах за период эксперимента составило 92,7 кВтч. Затраты на электроэнергию составили 369,6 руб., при стоимости электроэнергии 4 руб. за кВтч. Потребление электроэнергии за период экспери-

мента предлагаемой светодиодной системы - 25,8 кВтч, затраты составили 103,2 руб., что в 3,6 раза меньше по сравнению с контрольной группой.

Результаты производственных экспериментов наглядно показывают эффективность использования разработанной системы освещения по сравнению с существующей люминесцентной системой.

4.4 Основные результаты и выводы по главе 4.

1. Метод компьютерного исследования освещённости и оценка оптимальных значений основных параметров реализован для реального птичника.
2. Проведены компьютерные исследования светодиодного освещения двух, отличающихся по размерам, птичников птицефабрики «Удмуртская» города Глазова Удмуртской Республики.
3. Компьютерные исследования показывают, что для первого птичника (66м х12м) вместо трёх можно использовать *две* линии светильников, а для второго птичника (78м х 18м) вместо четырёх можно использовать *три* линии светильников. При этом светодиоды распределены по *66* светильникам вместо используемых *72* в первом птичнике и по *117* светильникам вместо используемых *160* во втором птичнике.
4. Применение светодиодов с углом раскрытия светового потока $\alpha = 20^o$ для первого и второго птичников повышает эффективность энергопотребления соответственно на 29,7% и 40,8% при повышенном коэффициенте неравномерности освещения $Z < 1,1$.
5. При $\alpha = 30^o$ эффективность энергопотребления двух птичников возрастает соответственно в 2,6 и 3,3 раза при незначительном превышении Z величины 1,1.
6. Оценки оптимальных значений расстояния между линиями светильников для двух птичников, отличающихся шириной в 1,5 раза, практически не отличаются от значения L_0 = 8м, полученного при физическом моделировании.

7. Для птичника размерами 66м х 12м расчётами освещённости в поперечном направлении получены оценки оптимальных значений: числа светодиодов, распределённых по 66 светильникам вместо используемых 72, коэффициента неравномерности освещения величиной 1,081 для расстояния между линиями в 8,11м. При этом три линии заменяются двумя линиями светильников, а оценке оптимального числа светодиодов (при стандартном угле раскрытия светового потока светодиода $\alpha = 20^o$) соответствует энергопотребление 1081,1Вт, что на 27,9% меньше чем при использовании светильников производства ООО «Резерв». При стандартном угле раскрытия светового потока светодиода $\alpha = 30^o$ эффективность энергопотребления для данного птичника возрастает в 2,6 раза. При этом расчётный коэффициент неравномерности освещения Z= 1,130 ниже реального 1.146, что соответствует повышению качества освещения.

Для птичника размерами 78мх18м также получены оценки оптимальных значений: числа светодиодов, распределённых по 117 светильникам вместо используемых 160, коэффициента неравномерности освещения величиной 1,047 для расстояния между линиями в 7,83м. При этом четыре линии заменяются тремя линиями светильников, а значению оптимального числа светодиодов (при $\alpha = 20^o$) соответствует энергопотребление 1818 Вт, что на 40,8% меньше чем при использовании светильников производства ООО «Гелан». При стандартном угле раскрытия светового потока светодиода $\alpha = 30^o$ эффективность энергопотребления для данного птичника возрастает в 3,3 раза. При этом расчётный коэффициент неравномерности освещения Z= 1,108 незначительно выше (на 0,7%) требования Z< 1,10, что соответствует повышению качества освещения реального птичника.

8. Изготовлены два опытных образца светодиодного светильника и проведены исследования освещённости горизонтальной поверхности. Обработка результатов измерений освещённости в поперечном направлении показала, что стандартное (среднеквадратичное) отклонение измеренных значений освещенности от расчётных с надёжностью 95% не превышает паспортную по-

грешность люксметра в 8%, что подтверждают применимость предложенной математической модели и её программной реализации.

9. Результаты производственных испытаний показали эффективность разработанных светодиодных светильников. За весь период содержания сохранность кур в опытной группе составила 95 %, процент яйцекладки на начальную несушку на конец эксперимента в опытной группе составил 87,1 %, что выше по сравнению с контрольной на 5,6 %, выход инкубационных яиц с возрастом птицы увеличивался в обеих группах. В контрольной группе этот показатель составил 93,8 %, а в опытной – 95,4 %, что выше на 1,6 %. Морфологические показатели яйца в опытной группе имели более высокие значения, чем в контрольной. Расход корма на 10 яиц в опытной группе меньше на 7.1%, чем в контрольной при снижении затрат на электроэнергию в 3,6 раза.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ОСВЕЩЕНИЯ С ЛИНЕЙНЫМИ СВЕТОДИОДНЫМИ СВЕТИЛЬНИКАМИ

5.1 Оценка энергетической эффективности

1. Системы освещения работают в одинаковых стандартных птичниках размерами 66мх12м и 78мх18м (высота подвеса равна 3,5м) для родительского стада кур кросса «ROSS - 308»;

2. Содержание птицы напольное;

3. Режим освещения в обоих случаях – одинаковый, согласно рекомендациям [64].

Таблица 5.1 - Определение годовой экономии электроэнергии

Параметр	Птичник с люминесцентными лампами	Птичник со светодиодными светильниками LED – 19.2	Птичник со светодиодными светильниками GL036-D016.0N	Проект с предлагаемыми светодиодными светильниками
Количество светильников	72	72	160	66*
Мощность одной лампы, Вт	36*2=72	19,2	16	16,4
Суммарная мощность системы освещения, кВт	5,18	1,38	2,56	1,08
Удельная суммарная мощность системы освещения, Вт/м^2	6,54	1,74	1,82	1,36
Время работы светильников в год, часов	5100	5100	5100	5100
Цена 1 кВтч, руб.**	4.0			
Удельная стоимость потребленной электроэнергии в год, руб/м^2	133,42	35,50	52,22	27,74

* Количество и мощность светодиодных линейных светильников рассчитаны в главе 4.

** На основании постановления Региональной энергетической комиссии Удмуртской Республики о тарифах на 2015 год от 25.11.2015г. № 15/2.

5.2 Определение эффективности внедрения светодиодных линейных светильников в птичнике с содержанием кур родительского стада кросса ROSS – 308

Проведем комплексную оценку экономической эффективности применения светодиодных линейных для птичника при помощи разработанных светодиодных светильников мощностью одной лампы 16,4 Вт в сравнении с классическим способом освещения светильниками с люминесцентными лампами типа ЛСП 2х36. С учетом экономической неравноценности затрат и результатов, осуществляемых и получаемых в разные моменты времени, по методике [6, 7, 8] для следующих исходных условий: 1) падеж и потребление корма в обоих случаях одинаковое; 2) Количество кур во взрослое стадо одинаковое.

Согласно, рекомендациям [7, 8] при оценке инвестиционных проектов приведение разновременных значений денежного потока к ценности на начальный период $t_0 = 0$ осуществляется путем дисконтирования (приведения). Под дисконтированием понимают способ нахождения суммы на некоторый момент времени t при условии, что в будущем при начислении на нее процентов, она могла бы составить наращенную сумму. Величину, найденную дисконтированием наращенной величины, называют приведенной величиной. С помощью дисконтирования в финансовых вычислениях учитывается фактор времени, который связан с инфляционными процессами, уровнями банковских ставок по кредитам, стоимости ценных бумаг.

Для приведения разновременных затрат, результатов и эффектов используется норма дисконта E, равная норме дохода на капитал и выраженная в долях единицы или процентах в год.

Технически приведение денежного потока к базисному (обычно начальному) моменту времени осуществляется путем умножения его на коэффициент дисконтирования a_t, определяемого для постоянной нормы дисконта E.

В рыночной экономике при использовании собственного капитала нормы дисконта определяются исходя из депозитного процента по вкладам, а на практике она выше этого процента за счет инфляции и риска, связанного с инвестициями. В случае, когда весь капитал заемный, норма дисконта представляет собой соответствующую процентную ставку, определяемую условиями процентных выплат и погашений по займам. Для оценки эффективности инвестиционного проекта рекомендованы следующие показатели [7, 8]: 1)чистый дисконтированный доход (интегральный эффект – ЧДД); 2) индекс доходности (ИД); 3) срок окупаемости инвестиций; 4)прочие показатели, отражающие интересы участников или специфику проекта.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) – один из важнейших показателей и критериев эффективности, который в ряде случаев выступает как самостоятельная и единственная характеристика. При оценке проектов необходимо приведение (дисконтирование) указанных показателей в стоимости момента сравнения, так как денежные поступления и затраты в различные временные периоды неравнозначны, а именно доход, полученный в более ранний период, имеет большую стоимость, чем та же величина дохода, полученного в более поздний период. Так же как затраты, произведенные в более ранний период, имеют большую стоимость, чем те же затраты, произведенные в более поздний период.

Рассчитаем затраты, произведенные при реализации проекта. Капиталовложения определяются из суммы стоимости материалов и оборудования, применяемых в данной установке [7, 8, 50]

$$K = C_п + C_{об} + C_м \tag{5.1}$$

где $C_п$ – стоимость проектирования, руб.; $C_{об}$ – стоимость оборудования, руб.; $C_м$ – стоимость монтажа оборудования, руб.

Таблица 5.2 Результаты расчёта эффекта от замены люминесцентных светильников на предлагаемые светодиодные светильники

	Показатель	Значение	Ед.изм.	Метод расчета/обоснование
Тэ	Тариф на электроэнергию, с НДС	4	руб.	По расчетам
Рп	Установленная мощность системы освещения до модернизации	5,18	кВт	
Рм	Установленная мощность системы после модернизации	1,08	кВт	Глава 4
$T_{год.}$	Время работы осветительной установки за год	5100	час	Средневзвешенное значение (14 часов в сутки)
Wп	Потребление электроэнергии системой освещения за год до модернизации освещения	26418	кВт*ч	Рп *$T_{год.}$
Wм	Потребление электроэнергии системой освещения за год после модернизации освещения	5508	кВт*ч	Рм *$T_{год}$
Затраты на модернизацию системы освещения (IC) в т.ч.:		89715	руб.	____
- стоимость светильников		39600	руб.	66 светильников
- затраты на предпроектное обследование и разработку технического задания		2000	руб.	
- общие затраты на монтажные работы		48115	руб.	Приложение д
ИТОГОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ				
ΔW	Высвобожденная электроэнергия	20910	кВт*ч	$W_п$ - $W_м$
	Срок окупаемости	2	года	____

Эксплуатационные затраты для системы освещения с предлагаемыми светодиодными светильниками определяют по выражению

$$З_{экс} = З_{зп} + З_{то} + З_{ээ} + З_{оп} + З_{ох}, \qquad (5.2)$$

где $З_{зп}$ – оплата труда с отчислениями на социальные нужды, руб.;

$З_{то}$ – затраты на техобслуживание и текущий ремонт, руб.;

$З_{ээ}$ – затраты на электроэнергию, руб.;

$З_{оп}$ – общие производственные затраты, руб.;

$З_{ох}$ – общехозяйственные затраты, руб.;

Затраты на заработную плату вычисляют по выражению:

$$З_{зп} = ЗТ \cdot t_{ст} \cdot К_{ут} \cdot К_{доп} \cdot К_{у} \cdot К_{есн}, \quad (5.3)$$

где $ЗТ$ – затраты труда, чел·час, $ЗТ$ = 66 чел·час.; (1чел·час на один светильник)

$t_{ст}$ – тарифная ставка, $t_{ст}$ = 14 руб./чел·час. ;

$К_{ут}$ – коэффициент условий труда, $К_{ут}$ = 1,25;

$К_{доп}$ – коэффициент доплаты, $К_{доп}$ = 1,4;

$К_{у}$ – уральский коэффициент, $К_{у}$ = 1,15;

$К_{есн}$ = 1,26. – коэффициент, учитывающий единый социальный налог.

$$З_{т} = 66 \cdot 14{,}19 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}15 \cdot 1{,}26 = 2374{,}83 руб.$$

Общепроизводственные затраты составляют 20% от заработной платы

$$З_{оп} = 0,2 \cdot З_{зп}, \quad (5.4)$$

$$З_{от} = 0{,}2 \cdot 2374{,}83 = 474{,}97 руб$$

Общехозяйственные затраты составляют 13% от заработной платы

$$З_{ох} = 0{,}13 \cdot З_{зп} \quad (5.5)$$

$$З_{ох} = 0{,}13 \cdot 2374{,}83 = 308{,}73 руб$$

Отчисления на текущий ремонт определяются как

$$З_{то} = m \cdot К, \quad (5.6)$$

где m- норма отчислений на текущий ремонт, m = 0,07 [52].

$$З_{то} = 0{,}07 \cdot 89715 = 6280{,}0 \quad руб$$

Затраты на электроэнергию определяют по выражению

$$З_{ээ} = \beta \cdot P \cdot t_{сут} \cdot n_{сут}, \quad (4.7)$$

где β – стоимость кВт·ч электроэнергии, β = 4 руб/кВт·ч;

P – мощность светодиодных светильников, Р = 1,08 кВт;

$t_{сут}$ – время работы установки в сутки, $t_{сут}$ = 14 час/сут.

$$З_{ээ} = 4 \cdot 1{,}08 \cdot 14 \cdot 365 = 22032\,руб$$

Годовые издержки на эксплуатацию составят:

$$З_{экс} = 2374{,}83 + 474{,}97 + 308{,}73 + 6280{,}05 + 22032 = 31470{,}58\,руб/год$$

Годовые затраты на реализацию мероприятий определяют по выражению

$$З_t = \left(K_p + E_н\right) \cdot K + З_{экс}, \quad (5.8)$$

где K_p – норма реновации основных фондов с учетом фактора времени;

K – капиталовложения, руб.;

$E_н$ = 0,15 – нормативный коэффициент экономической эффективности.

Коэффициент реновации определяется по формуле:

$$K_p = \frac{E_н}{(1+E_н)^{t_{сс}} - 1}, \quad (5.9)$$

где $t_{сс}$ – срок службы средств и орудий труда долговременного применения, лет; $t_{сс}$=10 лет;

$E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложения; $E_н$=15%;

$$K_p = \frac{0{,}15}{(1+0{,}15)^{10} - 1} \approx 0{,}049.$$

Годовые затраты на реализацию мероприятий составляют:

$$З_t = (0{,}49 + 0{,}15) \cdot 89715 + 31470{,}58 = 88900\,руб$$

Приведенные затраты к базисному моменту, имеющие место в первом году реализации проекта, рассчитываются путем их умножения на коэффициент дисконтирования (приведения), определяемый для постоянной нормы дисконта

$$\alpha_t = \frac{1}{\left(1+E\right)^t}, \qquad (5.10)$$

где t – расчетные годы (0, 1, 2…T);

T – горизонт расчета (рекомендуется принимать равным амортизационному сроку службы); Т=10 лет

E – норма дисконта, при котором инвесторы согласны вложить свои средства в создание проектов аналогичного профиля. Е=15 %;

Инфляция в Российской Федерации за 2015 год составила 16,2% [103]

Коэффициент дисконтирования (срок службы) t = 10 лет тогда:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+0{,}15)^{10}} = 0{,}247\,.$$

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) характеризует превышение суммарных денежных поступлений над суммарными затратами для данного проекта с учетом неравномерности эффектов (затрат, результатов), относящихся к различным моментам времени.

Чистый дисконтированный доход ($Э_m$) определяется как сумма текущих эффектов за весь расчетный период, приведенный к начальному шагу, или как превышение интегральных результатов над интегральными затратами по формуле [7, 8]

$$ЧДД = Э_m = \sum_{t=0}^{T} \frac{P_t - З_t^{'}}{(1+E)^t} - K = \sum_{t=0}^{T} \left(P_t - З_t^{'} \right) \cdot \alpha_t - K, \qquad (5.11)$$

где P_t - результаты достигаемые на t-м шаге расчета;

$З_t'$ – затраты, осуществляемые на том же шаге расчета, без учета капиталовложений;

T – горизонт расчета.

Для признания проекта эффективным, с точки зрения инвестора, необходимо, чтобы чистый дисконтированный доход проекта был положительным. При проведении сравнительной оценки предпочтение следует отдать проекту с большим значением ЧДД. Очевидно, что при ЧДД > 0 проект следует принять, при ЧДД < 0 отвергнуть, а при ЧДД = 0 проект не прибылен, но и не убыточен.

Необходимо отметить, что ЧДД отражает прогнозную оценку изменения экономического потенциала предприятия в случае принятия рассматриваемого проекта. Этот показатель аддитивен во временном аспекте. Это очень важное свойство, выделяющее данный критерий из всех остальных и позволяющее использовать его в качестве основного при анализе оптимальности инвестиционного проекта. ЧДД – динамический показатель и его функциональная характеристика во времени – нелинейная.

Результаты расчета ЧДД отражены в табл. 5.

Таблица 5.3 – Сводная таблица расчета ЧДД

Горизонт расчета	Коэффициент дисконтирования, a_t	Прибыль, руб	Прибыль по годам	Денежные потоки	ЧДД, руб
0	1,000	0	0	0	-89 620
1	0,870	44 975,00	39 108,70	39 108,70	-50 511,30
2	0,756	44 975,00	34 007,56	73 116,26	-16 503,74
3	0,658	44 975,00	29 571,79	102 688,05	13 068,05
4	0,572	44 975,00	25 714,60	128 402,65	38 782,65

5	0,497	44 975,00	22 360,52	150 763,18	61 143,18
6	0,432	44 975,00	19 443,93	170 207,11	80 587,11
7	0,376	44 975,00	16 907,77	187 114,88	97 494,88
8	0,327	44 975,00	14 702,41	201 817,28	112 197,28
9	0,284	44 975,00	12 784,70	214 601,99	124 981,99
10	0,247	44 975,00	11 117,13	225 719,12	136 099,12

Из таблицы видно, что ЧДД достигает положительного значения на третий год эксплуатации. Таким образом, проект внедрения светодиодных линейных светильников для освещения является прибыльным.

Другим важным показателем эффективности является *индекс доходности*. Индекс доходности представляет отношение суммы приведенных эффектов к величине капитальных вложений. Показатель индекс доходности тесно связан с ЧДД. Он строится из тех же элементов.

Индекс доходности проекта определим, как отношение суммы приведенного эффекта к величине инвестиций *К*

$$ИД = \sum_{t=0}^{T} \frac{P_t - З_t}{(1+E)^t} \cdot \frac{1}{K}. \qquad (5.12)$$

Индекс доходности тесно связан с ЧДД. Если ЧДД положителен, то ИД > 1, если ИД > 1, то инвестиционный проект эффективен.

Индекс доходности на 10 году эксплуатации равен:

$$ИД = \frac{136099}{89715} = 1{,}52 \qquad (5.13)$$

что указывает на эффективность проекта.

Срок окупаемости инвестиций $T_{ок}$ — это минимальный временной период от начала осуществления проекта, за пределами которого интегральный экономический эффект становится и остается в дальнейшем неотрицатель-

ным, т.е. период окупаемости – это время от начала реализации инвестиционного проекта до момента, когда первоначальные инвестиционные вложения и другие затраты, обусловленные с реализацией проекта, покрываются суммарными результатами от его осуществления. Срок окупаемости рассчитывается по выражению [7, 8]

$$T_{ок} = \frac{K}{P_c}. \qquad (5.14)$$

Срок окупаемости проекта составляет

$$T_{ок} = \frac{89715}{44975} = 2 года$$

Рентабельность проекта является показателем эффективности производства.

Среднегодовая рентабельность проекта определяется по формуле

$$P = \frac{ИД}{n} \cdot 100\% \qquad (5.15)$$

где n – срок службы оборудования.

$$P = \frac{1{,}52}{10} \cdot 100\% = 15{,}2\%.$$

5.3 Выводы по главе

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Применение светодиодных линейных светильников для освещения родительского стада кур в птичнике 66 м х 12 м является выгодным: Экономические показатели составили следующие значения:

Необходимые первоначальные капитальные вложения 89715 руб.

Чистый дисконтированный доход, при ставке дисконта 15%, за 10 лет эксплуатации составил 136 100 руб.

Среднегодовая рентабельность проекта составила 15,2 %.

Срок окупаемости первоначальных вложений составил 2 года.

2. Полезный эффект от внедрения разработанных светодиодных линейных светильников в птичнике:

От экономии электроэнергии: 83,7 тыс. руб. в год.

Повышение продуктивности кур родительского стада на 1,6%.

3. Учитывая то, что цена на продукты питания систематически растет от года к году, а цена светодиодной продукции имеет тенденцию к понижению, эффективность применения разработанных светодиодных линейных светильников в птичнике с содержанием кур окажется более высокой с течением времени.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Анализ современных систем освещения птичников позволил обосновать актуальность исследований и возможность повышения эффективности светодиодного освещения для напольного содержания птиц.

2. Разработанная математическая модель освещённости птичника позволяет методом оптимизации оценить энергопотребление и обосновать конструкционные параметры системы равномерного освещения птичника;

3. На основе математической модели разработана методика компьютерных исследований освещённости птичника как инструмент для повышения энергоэффективности птичников. При помощи компьютерной программы получены конструктивные параметры светильника, содержащего 7 линеек с количеством светодиодов ($\alpha=20^0$, I_0=20кд) N_i=273шт для птичника 66м$\times$12м и с количеством светодиодов ($\alpha=20^0$, I_0=20кд) N_i=259шт для птичника 78м$\times$18м. Светильники обеспечивают нормируемую освещенность при оптимальном энергопотреблении птичников соответственно 1,081кВт (экономичнее на 28%) и 1,818кВт (экономичнее на 41%). Получены рекомендации по повышению эффективности светодиодного освещения для птичников птицефабрики «Удмуртская» г. Глазова УР.

4. Изготовлены два опытных образца светодиодных светильников и проведены исследования освещённости горизонтальной поверхности. Сравнение экспериментальных и расчётных результатов подтверждают применимость предложенной математической модели и её программной реализации.

Результаты испытаний, проведённых на птицефабрике «Удмуртская» г. Глазова, показывают, что использование разработанных светодиодных светильников при напольном содержании кур родительского стада кур кросса ROSS – 308 позволило повысить: сохранность кур на 5%, процент яйцекладки на начальную несушку - на 5,6 %, выход инкубационных яиц - на 1,6 %; увели-

чить: массу яйца на 3,7 %, оплодотворенность яиц на 4,9 %; снизить: затраты кормов на 10 яиц на 7,1 %, электроэнергии в 3,6 раза.

5. Экономия потребления электроэнергии по сравнению с существующей люминесцентной системой при работе 5100 часов в год составляет 20910 кВтч или 83,64 тыс. руб. для птичника размерами 66м х12м. Срок окупаемости системы освещения составил 2 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг, Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. 3-е изд. - М.: Знак, 2006. - 972 с.
2. Айзенберг, Ю.Б. Основы конструирования световых приборов: Учебное пособие для вузов / Ю.Б. Айзенберг. - М.: Энергоатомиздат, 1996. - 704 с.
3. Баранов, Л.А., Захаров, В.А. Светотехника и электротехнология.-М.: КолосС, 2006.-344 с.
4. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. − М.: Радио и связь, 1988.− 80с.
5. Буяров, В.С. Ресурсосберегающие технологии в птицеводстве Орловской области. Техника и оборудование для села. 2009. Т. 150. № 12. С. 17-18.
6. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В Веденяпин – 2 ое изд. доп., М.: Колос, 1967. – 159 с.
7. Водяников, В.Т. Организационно – экономические основы сельской электроэнергетики. Учебное пособие для вузов по агроинженерным специальностям / В.Т. Водяников – М., – 2002.- 312с.
8. Водяников, В.Т. Экономическая оценка энергетики АПК. Учебное пособие для студентов учебных заведений / В.Т. Водяников – М.: ИКФ «ЭКМОС», 2002. – 304с.
9. Галлямова Т. Р. Перспективы применения светодиодов в практике животноводства / Т. Р. Галлямова, Т. А. Широбокова, И. И. Иксанов // Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА / ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск, 2013. – Т. 2. – С. 86-89.

10. Галлямова Т. Р. О равномерности освещения горизонтальной поверхности светодиодными светильниками / Галлямова Т. Р. // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве : труды 9-й Международной научно- технической конференции (21–22 мая 2014, Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5 – ти частях. Часть 3. Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетик. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2014. – С. 206–211.
11. Галлямова Т.Р. Влияние различных источников света на продуктивноость кур / Т.Р.Галлямова, Т. А. Широбокова, Л.А. Шувалова, С.Я. Пономарева // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 6 URL http://www.science-education.ru/120-15563
12. Галлямова Т.Р. Задачи исследования и конструирования светотехнических характеристик светодиодных светильников / Т.Р. Галлямова, А.А. Сапаев, Н.П. Кочетков // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. «Научное и инновационное обеспечение модернизации агропромышленного комплекса России» : материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, 25-26 октября 2011 г. – Ижевск, 2011. – № 3 (28). – С. 38-40.
13. Галлямова Т.Р. Моделирование оптимального светораспределения идеализированного светильника в продольной плоскости / Т.Р. Галлямова, И.М.Новоселов, Т.А. Широбокова // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 8-й Международной научно-технической конференции . - ГНУ ВИЭСХ : М.: , 2012.. - С. 193-197.
14. Галлямова, Т. Р. Математическое моделирование светодиодных источников освещения для многоярусных клеточных батарей / Т. Р. Галлямова, И. М. Новоселов // Научное обеспечение развития АПК в современных условиях : материалы Всероссийской научно-практической конференции (15-18 февр. 2011 г.) / ФГБОУ ВПО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. - Ижевск, 2011. - Т. 3. - С. 60-63.

15. Галлямова, Т. Р. Определение оптимального светораспределения для обеспечения равномерности освещения птицеводческих помещений / Т. Р. Галлямова, И. М. Новоселов, Т. А. Широбокова // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию - научное обеспечение : материалы Всероссийской научно-практической конференции (Ижевск, 14-17 февр. 2012 г.) / ФГБОУ ВПО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. - Ижевск, 2012. - Т. 3. - С. 271-274.
16. Галлямова Т.Р. Светодиодный осветительный прибор / Т.Р. Галлямова, Н.П. Кочетков, Т.А. Широбокова, И. И. Иксанов // Наука, инновации и образование в современном АПК : материалы Международной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. - С. 146-149.
17. Галлямова Т.Р. Экспериментальные исследования освещённости, создаваемой опытным образцом светодиодного светильника с линейками круглосимметричных светодиодов / Т.Р. Галлямова Т.А.Широбокова, Н.П.Кочетков /Международная научно-практическая конференция «Теория и практика – устойчивому развитию агропромышленного комплекса». / ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА.– Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2015.- С.117-120.
18. Голомако, С. Энергосберегающий режим освещения яичных кур родительского стада / С. Голомако, Н. Квилория // Передовой науч.-произв. опыт в птицеводстве: Экспресс-информ. ВНИИТЭИагропром, Всесоюз. н.-и. и технол. ин-т птицеводства. - 1988. - № 5. С. - 16.
19. Горбатюк, Д.А. Светодиоды в наружном освещении/ Д.А. Горбатюк // Энергосовет – 2011г.- № 2(15).- С.41-42.
20. Гутцайт, Э.М., Кранопольский А.Е., Милютин Д.В. Расчеты светодиодных модулей для местного освещения / Э.М. Гутцайт, А.Е. Кранопольский, Д.В. Милютин // Светотехника, 2007, № 4. – С.52-56.
21. Давыдов В. М., Мальцев А. Б., Спиридонов И. П. Ресурсосберегающие технологии производства птицеводческой продукции. - Омск, 2004.-352 с.

22.Дубовский, К.Н. Выращивание молодняка / К.Н. Дубовский // Передовое птицеводческое объединение. М. - 1975. - С. 36-59.
23.Зюдкамп Х., Бакалец А. Viper - компьютер для птицефабрик Животноводство России. 2008. № 2. С. 74-75.
24.Иксанов И.И. Пути повышения продуктивности и эффективности энергосбережения в животноводческих помещениях / И.И. Иксанов, Т.Р. Галлямова, Т.А. Широбокова, М.А. Лошаков// Вестник ИжГСХА. - 2014. - № 1(38) - С.40-42.
25.Йозеф, М. OSRAM о будущем бизнеса в светотехнической отрасли / М. Йозеф // Светотехника - 2011. - №1. С. 59-61.
26.Кавтарашвилли, А. Ш. Его величество свет – основополагающий фактор в яичном птицеводстве. // Птица и птицепродукты" №5 2007 г. стр. 45-47
27.Кавтарашвили А.Ш., Что нужно учитывать при разработке и использовании прерывистых световых программ в яичном птицеводстве // Птицеводство. - 2001. -№10.
28.Кавтарашвилли, А. Светотехнические системы освещения для птицеводческих помещений. / А. Кавтарашвилли, А. Лямцов, В. Малышев, Я. Чванов // Птицеводство" №6 2011 г. стр. 17-19
29.Кавтарашвили, А.Ш. Рациональный возраст кур современных яичных кроссов при начале световой стимуляции / А.Ш. Кавтарашвили, Е.Н.Новоротов, Т.Н. Колоколникова / Птицеводство. -2014, № 2. - С. 43-46.
30.Кавтарашвили, А. Ш., Прерывистое освещение кур во втором цикле продуктивности / А. Ш. Кавтарашвили, Риджал П. // Передовой науч.-произв. опыт в птицеводстве: Экспресс-информ. Всерос. н.-и. и технол. ин-т птицеводства. -2001. - № 2. - С. 10-12.
31.Кавтарашвилли, А. Какое освещение лучше для яичных кур? / А. Кавтарашвилли, Е. Новоторов, Д. Гладин, Т. Колокольникова // Птицеводство" №6 2011 г. стр. 17-19.

32.Кавтарашвилли, А. Светодиодное освещение при содержании родительского стада / А. Кавтарашвилли, Е. Новоторов, Д. Гладин, Т. Колокольникова // Птицеводство" №5 2012г стр. 15-17.

33. Кавтарашвилли, А. Ш. Живая масса кур промышленного стада при начале световой стимуляции. / А. Кавтарашвилли, Е. Новоротов // Птицеводство" №2 2015 г. стр. 9-13.

34.Кавтарашвилли, А. Ш. Когда начать световую стимуляцию яичных кур промышленного стада. / А. Кавтарашвилли, Е. Новоротов, Т. Колокольникова // Птицеводство" №5 2014 г. стр. 10-14

35.Капаркалейс, А. Е. Выращивание ремонтных молодок / А.Е. Капаркалейс // Птицеводство. - 1977. - №11. - С. 30-31.

36. Кнорринг, Г. М. Осветительные установки / Г.М. Кнорринг - Л.: Энергоиздат, 1981. - 288 с.

37. Кнорринг, Г. М. Справочная книга для проектировщиков электрического освещения / Г.М. Кнорринг, Фадин И.М., Сидоров В.Н. - СПб.: Энергоатомиздат, 1992. - 449 с.

38.Коваленко, О. Ю.Светотехнические установки для повышения продуктивности сельскохозяйственных животных/ Автореф. доктора техн. наук. Саранск. 2009.

39.Кондратьева, Н.П. Электрооблучение растений в защищенном грунте: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Н.П. Кондратьева. - М., 2003. - 38 с.

40.Кондратьева, Н.П. Энергоресурсосберегающая система освещения мясного кросса «Смена 7»/ Кондратьева Н.П., Баранов С.А., Кондратьев Р.Г./ Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 2012. Т. 3. С. 177-179.

41. Королько А.А. Компьютерная система управления птичником HDC-PL. Проспект фирмы "Big Dutchman International GmbH". (ФРГ) Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2003. № 2. С. 544

42.Кочетков Н.П. Определение кривой силы света, обеспечивающей равномерное освещение горизонтальной рабочей поверхности / Н.П. Кочетков,

Т.А. Широбокова, Т.Р. Галлямова // Достижения науки и техники АПК. - 2013.- №8 – С. 64-67.

43. Кочетков Н.П. Оценка эффективности светильников с разными типами кривых сил света / Н.П. Кочетков, Т.А. Широбокова, Т.Р. Галлямова // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2013. - № 06. – С. 67-69.

44. Кочетков Н.П. Оценка эффективности светильников с разными типами кривых сил света / Н.П. Кочетков, Т.А. Широбокова, Т.Р. Галлямова // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2013. - № 06. – С. 67-69.

45. Кочетков, Н.П. Модернизация системы освещения птичника / Н.П. Кочетков, И.М. Новоселов // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – №1. – С. 10-11.

46. Козинский В.А. Электрическое освещение и облучение. − М.: Агропромиздат, 1991. −239с.

47. Мешков, В.В. Основы светотехники /В.В. Мешков.- М.: Энергия, 1979.- 368 с.

48. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – 2 – изд., перераб. и доп. – Л.: Колос, Ленингр. отд – ние, 1980. – 168 с.

49. Мжельсий Б.И., Мжельская Е.Б. Основы теории оптимизации. Учебное пособие.− М.:МЭИ, 2001.−80с.

50. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. – Москва, 1998. – 219 с.

51. Михалёв, А.А. Энергоресурсосберегающая система освещения птицеводческих помещений/ А.А.Михалев, Л.Ю. Юферев //ВИЭСХ 2011 Инновации в сельском хозяйстве Выпуск №1 / 2012 с. 4-9

52. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф.– Л.: Энергоатомиздат, 1999. – 248с.
53. Новоселов, И.М. Обоснование эффективности технологического светодиодного освещения промышленного стада кур – несушек кросса «Хайсекс - Браун» автореф. дис. ... кан. техн. наук / И.М. Новоселов - И., 2011. - 20 с.
54. НОРМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НТП – АПК 1.10.05.001-01 МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, МОСКВА, 2001. РАЗРАБОТАНЫ ФГУП «Научно-исследовательский и проектный институт агропромышленного комплекса»
55. ОТРАСЛЕВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ, НОРМЫ ОСВЕЩЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОСН-АПК 2.10.24.001-04 Дата введения 2004-12-01.
56. Патент № 245376 Российской Федерации. МПК F21V8/00. Светильник для искусственного освещения помещений и/или клеток для содержания птицы и способ искусственного освещения помещений и/или клеток для содержания птицы/ Наумов Д. А., Швецов В. В. , Шишкин В. Д. заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Резерв" Опубликовано: 20.06.2012.
57. Пат. 132859 Российская Федерация, МПК F21L 17/00 Светодиодный осветительный прибор / Широбокова Т.А., Галлямова Т.Р., Кочетков Н.П.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. - № 2013116823/07 ; заявл. 12.04.2013 ; опубл. 27.09.2013. Бюл. № 27. - 2 с.
58. Пат. № 159705 РФ, МПК F21S 13/00. Светодиодный светильник для равномерного освещения рабочей поверхности птичника / Галлямова Т.Р., Широбокова Т.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – № 2014149314/07; заявл. 08.12.2014; опубл. 20.02.2016. Бюл. № 5. 2 с.

59.Применение энергоресурсосберегающей системы освещения и УФ облучения помещений для содержания птицы. МГАУ, 2011. Юферев Л.Ю., Баранов Д.А., Михалёв А.А.

60.Пигарев, Н.В. Влияние светового режима на продуктивность кур / Н.В. Пигарев // Докл. Моск. с.-х. акад. Им. К.А.Тимирязева. Зоотехния. 1972. - Вып. 185. - С. 81-86.

61.Пигарев Н.В. Световой день и продуктивность кур // Птицеводство.1962.- №2 .-С.18-21.

62. Попок, Л.Е. Общая характеристика и историческое развитие отрасли птицеводства в России / Л.Е. Попок // Научный журнал КубГАУ. - 2005. - №3. С. 13-16.

63.Райлян, Г.С. Влияние световых режимов на продуктивность кур яичного типа при различных уровнях кормления / Г.С. Райлян // Интенсификация пром. птицеводства в Молдавии. - Кишинев, 1982. с. - 84-88.

64.Рекомендации по работе с кроссом «РОСС 308» («Хайсекс Коричневый»). - Еврибрид, Представительство в Москве. - М.: Колос. -78 с.

65.Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617923 Программа расчёта оптимального числа светодиодов в системе освещения птичника/ Т.Р. Галлямова, Т.А. Широбокова; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. – № 2013116823/07; заявл. 12.01.2015; опубл. 24.07.2015.

66.Селифанов, М.Н. Качество измерений: Метрологическая справочная книга / М.Н. Селифанов, А.Э. Фридман, Ж.Ф Кудряшова – Л.: Лениздат, 1987. – 295с.

67.Селянский, В. М. Макроклимат в птичнике / В. М. Селянский - М.:Колос, 1975.-304 С.

68.Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г.М. Кнорринга – СПб: Энергоатомиздат. 1992. – 448 с.

69. Степанцов, В.П. Светотехническое оборудование в сельскохозяйственном производстве / В.П. Степанцов – Мн.: Ураджай, 1987. – 216 с.

70. Стоянов, П.А. Повышение эффективности птицеводства путем оптимизации освещения / П. А. Стоянов // Международный с.-х. журнал. - 1980. - №2. С. 89-93.
71. Трембач В.В. Физическое и математическое моделирование световых приборов. М., Энергия,1975. − 144с.
72. Фисинин, В.И. Свежий взгляд на важную проблему. / В.И. Фисинин, А.Ш. Кавтарашвили // Птицеводство" №4 2013 г. стр. 12-14
73. Фисинин, В.И. Революционный этап в освещении птицеводческих помещений / В.И. Фисинин, А.Ш. Каватрашвили, Е.Н. Новоторов, Д.В. Гладин. // РацВетИнформ. - 2011. - №5. - С. 23-25.
74. Шанцин, В. А. Повышение эффективности электрического технологического освещения птичников родительского стада: диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.02 Волгоград, 2004 189 с.
75. Широбокова Т. А. Моделирование светодиодного светильника для освещения птичника при напольном содержании родительского стада / Т. А. Широбокова, Н. П. Кочетков, Т. Р. Галлямова // Аграрный научный журнал. - 2014. - № 9. – С. 52-54.
76. Широбокова Т.А. Светодиодный осветительный прибор для равномерного освещения в продольной и поперечной плоскости / Т.А. Широбокова, И.И. Иксанов, Т.Р. Галлямова / Инновации в сельском хозяйстве. 2015г. № 5(15). С. 74-76.
77. Широбокова Т.А. Оценка эффективности светильников с разными типами кривых сил света / Т.А. Широбокова, Н.П. Кочетков, Т.Р. Галлямова // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. - 2013. - № 06. – С. 67-69.
78. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике. В 8 т. Т. 5. Электричество и магнетизм. − М.: Мир,1977. −300с.
79. Юферев Л.Ю. Энерго-ресурсосберегающие осветительные и облучательные системы и установки сельскохозяйственного назначения на основе

резонанной системы электропитания» дис. ... док. техн. наук / Л.Ю. Юферев - М., 2016. - 430 с.

80. Kochetkov N.P. The lighting device provides uniform lighting horizontal working surface / N.P. Kochetkov, T.A. Shirobokova, T.R. Gallyamova // 4th International Scientific Conference“ Applied Sciences in Europe: tendencies of contemporary development” = Прикладные науки в Европе: тенденции современного развития, November 4-5, Stuttgart, Germany. – Stuttgart, 2013. – P. 40-41.
81. LIGHTING PROGRAMS FOR REPLACEMENT PULLETS ,Ralph A. Ernst, Extension Poultry Specialist, Animal Science Department, University of California, Davis CA, 95616.
82. Follet, B.K., Circadian rhythmisity and photoperiodically induced donadotropin release and gonodal growth in the quall / B.K. Follet, P.J. Sharp // Nature.- 1969.- Vol. 233. - P. 968-971.
83. Hammer, W.M. Circadian control of photoperiodism in the house finch demonstrated by interrupted light experiments // Nature.- 1964.- Vol. 203, - P. 1400-1401.
84. Hammer, W.M. Diurnal rhytm and photoperiodism in testicular recrundes cence of the house finch // Poultry Sc.-1963.- Vol. 42, №5. - P.1294-1295.
85. Murton, R.K., The circadian basic of photoperiodically controlled srermalogenesis in the greenfinch (Chlorischloris) / R.K. Murton , B. Lofts, N.J. Westwood // J.Zoology. - 1970.- Vol. 161, №1.- P. 125-136.
86. Wilson, W.Sexual development of coturmix as affected by changes in photoperiods / W. Wilson, H. Abplanalp, L Atrington // Poultry Sc. - 1962. -Vol.41, №1. - P. 17-22.
87. Morris, T.R. The influence of light on ovulation in domestic birds / T.R. Morris//Beltsville Simposia in Agricultural Res.- 1978.- №3.- P. 307-322.
88. Rydlova, F. Sveteiny rezim u nosnic / F. Rydlova // Dru-beznictvi. - 1969. - №17. - P. 37-38.

89. Hoyle, C.M., The effect of photostimulation at 17 vs. 21 weeks in leghorn pullets on sexual naturity, body weight, carcass composition and egg weight / C. M. Hoyle, J. Garlich // Poultry Sc.-1984.- Vol. 1, №1. - P. 117.
90. Lesson, S. Effect of early light treatment and diet self selection on laying performance / S. Lesson, J.D. Summers // Poultry Sc.-1980.-Vol.59, №1.-P.11-15.
91. Matren, M . Mathew M.L. / M. Matren, M.L. Mathew // Poultry Guide.- 1981.- Vol. 18, № 8. P. 59-61.
92. Noles, R.K. The effect of selected light treatmentson egg production / R.K. Noles, R.E. Smith, G.E. Jones // Poultry Sc.- 1962.- Vol.41, №5.-P. 1670.
93. Siegel, H.S. Viability influenced by photoperiodic treatmentduring growth and egg production / H.S. Siegel, W.L, Beane // Poultry Sc. - 1963. - Vol. 42, №6. P. 1462-1463.
94. King, D. Get more eggs with new lighting plan / D. King // Poultry Tribune.- 1958.Vol.64.- P. 26-28
95. Освещение птичников за рубежом 1 часть. Режим доступа: http://poultrylight.ru/archives/420.
96. Доклад: О состоянии и перспективах развития птицеводства. Режим доступа http://www.abercade.ru/research/analysis/8088.html
97. Удмуртская птицефабрика. Режим доступа http://udmpf.ru/about/common/index.php?print
98. Каталог светотехнической продукции. Режим доступа http://www.isb18.ru/shop/
99. Состояние и перспективы развития отрасли птицеводства. Режим доступа http://webmvc.com/show/article/show.php?id=135
100. Научная библиотека КиберЛенинка: Режим доступа http://cyberleninka.ru/article/n/rossiyskoe-ptitsevodstvo-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya#ixzz3P65ZT0Dy
101. Освещение птицефабрик - история развития. Режим доступа - http://www.poultrylight.ru/archives354

102. Эффективные режимы освещения в птичнике [Электронный ресурс] Режим доступа: http://curiatnik.ru/node/20 .
103. Россия в цифрах. 2015. Режим доступа http://59i.ru/novosti/novosti-v-rossii/infljacija-v-rossii-v-2015-godu-oficialnye-dannye-rosstata.html
104. Системы освещения для птичников. Режим доступа http://udmpf.ru/about/common/index.php?print=y
105. Каталог фирмы Фокус. Режим доступа www.ledsvet.ru
106. Освещение для Агропрома. Режим доступа http://www.enimlighting.com/ru/agricultural-lighting
107. Освещение птицефабрик - история развития. Режим доступа http://www.poultrylight.ru/archives354
108. Перспективы применения компактных люминесцентных ламп в птицеводстве. Режим доступа http://poultrylight.ru/archives/146
109. Светильники Гелан. Режим доступа http://poultrylight.ru/archives/146
110. Светильники Резерв. Режим доступа http://poultrylight.ru/archives/796
111. Статьи про птицеводство. Режим доступа http://webpticeprom.ru/ru/articlesequipment.html?pageID=1351746240
112. Постановление Региональной энергетической комиссии Удмуртской Республики о тарифах на 2015 год от 25.11.2015 г. № 15/2 Режим доступа http://www.udmesk.ru/consumers/files/tarif_2011/post15-2-251110.pdf

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А **Акты внедрения, протоколы и справки**

УТВЕРЖДАЮ
Председатель научно-
технического совета
Автономной некоммерческой организации
«Региональный научно-
технологический парк «Удмуртия»»

_____ к.ф.-м.н. С.С. Савинский
(печать)

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно- исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители Автономной некоммерческой организации «Региональный научно-технологический парк «Удмуртия»,
главный инженер, к.ф.-м.н. Новожилов В.П., ведущий инженер, к.ф.-м.н Жданова Л.И. и представители ФГБОУ ВПО «Ижевская ГСХА» научный руководитель работы к.т.н. Широбокова Т.А., исполнитель работы инженер Галлямова Т.Р., составили настоящий акт о том, что разработанные на кафедре электроснабжения «Рекомендации по определению светотехнических и конструктивных параметров светодиодного светильника системы освещения при напольном содержании птиц» приняты к использованию при разработке технического задания и конструировании светодиодных светильников для птицеводческих помещений.

Светодиодная система технологического освещения птичника промышленного стада кур с напольным содержанием на базе разработанной на кафедре электроснабжения ФГБОУ «Ижевская ГСХА» конструктивной схемы светильника обеспечивает оптимальный уровень освещённости рабочей поверхности до 100лк, улучшает световой климат птичника - создаёт равномерное освещение, снижает расход электроэнергии на технологическое освещение в 3,6 раз по сравнению с люминесцентными лампами и в 2-3 раза по сравнению с существующими светодиодными лампами, а также повышает продуктивность птицы на 1,6% - выход инкубационного яйца.

От АНО «Региональный научно-технологический парк «Удмуртия»

Главный инженер _____ В.П. Новожилов

Ведущий инженер_____ Л.И. Жданова

От ФГБОУ ВПО «Ижевская ГСХА»

Научный руководитель _____ Широбокова Т.А.

Исполнитель, ст. препод. _____ Галлямова Т.Р.

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по НР
ФГБОУ ВО ИжГСХА
профессор Фатыхов И.Ш.
«11» 12. 2015г.

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. производством ООО «Удмуртская птицефабрика»
Фаткин А.А.
«11» 12. 2015г.

АКТ

Внедрения светодиодной осветительной установки

В период с 09 сентября по 10 декабря 2015 года на птицефабрике ООО «Удмуртская птицефабрика» Глазовского района Удмуртской Республики были проведены исследования по влиянию светодиодного освещения на продуктивность кур.

Условия эксперимента: было сформировано две группы птиц в возрасте 175 дней. Для освещения в контрольной группе использовали люминесцентные светильники типа ЛСП 2х36, а в опытной разработанные светодиодные светильники мощностью 10 Вт. Куры количестве 20 шт. содержались по программе светового режима для кросса Росс-308 (14С:10Т). Освещенность составляла 90 лк. Условия содержания и кормления были одинаковыми для обеих групп и соответствовали рекомендуемым нормам.

За время исследования были получены следующие результаты: за весь период содержания сохранность кур в опытной группе составила 95 %, Процент яйцекладки на начальную несушку в возрасте 175 суток в опытной группе составил 6.1%, что ниже по сравнению с контрольной на 16,2%. В возрасте 220 дней процент яйцекладки в группах увеличился, и в контрольной группе составил 63.6%, а в опытной – 86,7%, в возрасте 265 дней 81,5% в контрольной и 87,1% в опытной.

Выход инкубационных яиц с возрастом птицы увеличивался в обеих группах. В контрольной группе на конец опыта показатель составил 93,8%, а в опытной – 95,4%, что выше на 1,6%. Соответственно можно сделать вывод, что применение разработанного светодиодного светильника повышает продуктивность при экономии электроэнергии в 3,6 раза.

Зоотехник	Суслов А.Н.
к.т.н., доцент	Широбокова Т.А.
к.с-х.н., доцент	Шувалова Л..А.
ст. преподаватель кафедры высшей математики	Галлямова Т.Р.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НИР ФГБОУ ВО

Ижевская ГСХА

профессор Фатыхов И.Ш._____

«__»_____2015 г.

УТВЕРЖДАЮ

Зав.производством

ООО «Удмуртская птицефабрика»

Фаткин А.А._____

«__»_____2015 г.

ПРОТОКОЛ

Светодиодные светильники, разработанные сотрудниками ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА Галлямовой Т.Р. и Широбоковой Т.А., испытывались при напольном содержании кур кросса ROSS-308, на экспериментальной площадке ООО птицефабрики «Удмуртская» г. Глазова УР.

Испытывались, светодиодные светильники в количестве двух штук мощностью 10 Вт каждая, при освещении опытной группы кур в возрасте 175 суток при напольном содержании на глубокой подстилке. Для сравнительного контроля испытаний была сформирована контрольная группа кур в возрасте также 175 суток методом пар-аналогов. Для освещения контрольной группы использовали люминесцентные светильники типа ЛСП 2х36.

Начало испытаний 9 сентября 2015 года, окончание - 10 декабря 2015г. Результаты испытаний (при одинаковых условиях кормления и одинаковой освещенности 90лк) представлены в таблице.

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Сохранность кур, %	90	95
Процент яйцекладки на начальную несушку по возрастам, дней: 175	7,1	6,1
220	63,6	86,7
265	81,5	87,1
Выход инкубационных яиц по возрастам, % 175	84,8	87,9
220	92,7	93,5
265	93,8	95,4
Масса яйца (г) по возрастам, дн.: 175	55,9±0,07	57,4±0,11
220	60,3±0,07	61,7±0,10
265	61,4±0,08	63,7±0,09
Толщина скорлупы, мм	0,34±0,08	0,35±0,04
Плотность яйца, г/см^3	1,091±0,09	1,096±0,04
Индекс желтка, %	44,2	44,7
Кислотное число желтка, мгКОН/г	3,69±0,73	3,71±0,79
Оплодотворенность, %	78,1	81,9
Расход корма на 10 яиц, кг	1,4	1,3
Расход электроэнергии, кВтч	92,7	25,8

Результаты испытаний показывают, что использование разработанных светодиодных светильников при напольном содержании кур родительского стада кур кросса РОСС – 308 позволило:

1) повысить: сохранность кур на 5%, процент яйцекладки на начальную несушку - на 6,4 %, выход инкубационных яиц - на 1,6 %,

2)увеличить: массу яйца на 3,6 %, оплодотворенность яиц на 4,6 %,

3)снизить: затраты кормов на 10 яиц на 7,7 %, электроэнергии в 3,6 раза.

Зоотехник Суслов А.Н.

Руководитель:
к.т.н., доцент кафедры электротехники,
электрооборудования и электроснабжения Широбокова Т.А.

Исполнители:

ст. преподаватель
кафедры высшей математики Галлямова Т.Р.

к. с.-х.н., доцент
кафедры физиологии и зоогигиены Шувалова Л.А.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОДНУ КУРИЦУ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Опытные испытания проводились в течение 92 суток по 14 часов в сутки.

Приведем расчёт потребления электроэнергии при содержании кур кросса ROSS - 308 с использованием люминесцентных светильников типа ЛСП 2х36 и двух опытных разработанных светодиодных светильников мощностью 10 Вт по формуле

$$W_{потр} = (N \cdot t) \cdot P_л$$

где N – число суток проведения испытаний, сут.

t – время работы осветительной установки в течение суток, час/сут.

$P_л$ - мощность светильника, Вт.

Энергопотребление на одну курицу составляет

$$W_{эк} = \frac{W_{потр}}{N_{кур}}$$

где $N_{кур}$ - количество кур в одной группе, шт.

Энергопотребление люминесцентных светильников

$$W_{потр} = (92 \cdot 14) \cdot 72 = 92736 Втч$$

Энергопотребление двух разработанных светодиодных светильников мощностью по 10 Вт

$$W_{потр} = (92 \cdot 14) \cdot 20 = 25760 Втч$$

Энергопотребление на одну курицу при использовании люминесцентных светильников составляет

$$W_{эк} = \frac{92736}{20} = 4636{,}8\,Втч$$

Потребляемая электроэнергия на одну курицу при использовании двух разработанных светодиодных светильников мощностью по 10 Вт составляет

$$W_{эк} = \frac{25760}{20} = 1288\,Втч$$

Таким образом, при содержании кур кросса ROSS - 308 с люминесцентными светильниками расход электроэнергии на одну курицу составляет 4,6 кВтч, а с разработанными светодиодными светильниками мощностью 10 Вт расходуется 1,3 кВтч электроэнергии. При цене электроэнергии 4 руб/кВтч стоимость расходов на одну курицу составит 18,5 руб. и 5,2 руб. соответственно.

Экономист	Корепанова Н.А.
к.т.н., доцент	Широбокова Т.А.
ст. преподаватель кафедры высшей математики	Галлямова Т.Р.

Утверждаю:
Зам. генерального директора-
управляющий ООО «Удмуртская птицефабрика»
_____ А.Л. Возмищев

Техническое задание на проведение процедуры запроса предложений

1	Заказчик	ООО "Удмуртская птицефабрика" г.Глазов, Удмуртская республика
2	Предмет запроса предложений (наименование закупаемых товаров (работ, услуг))	Система светодиодного освещения птичника
3	Основные характеристики предмета запроса предложений	Размеры птичника 18х78м. Содержание птицы напольное, взрослая птица. Высота подвеса светильников 3,5м. Количество линий освещения 4шт. Регулировка освещенности 0-100 люкс, программирование на весь период содержания. Цветовая температура (цвет), К 2700-3500. Исполнение светильников не ниже IP 65. Требуемый уровень освещенности 120лК
4	Цель приобретения	Замена люминесцентной системы освещения
5	Источник финансирования	Собственные средства предприятия
6	Координаты ответственного работника (ФИО, телефон)	Перевощиков Дмитрий Юрьевич 8(34141)38700

Согласовано: Зам. ген. директора по производству /Фатхин А.А./

Исполнитель: Начальник РМЦ /Перевощиков/

Автономная
некоммерческая
организация

Региональный научно-технологический парк "Удмуртия"

426034, Ижевск,
Университетская, 1
Тел.: (3412) 66-34-66
Факс: (3412) 66-01-44
e-mail: galser@uni.udm.ru

Autonomous Non-profit
Organization

Regional Science-Technological Park "Udmurtia"

1, University Street,
Izhevsk, Russia 426034
Tel.: (3412) 66-34-66
Fax: (3412) 66-01-44
e-mail: galser@uni.udm.ru

Реквизиты: ИНН 1833019520, ОГРН 1021801512105, ОКВЭД 73.10,ОКОНХ 95120, ОКПО 49631775, р/с 40703810804243000109 в Филиале ОАО Банк ВТБ в г. Нижнем Новгороде, к/с 30101810200000000837, БИК 042202837

От 15.12.2015г №07-15

Ректору ФГБОУ ВПО
Ижевская ГСХА
профессору А.И. Любимову

426069,г.Ижевск,ул.Студенческая,11

Настоящим сообщаем, что при участии к.т.н. Широбоковой Т.А. и ст. преподавателя ИжГСХА Галлямовой Татьяны Ратмировны изготовлены опытные образцы светодиодных светильников в количестве 2 шт. на основе технического задания ООО «Удмуртская птицефабрика» (г. Глазов).

Экспериментальные исследования освещённости, создаваемой светильниками, согласуются с компьютерным моделированием в пределах погрешности измерений.

Производственные испытания светильников на ООО «Удмуртская птицефабрика» показали, что производительность родительского стада кросса РОСС – 308 увеличилась на 1,6% при уменьшении затрат на электроэнергию в 3,6 раза по сравнению с люминесцентными лампами.

гл.инженер, к.ф-м.н. Новожилов В.П.

к.т.н., доцент Широбокова Т.А.

ст. преподаватель
кафедры высшей математики Галлямова Т.Р.

МИНИСТЕРСТВО
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА)
УДМУРТСКАЯ РЕСПУБЛИКА,
Студенческая ул., д. 11, Ижевск, 426069,
тел.(3412) 58-99-48, факс 58-99-47
e-mail: info@izhgsha.ru
http://www.izhgsha.ru
ОКПО 00493646, ОГРН 1021801172370,
ИНН/КПП 1831036505/183101001

19.12.2014 № 01-04/2889

на № _____ от _____

В высшую аттестационную комиссию
Министерства образования
Российской Федерации

Справка

Дана Галлямовой Татьяне Ратмировне, соискателю ученой степени кандидата технических наук, в том, что результаты её научной работы используются в учебном процессе при преподавании учебной дисциплины «Электрическое освещение и облучение» на факультете энергетики и электрификации, при преподавании дисциплины «Электропривод и электрооборудование» на агроинженерном факультете, а также при преподавании соответствующих дисциплин на факультете непрерывного профессионального образования.

Ректор академии
профессор А.И. Любимов

Декан факультета инженерии и

природообустройства

ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Вавилова

_____ Соловьев Д.А.

«____» _____ 2016г.

СПРАВКА

Подтверждает, что результаты научной работы преподавателей ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА ст. преподавателя Галлямовой Татьяны Ратмировны, к.т.н. доцента Широбоковой Татьяны Александровны по повышению эффективности светодиодного освещения для напольного содержания птиц и программы расчета оптимального числа светодиодов в системе освещения птичника внедрены и используются в учебном процессе при преподавании учебной дисциплины «Светотехника» на кафедре «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии».

Зав.кафедрой «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии» Трушкин В.А.

К.т.н., доцент Лошкарев И.Ю.

ФГБОУ ВО Южно-Уральский
государственный аграрный университет
Декан энергетического факультета
к.т.н., доцент Иванова С.А
_____ 12.02. 2016 г.

СПРАВКА

настоящим подтверждает, что результаты научной работы проводимых к.т.н., доцентом Широбоковой Т.А. и ст. преподавателем Галлямовой Т.Р. по повышению эффективности светодиодного освещения для напольного содержания птиц за счет оптимального энергопотребления и повышения качества освещения при заданной величине нормированной освещенности, а также программа для компьютерных расчетов по оценке оптимального энергопотребления внедрены в учебный процесс кафедры применения электрической энергии в сельском хозяйстве.

Заведующий кафедрой ПЭЭСХ
доцент В.И. Антони

Приложение Б – **Программа ЭВМ**

Визуальное отображение программы

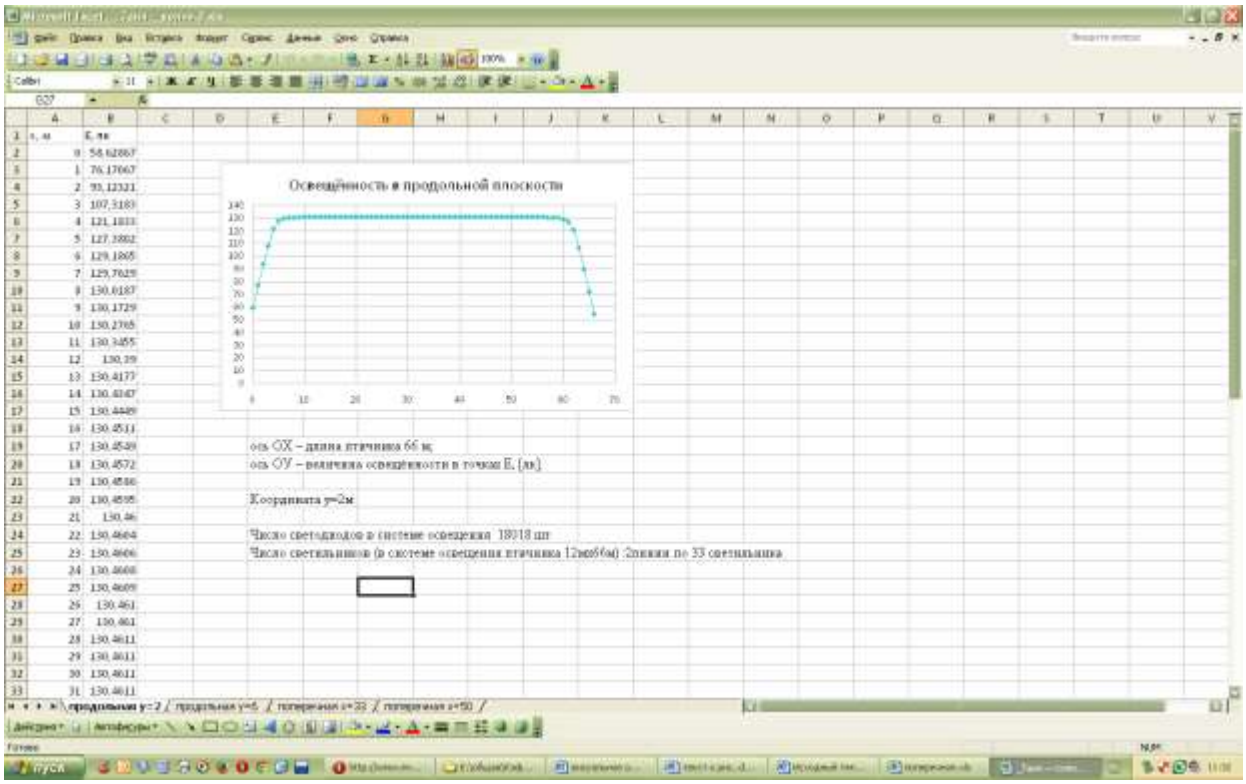
```
Free Pascal IDE
File  Edit  Search  Run  Compile  Debug  Tools  Options  Window  Help
opt_05Z66_X_33m_b36_2LYHL8m.pas
program E_66sv_2L;{полуцилиндр , расстояние между линими HL}
uses Crt,sysutils;
var
iy,ix,YN,XN,j,ks1,kb,ks,Ns1:integer;
kL,NL,NsL,N:integer;
E,E0,Ej,Ej2,Ej3,Exy,Emax,Emin,knerav,I0,ITT,ITT2,ITT3,r,r2,r3,y,ys,ys2,ys3,
zs,hy,H0,Ymin,Yj,Yj2,Yj3:DOUBLE;
var  x,xs,HL,hx,dx,X0,Xj,Xbj,Ybj,eps,eps2,eps3:DOUBLE;
var  D0,Rj,Cj,Cj2,Cj3,Cbj,Cbj2,Cbj3,d,d2,d3,dj,dj2,dj3,P:DOUBLE;
var alfa,gamma, betta0, bettaj,hbetta,bt0,hbt,m:DOUBLE;
var SN,CN,tg,SNb,CNb,tgb,CNTeta,CNTm,CNTeta2,CNTm2,CNTeta3,CNTm3:DOUBLE;
var masE:array[0..200] of DOUBLE;
var masbet:array[0..200] of DOUBLE;
var masy:array[0..100] of DOUBLE;
var masx:array[0..100] of DOUBLE;
var fEy2L:textfile;
var fy2L:textfile;
var g:file of DOUBLE;

begin
  ClrScr;{2 линии по 33  светильника ПОЛУЦИЛИНДР}
39:30
F1 Help  F2 Save  F3 Open  Alt+F9 Compile  F9 Make  Alt+F10 Local menu
```

Задание переменных величин

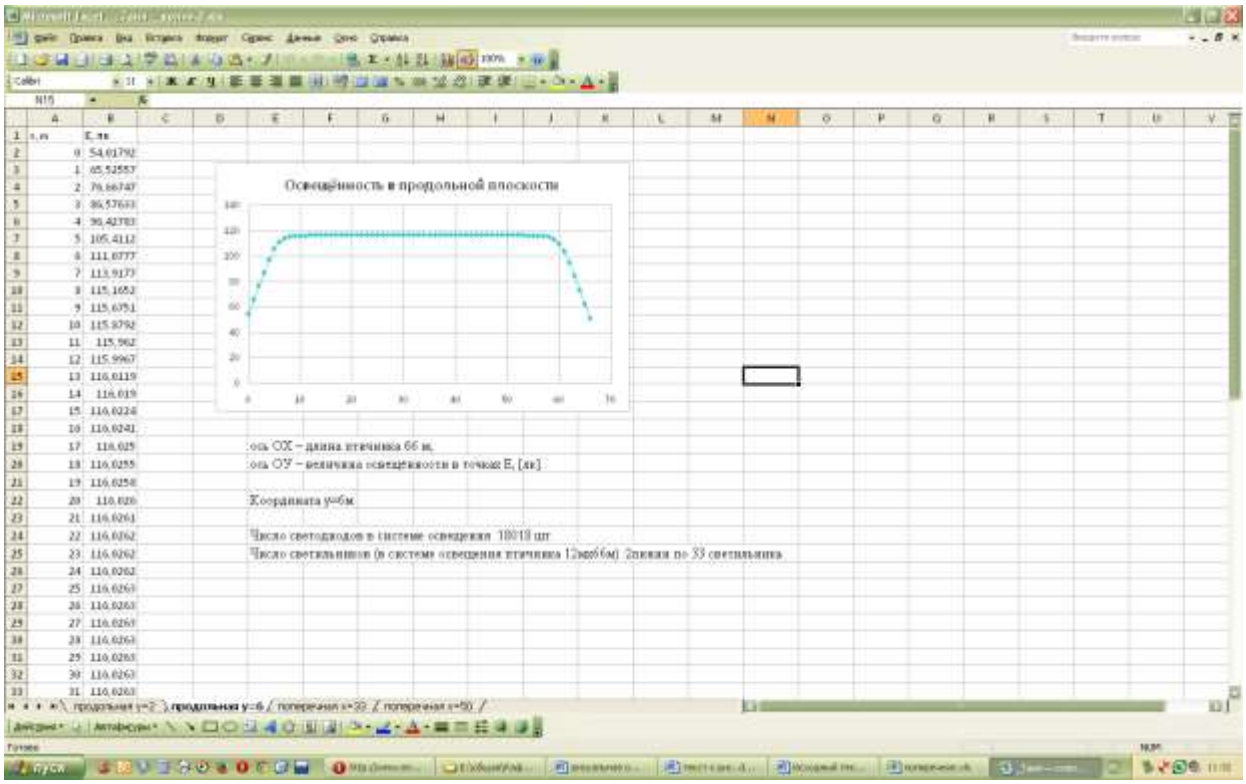
```
Free Pascal IDE
File  Edit  Search  Run  Compile  Debug  Tools  Options  Window  Help
opt_05Z66_X_33m_b36_2LYHL8m.pas
        {Начальные данные для работы}
  D0:=0.07; H0:=3.5{высота над полом};X0:=0.5;
  hy:=0.5{шаг по y};
  hx:=1{шаг по x};
  dx:=1/39{расстояние между светодиодами на одной (j-ой) линейке};
  N:=33;{66/2 Число светильников на одной линии}
  Ns1:=39{число СД-ов на одной (j-ой) линейке длиной L=1.00м=dx*NsL};
  dx:=1/Ns1;
  NL:=((2*N)-1);{ виртуальных светильников на всей (j-ой) длине}
  NsL:=NL*Ns1;{число виртуальных светодиов на всей (j-ой) длине}
  gamma:=pi/12;{betta0:=pi/4; hbetta:=betta0/(NsL/2);}
  YN:=24;{12м/hy}alfa:=pi/9;m:=(ln(0.5))/ln(cos(alfa/2));
  XN:=66;{66м/hx}
  I0:=20{осевая сила света одного светодиода в кд};
  E0:=100;{нормируемая освещённость в лк}
  HL:=8;{растояние между линиями в м}
     x:=10;
          bt0:=pi/4;hbt:=bt0/(Ns1/2);
                          {Запуск на исполнение Ctrl F9}
  repeat
write('Введите начальное число светодиодов в линейке:');
42:54
F1 Help  F2 Save  F3 Open  Alt+F9 Compile  F9 Make  Alt+F10 Local menu
```

Начальные данные для работы программы

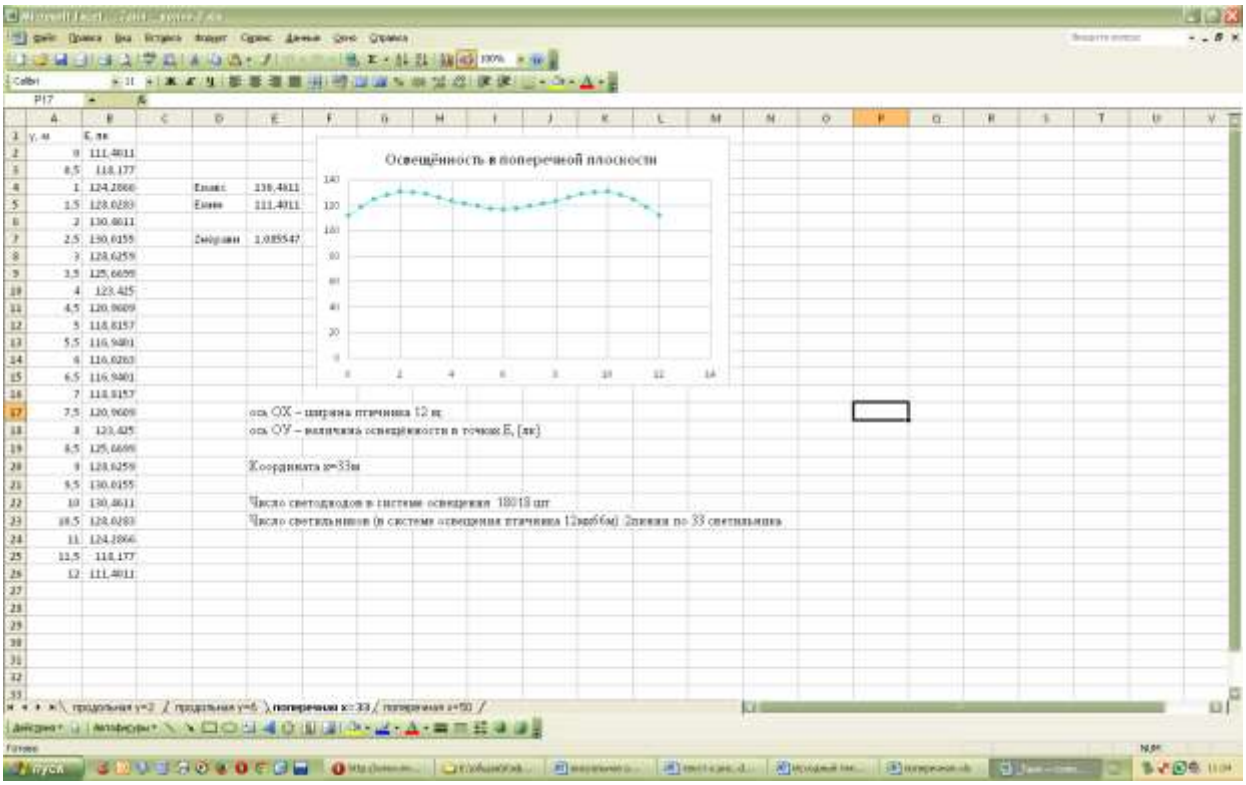
Визуальное отображение результатов расчёта



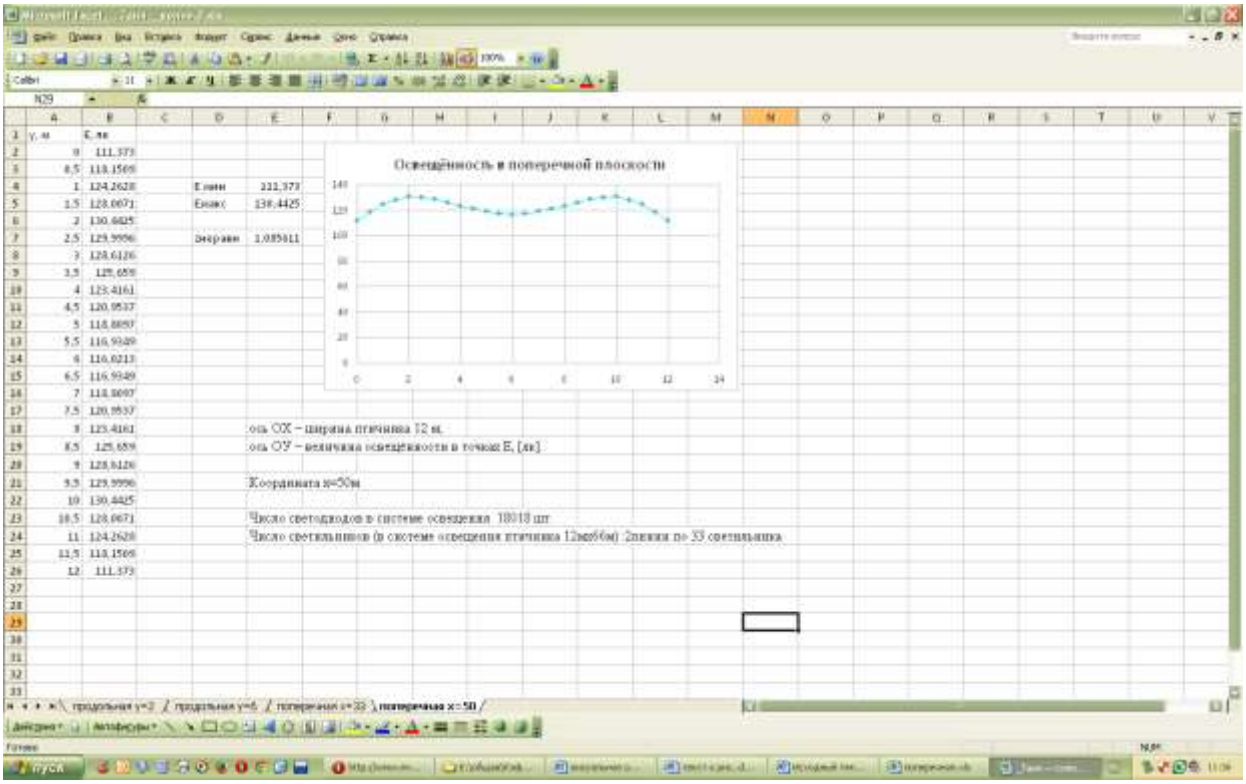
Освещённость в продольном направлении при y=2м



Освещённость в продольном направлении при y=6м



Освещённость в поперечном направлении при x=33м



Освещённость в поперечном направлении при x=50м

Программа расчёта оптимального числа светодиодов в системе освещения птичника

```
program optim_1;{оптим. число СД при повышенной равномерности освещения}
Uses Crt,sysutils;
var
iy,ix,YN,XN,j,ks1,kb,ks,Ns1:integer;
kL,NL,NsL,VS,N:integer;
E,E0,Ej,Ej2,Ej3,Exy,Emax,Emin,knerav,I0,I00,ITT,ITT2,ITT3,r,r2,r3,y,
y1,ys,ys2,ys3,y0j,zs,hy,H0,Ymin,Yj,Yj2,Yj3:DOUBLE;
var a,b,x,xs,HL,hx,dx,X0,Xj,Xbj,Ybj,epsk,epsE,eps:DOUBLE;
var  D0,Rj,Cj,Cj2,Cj3,Cbj,Cbj2,Cbj3,d,d2,d3,dj,dj2,dj3,P:DOUBLE;
var alfa,gamma, betta0, bettaj,bt0,hbt,m:DOUBLE;
var SN,CN,tg,SNb,CNb,tgb,CNTeta,CNTm,CNTeta2,CNTm2,CNTeta3,CNT0:DOUBLE;
var masE:array[0..20000] of DOUBLE;
var masbet:array[0..20000] of DOUBLE;
var masy:array[0..200] of DOUBLE;
var masx:array[0..200] of DOUBLE;
var fEy2L:textfile;
var fy2L:textfile;
var g:file of DOUBLE;
  procedure aimf(Ns1:integer);{процедура вычисления целевых функций E и k }

    begin {*aimf*}
      for kb:=0 to VS do {создание массива углов betta }
                                begin
                            for ks:=0 to Ns1 do
                                          begin
                             ks1:=ks+kb*Ns1;
                             masbet[ks1]:=bt0-hbt*ks;
                   if ks=Ns1 then masbet[ks1]:=bt0-2*bt0;
                                          end;
                                end;
       {создание массива освещённости в поперечном направлении}

       for iy:=0 to YN do
                     begin
     y:=-y1+iy*hy;Exy:=0;

     for j:=-3 to 3 do
                 begin

                    for ks1:=0 to NsL do
                             begin
                                xs:=ks1*dx;
                for kL:=0 to NsL do
                            begin
                if xs>(2*kL+1)*Ns1 then I0:=I00;
                if xs>(2*kL)*Ns1 then I0:=20;
                              end;xs:=0;
```

```
                    xs:=X0+ks1*dx;

      bettaj:=masbet[ks1];
      Rj:=(D0/2);
      SN:=sin(gamma*j);CN:=cos(gamma*j); tg:=SN/CN;
      SNb:=sin(bettaj);CNb:=cos(bettaj); tgb:=SNb/CNb;
  y0j:=(H0+D0/2)*tg;
  Cj:=(sqrt(y0j*y0j+(H0+D0/2)*(H0+D0/2)))-Rj;
  Xj:=xs;
  Xbj:=xs-Cj*tgb;
  Cbj:=Cj/(cos(bettaj));
  zs:=(H0+D0/2)-Rj*CN;
                      E:=0;
      for kL:=1 to NL do
              begin
        Yj:=((H0+D0/2)*tg)+(kL-1)*HL;
        Ybj:=Yj;
        dj:=sqrt((y-Yj)*(y-Yj)+(x-Xj)*(x-Xj));
        ys:=(Rj*SN)+(kL-1)*HL;
        d:=sqrt((y-Ybj)*(y-Ybj)+(x-Xbj)*(x-Xbj));
        r:=sqrt((x-xs)*(x-xs)+(y-ys)*(y-ys)+zs*zs);
 CNTeta:=(r*r+Cbj*Cbj-d*d)/(2*r*Cbj);if CNTeta<0 then CNteta:=CNT0;
 CNTm:=exp(m*(ln(CNTeta)));
 ITT:=I0*CNTm*CNTeta;
 Ej:=ITT/(r*r);
 E:=E+Ej;
              end;
                if ks1=VS then E:=0;
 Exy:=Exy+E;
                    end;{конец цикла по длине линейки}
 masE[iy]:=Exy;
                          end; {конец цикла по j}
          end;{конец цикла по y,  создан массив освещённости при x=const}
 {Поиск максимального и минимального значений освещённости }
 Emax:=masE[0];Emin:=masE[0];
           for iy:=1 to YN do
                  begin
     if masE[iy]>Emax then Emax:=masE[iy];
     if masE[iy]<Emin then Emin:=masE[iy];
                   end;
                  knerav:=(Emax+Emin)/(2*Emin);
                  epsk:=(knerav-1.1);
                  epsE:=(((Emax+Emin)/2)-E0)
          end;{*aimf*}
begin
  ClrScr;{2 линии по 33  светильника}
       {Начальные данные для работы}
  a:=12;{ширина птичника,м}
  b:=66;{длина птичника,м}
  H0:=3.5{высота над полом};
  E0:=120;{освещенность при норме 100 и коэффициенте 1,2}
  D0:=0.07;
```

```
 X0:=0.5;
 hy:=0.5{шаг по y};
 hx:=1{шаг по x};
 N:=33;{b/2, Число светильников на одной линии}
 VS:=((2*N)-1);{число виртуальных светильников на (j-ой) длине линии}
 gamma:=pi/12;
 alfa:=pi/9;
 m:=(ln(0.5))/ln(cos(alfa/2));
 YN:=24;{a/hy}
 XN:=66;{b/hx}
 I0:=20{осевая сила света одного светодиода в кд};
 I00:=1.0E-10{осевая сила света виртуального светодиода в кд};
 CNT0:=1.0E-10;
 HL:=8.111;{растояние между линиями}
 NL:=2;{число линий }
 y1:=(a-HL)/2;
   x:=33.0;
        bt0:=pi/4;
 Ns1:=30; {начальное число СД-ов на  линейке от 3 до 30}

 { запуск на исполнение: Ctrl F9}

    writeln('Ok!: идёт расчёт');

      NsL:=VS*Ns1;hbt:=bt0/(Ns1/2);
       repeat {вычисление целевой функции E до перехода  через ноль }
   Ns1:=Ns1+1;dx:=1/Ns1; NsL:=VS*Ns1;hbt:=bt0/(Ns1/2);
                aimf(Ns1)
        until epsE>0;{переход целевой функции E через ноль}
          if  knerav>1.1 then
  repeat {вычисление целевой функции k до перехода  через ноль }
                  Ns1:=Ns1+1;dx:=1/Ns1; NsL:=VS*Ns1;hbt:=bt0/(Ns1/2);
                  aimf(Ns1)
         until epsk<0;{переход целевой функции k через ноль }
writeln('     расчёт завершён');
writeln('  ');write('Emin=');write(Emin);write('  Emax=');write(Emax);
writeln('  ');write('коэф. неравномерности освещения
Z=(Emin+Emax)/2Emin=');write(knerav);
writeln('  ');write('оптимальное число СД на линейке Ns1=');write(Ns1);
writeln('  ');write('оптимальное число СД-в в птични-
ке:(J*Ns1*N*NL)=');write(7*Ns1*N*NL);
writeln('  ');write('                                        ');
writeln('  ');write('в Excel конвертируется распределение E по y при x=const=');write(x);
writeln('  ');write('                                        ');
                        begin {начало конвертации в Excel}
 assign(fEy2L,'E_05Z66_2Ly_x33m_b_HL8_111m.csv');
 rewrite(fEy2L);
 for iy:=0 to YN do
                  begin
     writeln(fEy2L,floattostr(masE[iy]));
                  end;
                        end;
```

```
                    close(fEy2L);
                     begin
assign(fy2L,'y_05Z66_2Ly_x33m_b_HL8_111m.csv');
rewrite(fy2L);
for iy:=0 to YN do
              begin
              y:=iy*hy; masy[iy]:=y;
 writeln(fy2L,floattostr(masy[iy]));
               end;
                 end;
                 close(fy2L);{конец конвертации в Excel}

            {запись и вывод на экран освещённости }
                        begin
assign(g,'05ZEy33sv2L.txt');
rewrite(g);
for iy:=0 to YN do
              begin
               y:=iy*hy;masy[iy]:=y;
 write(g,masE[iy]); write(g,masy[iy]);
              end;
                        end;
               close(g);
                 begin
assign(g,'05ZEy33sv2L.txt');reset(g);
 for iy:=0 to YN do
              begin
     read(g,masE[iy]);  read(g,masy[iy]);

 writeln('   ');write('x=');write(x);write('y=');write(masy[iy]);write(';  E=');write(masE[iy]);
               end;
                 end;
               close(g);
writeln(' ');write('конец конвертации в Excel');
writeln('  ');write('число линеек в светильнике J=');write(7);
writeln('  ');write('число светильников на линии N=');write(N);
writeln('  ');write('число линий в птичнике NL=');write(NL);
writeln('  ');write('(Emin+Emax)/2=');write((Emin+Emax)/2);
writeln('  ');write( 'шаг по y: hy=');write(hy);write(' м');
writeln('  ');write('начальный угол betta0=');write(bt0*180/pi);write(' град');
   end.
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В **Таблицы измерений освещённости опытные данные и компьютерный расчёт**

Таблица В1

Результаты измерения освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой опытным образцом светильника над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,755м.

y x	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
0	19,0	21,2	22,8	24,3	25,4	26,3	27,2	27,5	27,5	27,2	26,3	25,4	23,9	22,7	20,9	19,2
0.2	19,7	21,9	23,7	24,6	26,3	27,2	28,5	28,3	28,9	28,5	27,5	26,3	24,8	23,3	21,4	19,6
0.4	20,6	22,7	24,6	25,8	28,3	28,5	29,2	30,4	30,1	29,8	28,5	27,1	25,4	23,8	22,5	20,2
0.6	21,3	23,4	25,6	26,8	28,8	29,5	31,0	31,3	31,3	31,0	29,7	28,1	26,0	24,5	22,8	20,6
0.8	21,7	23,8	26,2	27,8	29,6	31,0	31,9	32,2	32,2	31,9	30,7	29,1	26,8	25,2	22,7	21,2
1.0	21,9	24,3	26,7	28,0	30,3	31,6	32,8	33,2	33,2	32,7	31,6	29,8	27,5	25,8	23,5	21,5
1.2	22,3	24,7	26,9	29,1	30,6	32,3	33,4	33,6	33,8	33,3	32,1	30,3	28,2	26,1	23,7	21,9
1.4	22,6	25,1	27,2	29,5	31,1	32,7	34,1	34,2	34,3	33,7	32,6	30,7	28,5	26,5	24,3	22,2
1.6	23,0	25,3	27,7	29,8	31,6	33,1	34,4	34,5	34,6	33,9	32,8	30,9	28,8	26,7	24,4	22,3
1.8	23,2	25,5	28,1	29,9	32,0	33,4	34,5	34,5	34,5	34,0	32,7	31,0	28,6	26,5	24,1	22,2
2.0	23,0	25,5	27,9	29,7	31,2	33,0	34,0	34,2	34,3	33,7	32,1	30,5	28,5	26,3	24,0	21,9
2.2	22,9	25,2	27,5	29,5	30,8	32,1	33,1	33,4	33,4	32,8	31,7	30,1	28,0	25,8	23,5	21,5
2.4	22,7	24,7	26,8	28,5	29,5	30,8	31,6	32,1	32,1	31,9	31,0	29,5	27,5	25,4	23,2	21,0
2.6	21,9	23,9	25,8	27,2	28,2	29,3	30,2	30,7	30,8	30,5	29,8	28,7	26,8	24,8	22,7	20,3
2.8	21,1	22,9	24,7	26,1	27,0	27,7	28,5	28,7	29,3	29,1	28,7	27,6	26,1	23,9	21,9	19,7
3.0	20,1	21,8	23,2	24,3	25,4	25,8	26,6	26,7	26,7	26,6	25,6	26,0	24,9	22,8	20,9	19,0

Таблица В2

Результаты компьютерных расчётов освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой опытным образцом светильника над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,755м.

y x	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
0	19,4	20,1	20,8	21,5	22,3	22,9	23,5	23,8	23,8	23,5	22,9	22,3	21,5	20,8	20,1	19,4
0.2	20,6	21,4	22,2	22,9	23,7	24,4	25,0	25,4	25,4	25,0	24,4	23,7	22,9	22,2	21,4	20,6
0.4	21,7	22,6	23,4	24,2	25,0	25,8	26,4	26,8	26,8	26,4	25,8	25,0	24,2	23,4	22,6	21,7
0.6	22,7	23,6	24,4	25,2	26,1	26,9	27,6	28,0	28,0	27,6	26,9	26,1	25,2	24,4	23,6	22,7
0.8	23,4	24,4	25,3	26,1	27,0	27,9	28,7	29,1	29,1	28,7	27,9	27,0	26,1	25,3	24,4	23,4
1.0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,8	28,7	29,5	29,9	29,9	29,5	28,7	27,8	26,8	25,9	25,0	24,0
1.2	24,4	25,5	26,4	27,3	28,3	29,2	30,0	30,5	30,5	30,0	29,2	28,3	27,3	26,4	25,5	24,4
1.4	24,6	25,7	26,6	27,6	28,5	29,5	30,3	30,8	30,8	30,3	29,5	28,5	27,6	26,6	25,7	24,6
1.6	24,6	25,7	26,6	27,6	28,5	29,5	30,3	30,8	30,8	30,3	29,5	28,5	27,6	26,6	25,7	24,6
1.8	24,4	25,5	26,4	27,3	28,3	29,2	30,0	30,5	30,5	30,0	29,2	28,3	27,3	26,4	25,5	24,4
2.0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,8	28,7	29,5	29,9	29,9	29,5	28,7	27,8	26,8	25,9	25,0	24,0
2.2	23,4	24,4	25,3	26,1	27,0	27,9	28,7	29,1	29,1	28,7	27,9	27,0	26,1	25,3	24,4	23,4
2.4	22,7	23,6	24,4	25,2	26,1	26,9	27,6	28,0	28,0	27,6	26,9	26,1	25,2	24,4	23,6	22,7
2.6	21,7	22,6	23,4	24,2	25,0	25,8	26,4	26,8	26,8	26,4	25,8	25,0	24,2	23,4	22,6	21,7
2.8	20,6	21,4	22,2	22,9	23,7	24,4	25,0	25,4	25,4	25,0	24,4	23,7	22,9	22,2	21,4	20,6
3.0	19,4	20,1	20,8	21,5	22,3	22,9	23,5	23,8	23,8	23,5	22,9	22,3	21,5	20,8	20,1	19,4

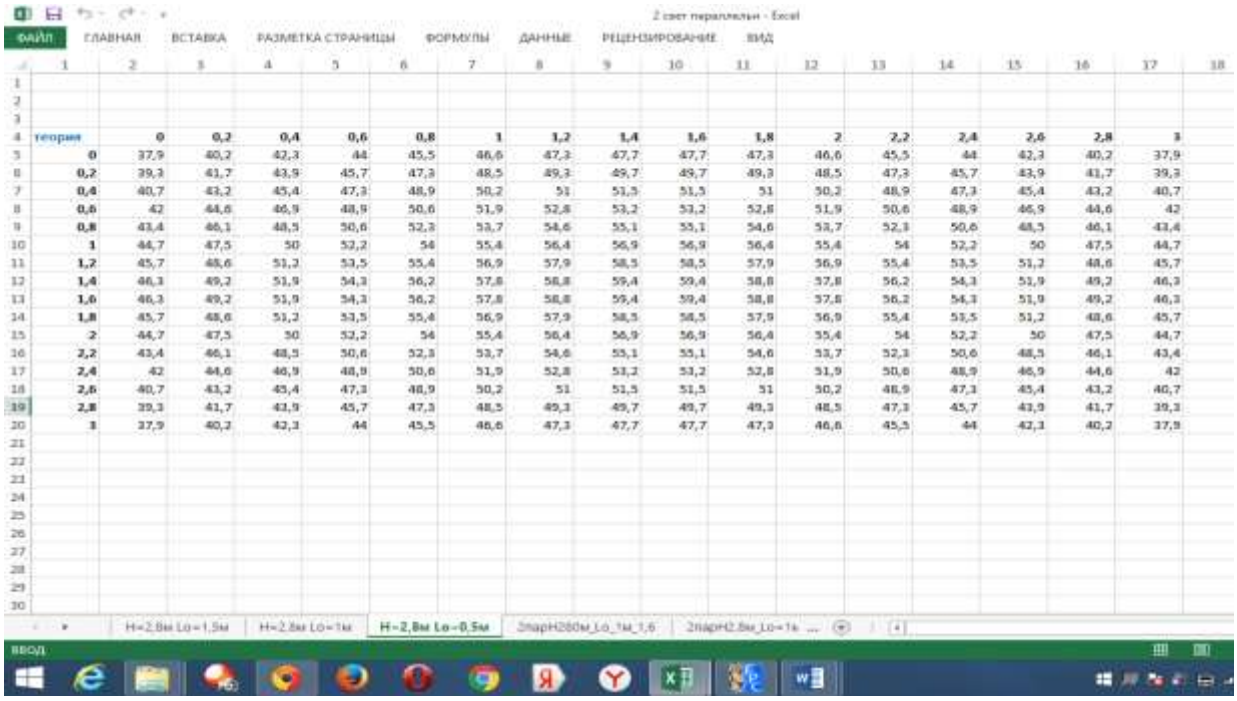
Таблица В3

Результаты измерения освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой 2 опытными образцами светильников, расположенными параллельно над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,8м, Lo=0,5м.

x\y	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
0	36,6	40	44,5	46,6	48,4	49,5	50,3	50,5	50,5	50,2	49,3	48,1	46,4	44,3	40,2	37
0,2	38,8	41,8	45	48,2	50,1	51,4	52,4	53	53	52,3	51,3	50	48,1	45	41,9	38,9
0,4	39,5	43,4	46,1	49	51,8	53,4	54,3	54,9	54,9	54,3	53,4	51,9	49	46,2	43,5	40
0,6	41	44,5	47,2	50,1	53	54,9	56	56,7	56,7	56	54,9	53,2	50,2	47,4	44,7	41
0,8	40,4	45,3	50,1	53,3	56,1	58,3	59,7	60,5	60,5	59,8	58,4	56,3	53,4	50,2	45,5	41,2
1	42,3	46,9	53	55,1	57,2	59	60,1	60,6	60,7	60,2	59,1	57,1	55,2	53,1	47	42,5
1,2	43,8	48	52,6	56	58,6	60,2	61,6	62,3	62,2	61,5	60,1	58,5	56,2	52,4	48,1	43,7
1,4	44,9	48,8	53,8	57,5	59,6	61,5	62,5	63,3	63,2	62,4	61,2	59,5	57,4	53,6	48,9	44,9
1,6	44,8	48,7	53,9	57,5	59,7	61,4	62,5	63,3	63,3	62,4	61,3	59,6	57,3	53,7	48,8	44,9
1,8	43,7	48,3	52,5	55,8	58,3	60,1	61,5	62,4	62,2	61,6	60,2	58,4	56	52,4	48,4	43,9
2	42,3	47	52,9	54,9	57	59,1	60,2	60,7	60,6	60,1	59,2	57,2	55	53,2	47,2	42,6
2,2	40,6	44,9	49,9	53,2	56	58,2	59,6	60,4	60,5	59,7	58,3	56,2	53,3	50	44,5	40,5
2,4	41	44,6	47,3	50	52,9	54,8	55,9	56,7	56,6	56	55	53,4	50,3	47,4	44,8	40,9
2,6	39,5	43,4	46,1	49	51,8	53,2	54,3	54,8	54,8	54,2	53,3	51,8	49,1	46,2	43,5	39,9
2,8	38	41,8	45	48,3	50,2	51,5	52,4	53	53	52,4	51,4	50,1	48,2	45	41,9	39
3	36,5	39,9	44,4	46,5	48,3	49,5	50,5	50,6	50,4	50,1	49,4	48,2	46,4	44,2	40,1	37

Таблица В4

Результаты компьютерных расчётов освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой 2 опытными образцами параллельных светильников над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,8м, Lo=0,5м.



теория	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
0	37,9	40,2	42,3	44	45,5	46,6	47,3	47,7	47,7	47,3	46,6	45,5	44	42,3	40,2	37,9
0,2	39,3	41,7	43,9	45,7	47,3	48,5	49,3	49,7	49,7	49,3	48,5	47,3	45,7	43,9	41,7	39,3
0,4	40,7	43,2	45,4	47,3	48,9	50,2	51	51,5	51,5	51	50,2	48,9	47,3	45,4	43,2	40,7
0,6	42	44,6	46,9	48,9	50,6	51,9	52,8	53,2	53,2	52,8	51,9	50,6	48,9	46,9	44,6	42
0,8	43,4	46,1	48,5	50,6	52,3	53,7	54,6	55,1	55,1	54,6	53,7	52,3	50,6	48,5	46,1	43,4
1	44,7	47,5	50	52,2	54	55,4	56,4	56,9	56,9	56,4	55,4	54	52,2	50	47,5	44,7
1,2	45,7	48,6	51,2	53,5	55,4	56,9	57,9	58,5	58,5	57,9	56,9	55,4	53,5	51,2	48,6	45,7
1,4	46,3	49,2	51,9	54,3	56,2	57,8	58,8	59,4	59,4	58,8	57,8	56,2	54,3	51,9	49,2	46,3
1,6	46,3	49,2	51,9	54,3	56,2	57,8	58,8	59,4	59,4	58,8	57,8	56,2	54,3	51,9	49,2	46,3
1,8	45,7	48,6	51,2	53,5	55,4	56,9	57,9	58,5	58,5	57,9	56,9	55,4	53,5	51,2	48,6	45,7
2	44,7	47,5	50	52,2	54	55,4	56,4	56,9	56,9	56,4	55,4	54	52,2	50	47,5	44,7
2,2	43,4	46,1	48,5	50,6	52,3	53,7	54,6	55,1	55,1	54,6	53,7	52,3	50,6	48,5	46,1	43,4
2,4	42	44,6	46,9	48,9	50,6	51,9	52,8	53,2	53,2	52,8	51,9	50,6	48,9	46,9	44,6	42
2,6	40,7	43,2	45,4	47,3	48,9	50,2	51	51,5	51,5	51	50,2	48,9	47,3	45,4	43,2	40,7
2,8	39,3	41,7	43,9	45,7	47,3	48,5	49,3	49,7	49,7	49,3	48,5	47,3	45,7	43,9	41,7	39,3
3	37,9	40,2	42,3	44	45,5	46,6	47,3	47,7	47,7	47,3	46,6	45,5	44	42,3	40,2	37,9

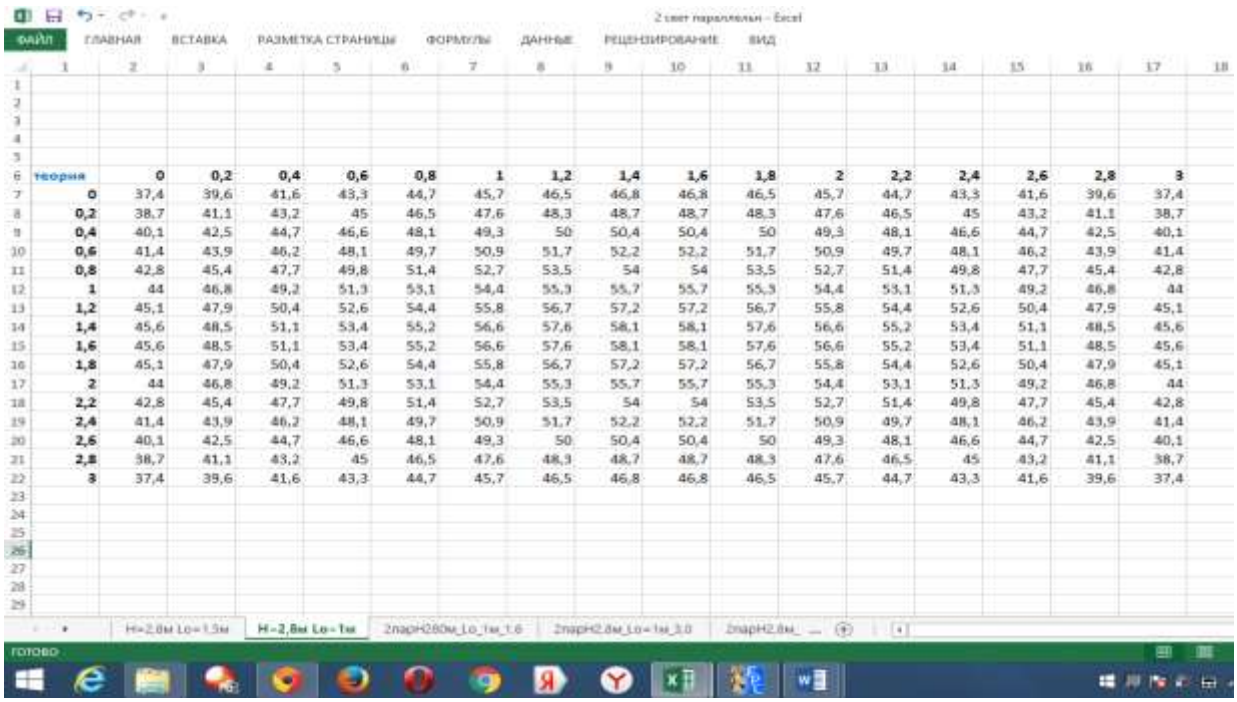
Таблица В5

Результаты измерения освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой 2 опытными образцами светильников, расположенными параллельно над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,8м, Lo=1,0м.

y x	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
0	35,7	39,2	43,7	46,4	47,6	48,6	49,5	50	50	49,7	48,7	47,5	46,3	43,3	39,2	35,8
0.2	37,9	41,3	44,7	47,6	48,9	50,6	51,9	53,1	53,1	51,8	50,8	49	47,7	44,6	41,4	38
0.4	39,8	42,1	46,1	49	51,5	52,7	53,3	53,8	53,8	53,2	52,5	51,4	49,1	46,2	42,3	40,1
0.6	40,8	43,8	46,9	51	52,9	54,3	55,1	55,5	55,5	55	54,1	52,8	51,2	46,8	43,7	40,9
0.8	42,2	45,5	47,8	51,9	54,8	56,9	57,3	59,2	59,2	57,2	56,8	54,7	52,6	47,9	45,6	42,3
1.0	43,1	46,4	49,9	53,9	56,6	57,7	58,5	59,2	59,2	58,4	57,3	56,5	53,9	49,9	46,4	43,3
1.2	43,9	47,7	51,4	55,3	57,8	58,9	59,9	60,6	60,6	60	58,9	57,9	55,5	51,6	47,3	43,9
1.4	44	47,8	52,3	56,4	58,2	60	61,3	62,2	62,1	61,2	59,9	58,5	56,5	52,4	48,3	44,5
1.6	43,8	48	52,2	56,5	58,1	60,1	61,2	62	62,1	61,1	60	58,4	56,6	52,3	48,1	44
1.8	43,5	47	51,3	55,5	57,9	58,8	59,8	60,5	60,6	59,7	58,9	57,8	55,4	51,4	47,2	43,8
2.0	43	46,1	49,8	53,9	56,5	57,5	58,4	59,1	59	58,3	57,4	56,6	53,8	49,9	46,2	43,2
2.2	42,1	45,3	47,9	52,4	54,9	56,8	57,2	59,1	59,1	57,1	56,7	54,8	52,5	48	45,5	42,2
2.4	40,7	43,7	46,8	51	52,8	54,1	55	55,4	55,4	54,9	54	52,9	51,1	46,7	43,8	40,9
2.6	39,6	42	46	49,1	51,3	52,5	53,2	53,7	53,7	53,1	52,4	51,2	49	46,1	42,2	40
2.8	37,8	41,2	44,6	47,5	49	50,8	51,8	53	53	51,7	50,7	48,8	47,5	44,4	41,3	37,9
3.0	35,6	39	43,5	46,1	47,4	48,5	49,4	49,9	50	49,6	48,6	47,5	46,2	43,4	39,1	35,8

Таблица В6

Результаты компьютерных расчётов освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой 2 опытными образцами параллельных светильников над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,8м, Lo=1,0м.



теория	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
0	37,4	39,6	41,6	43,3	44,7	45,7	46,5	46,8	46,8	46,5	45,7	44,7	43,3	41,6	39,6	37,4
0,2	38,7	41,1	43,2	45	46,5	47,6	48,3	48,7	48,7	48,3	47,6	46,5	45	43,2	41,1	38,7
0,4	40,1	42,5	44,7	46,6	48,1	49,3	50	50,4	50,4	50	49,3	48,1	46,6	44,7	42,5	40,1
0,6	41,4	43,9	46,2	48,1	49,7	50,9	51,7	52,2	52,2	51,7	50,9	49,7	48,1	46,2	43,9	41,4
0,8	42,8	45,4	47,7	49,8	51,4	52,7	53,5	54	54	53,5	52,7	51,4	49,8	47,7	45,4	42,8
1	44	46,8	49,2	51,3	53,1	54,4	55,3	55,7	55,7	55,3	54,4	53,1	51,3	49,2	46,8	44
1,2	45,1	47,9	50,4	52,6	54,4	55,8	56,7	57,2	57,2	56,7	55,8	54,4	52,6	50,4	47,9	45,1
1,4	45,6	48,5	51,1	53,4	55,2	56,6	57,6	58,1	58,1	57,6	56,6	55,2	53,4	51,1	48,5	45,6
1,6	45,6	48,5	51,1	53,4	55,2	56,6	57,6	58,1	58,1	57,6	56,6	55,2	53,4	51,1	48,5	45,6
1,8	45,1	47,9	50,4	52,6	54,4	55,8	56,7	57,2	57,2	56,7	55,8	54,4	52,6	50,4	47,9	45,1
2	44	46,8	49,2	51,3	53,1	54,4	55,3	55,7	55,7	55,3	54,4	53,1	51,3	49,2	46,8	44
2,2	42,8	45,4	47,7	49,8	51,4	52,7	53,5	54	54	53,5	52,7	51,4	49,8	47,7	45,4	42,8
2,4	41,4	43,9	46,2	48,1	49,7	50,9	51,7	52,2	52,2	51,7	50,9	49,7	48,1	46,2	43,9	41,4
2,6	40,1	42,5	44,7	46,6	48,1	49,3	50	50,4	50,4	50	49,3	48,1	46,6	44,7	42,5	40,1
2,8	38,7	41,1	43,2	45	46,5	47,6	48,3	48,7	48,7	48,3	47,6	46,5	45	43,2	41,1	38,7
3	37,4	39,6	41,6	43,3	44,7	45,7	46,5	46,8	46,8	46,5	45,7	44,7	43,3	41,6	39,6	37,4

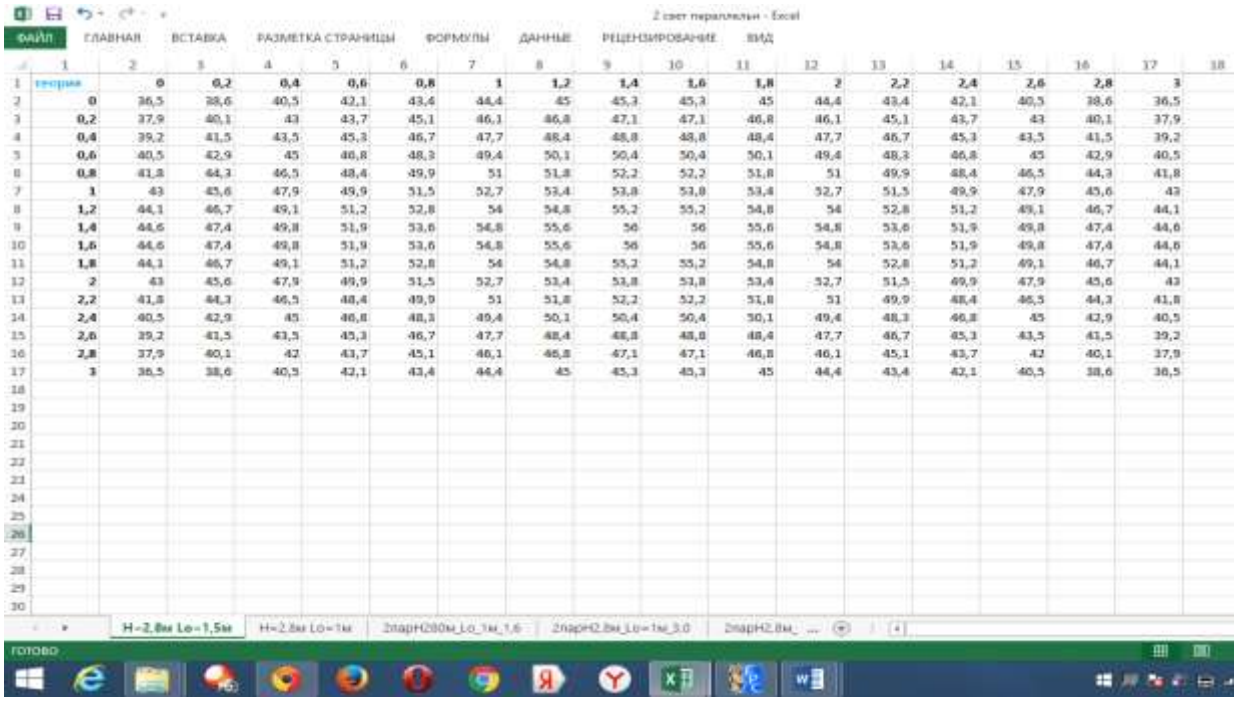
Таблица В7

Результаты измерения освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой 2 опытными образцами светильников, расположенными параллельно над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,8м, Lo=1,5м.

y x	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
0	34,9	37,8	40,2	44	46,1	47	47,9	48,2	48,3	48	47,1	46	43,9	41	37,9	35
0.2	35,6	38,8	42,2	46,4	48,1	49	49,9	50,2	50,4	49,8	48,6	47,9	46,5	42,8	38,9	36,1
0.4	36,8	41	44,2	46,9	49	50,9	51,5	52,1	52	51,4	50,8	48,9	46,8	43,9	41,3	37
0.6	38,1	43	45,8	48,2	51,1	52,4	53,3	53,8	53,9	53,4	52,5	51,2	48,1	45,9	42,9	38,7
0.8	39,1	43,9	46,9	49,1	53	54,1	55,2	55,6	55,6	55,1	54,1	53	49	47	44,1	39,2
1.0	40,9	44,7	48,3	51,8	54,6	55,7	57,7	58,2	58,2	57,8	55,8	54,5	51,7	48,2	45,1	40,9
1.2	41,8	46,1	49	52,9	56	57	58,4	59,1	59	58,3	57,1	56,1	53	49,1	46,1	41,7
1.4	42	46,2	50	53,3	56,1	57,9	59,1	59,9	60	59	58,1	57,2	54	50,6	46,3	42
1.6	42	46,4	50,3	53,5	57	58	59,4	59,8	59,9	59,3	57,5	57,1	53,8	50,5	46,9	42,8
1.8	41,8	46	49	53	56,1	57,1	58,5	59	59	58,4	57,2	56	52,9	49,2	46	41,9
2.0	40,9	44,8	48,2	51,9	54,7	55,8	57,8	58,3	58,2	57,9	55,8	54,6	51,8	48,1	45	40,8
2.2	39,2	43,5	47	49,2	53	54,2	55,1	55,5	55,6	55,2	54,2	53,1	49,1	47,1	44	39,3
2.4	38,1	43	45,9	48,1	51,2	52,5	53,4	53,7	53,8	53,4	52,6	51,1	48	46	42,9	38,8
2.6	37	41	44,4	4	49,1	51	51,6	52	52	51,5	50,9	49	46	44	41,2	37,1
2.8	35,5	38,9	42,2	46,6	48	48,9	49,7	50,3	50,5	49,6	48,5	48	46,6	42,9	39	35,9
3.0	35	37,8	40	43,9	45,9	46,8	47,8	48,3	48,2	47,9	47,2	46,3	43,7	40,4	37,6	34,4

Таблица В8

Результаты компьютерных расчётов освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой 2 опытными образцами параллельных светильников над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,8м, Lo=1,5м.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	теория	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
2	0	36,5	38,6	40,5	42,1	43,4	44,4	45	45,3	45,3	45	44,4	43,4	42,1	40,5	38,6	36,5
3	0,2	37,9	40,1	43	43,7	45,1	46,1	46,8	47,1	47,1	46,8	46,1	45,1	43,7	43	40,1	37,9
4	0,4	39,2	41,5	43,5	45,3	46,7	47,7	48,4	48,8	48,8	48,4	47,7	46,7	45,3	43,5	41,5	39,2
5	0,6	40,5	42,9	45	46,8	48,3	49,4	50,1	50,4	50,4	50,1	49,4	48,3	46,8	45	42,9	40,5
6	0,8	41,8	44,3	46,5	48,4	49,9	51	51,8	52,2	52,2	51,8	51	49,9	48,4	46,5	44,3	41,8
7	1	43	45,6	47,9	49,9	51,5	52,7	53,4	53,8	53,8	53,4	52,7	51,5	49,9	47,9	45,6	43
8	1,2	44,1	46,7	49,1	51,2	52,8	54	54,8	55,2	55,2	54,8	54	52,8	51,2	49,1	46,7	44,1
9	1,4	44,6	47,4	49,8	51,9	53,6	54,8	55,6	56	56	55,6	54,8	53,6	51,9	49,8	47,4	44,6
10	1,6	44,6	47,4	49,8	51,9	53,6	54,8	55,6	56	56	55,6	54,8	53,6	51,9	49,8	47,4	44,6
11	1,8	44,1	46,7	49,1	51,2	52,8	54	54,8	55,2	55,2	54,8	54	52,8	51,2	49,1	46,7	44,1
12	2	43	45,6	47,9	49,9	51,5	52,7	53,4	53,8	53,8	53,4	52,7	51,5	49,9	47,9	45,6	43
13	2,2	41,8	44,3	46,5	48,4	49,9	51	51,8	52,2	52,2	51,8	51	49,9	48,4	46,5	44,3	41,8
14	2,4	40,5	42,9	45	46,8	48,3	49,4	50,1	50,4	50,4	50,1	49,4	48,3	46,8	45	42,9	40,5
15	2,6	39,2	41,5	43,5	45,3	46,7	47,7	48,4	48,8	48,8	48,4	47,7	46,7	45,3	43,5	41,5	39,2
16	2,8	37,9	40,1	42	43,7	45,1	46,1	46,8	47,1	47,1	46,8	46,1	45,1	43,7	42	40,1	37,9
17	3	36,5	38,6	40,5	42,1	43,4	44,4	45	45,3	45,3	45	44,4	43,4	42,1	40,5	38,6	36,5

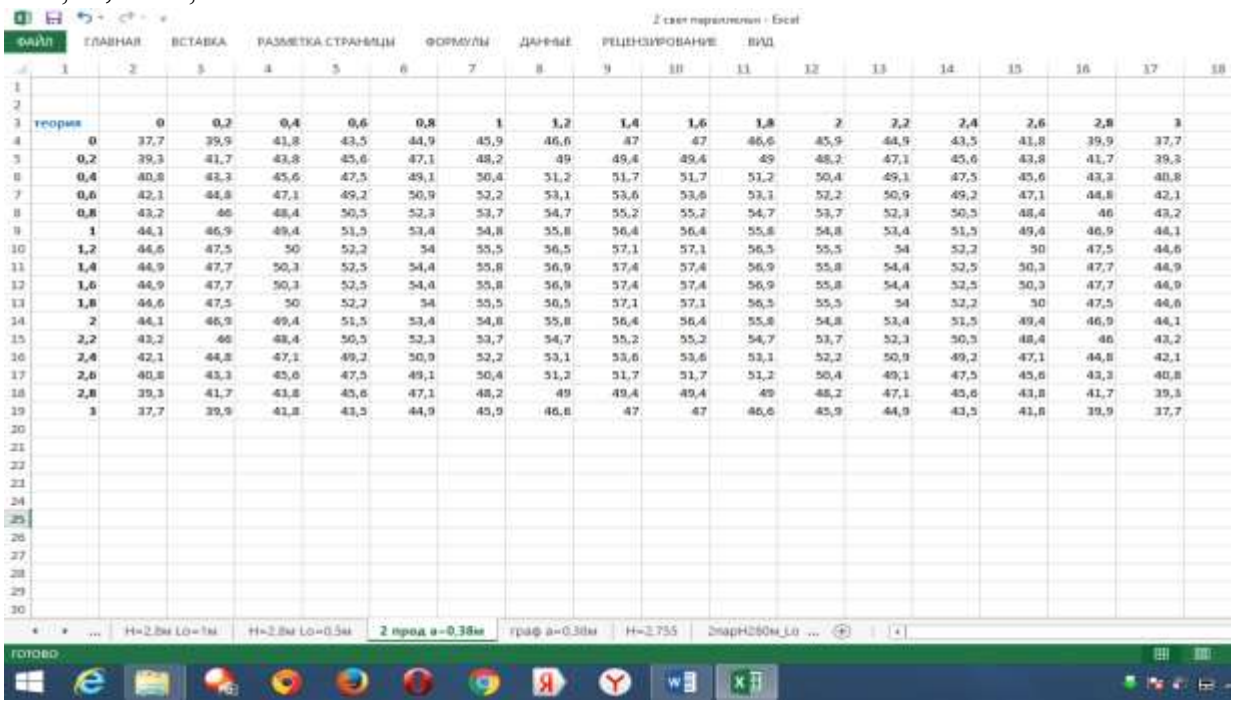
Таблица В9

Результаты измерения освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой 2 опытными образцами светильников, расположенными **последовательно** над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,8м, ax=0,38м.

y x	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
0	36,9	39,8	42,1	44,4	46,3	48,5	49,4	50,1	50,2	49,5	48,4	46,1	44,5	42,3	39,8	37,1
0.2	38	41,7	44,8	47,1	48,9	51,1	52,3	52,8	52,9	52,2	51	48,7	47	44,9	41,6	38,2
0.4	38,9	43,1	47,9	50,2	52	53,2	54	54,9	55	54,3	53	51,9	50,1	47,8	43,2	39,1
0.6	39,9	44,3	48,9	52	53,9	55,4	57	57,4	57,3	56,9	55,5	54	52,2	49	44,4	40,1
0.8	41,4	45,8	50,7	53	54,9	57	58,1	58,9	58,9	58	56,9	54,8	52,9	50,5	45,9	41,5
1.0	42,4	46,7	50,6	52,9	55,7	57,1	59	60,1	60	58,9	57	55,5	53	50,8	47	42,7
1.2	43,1	47,7	50,9	53,1	55,8	57,9	60	60,7	60,6	59,7	57,8	55,9	53,4	50,9	47,8	43,3
1.4	44	47	51	53,5	56,4	58,9	60,2	61,1	61,2	60,3	58,8	56,6	53,7	51,2	47,2	44,8
1.6	44,1	47,2	51,1	53,4	56,5	58,8	60,1	61,2	61,3	60,2	58,9	56,7	53,6	51,2	47,1	44,3
1.8	43,2	47,8	50,9	53	56	58	59,4	60,5	60,6	59,3	57,9	55,9	52,9	50,8	47,7	43,4
2.0	42,3	46,5	50,5	52,8	55,9	57	58,9	60	59,9	58,8	56,9	55,8	52,7	50,6	46,6	42,5
2.2	41,4	45,9	50	53,1	55	56,9	58	58,8	58,9	57,9	57	54,9	53	50	45,8	41,5
2.4	39,9	44,3	49	51,9	54	55,3	56,9	57,2	57,1	56,8	55,4	53,9	52	48,9	44,5	40
2.6	38,9	43,2	48	50,3	52,1	53,3	54,2	55	55	54,3	53,2	52	50,2	47,9	43,4	39
2.8	38	39,8	44,7	47	48,8	51	52,2	52,7	52,8	52,3	51,1	48,9	47,2	44,8	41,8	38,1
3.0	36,9	41,6	42	44,5	46,1	48,4	49,3	50	50	49,4	48,6	46,2	44,6	42,2	39,9	37

Таблица В10

Результаты компьютерных расчётов освещённости E(x,y) в люксах, создаваемой 2 опытными образцами последовательных светильников над рабочей поверхностью 3м х 3м при H=2,8м, ax=0,38м.



теория	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
0	37,7	39,9	41,8	43,5	44,9	45,9	46,6	47	47	46,6	45,9	44,9	43,5	41,8	39,9	37,7
0,2	39,3	41,7	43,8	45,6	47,1	48,2	49	49,4	49,4	49	48,2	47,1	45,6	43,8	41,7	39,3
0,4	40,8	43,3	45,6	47,5	49,1	50,4	51,2	51,7	51,7	51,2	50,4	49,1	47,5	45,6	43,3	40,8
0,6	42,1	44,8	47,1	49,2	50,9	52,2	53,1	53,6	53,6	53,1	52,2	50,9	49,2	47,1	44,8	42,1
0,8	43,2	46	48,4	50,5	52,3	53,7	54,7	55,2	55,2	54,7	53,7	52,3	50,5	48,4	46	43,2
1	44,1	46,9	49,4	51,5	53,4	54,8	55,8	56,4	56,4	55,8	54,8	53,4	51,5	49,4	46,9	44,1
1,2	44,6	47,5	50	52,2	54	55,5	56,5	57,1	57,1	56,5	55,5	54	52,2	50	47,5	44,6
1,4	44,9	47,7	50,3	52,5	54,4	55,8	56,9	57,4	57,4	56,9	55,8	54,4	52,5	50,3	47,7	44,9
1,6	44,9	47,7	50,3	52,5	54,4	55,8	56,9	57,4	57,4	56,9	55,8	54,4	52,5	50,3	47,7	44,9
1,8	44,6	47,5	50	52,2	54	55,5	56,5	57,1	57,1	56,5	55,5	54	52,2	50	47,5	44,6
2	44,1	46,9	49,4	51,5	53,4	54,8	55,8	56,4	56,4	55,8	54,8	53,4	51,5	49,4	46,9	44,1
2,2	43,2	46	48,4	50,5	52,3	53,7	54,7	55,2	55,2	54,7	53,7	52,3	50,5	48,4	46	43,2
2,4	42,1	44,8	47,1	49,2	50,9	52,2	53,1	53,6	53,6	53,1	52,2	50,9	49,2	47,1	44,8	42,1
2,6	40,8	43,3	45,6	47,5	49,1	50,4	51,2	51,7	51,7	51,2	50,4	49,1	47,5	45,6	43,3	40,8
2,8	39,3	41,7	43,8	45,6	47,1	48,2	49	49,4	49,4	49	48,2	47,1	45,6	43,8	41,7	39,3
3	37,7	39,9	41,8	43,5	44,9	45,9	46,6	47	47	46,6	45,9	44,9	43,5	41,8	39,9	37,7

Приложение Г - **Патенты и свидетельства РФ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 132859

СВЕТОДИОДНЫЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР

Патентообладатель(ли): ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия" (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2013116823**

Приоритет полезной модели **12 апреля 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации ***27 сентября 2013 г.***

Срок действия патента истекает **12 апреля 2023 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 159705

СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПТИЧНИКА

Патентообладатель(ли): ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия" (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2014149314**

Приоритет полезной модели **08 декабря 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации ***26 января 2016 г.***

Срок действия патента истекает **08 декабря 2024 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2015617923

«Программа расчёта оптимального числа светодиодов в системе освещения птичника»

Правообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия» (RU)***

Авторы: ***Галлямова Татьяна Ратмировна (RU), Широбокова Татьяна Александровна (RU)***

Заявка № **2015610101**

Дата поступления **12 января 2015 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***24 июля 2015 г.***

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

Приложение Д –**Дипломы и сертификаты**

ЧЕЛЯБИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АГРОИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

ДИПЛОМ

ЧГАА

выдан

Галлямовой

Татьяне Ратмировне

участнику (-ам) LIII международной научно-технической конференции

«Достижения науки – агропромышленному производству»

Врио ректора ЧГАА **И. В. Синявский**

2014 год

Участнику

Галлямовой Татьяне Ратмировне

6-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов

«ИННОВАЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ»

Посвященной 105-летию со дня рождения видного ученого в области электрификации и автоматизации сельского хозяйства, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, почетного энергетика СССР, академика ВАСХНИЛ И.А. Будко

Врио директора
ФГБНУ ФИЦ КС
Юдаев

15 – 16 декабря 2015 г.
Москва

ORT PUBLISHING NGO PREMIER

CERTIFICATE

This is to certify that

Gallyamova Tatiana Ratmirovna

has participated successfully in the 4th Conference

Applied Sciences in Europe:
tendencies of contemporary Development ,

held in Stuttgart, Germany, November 4-5, 2013

Conference Co-Chair

Приложение Е

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ
В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ»

20-000214663

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

№ 20 000214663

Действительно до

« 9 » августа 2014 г.

Средство измерений **люксметр-пульсметр Аргус-07**
наименование прибора

отсутствует
серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

заводской номер **407**

принадлежащее **ФБУ "Удмуртский ЦСМ"**
наименование юридического (физического) лица, ИНН

ИНН 1831033455

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано пригодным к применению

Поверительное клеймо БН 173 III G

ГМС 073082755

И.о. нач. лаборатории — **В.В. Забурдаева**
должность руководителя подразделения — *подпись* — *инициалы, фамилия*

Поверитель — **С.В. Пантелеев**
подпись — *инициалы, фамилия*

« 9 » августа 2013 г.

Федеральное бюджетное учреждение
"Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Кировской области"
Регистрационный номер аттестата аккредитации №052

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ №63-66/6317-1075

Действительно до
12 октября 2016 г.

Средство измерений люксметр-пульсметр "Аргус-07", рег. № в ФИФ 15360-07

078967343

заводской номер (номера) 213

поверено

поверено в соответствии с РЭ 4381-002-0587789-99 (раздел 12), п. 10 ЭТ 4.100.000

РЭ ГПИ СИ "Мордовский ЦСМ"

с применением эталонов: Государственный рабочий эталон единицы освещенности, яркости, пульсации 1 разряда (рег. № 3.1.ZEO.0557.2015) - установка поверочная автоматическая УПФСА

№ 02

при следующих значениях влияющих факторов температура окружающего воздуха плюс 21,7°С, относительная влажность воздуха 44%, атмосферное давление 743 мм рт. ст.

и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Знак поверки БЗ 145 N9

Начальник отдела — М.Ю. Уразаев

Поверитель — А.Н. Корнилов

Дата поверки
12 октября 2015 г.