

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт Механико-технологический факультет
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»
Направление «Автоматизация технологических процессов и производств»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
В.Р. Гасияров

2017 г.

Автоматизированная система управления освещением

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА
ЮУрГУ 15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер
Преподаватель
Е.А. Маклакова

2017 г.

Руководитель работы
Доцент, к.т.н
В. М. Нуждов

2017 г.

Нормоконтролер
Ст. преподаватель
С.С. Воронин

2017 г.

Автор работы
студент группы П-263
Евгений Андреевич Попов

2017 г.

Челябинск 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Институт Политехнический институт
Факультет Механико-технологический
Кафедра Мехатроники и автоматизации
Направление 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____ В.Р. Гасияров

подпись

«____»_____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПОЛНЕНИЕ ВЫПУСКНОЙ
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА**

Студенту группы П-263 Попову Евгению Андреевичу
(Ф.И.О. полностью)

1 Тема работы

Автоматизированная система управления освещением

утверждена приказом по университету от 28.04.2017 г. № 835
(утверждена распоряжением по факультету от _____ 201_ г. № _____)

2 Срок сдачи студентом законченной работы _____

3 Исходные данные к работе: материалы производственной практики

4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Введение

1 Цели и задачи систем управления освещением

1.1 Объект исследования и нормативная база

1.2 Анализ существующих решений

2 Контроль основных параметров освещения. Модель освещенности

2.1 Модель распределения освещенности помещения

2.2 Контроль освещенности

3 Экспериментальное определение параметров освещенности

3.1 План проведения эксперимента по определению естественной освещенности

3.2 План проведения эксперимента по определению искусственной освещенности

4 Проектирование автоматизированной системы управления освещением

4.1 Технические требования к системе управления

4.2 Алгоритм работы системы

4.3 Структурно-функциональная схема

5 Расчет эффективности

Заключение

5 Перечень графического и иллюстративного материала

Графики освещенности помещений	2 л – А3
Характеристики исследуемых помещений	1 л – А3
Структурно-функциональная схема АСУО	1 л – А3
Блок-схема алгоритма работы АСУО	1 л – А4x3
Отчет о патентных исследованиях	10 л – А4
Иллюстративные материалы	14 л – А4

Всего 29 листов

Согласовано:

Руководитель _____ доцент, к.т.н. Нуждов В.М.
подпись Должность, звание

Дата выдачи задания «____» 201_г.

Задание принял к исполнению студент _____ Попов Е. А.
подпись

АННОТАЦИЯ

Попов Е. А. Автоматизированная система управления освещением. – Челябинск: ЮУрГУ, П-263; 2017, 136 с., 38 ил., библиогр. список – 55 наим., 6 прил.

В выпускной квалификационной работе магистра изучена задача автоматизированного управления освещением в помещении, способы решения этой задачи, методы управления и используемые технические средства. Проведены исследования распределения освещенности от естественных и искусственных источников освещения, сформированы математические модели этих распределений, правильность которых подтверждена экспериментальными данными. На основе модели произведена оптимизация расположения светильников.

Сформированы технические требования к автоматизированной системе управления, разработаны алгоритм работы системы, структурно-функциональная схема, произведен подбор элементной базы.

Иzm.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ		
Разраб.	Попов				Автоматизированная система управления освещением Пояснительная записка	Лит.	Лист
Провер.	Нуждов					4	136
Реценз.							
Н. Контр.	Маклакова						
Утврд.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ	9
1.1 Объект исследования и нормативная база.....	9
1.1.1 Исследуемое помещение и его характеристики.....	10
1.1.2 Показатели освещения	11
1.1.3 Нормирование освещенности.....	15
1.2 Анализ существующих решений	17
1.2.1 Решения в области автоматизированного управления искусственным освещением. Стандарты управления.....	18
1.2.2 Решения в области автоматизированного управления естественным освещением	27
1.2.3 Патенты и реализованные системы	32
2 КОНТРОЛЬ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ. МОДЕЛЬ ОСВЕЩЕННОСТИ.....	35
2.1 Модель распределения освещенности помещения.....	35
2.1.1 Искусственное освещение	35
2.1.2 Естественное освещение.....	45
2.1.3 Комбинированное освещение	54
2.2 Контроль освещенности	55
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕННОСТИ.....	59
3.1 План проведения эксперимента по определению естественной освещенности	59
3.1.1 Изменение освещенности при удалении от световых проемов.....	62
3.1.2 Изменение освещенности в течение суток	68
3.1.3 Изменение освещенности при смене ориентации световых проемов .	70

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	5

3.2 План проведения эксперимента по определению искусственной освещенности	72
4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ	76
4.1 Технические требования к системе управления	76
4.2 Алгоритм работы системы	79
4.3 Функциональная схема системы	80
4.3.1 Блок управления	81
4.3.2 Блок датчиков	87
4.3.1 Блок исполнительных устройств	88
5 РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	92
5.1 Расчет себестоимости установки	92
5.1.1 Расчет затрат на комплектующие части.....	92
5.1.2 Расчет полной себестоимости установки.....	93
5.2 Эффект от внедрения	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	97
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	98
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Отчет о патентных исследованиях	102
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Характеристики исследуемых помещений	113
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Графики освещенности помещений	115
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Блок-схема алгоритма работы АСУО	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Структурно-функциональная схема АСУО	120
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Иллюстративные материалы	122

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 6

ВВЕДЕНИЕ

Тема выпускной квалификационной работы: «Автоматизированная система управления освещением», была выбрана исходя из ее актуальности, заключающейся в том, что значительная часть существующих систем как уличного, так и внутреннего освещения работают неэффективно. Эти системы состоят из осветительных приборов с высоким энергопотреблением, работают без динамической подстройки к внешним условиям (время суток, уровень освещенности, погодные условия и т.п.) или в ручном режиме, а, следовательно, требуют модернизации для снижения затрат электроэнергии. Немалая часть (около 12% от общего объема электропотребления в стране) в Российской Федерации ежегодно расходуется на нужды освещения.

Этот факт признан на государственном уровне и подтверждается государственной программой Российской Федерации «Энергосбережение и повышение эффективности на период до 2020 года», которая предусматривает энергосберегающие мероприятия в различных отраслях экономики страны, в том числе коммунальное хозяйство и жилищный фонд [1].

В данной магистерской работе рассмотрен вопрос автоматизации системы освещения помещения, оснащенного персональными компьютерами (ПК). Выбор данной области исследования в большом многообразии автоматизированных систем управления освещения (АСУО), обусловлен наименьшей изученностью и малым количеством реализованных проектов. Низкий интерес к помещениям с АРМ со стороны разработчиков также продиктован особыми требованиями со стороны санитарно-гигиенических норм к освещению на автоматизированных рабочих местах. Хочется отметить тот факт, что большинство разработчиков не учитывают влияние естественного освещения.

Поэтому при рассмотрении вопроса было выбрано два помещения с различным географическим положением оконных проемов, для которых были созданы теоретические модели, описывающие световое поле, создаваемое естественными источниками.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	7

никами освещения и искусственными, проведены экспериментальные исследования, подтвердившие и уточнившие теоретическую модель.

На основе полученных данных разработаны структурная, структурно-функциональная схемы АСУО, учитывающей влияние естественного освещения. Проведен подбор элементной базы, разработаны правила работы системы – подробный алгоритм.

Полученные в выпускной квалификационной работе магистра данные позволяют решить вопрос автоматизации освещения в, помещениях оснащенных автоматизированными рабочими местами, учитывая изменения окружающей ситуации. Внедрение этой системы несет большую практическую значимость, так как позволяет формировать освещение соответствующее нормам, а значит повысить эффективность работы на ПК, снизив утомляемость, и снизить затраты электроэнергии, а значит и финансовые затраты.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист 8
------	------	---------	-------	------	----------------------------	-----------

1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Освещение играет большую роль в эффективности нашей деятельности: в жилых помещениях, офисных, производственных и других. Характеристики же освещения для каждого из этих типов помещений строго определяются государственными стандартами и санитарными нормами. Все эти требования направлены на создание максимального комфорта для зрения, следовательно, обеспечить максимальную эффективность рабочих, учебных, производственных процессов. Ввиду чего создание освещения, отвечающего всем требованиям, является одним из перспективных направлений автоматизации, для решения данной задачи создаются АСУО. Данные системы решают наравне с задачей создания комфортного освещения, задачу экономии, что немаловажно как для предприятия, так и для частного лица, особенно в нынешнем внешнеэкономическом ключе.

Данная тема является достаточно хорошо освещенной, ведутся разработки и совершенствования как самих структур систем (топология, линии связи, способы передачи информации и т.д.), так и элементной базы (источники освещения, приборы управления, датчики и т.д.). Исследования и разработки ведутся многими как российскими, так и зарубежными учеными, инженерами, проектировщиками, однако довольно часто эта работа, ведется без учета естественного освещения. В данной главе мы рассмотрим основные направления и результаты разработок в области освещения.

1.1 Объект исследования и нормативная база

Объектом исследования является освещение помещения и способы управления им. Основная задача работы – исследование современных методов и способов создания комфортного и соответствующего всем нормам освещения в помещениях оснащенных ПК, учитывая естественную освещенность и основываясь на теоретической и экспериментальной моделях светораспределения.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	9
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	

1.1.1 Исследуемое помещение и его характеристики

В качестве исходных данных выберем параметры помещений, в которых находятся системы освещения. Основные требования – помещения должны быть оснащены ПК и иметь различное с точки зрения географической ориентации расположение оконных проемов, чтобы исследовать влияние этого фактора на уровень естественной освещенности. Было подобрано два примерно одинаковых помещения (равной площади, формы, равным количеством окон и типовым размещением светильников), отличающихся расположением оконных проемов: первое с проемами на юг, второе – на север (что соответствует требованиям стандарта [2]) (рисунок 1.1).

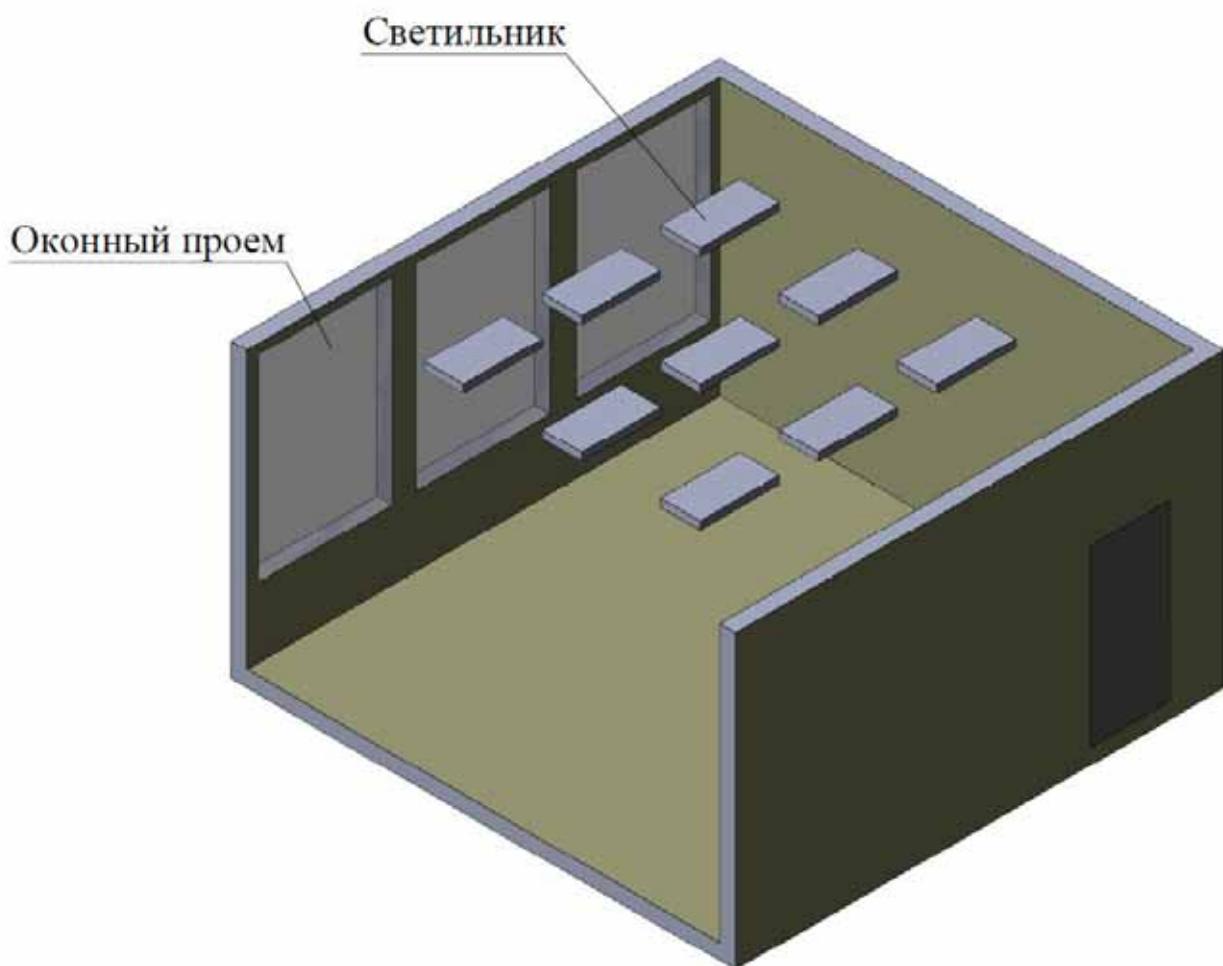


Рисунок 1.1 – Модель помещения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	10

1.1.2 Показатели освещения

Правильно спроектированное освещение способствует повышению эффективности и безопасности труда и имеет большую энергоэффективность. Освещение характеризуется следующими количественными показателями [3,4].

Световой поток (Φ) – мощность светового потока излучения, оцениваемая по зрительному ощущению человеческим глазом. Единицей измерения светового потока является люмен (лм).

Сила света (I) – пространственная плотность светового потока в заданном направлении, определяющаяся как отношение светового потока $d\Phi$, исходящего от источника и равномерно распространяющегося внутри элементарного телесного угла $d\omega$, к величине этого угла:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}. \quad (1)$$

За единицу силы света принята 1 кандела. Одна кандела – это сила света, испускаемая с поверхности площадью $1/600000 \text{ м}^2$ полного излучателя в перпендикулярном направлении.

Освещенность (E) – поверхностная плотность светового потока, определяется как отношение светового потока $d\Phi$, равномерно падающего на освещаемую поверхность $dS (\text{м}^2)$, к ее площади:

$$E = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (2)$$

Единица освещенности – люкс (лк). Один люкс – освещенность поверхности, на 1 м^2 которой подает световой поток в 1 лм ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм}/\text{м}^2$).

Яркость (L) – это поверхностная плотность силы света в данном направлении. Яркость L поверхности под углом α к нормали численно равна отношению силы

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	11

света dJ излучаемой, освещаемой или светящейся поверхностью в этом направлении к площади dS проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную этому направлению:

$$L = \frac{dI_\alpha}{dS \cdot \cos\alpha}, \quad (3)$$

где dI_α – сила света излучаемого поверхностью dS в направлении α ;

S – площадь участка, испускающего излучение;

α – угол между перпендикуляром к этому участку и направление излучения.

Единицей измерения яркости является кандела на 1 м^2 ($\text{кд}/\text{м}^2$).

Для качественной оценки условий зрительной работы по [3,4] используются следующие показатели:

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различия, на которой он рассматривается. Фон характеризуется способностью поверхности отражать падающий на нее световой поток – коэффициентом отражения p . Коэффициент отражения определяется как отношение отраженного от поверхности светового потока $F_{\text{отр}}$ к падающему на нее световому потоку $F_{\text{пад}}$:

$$p = \frac{F_{\text{отр}}}{F_{\text{пад}}}. \quad (4)$$

Фон считается светлым – при $p > 0,4$; средним – при $p = 0,2 \dots 0,4$; темным – при значениях $p < 0,2$.

Контраст объекта различия с фоном (K) определяется отношением абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона:

$$L = \frac{L_o - L_\phi}{L_\phi}. \quad (5)$$

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	12

Контраст объекта различения с фоном считается: большим – при $K > 0,5$ (объект и фон резко отличаются по яркости); средним – при $K = 0,2\dots0,5$ (объект и фон заметно отличаются по яркости); малым – при $K < 0,2$ (объект и фон мало отличаются по яркости).

Показатель ослепленности (P) – это критерий оценки слепящего действия осветительной установки, определяемый выражением:

$$P = (S - 1) \cdot 1000, \quad (6)$$

где S – коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения. Пороговой разностью яркости $\Delta L_{\text{пор}}$ называется наименьшее заметное глазу отличие яркости объекта L_o и фона L_ϕ .

Коэффициент ослепленности (S) определяется по формуле:

$$S = \frac{\Delta L_{\text{пор.с}}}{\Delta L_{\text{пор.}}} \quad (7)$$

где $\Delta L_{\text{пор.}}$ – пороговая разность яркости объекта и фона при обнаружении объекта на фоне равномерной яркости;

$\Delta L_{\text{пор.с}}$ – то же при наличии в поле зрения блеского источника.

Коэффициент пульсации освещенности (K) – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током. Существует 3 метода измерения коэффициента пульсации светового потока.

Согласно [2], коэффициент пульсации рассчитывается по формуле:

$$K_p = \frac{E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}}{2 \cdot E_{\text{ср}}} \cdot 100, \quad (8)$$

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	13

где E_{\max} – соответственно максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк;

E_{\min} – соответственно минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк.

Кроме перечисленных выше количественных и качественных показателей, освещение характеризуется и другими показателями.

Красное отношение – выраженное в процентах отношение красного светового потока к общему световому потоку источника света:

$$r_k = \frac{\int_{610}^{700} \varphi(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{700} \varphi(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} \cdot 100, \quad (9)$$

где $\varphi(\lambda)$ – спектральная плотность потока;

$V(\lambda)$ – относительная спектральная чувствительность глаза человека.

Показатель дискомфорта (M) – критерий оценки дискомфортной блесткости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, выражющийся формулой:

$$M = \frac{L_c \omega^{0.5}}{\varphi_\theta L_{ad}}, \quad (10)$$

где L_c – яркость блесткого источника, кд/м²;

ω – угловой размер блесткого источника;

φ_θ – индекс позиции блесткого источника относительно линии зрения;

L_{ad} – яркость адаптации, кд/м².

Показатель дискомфорта определяет степень дополнительной напряженности зрительной работы, вызванной наличием резкой разницы яркостей в освещенном помещении.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	14

Цветовая температура $T_{ц}$ – это температура излучателя Планка (черного тела), при которой его излучение имеет ту же цветность, что и излучение рассматриваемого объекта. Цветовая температура измеряется в градусах по шкале Кельвина (К). Как правило, цветовую температуру подразделяют на четыре диапазона:

- теплый белый (2700-3200 К);
- нейтральный белый или дневной (3500-4500 К);
- белый (4700-6000 К);
- холодный белый (от 6000 К).

1.1.3 Нормирование освещенности

Нормирование освещения существенно отличается от нормирования других физических факторов. При разработке стоит учесть, что значения освещенности, согласно, нормируются в зависимости от разряда зрительных работ. В свою очередь, разряд зрительных работ зависит от наименьшего размера объекта различения, контраста объекта с фоном и характеристик фона. Требования к освещению помещений различного назначения должны быть разными. Для каждого вида зрительных работ должны быть установлены свои нормативные значения.

Главным документом, в котором содержатся нормы естественного, искусственного и совмещенного освещения для зданий и сооружений, является Свод правил СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение», являющийся актуализированной редакцией СНиП 23-05-95 [3,5].

В разделе «Естественное освещение» в виде таблиц установлены требования к такому освещению для помещений промышленных предприятий, жилых и общественных зданий. Так же содержатся коэффициенты запаса для естественного освещения, нормируемые значения коэффициентов естественного освещения для зданий, расположенных в различных районах, коэффициенты светового климата исходя из группы административного района и ориентации световых проемов по сторонам горизонта.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	15

В разделе «Совмещенное освещение» содержатся требования к нормативным значениям коэффициентов естественного освещения для производственных помещений при совмещенном освещении, а так же расчетные значения КЕО при совмещенном освещении жилых и общественных зданий.

Раздел «Искусственное освещение» устанавливает требования к освещению:

- помещений производственных и складских зданий, общественных, жилых и вспомогательных зданий;
- площадок предприятий и мест производства работы вне зданий;
- улиц, дорог, пешеходных переходов, автотранспортных тоннелей;
- наружному архитектурному освещению зданий и сооружений;
- к аварийному, охранному и дежурному освещению.

Настоящий Свод правил рекомендует применять энергоэкономичные источники света для искусственного освещения, при этом преимущественно используя лампы с наибольшей световой отдачей и сроком службы при равной мощности.

Нормативным документом, направленным на предотвращение неблагоприятного влияния вредных факторов трудовой среды и трудового процесса на здоровье человека при работе с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) на человека, являются Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [2]. Данные правила содержат требования:

- к отечественным ПЭВМ при их проектировании, изготовлении и эксплуатации, которые используются как на производстве, так и для личного пользования;
- к импортным ПЭВМ при их эксплуатации и использовании;
- к помещениям, находящимся на стадии проектирования, строительства или реконструкции, и предназначенных для эксплуатации всех типов ПЭВМ;
- к организации рабочих мест, на которых используются ПЭВМ.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	16

Освещенность на рабочем столе должна быть 300-500 лк, а освещенность поверхности экрана ПЭВМ – не более 300 лк. Освещение не должно создавать блики на поверхности экранов.

Международное сообщество нормирует освещенность собственными стандартами. Стандарт ЕН 12464-1:2011 «Освещение рабочих мест. Внутреннее освещение рабочих мест» [6] включены дополнительные (по отношению к Европейскому стандарту EN 12464-1:2011 «Lighting of work places. Indoor work places» [55]) требования, касающиеся экономических особенностей РФ, а именно:

- область распространения данного стандарта ограничивается искусственным освещением, так как нормирование естественного освещения из-за ряда отличий, касающихся особенностей светоклиматических режимов на территории РФ, проводится с помощью особых методов и принципов;
- содержится приложение, которое позволяет обоснованно выбирать источники искусственного освещения, исходя из их цветовых характеристик;
- в таблице, касающейся норм светотехнических параметров, приведена регламентация коэффициента пульсации, который не регламентируется в европейском нормировании;
- изменены диапазоны рекомендуемых коэффициентов отражения потолка и стен и внесены дополнительные значения в шкалу освещенности.

Освещение рабочих мест, оборудованных мониторами, должно обеспечивать все необходимые вида зрительных работ, которые требуются на данном рабочем месте, на рабочих местах, оборудованных мониторами или технологическими дисплеями, требуемое значение освещенности 500 лк.

1.2 Анализ существующих решений

Рассмотрев вопрос нормирования освещения, прежде чем приступить к теоретическим исследованиям, необходимо произвести анализ существующих решений. Так как в данной работе рассматривается АСУО, управляющая, как искусственным

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	17
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	

освещением, так и естественным, то рассмотрение существующих решений и исследований следует разбить на две части:

- решения в области автоматизированного управления искусственным освещением;
- решения в области автоматизированного управления естественного освещения.

1.2.1 Решения в области автоматизированного управления искусственным освещением. Стандарты управления

Под источниками искусственного освещения понимаются технические устройства различной конструкции и с различными способами преобразования энергии, основным назначением которых является получение светового излучения, к ним относятся лампы накаливания, люминесцентные, газоразрядные и излучающие светодиоды [7]. Каждый из этих видов осветительных приборов имеет свой механизм получения светового излучения, с различным количеством светового излучения на единицу затрачиваемой электроэнергии, называемым световой отдачей. Данные по различным источникам указаны в таблице 1.1[8].

Таблица 1.1 – Световая отдача источников искусственного освещения

Тип источника	Световая отдача (лм/Вт)	Относительная световая отдача
Лампа накаливания 100 Вт	13,8	2,0 %
Лампа накаливания 200 Вт	15,2	2,2 %
Галогеновая лампа 100 Вт	16,7	2,4 %
Светодиоды	10 – 300	1,5 – 40,0 %
Люминесцентная лампа	40 – 104	6,0 – 15,0 %
Газоразрядная натриевая лампа высокого давления	85 – 150	12,0 – 22,0 %
Газоразрядная натриевая лампа низкого давления	100 – 200	15,0 – 29,0 %
Белые осветительные светодиоды	250 – 280	36,0 – 37,0 %

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
						18

Данные таблицы позволяют остановить свой выбор на белых осветительных светодиодах, ввиду их наибольшей эффективности. Тем более, что конструкции светильников позволяют «перекрыть» все ранее используемые осветительные приборы, однако, основным недостатком светодиодных светильников остается их цена, порой на порядок превышающая аналоги с источниками света другого рода.

При работе стоит учесть, что светодиоды имеют ряд преимуществ:

- срок службы светодиода — в среднем 100000 часов, (примерно 25 лет) до периода деградации диода;
- высокая светоотдача, высокая экономичность энергопотребления светодиодных светильников достигаются общим уровнем снижения энергорасходов порядка 70 % (в зависимости от типа изделия) в сравнении с привычными видами освещения;
- светодиодные светильники обладают механической прочностью, и виброустойчивостью;
- экологическая безопасность позволяет сохранять окружающую среду, не требуя специальных условий по утилизации (то есть не содержит ртути, ее производных и других ядовитых, вредных или опасных составляющих материалов и веществ);
- отсутствует вредный эффект низкочастотных пульсаций;
- возможность формирования кривой силы света вторичной оптикой установленной на светодиод дает возможность применение прибора освещения наиболее эффективно к местным условиям [9].

Если режим работы системы освещения не предполагает изменения освещенности, то есть светового потока светильника, то их использование не влечет за собой никаких дополнительных трудностей. Однако, при необходимости регулирования яркости, возникает ряд трудностей, так как данный механизм управления требует специализированных драйверов и вторичных источников питания для светодиодных светильников, изменять яркость светодиодов, называемых диммерами.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	19

Абсолютное большинство диммеров основано на использовании импульсных источников питания и регулировании яркости свечения светодиода путем широтно-импульсной модуляции (ШИМ, при этом светодиод будет периодически зажигаться и гаснуть. При этом ток на протяжении всего времени вспышки остается номинальным. Принцип ШИМ – регулирования светодиодов достаточно прост и основан на различном восприятии различного соотношения времени зажженного и погашенного состояния глазом.

На рисунке 1.2 изображены диаграммы сигналов на выходе устройства управления ШИМ (или задающий генератор). Нулем и единицей обозначены логические уровни: логическая единица (высокий уровень) вызывает свечение светодиода, логический нуль (низкий уровень), соответственно, погасание.

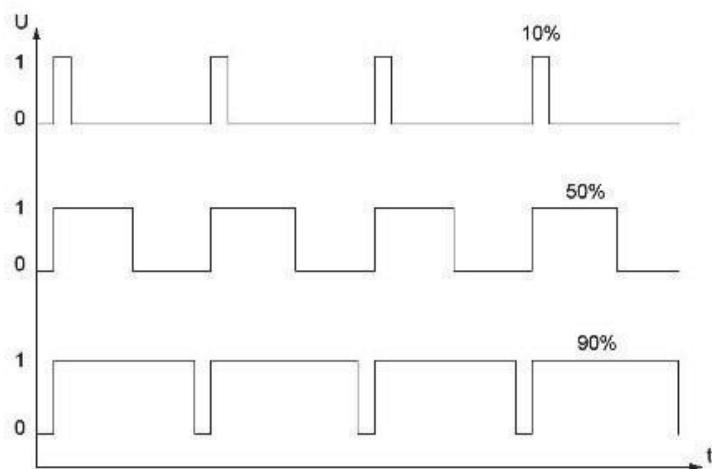


Рисунок 1.2 Принцип ШИМ – регулирования

Следует обратить внимание на то, что период следования импульсов остается неизменным. Длительность управляющих импульсов на рисунке 1 выражена в процентах – т.е. является коэффициентом заполнения или для удобства можно использовать скважность – отношение периода следования к времени импульса, тогда если коэффициент заполнения 50%, то скважность будет равна 2.

Частота импульсов на яркость свечения влияния не оказывает, однако, исходя из особенностей строения, глаза человека не должны ощущать дискомфорта и

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	20

мерцаний, а значит, частота импульсов не должна быть ниже порогового значения [10].

В кинотехнике существует термин «критическая частота мельканий». Это частота, при которой отдельные картинки, показываемые друг за другом, воспринимаются как движущееся изображение. Для человеческого глаза эта частота составляет 48Гц. Это, значит, что частота сигнала регулятора должна быть больше этого значения, основанные на медицинских наблюдениях влияния высокочастотных световых пульсаций на организм человека, рекомендуемые значения более 300 Гц [11].

При текущей востребованности в регулировании освещенности, производители светодиодных светильников выпускают светильники с импульсными источниками питания допускающими диммирование. Поэтому рассмотрим основные стандарты, поддерживаемые диммируемыми светильниками, с учетом того, что современная система управления освещением может отрабатывать следующие функции:

- коммутация и плавная адресная регулировка яркости светильников;
- поддержание постоянного заданного уровня освещённости в помещении;
- учёт присутствия в освещаемом помещении людей;
- учёт уровня естественной освещённости помещения;
- сценарное управление группами светильников в соответствии с предустановленными параметрами;
- работа по расписанию (день недели, время суток);
- обеспечение интерфейса управления для ПК/ПЛК, возможность интеграции её в систему диспетчеризации объекта [12].

Одним из первых используемых в управлении стандартов стал – «0–10 В». Стандарт Е1.3 был опубликован в 2001 году рабочей группой по протоколам управления ESTA, управление в этом стандарте осуществляется аналоговым сигналом постоянного тока напряжением от 0 до 10 В (границы значения гаранти-

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 21

рующие совместимость оборудования: минус 0,2 до плюс 12 В – для передатчика, минус 0,5 до 30 В – для приемника).

В отличие от чисто цифровых кабели управления в стандарте «0–10 В» могут быть любого типа. Тем не менее существует опасность, что если нагрузка и сечение проводника не рассчитаны соответствующим образом, может быть легко превышено максимально допустимое падение напряжения на линии, возможно нежелательное воздействие каналов управления друг на друга: групповой сигнал на увеличение яркости диммеров может вызвать просадку напряжения и ложный сигнал на снижение яркости диммера, находящегося на общей с ними шине. В связи с контроллерами с аналоговым управлением запускают от контролируемых диммеров.

Простота наряду с дешевизной реализации является причиной широкой распространённости, а также сопряжение подобных устройств, с аналоговым выходом ПЛК не вызывает технических сложностей [13]. Типовая схема подключения представлена на рисунок 1.3.

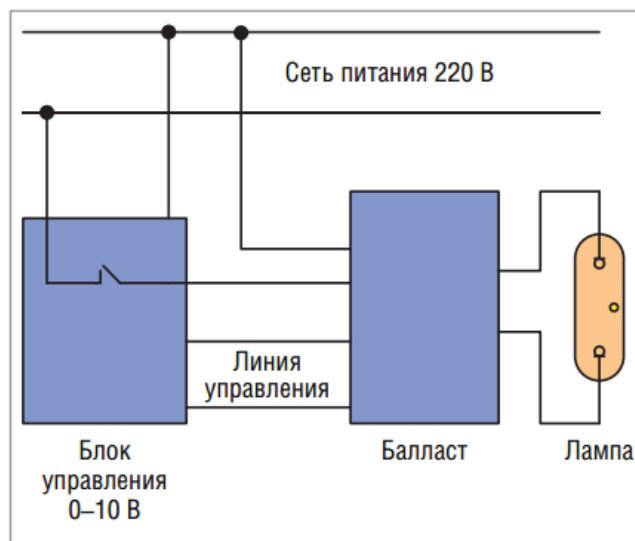


Рисунок 1.3 – Схема подключения по шине 0-10 В

Описанная аналоговая схема не позволяет реализовать полный функционал современных систем освещения, но, несмотря на свои недостатки, с успехом применяется.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	22

На смену аналоговому стандарту приходят цифровые системы управления, потенциально имеющие массу преимуществ, для них характерны:

- помехозащищённость;
- простота прокладки коммуникаций;
- возможности произвольной адресации;
- возможность обратной связи с устройствами;
- совместимость с беспроводными технологиями.

DMX512 – цифровой протокол, как средство управления диммерами был обнародован в 1986 году комитетом USITT/ESTA. Физической средой передачи данных DMX512 является кабель, соответствующий стандарту RS-485 и состоящий из одной или двух низкоемкостных витых пар, помещённых в оплётку и экранированных фольгой. По стандарту в одну линию DMX512 может быть включено до 32 устройств, а сама линия связи может быть длиной до 1 км (см. рисунок 1.4).

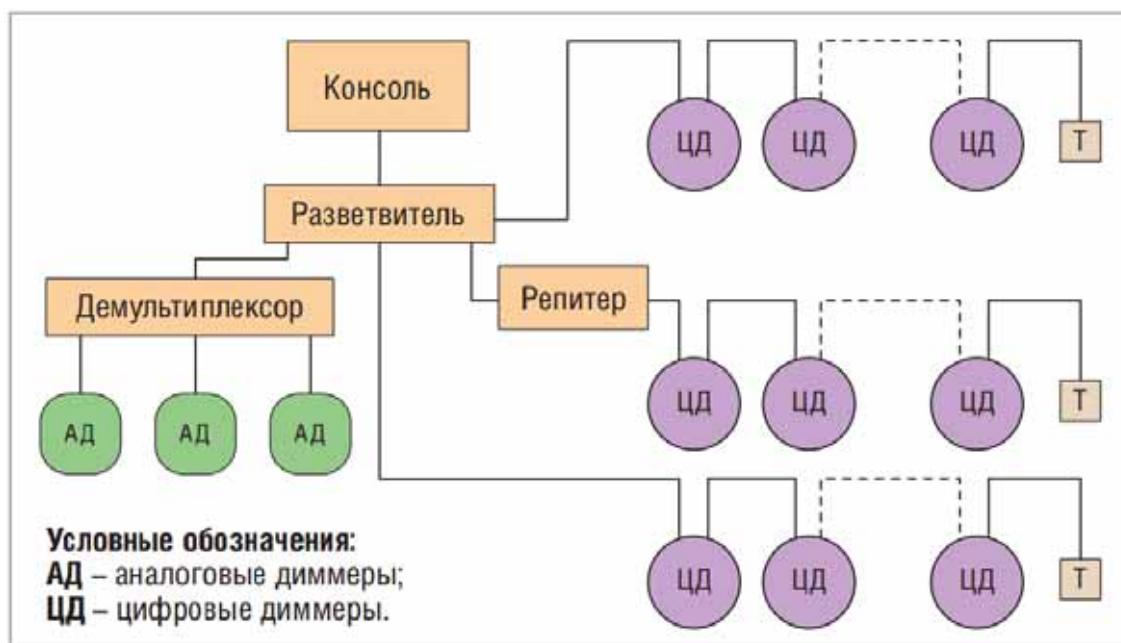


Рисунок 1.4 – Топология сети DMX512

Устройства DMX512 допускают адресацию. Принцип адресации может быть как групповым, при котором задаётся базовый адрес и диапазон пула адресов

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.2017.375.00.00 ПЗ	23

устройства, так и произвольным, когда любому из каналов, принадлежащих одному устройству, можно присвоить любой из 512 свободных адресов. Адрес (базовый адрес) канала в диапазоне от 0 до 511 присваивается путём установки девяти DIP-переключателей на устройстве [14].

Протокол DMX512, не охватывает весь функционал, но он вполне применим для многих задач управления освещением. В силу простоты и относительной дешевизны реализации в настоящее время данный протокол нашёл широкое применение в области управления светодиодными светильниками.

RDM (Remote Device Management) – разработка ассоциации ESTA. Благодаря расширению RDM системы DMX512 стали двунаправленными и полнодуплексными. В системе RDM контроллер имеет возможность не только отправить запрос к устройствам в шине, но и получить от них ответ. Виды сообщений протокола RDM охватывают все типовые задачи по управлению системами освещения, такие как запрос и установка DMX-адреса (команды GET и SET), задание режимов работы и других настроек оборудования, а также мониторинг различных датчиков.

Для управления оборудованием используется мастер-устройство – контроллер RDM. Стандарт RDM поддерживает автоматическую конфигурацию сети, в процессе которой контроллер опрашивает устройства и получает в ответ их функциональные свойства и текущую конфигурацию [15].

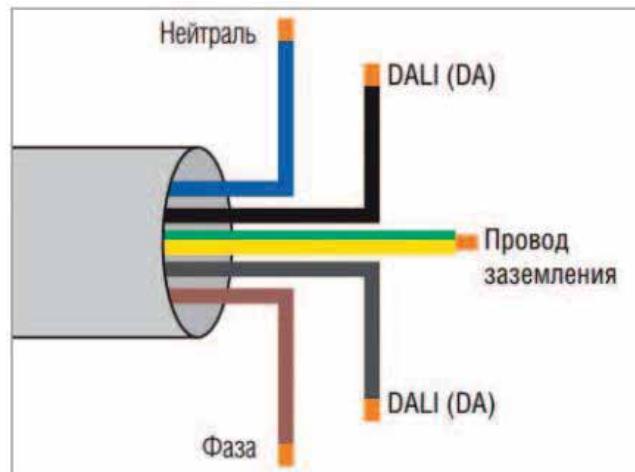
RDM рассматривается многими как перспективный путь развития систем управления светильниками для архитектурной подсветки, организации световых шоу и так далее.

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) – международный стандарт принят в 2002 году. Стандарт DALI независим от производителя, что обеспечивает взаимозаменяемость и совместимость балластов и прочего оборудования разных поставщиков. Новый стандарт определяет не только цифровой интерфейс, но и, в дополнение к текущей технологии управления, аналоговый 0–10 В.

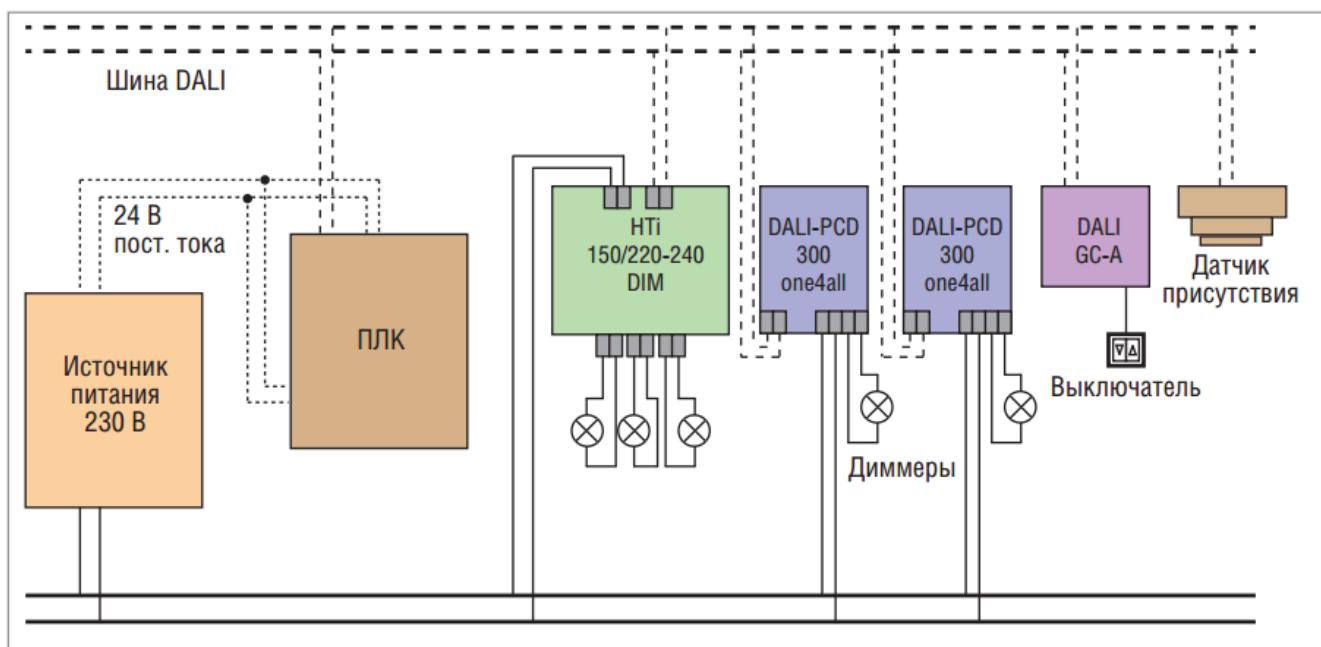
Компоненты DALI позволяют создать гибкую, экономичную и, что крайне важно, децентрализованную систему освещения. DALI может функционировать в

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	24

качестве автономной системы или подсистемы в рамках АСУ здания. Стандарт позволяет осуществлять не только управление, но и конфигурирование, а также мониторинг устройств на шине (см. рисунок 1.5).



а)



б)

Рисунок 1.5 – а)Шина DALI б) Пример сети DALI с управлением от ПЛК

Протокол поддерживает большое число типов ламп и обеспечивает единообразное управление ими, независимо от особенностей конкретной реализации ис-

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	25

точника света. Системы DALI легко масштабируются, DALI представляет собой систему с распределённым интеллектом, в которой каждое устройство имеет индивидуальный адрес, может быть включено в группу (и помнит свою принадлежность), запоминает параметры световой сцены, скорость диммирования, максимальный и минимальный разрешённые уровни яркости и так далее.

Устройства DALI нет необходимости коммутировать по питающей силовой цепи: включение/выключение их реализовано на уровне управляющих сигналов шины DALI. Устройства управления могут предоставить информацию на другие устройства управления (например, об интенсивности света, присутствии людей, или сигнал нажатия кнопки). ПЛК также относятся к устройствам управления, поскольку могут, например, посыпать команды для изменения интенсивности освещения.

На физическом уровне передачи в DALI применено Манчестерское кодирование, позволяющее принимающей стороне однозначно определять начало и конец передаваемого бита без помощи сигнала синхронизации. Протокол различает индивидуальную и групповую адресацию. Кроме того, существует ещё тип широковещательных сообщений, которые принимаются всеми устройствами в линии. На линии может присутствовать до 64 устройств, произвольным образом объединённых в 16 различных групп. Адреса устройствам на шине раздаются мастер-устройством динамически в процессе первоначального опроса. Назначение адресов и распределение устройств по группам производится на программном уровне, поэтому не требуется никаких изменений в части монтажа оборудования. Источник питания шины DALI обычно рассчитывается на максимальный ток 250 мА, а каждое подключённое к шине устройство не должно потреблять более 2 мА. Максимальная длина сегмента DALI не должна превышать 300 м. DALI-устройства гальванически развязаны между собой, поэтому могут быть свободно запитаны от разных фаз сети. Проводники цифрового интерфейса могут быть проложены непосредственно с силовыми линиями 230 В, это не вызывает проблем в работе DALI-устройств

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	26

Диапазон диммирования обычно составляет от 0,1 до 100%, где нижняя граница зависит от конкретной аппаратной реализации. Кривая изменения интенсивности света также стандартизирована и адаптирована для наилучшего восприятия человеческим глазом (логарифмический закон изменения). Стандарт предусматривает сохранение в памяти устройства до 16 предопределённых световых сцен. Как правило, этого вполне достаточно для реализации всех требуемых режимов освещения помещения. DALI разрабатывался, как специализированный протокол управления осветительными приборами и рассчитан только на управление компонентами системы освещения [16].

1.2.2 Решения в области автоматизированного управления естественным освещением

В ходе работы системы могут возникать и такие ситуации, когда уровень освещенности, создаваемый солнечным светом, превышает нормативные показатели, тогда возникает необходимость в снижении этого уровня, посредством затенение световых проемов (окон). Для построения АСУО освещением подавляющее большинство проектировщиков исключают влияние естественного света на общую освещенность – полным затенением оконных проемов, порталов и т.д. (завешивание, заклеивание светонепроницаемым материалом). Данный способ имеет как плюсы, так и минусы. К положительным эффектам можно отнести – исключение «слепящего» воздействия солнца (при «неудачном» расположении помещения относительно сторон света), а также теплового эффекта (нагревания помещения солнцем). К минусам можно отнести – низкую энергоэффективность.

Поэтому рассмотрим способы управляемого затенения. Для затенения наиболее часто используются горизонтальные, вертикальные жалюзи, маркизы и рольставни (см. рисунок 1.6 а, б, в и г соответственно).

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	27



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.6 – Механизмы затенения

Также наряду с вышеперечисленными механическими затемняющими устройствами используются специальные композитные материалы, которые наносятся на стекло и могут менять степень светопропускания.

Смарт-стекло – композит из слоев стекла и различных химических веществ, изменяющее свои оптические свойства (опалесценция (матовость), коэффициент светопропускания, коэффициент поглощения тепла). Существует три технологии смарт-стекол:

- полимерный жидкокристаллический слой (Liquid crystal devices (LCD));
- на взвешенных частицах (Suspended particle devices (SPD));
- электрохромный (электрохимический) слой [17].

В полимерных жидкокристаллических устройствах (LCD), жидкие кристаллы разлагаются на составляющие или диспергируются в жидкий полимер, затем

					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		28

затвердевают или фиксируют полимер. Жидкая смесь полимера и жидких кристаллов (PDLC) расположена между двумя слоями стекла или пластика, с нанесённым тонким слоем прозрачного проводящего материала, который обеспечивает подвод напряжения и затвердевание полимера. Электропитание подключается к электродам, изготовленным из медной фольги со слоем электропроводного клея, контактирующим с проводящим слоем пленки. Изготавливаются как готовые стекла, так и пленка, монтируема на стекла отдельно.

Без напряжения, жидкие кристаллы случайно упорядочены в капли, что приводит к рассеянию параллельных лучей света. При подаче электропитания, электрическое поле между двумя прозрачными электродами на стекле заставляет жидкие кристаллы выравниваться, позволяя свету проходить через капли с очень маленьким рассеянием. Стекло переходит в прозрачное состояние

Степень прозрачности может контролироваться приложенным напряжением. По мере возрастания напряжения, меньше кристаллов остается не выровненными, что приводит к меньшему рассеянию света.



а)

б)

Рисунок 1.7 – LCD смарт-стекло: а – отключено, б - включено

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	29

Потребляемая мощность PDLC пленки составляет $4\dots 5 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Смарт-стекло последнего поколения управляется безопасным низковольтным питанием. Существует 3 цвета PDLC пленки молочно-белая, молочно-серая и молочно-голубая.

Изделия из смарт-стекла обладают повышенными требованиями по уходу за ними, применение агрессивных составов и жидкостей.

В устройствах со взвешенными частицами (SPD), тонкая пленка слоистых материалов стержнеобразных частиц, взвешенных в жидкости помещается между двумя слоями стекол или пластика. Принцип изменения прозрачности аналогичен LCD – если напряжение не приложено, взвешенные частицы ориентированы случайно и поглощают свет, стекло выглядит темным (полупрозрачным), синим или реже серым или черным.



а)

б)

Рисунок 1.8 – SPD смарт-стекло: а – отключено, б – включено

Электрохромные устройства изменяют прозрачность материала: состояние меняется между цветным, полупрозрачным состоянием (обычно синий) и прозрачным. Оттенки в «темном» состоянии могут быть от самой насыщенной тонировки до едва заметного затенения. Обычно подача напряжения необходима только для изменения степени прозрачности, но после того, как состояние изменилось, нет необходимости в электропитании для поддержания достигнутого состояния.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	30

Затемнение возникает по краям, перемещается внутрь — это медленный процесс, занимающий от многих секунд до нескольких минут в зависимости от размеров окна.



Рисунок 1.9 – Электрохромное смарт-стекло: а – отключено, б – включено

Электрохимические материалы используются для контроля количества света и тепла, проходящего через окна, применяются в автомобильной индустрии для автоматического затемнения зеркал заднего вида автомобиля при различном освещении. Электрохромное стекло обеспечивает видимость даже в затемненном состоянии и тем самым сохраняет визуальный контакт с внешней средой.

Смарт-стекла имеют ряд преимуществ:

- позволяют уменьшить потери тепла,
- сократить расходы на кондиционирование и освещение,
- служат высокотехнологичной альтернативой жалюзи и механическим затеняющим экранам, шторам;
- в прозрачном состоянии жидкокристаллические или электрохимические смарт-стекла не пропускает ультрафиолетовое излучение;

Но существуют и недостатки — это относительно высокая стоимость, необходимость использования электрического напряжения, опалесценция (замутнение) или меньшая прозрачность по сравнению с обычным стеклом.

					Лист 15.04.2017.375.00.00 ПЗ
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	

1.2.3 Патенты и реализованные системы

Близких к области исследования запатентованных и реализованных решений в исследуемой области не так много, в рамках патентного были найдены наиболее близкие к исследуемой теме патенты, отчет о поиске представлен в приложении А.

Наиболее полной с точки зрения охвата системы управления является система, рассмотренная в разработанном компанией Филлипс Электроникс, патенте №2538319 «Система освещения и способ управления системой» охватывает полный функционал современных автоматизированных систем управления освещением, а поэтому требует детального рассмотрения.

Основные положения патента состоят том, чтобы обеспечить систему освещения такой системой управления, которая управляет уровнем света по меньшей мере части здания, причем по меньшей мере часть здания освещается как дневным светом посредством одной или более прозрачных частей, так и генерированным светом посредством одного или более источников электрического света.

Система управления функционально связана с:

- по меньшей мере одним датчиком интерьера для обнаружения уровня света интерьера;
- по меньшей мере одним устройством управления электрическим светом для управления уровнем электрического света одного или более источников электрического света;
- по меньшей мере одним устройством управления оконными драпировками для управления допустимым уровнем дневного света, пропускаемым сквозь одну или более прозрачных частей;
- обрабатывающим блоком для обработки заданных значений управления, причем обрабатывающий блок функционально связан по меньшей мере с одним датчиком интерьера;

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	32

– причем обрабатывающий блок определяет разницу между обнаруженным уровнем света интерьера и заданным значением уровня света интерьера, а уровень света одного или более источников электрического света и допустимый уровень дневного света, пропускаемый сквозь одну или более прозрачных частей, управляются параллельно работой по меньшей мере одного устройства управления электрическим светом и по меньшей мере одного устройства управления оконными драпировками для, того чтобы на основе разницы между обнаруженным уровнем света интерьера и заданным значением уровня света интерьера, управлять уровнем света интерьера по меньшей мере части здания.

Также представлен способ работы системы освещения. Способ содержит:

- прием заданных значений управления, причем заданные значения управления содержат заданное значение уровня света интерьера;
 - обнаружение уровня света интерьера;
 - управление уровнем света одного или более источников электрического света;
 - управление по меньшей мере одной оконной драпировкой для установления допустимого уровня дневного света, пропускаемого сквозь одну или более прозрачных частей;
- причем уровень света одного или более источников электрического света и допустимый уровень дневного света, пропускаемого сквозь одну или более прозрачных частей, управляются параллельно работой по меньшей мере одного источника электрического света и по меньшей мере одной оконной драпировкой для того, чтобы на основе разницы между обнаруженным уровнем света интерьера и заданным значением уровня света интерьера, управлять уровнем света интерьера по меньшей мере части здания [18].

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	33

Выводы по главе один

1. Создание автоматизированных систему правления освещения – перспективное направление в области автоматизации, и модернизации, ввиду повсеместного распространения систем освещения.
2. Системы должны строиться на диммируемых светодиодных источниках освещения.
3. Использовать современные стандарты управления (DALI).
4. Управлять уровнем естественной освещенности основываясь на передовых разработках (смарт-стекла LCD).
5. Иметь совокупность датчиков для осуществления обратной связи.
6. АСУО должна иметь гибкий алгоритм управления и интерфейс для реализации полного объема функций:
 - коммутация и плавная адресная регулировка яркости светильников;
 - поддержание постоянного заданного уровня освещённости в помещении;
 - учёт уровня естественной освещённости помещения;
 - сценарное управление группами светильников в соответствии с предустановленными параметрами;
 - работа по расписанию (день недели, время суток);
 - обеспечение интерфейса управления для ПК/ПЛК, возможность интеграции её в систему диспетчеризации объекта.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ 34

2 КОНТРОЛЬ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ. МОДЕЛЬ ОСВЕЩЕННОСТИ

Для проверки существующей системы освещения, оценки и расчета параметров естественного, искусственного и комбинированного освещения, а также возможности дальнейшей модернизации и апробации возможных изменений необходимо создание модели. Исходными данными для построения будут являться параметры помещений, в которых находятся системы освещения, характеристики помещения, указаны на рисунке Б.1 приложения Б, размещение светильников типовое.

2.1 Модель распределения освещенности помещения

Построение математических моделей светораспределения естественного или искусственного освещения в помещении с учетом всех световых эффектов, характеристик материалов, коэффициентов отражения и преломления – сложная вычислительная и имитационная задача. Для решения таких объемных задач применяются специализированные программные продукты, например программный пакет DIALux. Однако, приняв некоторые упрощения, построить модель можно аналитически.

2.1.1 Искусственное освещение

Для построения математической модели распределения света от искусственных источников необходимо знать закон распределения света от каждого осветительного прибора – кривую распределения силы света (КСС). Применяемые в офисах светильники имеют косинусную (D) или близкую к ней кривую распределения силы света, так как выбранные нами помещения относятся к классу офисных, дальнейшее исследование будем проводить используя законы для светильников с косинусной КСС [20, 21, 22].

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	35
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ	

КСС типа Д имеет математическую модель следующего вида :

$$I_{aD} = I_D \cdot \cos\alpha, \quad (11)$$

где I_{aD} – сила света в направлении;

I_D – осевая сила света;

α – угол между лучом света направленного в освещаемую точку и осевым лучом [22, 23].

Световой поток светильника в пределах телесных углов от α_1 до α_2 вычисляется по формуле [24]:

$$\Phi_{\alpha_1-\alpha_2} = 2 \cdot \pi \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} I_\alpha \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha. \quad (12)$$

где I_α – осевая сила света.

Для упрощения математической модели (исключения эффектов отражения и рассеивания) необходимо принять следующие допущения:

- 1) светильник – точечный источник света;
- 2) угол излучения светильников по условиям комфортности освещения поверхности принят равным 90 градусов.
- 3) освещаемая расчетная поверхность имеет вид окружности;
- 4) высота расчетной поверхности равна высоте рабочей поверхности (смотри приложение Б);
- 5) высота подвеса светильников в соответствии с приложением Б.

Тогда величина светового потока светильника при угле излучения 90 градусов (угол направления силы света от источника на границу окружности составляет 45 градусов) составляет [24]:

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	36
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ	

$$\Phi_{\Delta} = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} I_{\Delta} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = 2 \cdot \pi \cdot I_{\Delta} \int_0^{\frac{\pi}{4}} \sin \alpha \cdot d\sin \alpha = 2 \cdot \pi \cdot I_{\Delta} \cdot \frac{(\sin \alpha)^2}{2} \Big|_0^{\frac{\pi}{4}} = \\ = \pi \cdot I_{\Delta} \cdot ((\sin \frac{\pi}{4})^2 - (\cos 0)^2) = \frac{\pi}{2} \cdot I_{\Delta}$$

где I_{Δ} – осевая сила света светильника с КСС типа Δ [18, 19, 20].

Зная световой поток, выразим осевую силу света из выражения :

$$I_{\Delta} = \frac{\Phi_{\Delta}}{\frac{\pi}{2}} \text{ кд.} \quad (14)$$

Освещенность в точке окружности связана с силой света основным законом светотехники [20-24]:

$$E = \frac{I_{\Delta} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}, \quad (14)$$

где h – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью равная разнице $h_{\text{свет}}$ и $h_{\text{раб}}$.

Подставим выражение осевой силы света:

$$E = \frac{2 \cdot \Phi_{\Delta} \cdot \cos^3 \alpha}{\pi \cdot h^2}, \quad (15)$$

Совокупность же светильников в каждой отдельно взятой точке освещаемой поверхности будет создавать освещенность:

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	37

$$E_{\text{сумм точк}} = \sum_{i=1, j=1}^3 \left(\frac{I_{D_{i,j}} \cdot \cos \left(\arctg \left(\frac{\sqrt{(x_{i,j} - x_{\text{точк}})^2 + (y_{i,j} - y_{\text{точк}})^2}}{h} \right) \right)^3}{h^2} \right), \quad (16)$$

где $x_{\text{точк}}$ и $y_{\text{точк}}$ – координаты точки в которой производится вычисление;

$I_{D_{i,j}}$ – осевая сила света светильника i, j ($L1.1 \dots L3.3$ – светильники);

$x_{i,j}$ и $y_{i,j}$ – координаты светильника, также примем допущение, что светильник создает освещенность равную 10% от рассчитываемой при значении угла α больше 45 градусов.

Матрица освещенности будет иметь следующий вид:

$$E = \begin{bmatrix} E_{\text{суммточк1,1}} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & E_{\text{суммточк}m,n} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

где m – количество линий вычисления по координате Y в которых вычисляется освещенность;

n – количество линий вычисления по координате X в которых вычисляется освещенность.

Примем, что количество светильников равно девяти координаты их положения представим в виде матриц X и Y , соответственно (в системе координат помещения – приложение Б):

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	38

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Так для L1.1 – $x_{11}=X_{1,1}$, $y_{11}=Y_{1,1}=1,5$.

Однако простое построение модели светораспределения без оценки результирующих параметров – нецелесообразно, поэтому оценивать качество и эффективность системы освещения, будем по следующим критериям:

- 1) освещенность рабочей поверхности (E);
- 2) величина коэффициента неравномерности освещаемой поверхности (Z).

Освещенность должна находиться на уровне не менее 500 лк, коэффициент Z должен быть близок к единице.

Коэффициент неравномерности освещаемой поверхности (Z), вычисляемой по формуле [20-23]:

$$Z = \frac{E_{\max} + E_{\min}}{2 \cdot E_{\min}}, \quad (19)$$

где E_{\max} – максимальная освещенность на поверхности;

E_{\min} – минимальная освещенность на поверхности [18].

Используя выражение (18) в выражении (8), последнее примет вид:

$$Z = \frac{\max(E) + \min(E)}{2 \cdot \min(E)}. \quad (20)$$

Известно, что световой поток светильника - 2000 лм, выразим осевую силу света из выражения (4):

$$I_D = \frac{\Phi_D}{\frac{\pi}{2}} = \frac{2000}{\frac{\pi}{2}} \approx 1273,89 \text{ кд.} \quad (21)$$

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	39

Координаты светильников в соответствии с фактическим расположением в исходном помещении:

$$X = \begin{pmatrix} 1,5 & 3 & 4,5 \\ 1,5 & 3 & 4,5 \\ 1,5 & 3 & 4,5 \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} 1,5 & 1,5 & 1,5 \\ 3 & 3 & 3 \\ 4,5 & 4,5 & 4,5 \end{pmatrix}. \quad (22)$$

Количество точек для вычисления освещенности примем равными 90: m=n=30.

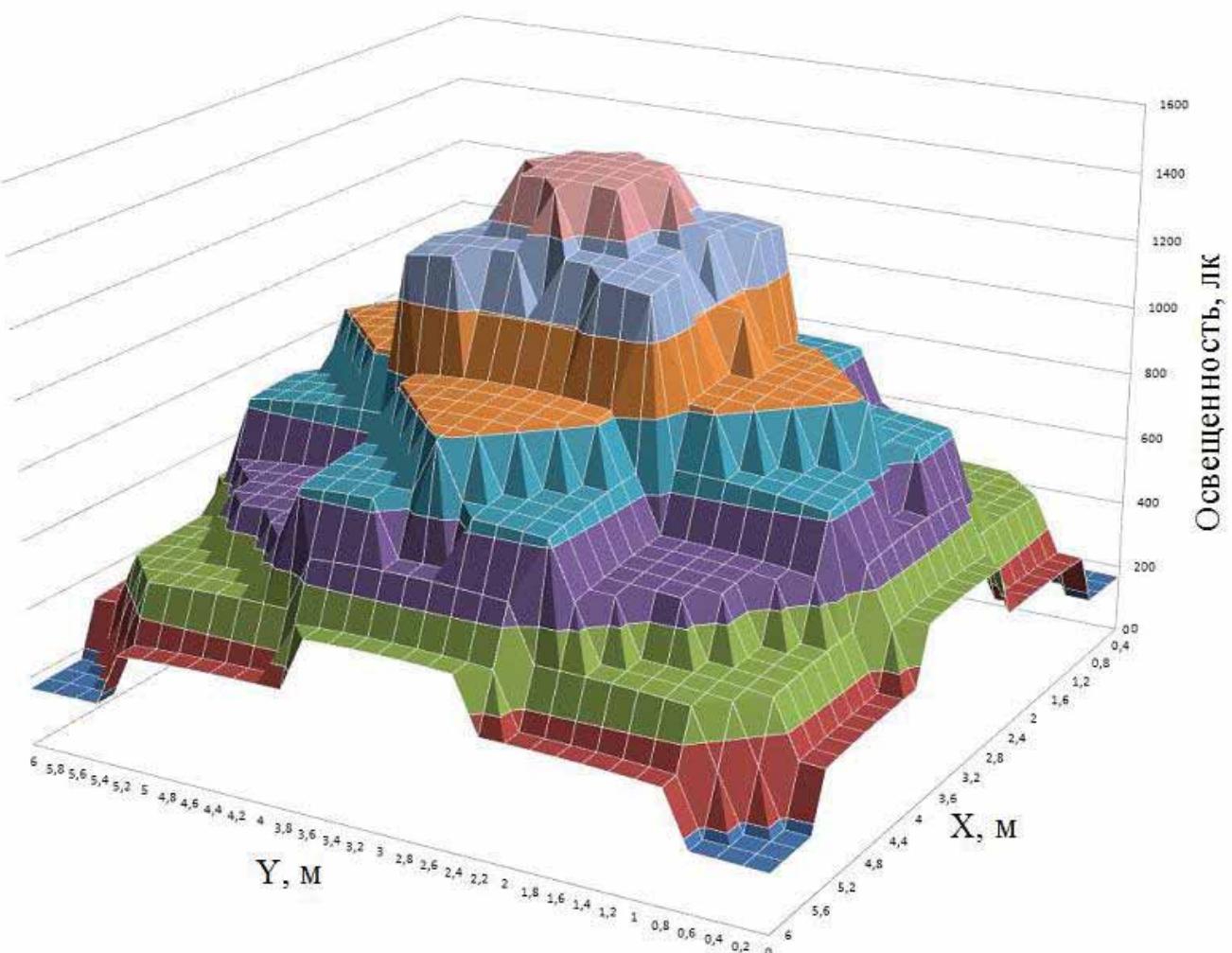


Рисунок 2.1 – График освещенности

Из полученных данных и графика видно, что освещенность имеет высокую неравномерность (рассчитанный Z=5,09538), что говорит о необходимости изменения

					Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	40

ния расположения светильников – оптимизации целевой функции – коэффициента равномерности освещенности, изменяя координаты [25].

Выражение (20) является целевой функцией в данной постановке задачи.

Для решения задачи оптимизации также необходимо наложить некоторые ограничения на изменяемые параметры, а именно на координаты светодиодных светильников:

– светильники должны располагаться в три ряда по три светильника ($x_{11}=x_{12}=x_{13}$, $x_{21}=x_{22}=x_{23}$, $x_{31}=x_{32}=x_{33}$, $y_{11}=y_{21}=y_{31}$, $y_{12}=y_{22}=y_{32}$, $y_{13}=x_{23}=x_{33}$);

– расстояние от стен помещения не должно быть менее 0,5 метра ($0,5 \leq x_{i,j} \leq 5,5$ и $0,5 \leq y_{i,j} \leq 5,5$);

– «наложение» светильников друг на друга не допускается: $((x_{11}=x_{12}=x_{13}) \neq (x_{21}=x_{22}=x_{23}) \neq (x_{31}=x_{32}=x_{33}), (y_{11}=y_{21}=y_{31}) \neq (y_{12}=y_{22}=y_{32}) \neq (y_{13}=x_{23}=x_{33}))$.

Оптимизацию будем проводить с помощью программной надстройки «поиск решения» в Microsoft Excel.

Результатом оптимизации стало вычисленное значения коэффициента $Z=1,12$ график освещенности помещения, изображенный на рисунке 2.2 и пересчитанные значения координат расположения светильников (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Подобранные, оптимальные координаты светильника

Обозначение светильника	Координата X, м	Координата Y, м
L1.1	0,5	0,5
L1.2	3,2	0,5
L1.3	5,5	0,5
L2.1	0,5	3
L2.2	3,2	3
L2.3	5,5	3
L3.1	0,5	5,5
L3.2	3,2	5,5
L3.3	5,5	5,5

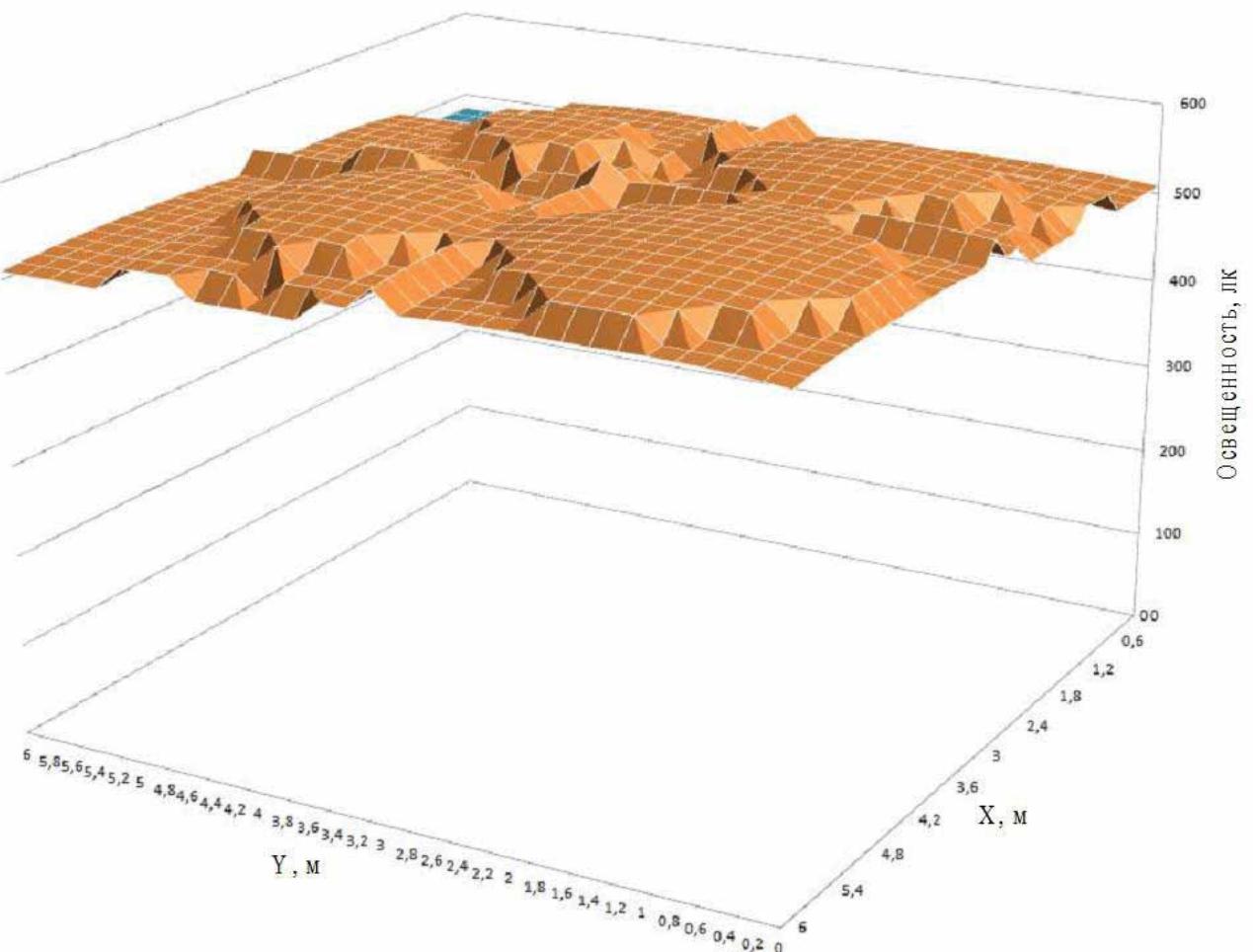


Рисунок 2.2 – График освещенности

Проверим результаты расчета и моделирования в специализированном программном продукте DIALux, разработанном Немецким Институтом Прикладной Светотехники. DIALux помогает рассчитать в полном соответствии со стандартами освещение как внутренних, так и наружных сцен, освещение улиц, получить фотoreалистичную визуализацию проекта [19].

Программный продукт DIALux является довольно сложной технической программой, требующей детального и глубокого изучения, перед расчетами помещения требуется детальное трехмерное построение самого помещения.

Построим модель помещения и введем все входные данные в DIALux (высота рабочей поверхности, высота подвеса светильника, количество светильников их светотехнические характеристики) в том числе координаты полученные аналитически ранее из таблицы и проведем расчет.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	42

На графике (рисунок 2.3) в настройках видим, что основная освещенность смещена к торцу помещения, что показывает несовершенность ранее применяемой математической модели, ввиду принятых допущений модели.



Рисунок 2.3 – График освещенности

С помощью встроенной в DIALux функции «Автоматической распределение светильников для зон» произведем пересчет положения светильников из условия равномерности и получим результаты указанные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Подобранные, оптимальные координаты светильника

Обозначение светильника	Координата X, м	Координата Y, м
L1.1	0,5	0,5
L1.2	3	0,5
L1.3	5,5	0,5
L2.1	0,5	3
L2.2	3	3
L2.3	5,5	3
L3.1	0,5	5,5
L3.2	3	5,5
L3.3	5,5	5,5

Отобразим полученные значения освещенности на схеме помещения (см. рисунок 2.4).

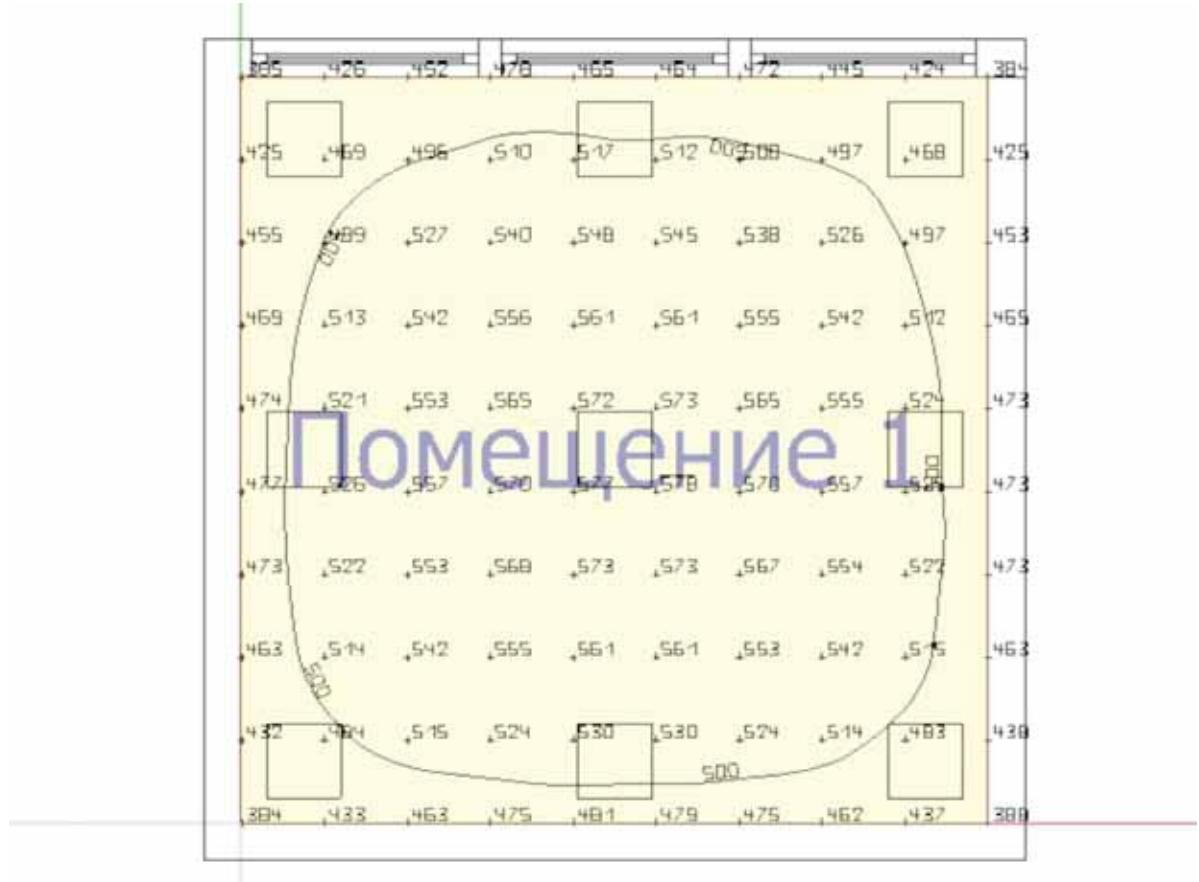


Рисунок 2.4 – Рассчитанные значения освещенности рабочей поверхности

По полученным данным можно рассчитать коэффициент равномерности освещенности Z :

$$Z = \frac{577 + 380}{2 \cdot 380} \approx 1,26. \quad (23)$$

Сравнив данный результат с ранее полученным, можно сделать вывод, что принятая нами математическая модель позволяет найти более точное решение (это может быть связано с неучтеными эффектами отражения света) при меньших затратах времени, а также отсутствия необходимости построения самого помещения.

						Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ	44

Предлагаемая математическая модель может являться простым решением для несложных светотехнических задач.

Также необходимо учесть, что при выборе светильников допускается расхождение с нормальным потоком в диапазоне от -10% до $+30\%$, принимаем значение коэффициента неравномерности в интервале [21, 26]:

$$1 < Z < 1,3. \quad (24)$$

Поученные результаты удовлетворяют предъявленным требованием, а значит использование данного расположения светильников можно считать целесообразным.

2.1.2 Естественное освещение

Моделирование естественного освещения является более сложным процессом по сравнению с моделированием искусственного ввиду большого числа влияющих факторов: ориентация оконных проемов, географическое положение помещения (долгота, широта), зона светового климата, размеры оконных проемов, этаж, размеры помещения и другие.

Нормирование естественной освещенности осуществляется через коэффициент естественной освещенности (КЕО), определяемый по формуле [5]:

$$e = \frac{E_b}{E_h} \cdot 100\%, \quad (25)$$

где e – КЕО;

E_b – освещенность горизонтальной поверхности внутри помещения в нормируемой точке (для помещений с односторонним боковым освещением точка находится на высоте рабочей поверхности на расстоянии один метр от наиболее удаленной от окон стены);

E_h – освещенность горизонтальной поверхности под чистым открытым небом.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	45
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ	

КЕО в произвольной точке исследуемого помещения вычисляется по формуле [5]:

$$e_p = \frac{\left(\sum_{i=1}^L \varepsilon_{bi} q_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{3Dj} b_{\phi j} K_{3Dj} \right) r_0 \tau_0}{K_3}, \quad (26)$$

где L – число участков небосвода, видимых через световой проем из расчетной точки;

ε_{bi} – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i-го участка неба, определяемый по формуле (27);

q_i – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i-го участка облачного неба;

M – число участков фасадов зданий противостоящей застройки, видимых через световой проем из расчетной точки;

T – число световых проемов в покрытии, геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от i-го участка фасадов зданий противостоящей застройки;

$b_{\phi j}$ – средняя относительная яркость j-го участка противостоящего (экранирующего) здания, расположенного параллельно исследуемому зданию (помещению);

r_0 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;

K_3 – коэффициент запаса.

Геометрический коэффициент естественной освещенности, учитывающий прямой свет неба от равнояркого небосвода в какой-либо точке помещения при боковом освещении, определяют по формуле[5]:

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	46

$$\varepsilon_{6i} = 0,01 \cdot (n_1 n_2), \quad (27)$$

где n_1 – число лучей, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения;

n_2 – число лучей, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на плане помещения.

τ_0 – общий коэффициент пропускания света, определяемый по формуле [5]:

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5, \quad (28)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала;

τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроечма;

τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях (при боковом освещении $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах;

τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимаемый равным 0,9.

Наличием загораживающих освещенность зданий можно пренебречь, ввиду большой площади оконных проемов L принять равным единице и преобразовать формулу:

$$e_p = \frac{\varepsilon_6 q r_0 \tau_0}{K_3}, \quad (29)$$

Проведем расчет КЕО в точках, показанных на рисунке 2.5.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	47

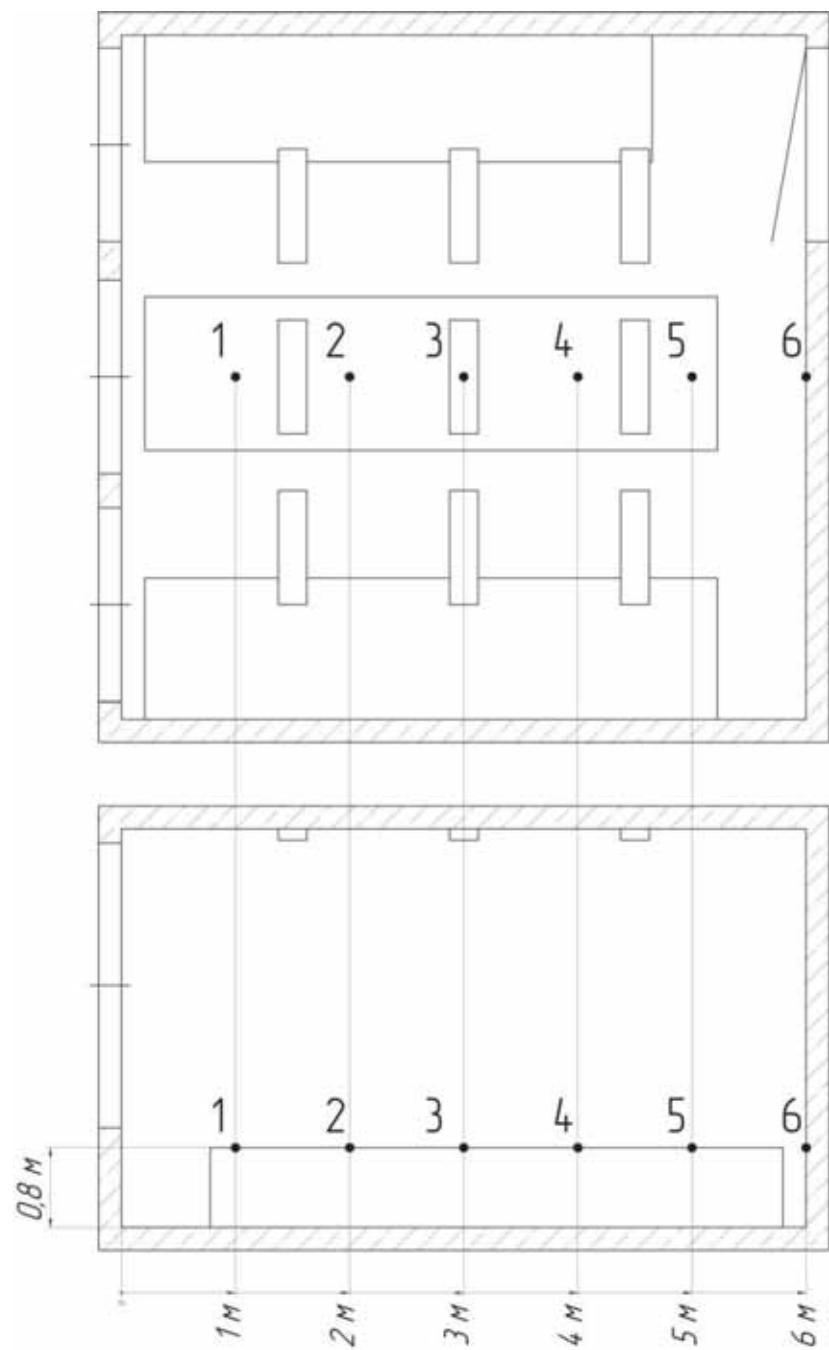


Рисунок 2.5 – Точки расчета КЕО

Количество лучей n_1 и n_2 высчитывается графическим способом, путем наложения плана и разреза помещения на диаграммы, для точки расчета 1 (рисунок 2.5), это наложение показано на рисунке 2.6.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	48

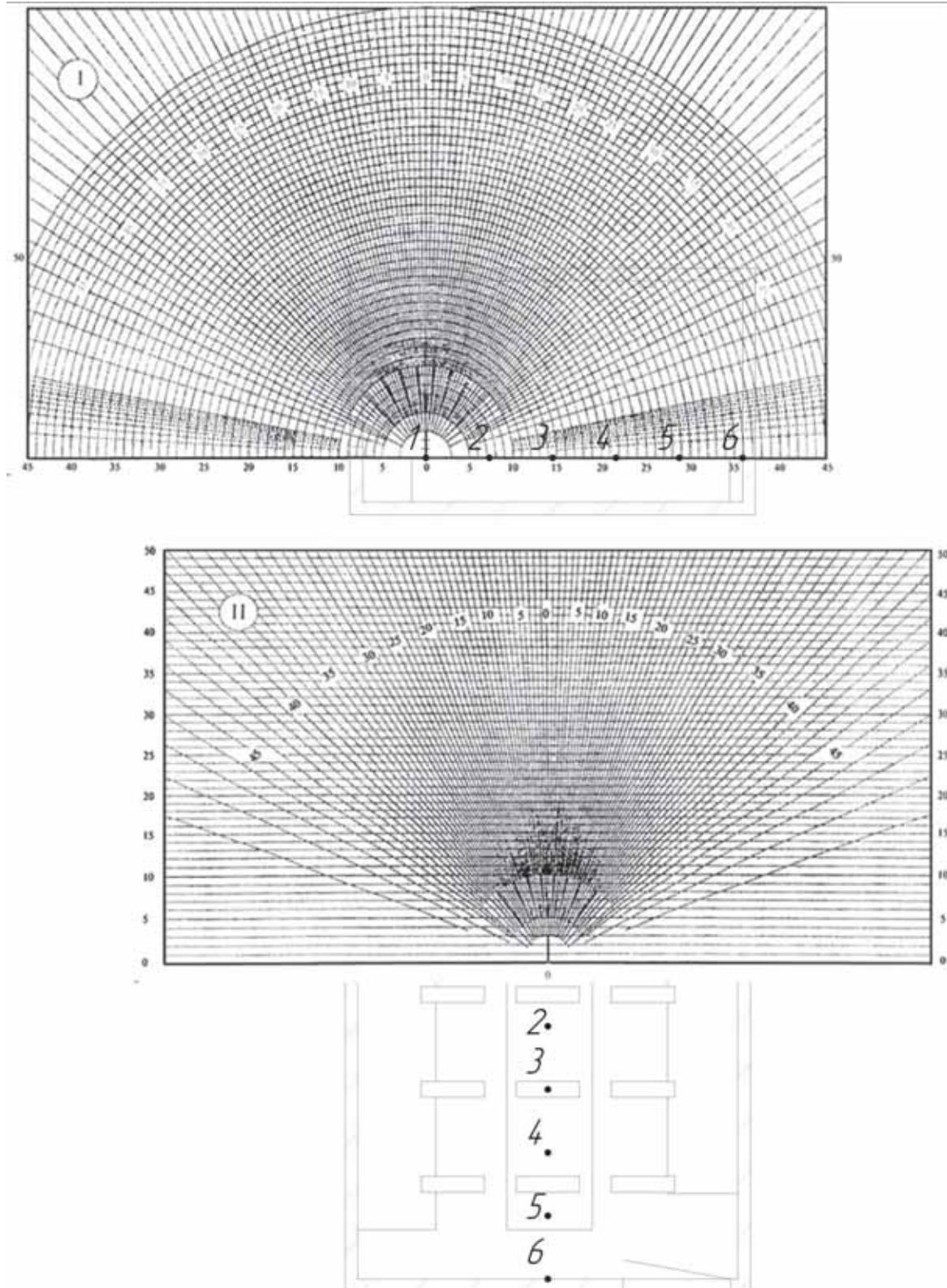


Рисунок 2.6 – Наложение графиков на план и разрез помещения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	49

Таблица 2.3 – Расчетные данные КЕО

Коэффициент	Расчетная точка (см. рисунок 2.5)					
	1	2	3	4	5	6
q	1,21	1,08	0,96	0,86	0,8	0,75
r ₀	1	1	1	1	1	1
τ ₀	0,4536	0,4536	0,4536	0,4536	0,4536	0,4536
n ₁	8+54+8	16+34+16	18+36+18	17+26+17	14+20+14	14+18+14
n ₂	29	23	19	15	14	13
ε _δ	23,30	15,18	13,68	9,00	6,72	5,98
K ₃	1	1	1	1	1	1
e _p	12,788	7,436	5,957	3,51	2,439	2,034

По полученным данным построим график изменения КЕО при удалении от оконных проемов (см. рисунок 2.7) и отобразим на графике аппроксимации функции по полученным точкам, с значением доверительного интервала (вычисленные надстройкой «Тренд» Microsoft Excel).

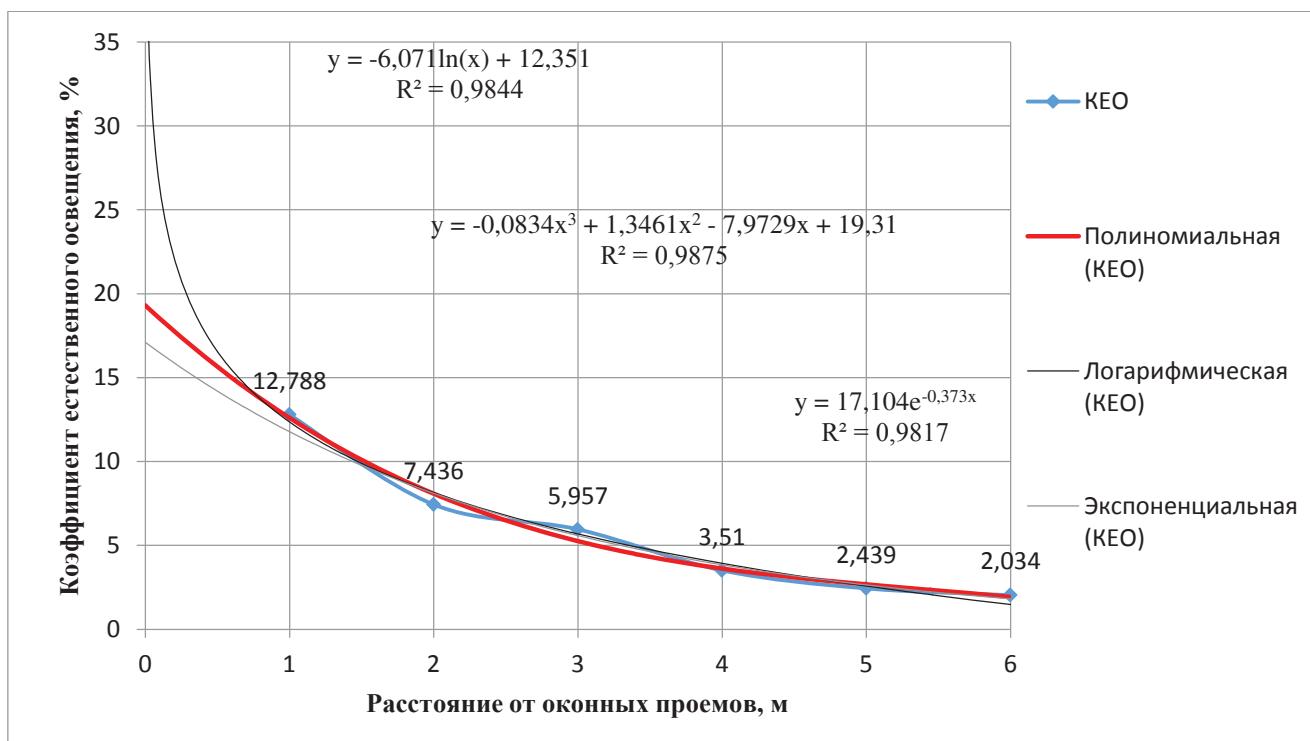


Рисунок 2.7 – График изменения КЕО

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ

Исходя из полученных данных, можем сказать, что изменение КЕО подчиняется закону выраженному формулой (с вероятностью 99,54%):

$$e_p = -0,0834 \cdot x^3 + 1,3461 \cdot x^2 - 7,9729 \cdot x + 19,31, \quad (30)$$

где x – координата удаления расчетной точки от оконных проемов.

Ввиду симметричности помещения и ширине оконных проемов занимающих 85% ширины всего помещения, выдвинем гипотезу о том, что можно пренебречь изменениями КЕО в других точках и распространить данный закон на все параллельные данному сечения помещения, т.е. в равноудаленных от оконных проемов точках КЕО освещения будет одинаковым, значение освещенности в произвольной точке вычисляется по формуле:

$$E_b = 0,01 \cdot e_p \cdot E_h. \quad (31)$$

Что значит изменение освещенности должно подчиняться закону:

$$E_b = 0,01 \cdot e_p \cdot E_h = (-0,000834 \cdot E_h) \cdot x^3 + (0,013461 \cdot E_h) \cdot x^2 + + (-0,079729 \cdot E_h) \cdot x + (0,1931 \cdot E_h), \quad (32)$$

Показания наружной горизонтальной освещенности определяются по таблицам для каждой климатической зоны, ориентации оконных проемов, а также времени года и суток [5].

Проверим результаты расчета и моделирования программном продукте DIALux. Введем имеющиеся данные и построим графики КЕО и освещенности для 12:00 в осенний период (смотри далее).

Результаты расчетов коэффициента естественной освещенности для помещения с северной и южной ориентацией оконных проемов изображены на рисунках 2.8 и 2.9, соответственно.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	51

Результаты расчетов естественной освещенности в 12:00 для помещения с северной и южной ориентацией оконных проемов изображены на рисунках 2.10 и 2.11, соответственно.

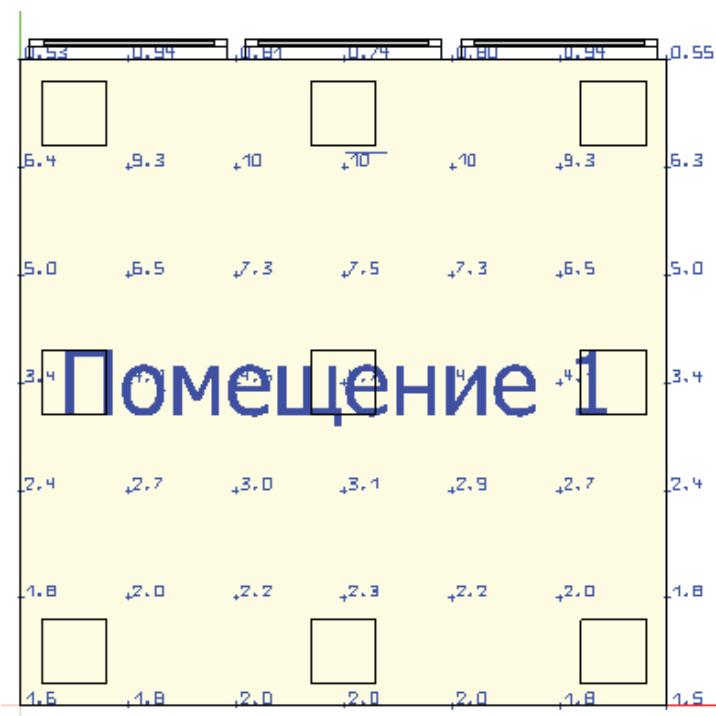


Рисунок 2.8 – Значения КЕО для помещения с северной ориентацией окон

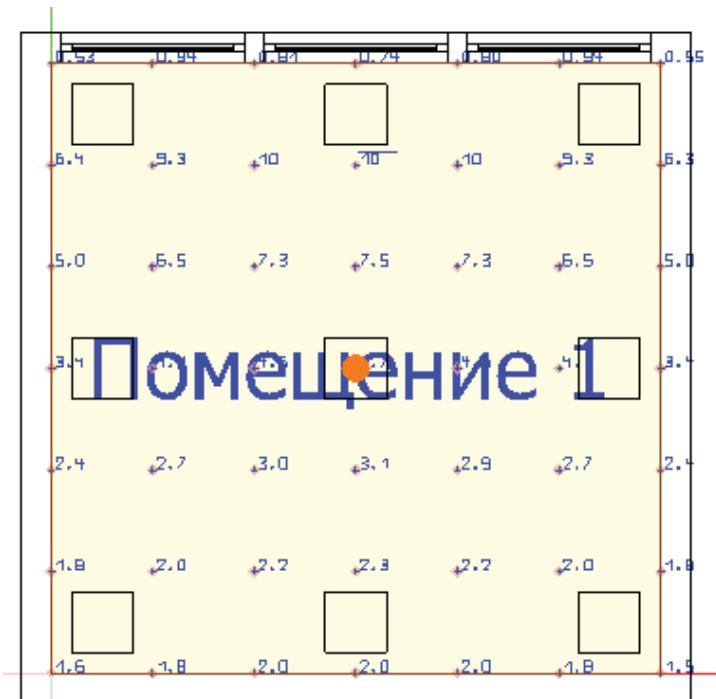


Рисунок 2.9 – Значения КЕО для помещения с южной ориентацией окон

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 52

Проанализировав полученные данные можно сделать вывод, что распределение естественной освещенности для помещений с южной и северной ориентацией оконных проемов нет, и изменение КЕО определяется только геометрией, также изменение КЕО, а полученные ранее расчетные значения приближенно равны полученным в DIALux, что говорит о верности расчетов. Однако изменение освещенности при приближении к стенам помещения противоречащее ранее выдвинутой гипотезе обусловлено учитываемыми в DIALux эффектами отражения.

Для дальнейшей работы этими эффектами можно пренебречь и принять гипотезу выдвинутую ранее.

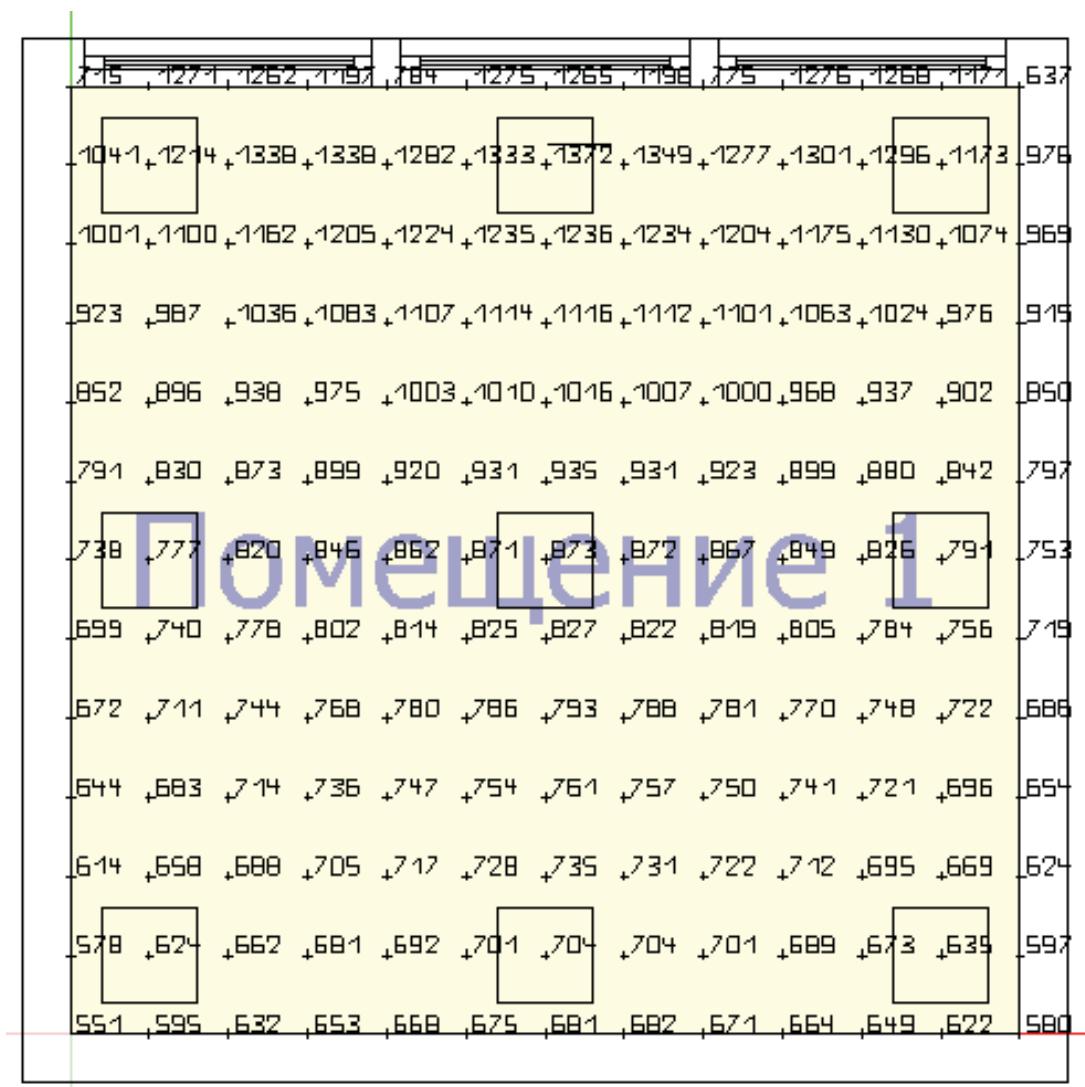


Рисунок 2.10 – Освещенность для помещения с северной ориентацией окон

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ 53

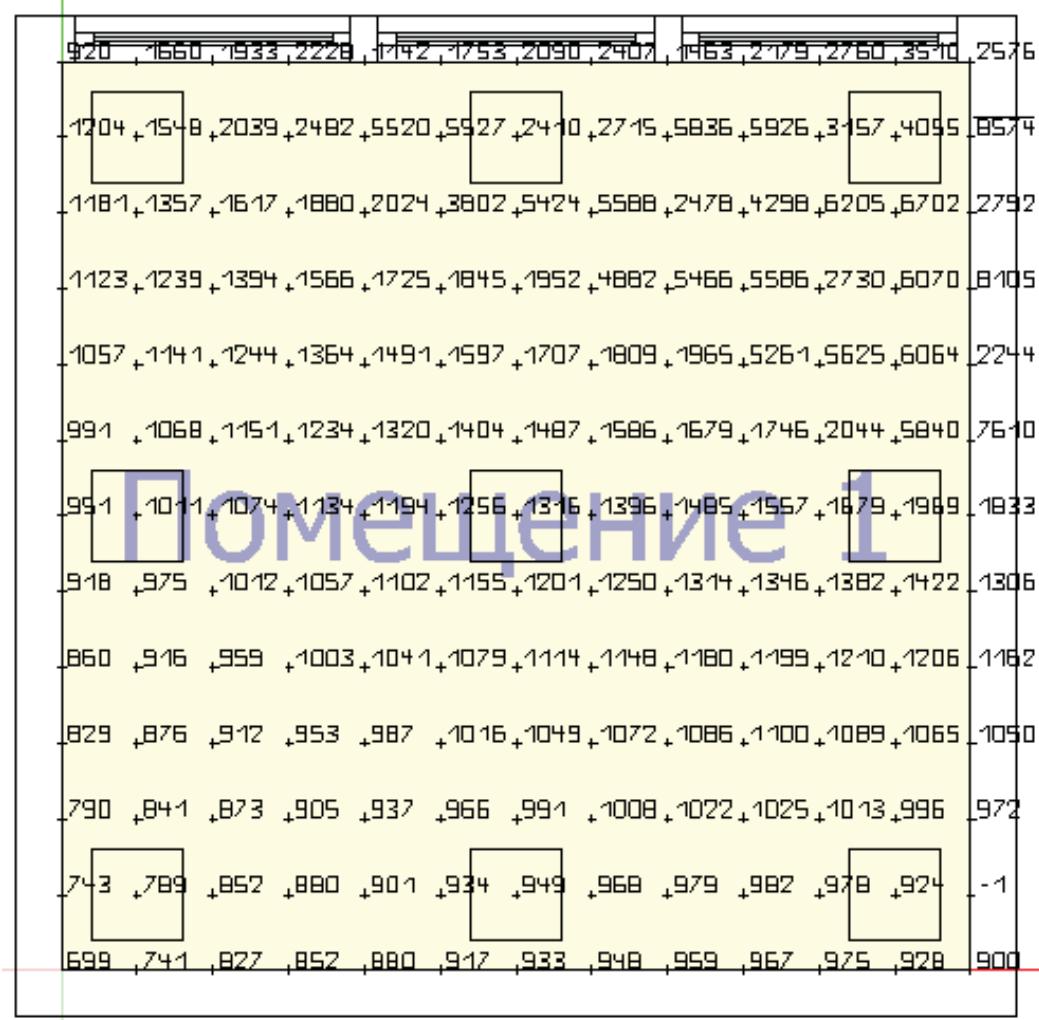


Рисунок 2.10 – Освещенность для помещения с южной ориентацией окон

2.1.3 Комбинированное освещение

Комбинированное освещение заключается в создании совокупной освещенности искусственным и естественным освещением, с точки зрения моделирования данного типа освещения без регулирования яркости искусственных источников нецелесообразен, так как освещенность в каждой отдельно выделенной точке будет вычислять по формуле:

$$E_k = E_e + E_i, \quad (33)$$

где E_e – освещенность, создаваемая источниками естественного освещения;

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	54

E_e – освещенность, создаваемая источниками освещения искусственными. А значит график освещенность будет выглядеть как показано на рисунке . Дальнейшая же разработка АСУО будет производится из условия компенсации естественного освещения искусственным, а значит изменения яркости светильников.

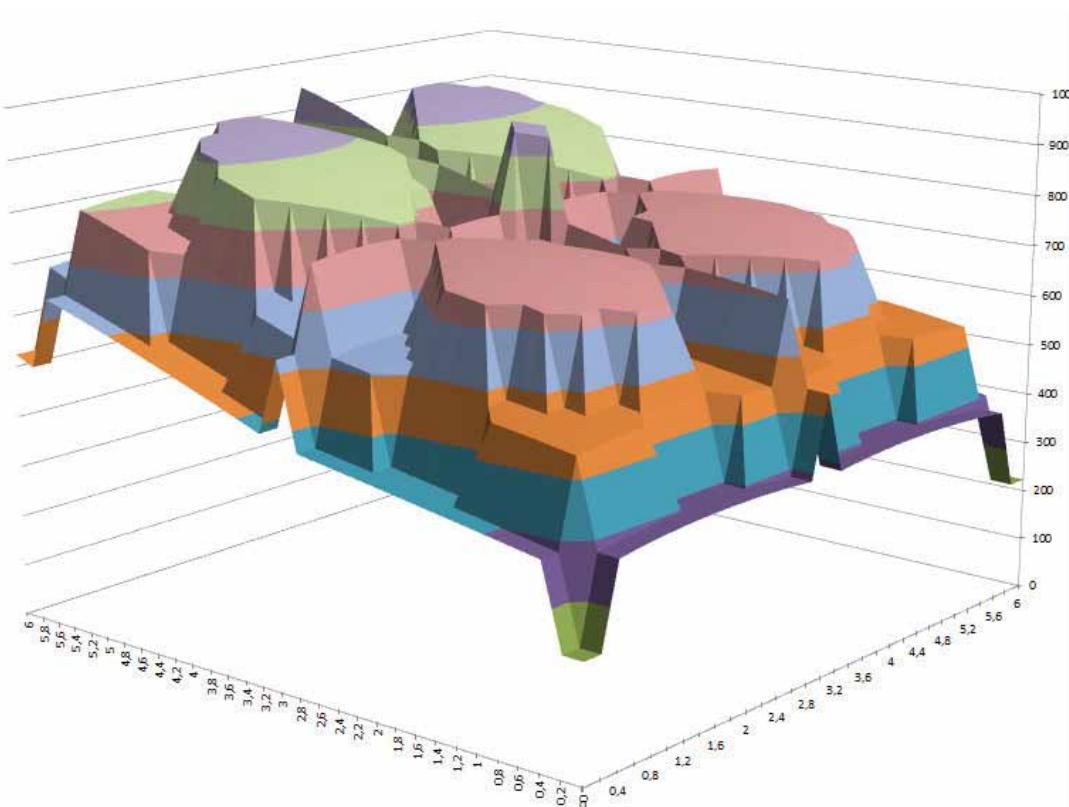


Рисунок 2.12 – График распределения освещенности при комбинированном освещении

2.2 Контроль освещенности

Для осуществления эффективного комбинированного освещения необходимо регулирование источников искусственной освещенности, а значит, необходима обратная связь (контроль текущей освещенности), в подобных автоматизированных системах освещения данную функцию выполняют датчики освещенности, располагаемые в помещение в различных его точках.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	55

Датчик освещенности – прибор, реагирующий на изменение уровня освещенности, как правило, чувствительным элементом этих датчиков являются фотодиоды. Фотодиоды – полупроводниковые прибор, который преобразует попавший на его фоточувствительную часть свет в электрический заряд за счет процессов р-п-перехода [27].

Существует два режима работы фотодиодов: фотодиодный и фотогальванический. Для создания чувствительных элементов датчиков используется фотогальванический режим работы, при котором фотодиод не подключен к источнику внешнего питания, и на выводах датчика формируется напряжение, зависящее от интенсивности светового потока и сопротивления нагрузки, рассмотрим типовую схему таких датчиков (см. рисунок 2.13).

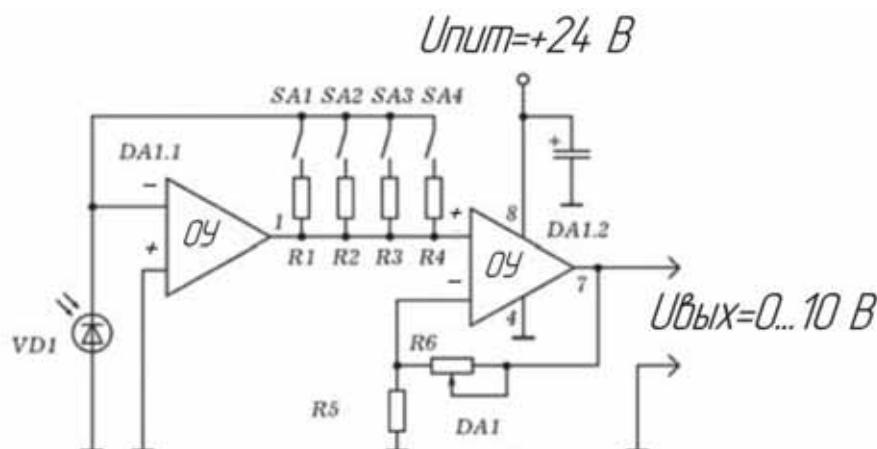


Рисунок 2.13 – Типовая схема датчика освещенности

Разность напряжений на входах дифференциального усилителя всегда близка нулю, фотодиод находится в фотогальваническом режиме. При этом входной ток усилителя имеет очень малую величину, исходя из высокого входного сопротивления ОУ, а ток через резистор обратной связи равен величине тока фотодиода, но противоположен по направлению. Тогда выходное напряжение каскада равно:

$$U = R \cdot I, \quad (31)$$

где R – сопротивление резистора в обратной связи, а I – фототок фотодиода.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	56

С учетом изменяемого коэффициента усиления второго каскада, резисторы R1-R4 позволяют менять верхний предел измерения при одном и том же выходном напряжении.

Основываясь на этих принципах изготавливается большинство имеющихся на рынке датчиков освещенности, производители также создают схемы для формирования стандартных выходных сигналов помимо 0...10 В, 4...20 мА, такого как LON.

Основываясь на результатах моделирования, а также характеристик помешения разработана матрица расположения детектирующих устройств, датчики располагаются на рабочей поверхности вблизи каждого рабочего места, для более эффективного контроля освещенности (рисунок 2.14).

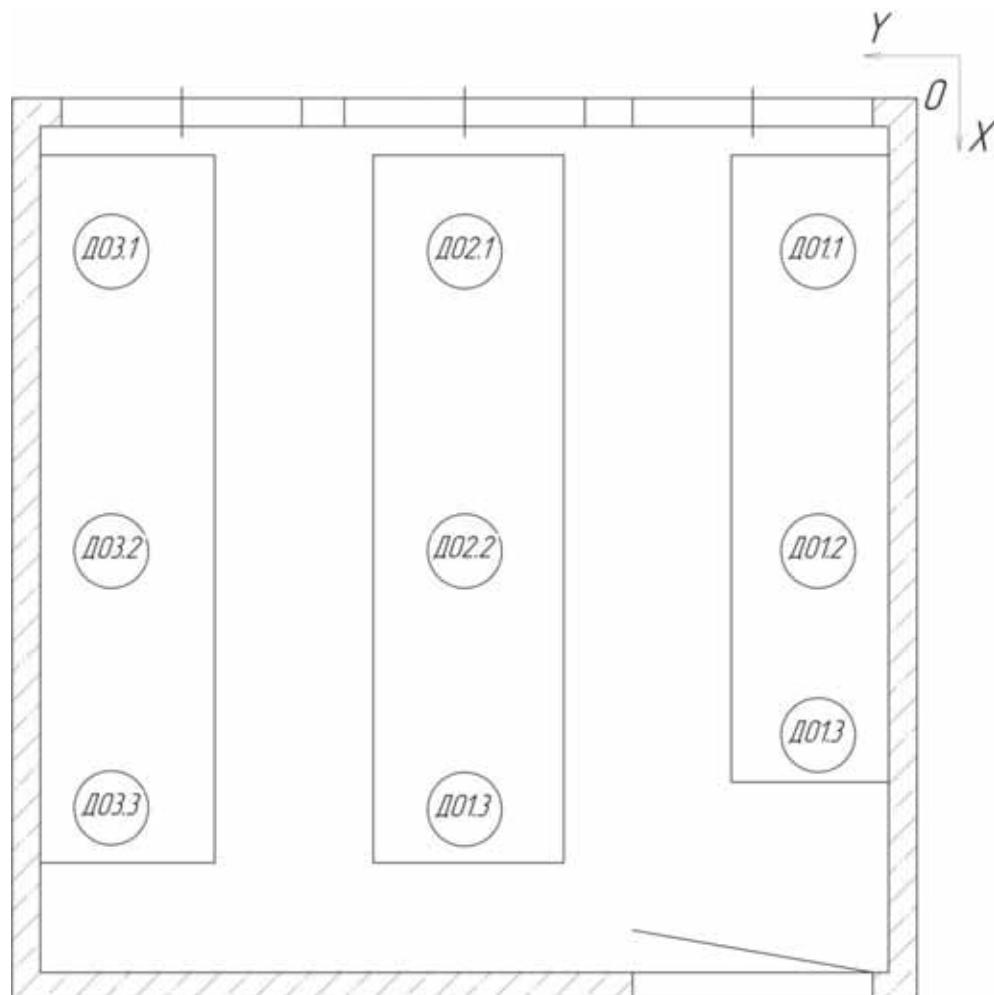


Рисунок 2.15 – Матрица расположения датчиков

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	57

Выводы по главе два

Проведя математическое моделирование освещенности помещения от искусственных и естественных источников освещения:

- предложена более простая методика расчета освещенности от искусственных источников освещения и оптимизации их положения в пределах помещения;
- найдена зависимость описывающая изменение КЕО при удалении от оконных проемов;
- предложена матрица расположения датчиков для дальнейшей разработки АСУО.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 58

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕННОСТИ

Для подтверждения теоретических исследований была проведена серия экспериментов по определению показателей естественной и искусственной освещенности. В данной главе рассмотрена методика проведения экспериментов, основные результаты и анализ адекватности теории при сравнении с теоретическими данными.

3.1 План проведения эксперимента по определению естественной освещенности

Цель эксперимента: определение показателей освещенности помещения при естественном боковом освещении.

Используемое оборудование: люксметр-пульсметр ТКА-ПКМ 08 (внешний вид показан на рисунке 3.1).



Рисунок 3.1 – Люксметр-пульсметр ТКА-ПКМ 08

Прибор предназначен для измерения освещенности в видимой области спектра, создаваемой источниками света, расположенными произвольно в пространстве, а также измерения коэффициента пульсации освещенности.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	59

Прибор состоит из блока обработки сигналов и фотометрической головки, соединенных между собой кабелем. Фотометрическая головка оснащена полупроводниковым кремниевым фотодиодом и набором светофильтров, позволяющих работать в требуемом спектре световых волн. Технические характеристики прибора указаны в таблице 3.1 [28].

Таблица 3.1 - Технические характеристики люксметра ТКА-ПКМ 08

Характеристика	Значение
Диапазон измерений освещенности	10-200000 лк
Диапазон измерений коэффициента пульсации	1-100%
Допускаемая относительная погрешность	измерение освещенности – не более 8%; измерение коэффициента пульсации – не более 10%
Средняя наработка на отказ	2000 часов
Условия эксплуатации	рабочая температура 0-50°C; влажность до 90%; атмосферное давление 80-110 кПа
Габариты	блок обработки сигналов - 160×85×30 мм; фотометрическая головка – диаметр 36 мм, ширина 21 мм
Масса	0,5 кг

Порядок проведения:

- подготовка помещения для исследования – максимально открыть световые проемы, выключить источники искусственного освещения (для исключения их влияния);
- установка измерительного прибора согласно указанным на схеме точкам (см. рисунок 3.2), высота плоскости измерения – 0,8 метра от пола;
- запись измеренных значений.

Для исследования измерения проводятся в двух помещениях с разным направлением световых проемов, в период времени с 8:00 до 17:00 (серия экспериментов с периодичностью в один час)

					15.04.2017.375.00.00 ПЗ	Lист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		60

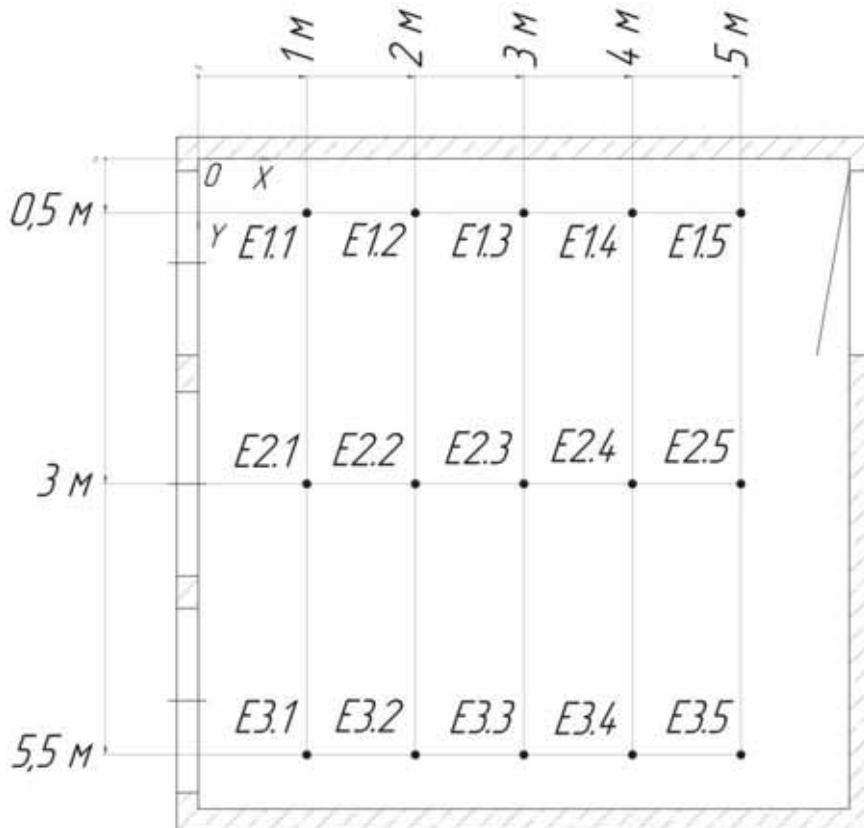


Рисунок 3.2 – Схема расположения точек измерения

Результаты измерений представлены в таблицах 3.3 (для помещения с северной ориентацией окон) и 3.4 (с южной ориентацией).

Таблица 3.3 – Результаты измерений в помещении с северной ориентацией окон

Освещенность, лк											
Сечение						Сечение					
по оси Y	по оси X					по оси Y	по оси X				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Октябрь, местное время 8:00						Октябрь, местное время 13:00					
1	11	10	8	6	3	1	1004	425	300	299	199
2	12	10	7	4	2	2	850	503	304	205	180
3	11	8	5	3	2	3	899	493	310	241	160
Октябрь, местное время 9:00						Октябрь, местное время 14:00					
1	21	18	17	13	10	1	930	400	301	218	154
2	24	22	18	16	11	2	843	433	295	190	173
3	20	18	17	13	12	3	800	451	296	194	163
Октябрь, местное время 10:00						Октябрь, местное время 15:00					
1	241	121	70	38	30	1	798	400	296	176	108
2	254	130	62	36	30	2	801	402	231	150	156
3	260	142	70	40	21	3	790	413	254	156	128

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	61

Продолжение таблицы 3.3

Октябрь, местное время 11:00						Октябрь, местное время 16:00					
1	1000	450	306	202	154	1	593	374	212	134	87
2	890	510	340	218	160	2	613	350	200	118	83
3	940	503	371	212	170	3	608	360	205	128	74
Октябрь, местное время 12:00						Октябрь, местное время 17:00					
1	1123	1008	860	580	390	1	24	19	10	9	7
2	980	900	726	520	290	2	28	18	8	6	7
3	992	680	455	310	221	3	16	16	8	11	5

Таблица 3.4 – Результаты измерений в помещении с южной ориентацией окон

Освещенность, лк											
Сечение						Сечение					
по оси Y	по оси X					по оси Y	по оси X				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Октябрь, местное время 8:00						Октябрь, местное время 13:00					
1	10	9	7	4	2	1	1190	504	340	219	173
2	8	6	5	3	2	2	1053	520	373	201	189
3	9	7	4	2	1	3	949	515	366	210	170
Октябрь, местное время 9:00						Октябрь, местное время 14:00					
1	22	17	15	14	10	1	905	498	321	200	160
2	24	21	19	15	14	2	913	470	300	198	170
3	23	22	17	14	12	3	920	488	321	170	153
Октябрь, местное время 10:00						Октябрь, местное время 15:00					
1	220	96	61	39	27	1	896	412	296	154	112
2	259	147	65	39	32	2	830	423	276	150	123
3	262	132	68	38	28	3	901	437	297	157	103
Октябрь, местное время 11:00						Октябрь, местное время 16:00					
1	1196	460	320	230	17	1	801	395	214	131	84
2	1200	470	360	217	154	2	798	401	225	118	70
3	942	561	392	240	161	3	800	399	215	126	82
Октябрь, местное время 12:00						Октябрь, местное время 17:00					
1	1004	880	724	540	201	1	24	20	12	9	9
2	1250	896	498	298	250	2	28	22	14	8	7
3	1032	900	680	484	190	3	34	21	10	8	8

3.1.1 Изменение освещенности при удалении от световых проемов

Чтобы проверить выдвинутое нами предположение о том что, закон изменения КЕО распространяется на все сечения, проведем следующий расчет для каждого из сечений в каждый момент измерения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ

Ниже представлен пример расчета обработки результатов измерения освещенности для 10:00 в помещении с северной ориентацией окон для первого сечения по оси X (в системе координат помещения).

1. Среднее значение освещенностей в этом сечении [29,30]:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \quad (34)$$

где x_i – значение случайной величины;

n – объем выборки.

$$\bar{x} = \frac{241 + 254 + 260}{3} = 251,667. \quad (35)$$

2. Рассчитываем дисперсию по формуле (34):

$$D = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (36)$$

где x_i – значение случайной величины (результат измерения);

\bar{x} – среднее значение случайной величины;

n – объем выборки.

$$\sigma^2 = \frac{(241 - 251,667)^2 + (254 - 251,667)^2 + (260 - 251,667)^2}{3-1} = 94,333. \quad (37)$$

3. Находим стандартное отклонение по формуле (38):

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\sigma^2}, \quad (38)$$

где D – дисперсия случайной величины.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	63

$$\sigma = \sqrt{94,333} = 9,713. \quad (39)$$

4. Определим доверительный интервал для имеющихся значений по формуле (40):

$$\bar{x} - Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (40)$$

где a – среднее значение;

$Z_{\alpha/2}$ – значение функции из таблицы стандартного нормального распределения;

σ – стандартное отклонение;

n – объем выборки.

Поскольку уровень значимости для доверительной вероятности 95% равен 0,05, то в соответствии с таблицей стандартного нормального распределения, значение $Z_{\alpha/2}$ равно 1,96.

$$251,667 - 1,96 \cdot \frac{9,713}{\sqrt{3}} < a < 251,667 + 1,96 \cdot \frac{9,713}{\sqrt{3}} \\ 240,676 < a < 262,657 \quad (41)$$

Представим полученные данные в таблицах для первого и второго помещений (3.5 и 3.6 соответственно).

Таблица 3.5 – Результаты измерений в помещении с северной ориентацией окон

Параметр	Освещенность, лк				
	Сечение по оси X				
	1	2	3	4	5
Октябрь, местное время 8:00					
\bar{x}	11,333	9,333	6,667	4,333	2,333
Нижний предел	10,68	8,027	4,938	2,605	1,680
Верхний предел	11,987	10,640	8,395	6,062	2,987

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ

Продолжение таблицы 3.5

Октябрь, местное время 9:00					
\bar{x}	21,667	19,333	17,333	14	11
Нижний предел	19,311	16,720	16,680	12,040	9,868
Верхний предел	24,022	21,947	17,987	15,960	12,132
Октябрь, местное время 10:00					
\bar{x}	251,667	131	67,330	38	27
Нижний предел	240,676	119,078	62,107	35,737	21,120
Верхний предел	262,657	142,922	72,560	40,263	32,880
Октябрь, местное время 11:00					
\bar{x}	943,333	487,667	339	210,667	161,333
Нижний предел	881,009	450,5542	302,209	201,520	152,187
Верхний предел	1005,657	524,792	375,790	219,813	170,480
Октябрь, местное время 12:00					
\bar{x}	1031,667	862,667	680,333	470	300,333
Нижний предел	941,903	673,511	446,854	309,567	204,178
Верхний предел	1121,430	1051,822	913,812	630,433	396,489
Октябрь, местное время 13:00					
\bar{x}	917,667	473,667	304,667	248,333	179,667
Нижний предел	828,633	425,639	298,971	194,665	157,598
Верхний предел	1006,700	521,694	310,362	302,002	201,7354
Октябрь, местное время 14:00					
\bar{x}	857,667	428	297,333	200,667	163,333
Нижний предел	782,721	398,731	293,696	183,529	152,578
Верхний предел	932,612	457,269	300,971	217,803	174,089
Октябрь, местное время 15:00					
\bar{x}	796,333	405	260,333	160,667	130,667
Нижний предел	789,899	397,079	223,036	145,261	103,383
Верхний предел	802,768	412,921	297,631	176,072	157,951
Октябрь, местное время 16:00					
\bar{x}	604,667	361,333	205,667	126,667	81,333
Нижний предел	592,889	347,691	198,846	117,52	73,799
Верхний предел	616,445	374,975	212,488	135,813	88,868
Октябрь, местное время 17:00					
\bar{x}	22,667	17,667	8,667	8,667	6,333
Нижний предел	15,752	15,938	7,360	5,819	5,027
Верхний предел	29,581	19,395	9,973	11,514	7,640

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ

Таблица 3.6 – Результаты измерений в помещении с южной ориентацией окон

Параметр	Освещенность, лк				
	Сечение по оси X				
	1	2	3	4	5
Октябрь, местное время 8:00					
\bar{x}	9	7,333	5,333	3	1,667
Нижний предел	7,868	5,605	3,605	1,868	1,013
Верхний предел	10,132	9,062	7,062	4,132	2,32
Октябрь, местное время 9:00					
\bar{x}	23	20	17	14,333	12
Нижний предел	21,868	17,006	14,737	13,680	9,737
Верхний предел	24,132	22,994	19,263	14,987	14,263
Октябрь, местное время 10:00					
\bar{x}	247	125	64,667	38,667	29
Нижний предел	220,486	95,339	60,693	38,013	26,006
Верхний предел	273,514	154,661	68,641	39,32	31,994
Октябрь, местное время 11:00					
\bar{x}	1112,667	497	357,333	219	110,667
Нижний предел	945,398	434,025	316,512	215,949	18,788
Верхний предел	1279,935	559,975	398,155	242,050	202,545
Октябрь, местное время 12:00					
\bar{x}	1095,333	892	634	440,667	213,667
Нижний предел	942,934	880,024	498,415	297,308	177,520
Верхний предел	1247,732	903,976	769,585	584,025	249,813
Октябрь, местное время 13:00					
\bar{x}	1064	513	359,667	210	177,333
Нижний предел	927,216	503,737	339,991	199,816	165,775
Верхний предел	1200,784	522,263	379,343	220,185	188,892
Октябрь, местное время 14:00					
\bar{x}	912,667	485,333	314	189,333	161
Нижний предел	904,173	469,277	300,28	170,353	151,332
Верхний предел	921,16	501,389	327,72	208,314	170,669
Октябрь, местное время 15:00					
\bar{x}	875,667	424	289,667	153,667	112,667
Нижний предел	830,824	409,821	276,261	149,693	101,332
Верхний предел	920,509	438,179	303,072	157,641	124,002

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ
					66

Продолжение таблицы 3.6

Октябрь, местное время 16:00					
\bar{x}	799,667	398,333	218	125	78,667
Нижний предел	797,938	394,876	211,117	117,579	70,098
Верхний предел	801,395	401,790	224,883	132,420	87,235
Октябрь, местное время 17:00					
\bar{x}	28,667	21	12	8,333	8
Нижний предел	22,971	19,868	9,737	7,68	6,868
Верхний предел	34,362	22,131	14,263	8,987	9,132

Измеренные значения естественного освещения обоих помещений на 83% входят в рамки доверительного интервала. Это свидетельствует о том, что предположение, что закон изменения КЕО распространяется на все сечения, верно.

Для проверки гипотезы о законе изменения освещенности при удалении от оконных проемов проведем аппроксимации в надстройке «Тренд» Microsoft Excel и сравним характер описывающего изменение освещенности полинома с выражением (32).

Таблица 3.7 – Результаты аппроксимации средних значений освещенности

Время	Полином, описывающий изменение освещенности при удалении от оконных проемов
Северная ориентация окон	
8:00	$-0,083x^3 + 0,726x^2 - 0,476x + 12,46$
9:00	$-0,00082x^3 + 0,189x^2 - 1,526x + 23,34$
10:00	$-3,22x^3 + 47,12x^2 - 239x + 446,67$
11:00	$-19x^3 + 230x^2 - 989,5x + 1716,4$
12:00	$-20x^3 + 426,5x^2 - 667,6x + 1135,5$
13:00	$-23x^3 + 277,5x^2 - 1105,2x + 1769,1$
14:00	$-20x^3 + 238,6x^2 - 983,3x + 1619,1$
15:00	$-14,75x^3 + 187,6x^2 - 834,67x + 1454,9$
16:00	$-4,5x^3 + 74,263x^2 - 436,91x + 972,2$
17:00	$-0,138x^3 + 0,226x^2 - 7,032x + 30,134$

Продолжение таблицы 3.7

Южная ориентация окон	
8:00	-0,111x ³ +0,975x ² -0,578x+9,267
9:00	-0,03x ³ +0,13x ² -2,82x+25,9
10:00	-3,75x ³ +52,5x ² -252,39x+450,53
11:00	-1,75x ³ +14,5x ² -187,6x+1298,8
12:00	-37,1x ³ +407,1x ² -1540x+2276,3
13:00	-23,38x ³ +284,8x ² -1205x+2000
14:00	-13,3x ³ +180,1x ² -855,9x+1598
15:00	-18,5x ³ +225,3x ² -968,2x+1631,5
16:00	-14,53x ³ +187,7x ² -856,1x+1481,5
17:00	-0,38x ³ +2,07x ² -4,75x+35,267

Проанализировав полученные полиномы, можно сделать вывод, что характер изменения освещенности схож с характером изменения КЕО, а значит гипотезу можно считать верной и распределение естественной освещенности в помещении при удалении от оконных проемов описывается полиномом, подобным (32).

3.1.2 Изменение освещенности в течение суток

На рисунке 3.3 представлены графические зависимости распределения естественной освещенности в помещении, где окна ориентированы на север для осеннего периода времени. Параллельные плоскости представляют собой границы нормируемых показателей освещенности на рабочих местах нижняя - 300 лк, верхняя - 500 лк.

На рисунке 3.4 изображены зависимости распределения естественной освещенности в помещении с ориентацией окон на юг для осеннего периода времени.

Проанализировав полученные зависимости, был сделан вывод о том, что уровень естественной освещенности в исследуемый период времени с 08:00 часов до 9:00 и после 17:00 часов – недостаточен, а значит, требуется включение искусственного освещения во всем помещении. В промежуток времени с 10:00 до 16:00 высока неравномерность освещения (вблизи окон может в несколько раз превышать нормируемый показатель, у наиболее удаленной стены быть ниже его в не-

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ 68

сколько раз), что создает необходимость использования средств затенения совместно с управляемой системой искусственного освещения.

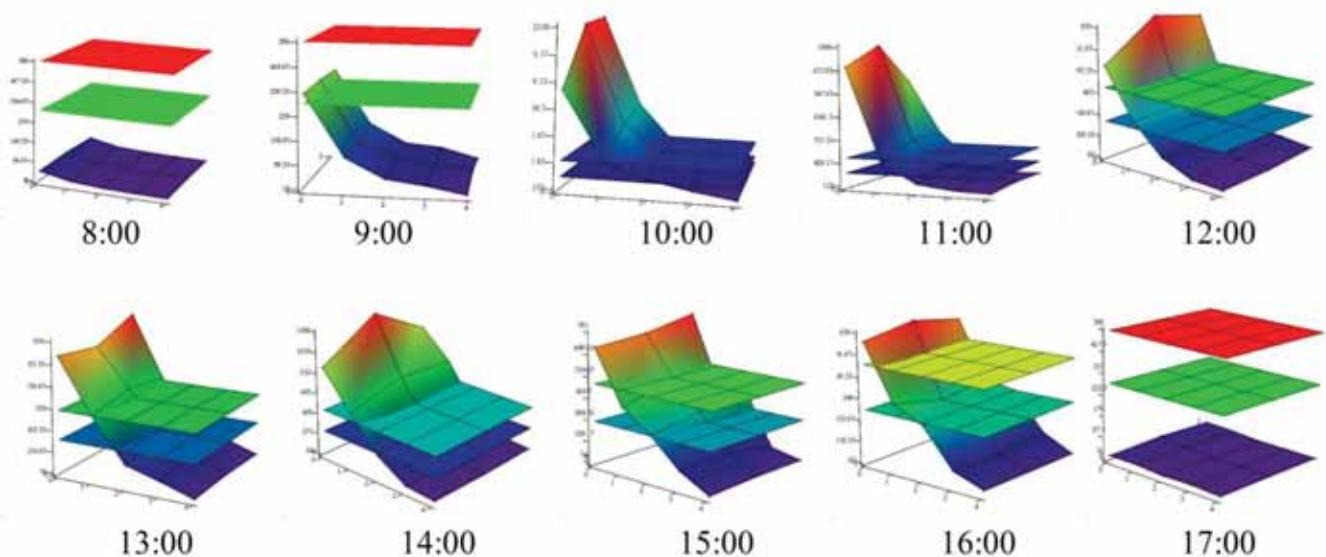


Рисунок 3.3 – Распределение освещенности в помещении с окнами на север

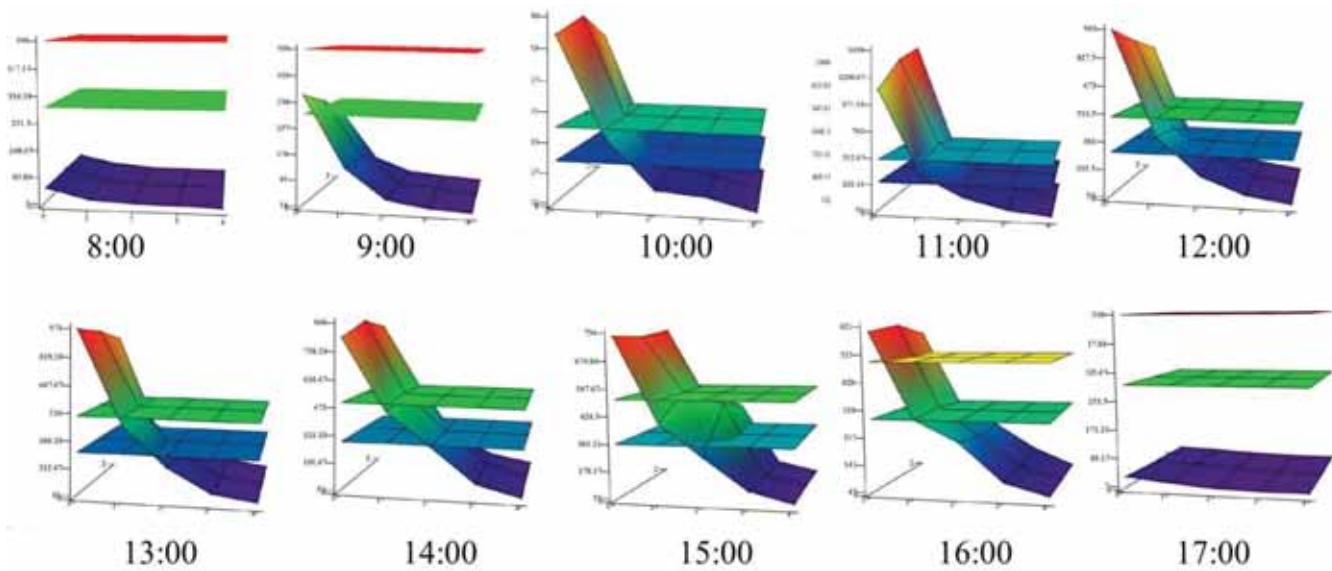


Рисунок 3.4 – Распределение освещенности в помещении с окнами на юг

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ 69

Сравнение графиков освещенности помещения по экспериментальным данным и данным, полученным в DIALux (смотри главу 2) для 12:00 приведено на рисунке В.1 приложения В.

3.1.3 Изменение освещенности при смене ориентации световых проемов

Для проверки влияния изменения ориентации оконных проемов проведем расчет следующего вида, на примере измерения освещенности для 10:00 в первом и во втором помещении (таблицы 3.3 и 3.4) [29, 30].

1. Среднее значение освещенностей в первом ряду от окна (по горизонтали) в обоих помещениях рассчитаем по формуле (42):

$$\bar{x} = \frac{241 + 254 + 260 + 220 + 259 + 262}{6} = 261,666. \quad (42)$$

2. Рассчитываем дисперсию по формуле (43):

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{(241 - 251,666)^2 + (254 - 251,666)^2 + (260 - 251,666)^2}{6-1} + \\ &+ \frac{(220 - 251,666)^2 + (259 - 251,666)^2 + (2762 - 251,666)^2}{6-1} = 263,867. \end{aligned} \quad (43)$$

3. Находим стандартное отклонение по формуле (44):

$$\sigma = \sqrt{263,867} = 16,244. \quad (44)$$

4. Определим доверительный интервал для имеющихся значений по формуле (45). Поскольку уровень значимости для доверительной вероятности 95% равен 0,05, то в соответствии с таблицей стандартного нормального распределения, значение $Z_{\alpha/2}$ равно 1,96.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	70

$$249,333 - 1,96 \cdot \frac{16,244}{\sqrt{6}} < a < 249,333 + 1,96 \cdot \frac{16,244}{\sqrt{6}} .$$

$$236,335 < a < 262,331$$
(45)

Полученные результаты представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты вычисления

Параметр	Освещенность, лк				
	Сечение по оси X				
	1	2	3	4	5
Октябрь, местное время 8:00					
\bar{x}	10,167	8,333	6,000	3,667	2,000
Нижний предел	8,989	7,027	4,760	2,573	1,494
Верхний предел	11,344	9,640	7,240	4,760	2,506
Октябрь, местное время 9:00					
\bar{x}	22,333	19,667	17,167	14,167	11,500
Нижний предел	21,027	17,866	16,103	13,231	10,286
Верхний предел	23,640	21,468	18,230	15,102	12,714
Октябрь, местное время 10:00					
\bar{x}	249,333	128,000	66,000	38,333	28,000
Нижний предел	236,335	113,464	62,840	37,240	24,922
Верхний предел	262,331	142,536	69,160	39,427	31,078
Октябрь, местное время 11:00					
\bar{x}	1028,000	492,333	348,167	219,833	136,000
Нижний предел	919,003	459,386	322,310	209,093	89,115
Верхний предел	1136,997	525,281	374,023	230,574	182,885
Октябрь, местное время 12:00					
\bar{x}	1063,500	877,333	657,167	455,333	257,000
Нижний предел	979,624	791,602	534,727	358,259	197,391
Верхний предел	1147,376	963,065	779,607	552,407	316,609
Октябрь, местное время 13:00					
\bar{x}	990,833	493,333	332,167	229,167	178,500
Нижний предел	893,671	465,483	306,380	199,518	167,312
Верхний предел	1087,995	521,184	357,953	258,816	189,688
Октябрь, местное время 14:00					
\bar{x}	885,167	456,667	305,667	195,000	162,167
Нижний предел	843,708	427,438	295,989	182,532	155,619
Верхний предел	926,626	485,895	315,344	207,468	168,715

Продолжение таблицы 3.8

Октябрь, местное время 15:00					
\bar{x}	836,000	414,500	275,000	157,167	121,667
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист 15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ 71

Нижний предел	795,759	403,450	253,104	149,418	106,278
Верхний предел	876,241	425,550	296,896	164,915	137,055
Октябрь, местное время 16:00					
\bar{x}	702,167	379,833	211,833	125,833	80,000
Нижний предел	616,538	362,439	204,905	120,516	74,765
Верхний предел	787,795	397,228	218,761	131,151	85,235
Октябрь, местное время 17:00					
\bar{x}	25,667	19,333	10,333	8,500	7,167
Нижний предел	20,875	17,605	8,462	7,185	6,103
Верхний предел	30,459	21,062	12,204	9,815	8,230

Измеренные значения естественного освещения в первом ряду от окна в обоих помещениях на 84% входят в рамки доверительного интервала. Это свидетельствует о том, что измеренные значения освещенности в помещениях, окна которых ориентированы на север и юг, образуют единую генеральную совокупность, а значит, ориентация оконных проемов не оказывает существенного влияние на распределение освещенности.

3.2 План проведения эксперимента по определению искусственной освещенности

Цель эксперимента: определения показателей освещенности помещении при применении только искусственного освещения.

Используемое оборудование: люксметр-пульсметр ТКА-ПКМ 08 (раздел 3.1).

Порядок проведения:

1. подготовка помещения для исследования – максимально закрыть световые проемы (для исключения их влияния);
2. установка измерительного прибора согласно указанным на схеме точкам (см. рисунок 3.5) высота плоскости измерения – 0,8 метра от пола;
3. запись измеренных значений;
4. обработка результатов.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 72

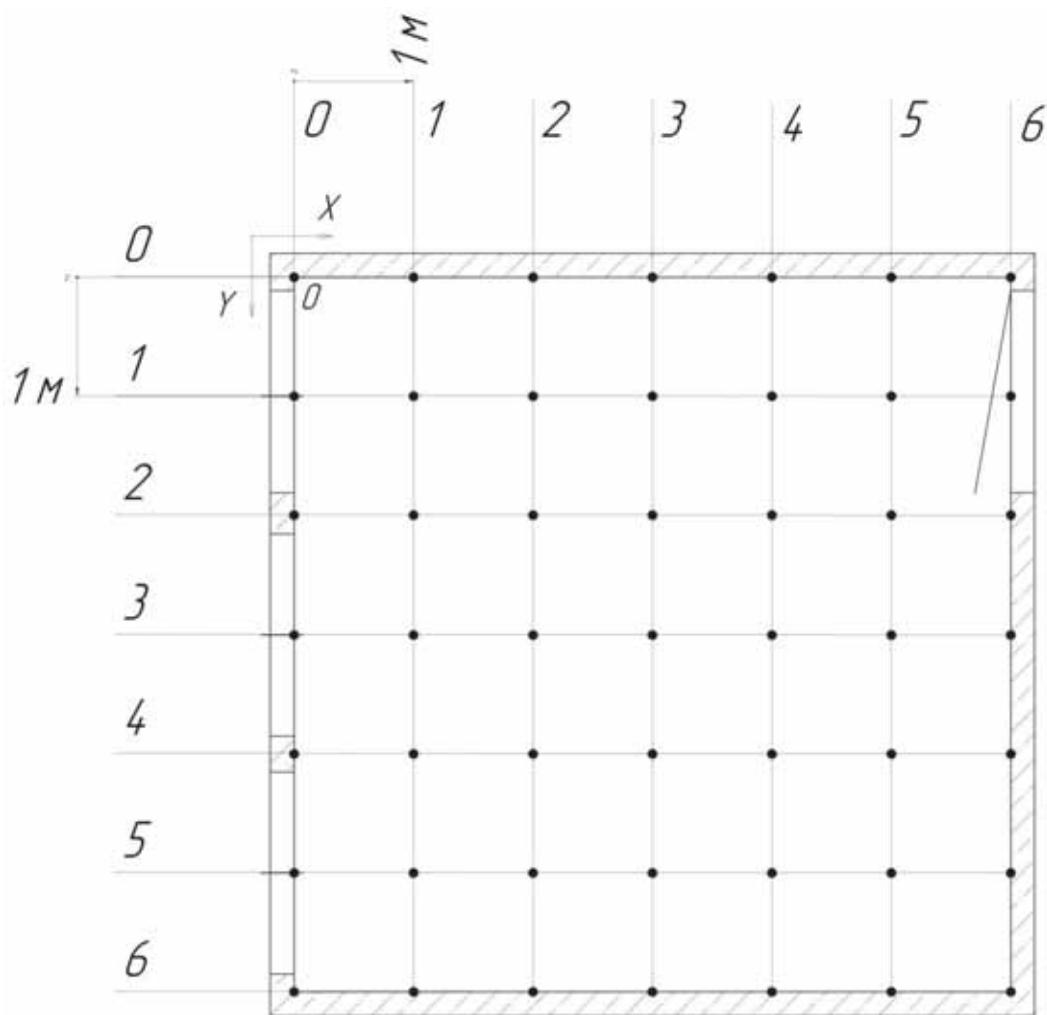


Рисунок 3.5 – Схема расположения точек измерения

Для исследования измерения проводятся в двух помещениях с разным направлением световых проемов, в темное время суток.

Таблица 3.9 – Результаты измерения искусственной освещенности в помещении с северной ориентацией окон

Сечение по оси Y	Освещенность, лк						
	Сечение по оси X						
	0	1	2	3	4	5	6
0	167	333	348	502	350	329	180
1	327	513	850	1010	852	515	321
2	342	854	1323	1191	1298	856	354
3	518	996	1211	1555	1199	1015	498
4	353	837	1332	1200	1330	837	352
5	340	521	852	1015	832	505	345
6	172	350	342	507	348	330	170

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	73

Таблица 3.10 – Результаты измерения искусственной освещенности в помещении с южной ориентацией окон

Сечение по оси Y	Освещенность, лк						
	Сечение по оси X						
	0	1	2	3	4	5	6
0	170	350	300	490	348	312	159
1	352	520	871	983	832	499	302
2	350	847	1325	1211	1330	836	338
3	512	992	1320	1481	1200	1010	480
4	302	900	1285	1230	1293	841	312
5	325	531	560	1001	840	510	336
6	172	340	351	495	356	321	173

Сходимость результатов теоретического исследования и экспериментальных данных проведем, сравнив значения показателей равномерности.

Показатель равномерности для помещений с северной ориентацией будет соответственно равен $Z_c=5,156$, для помещения с южной ориентацией окон – $Z_{io}=4,586$ при расчетном значении $Z=5,095$. Полученные значения находятся в диапазоне $\pm 8\%$ (допустимая относительная погрешность прибора) от расчетного значения, а значит можно считать, что расчетные и теоретические данными достоверны.

Сравнение графиков освещенности помещения по экспериментальным данным и данным, полученным математическим моделированием (смотри главу 2) приведено на рисунке В.2 приложения В.

Выводы по главе три

В ходе проведения экспериментов и обработки результатов были подтверждены ранее выдвинутые гипотезы:

- закон изменения естественной освещенности при удалении от окон распространяется на все сечения помещения перпендикулярные оконным проемам;
- текущее расположение источников освещения является не оптимальным, полученные экспериментальные данные подтверждают сделанный ранее математический расчет.

					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист 74
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

Изменение ориентации оконных проемов (с северной на южную и наоборот) не оказывает существенного влияния на естественную освещенность помещения.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 75

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

4.1 Технические требования к системе управления

Из полученных ранее теоретических и экспериментальных данных о законах распределения освещения, существующие системы освещения помещений требуют модернизации и создания АСУО с учетом оптимизированного расположения светильников (см. пункт 2.1.1) и определенных технических требований, формирование которых к системе является основополагающим этапом для последующего проектирования освещения и системы управления им, в данном разделе будут заданы технические требования к АСУО.

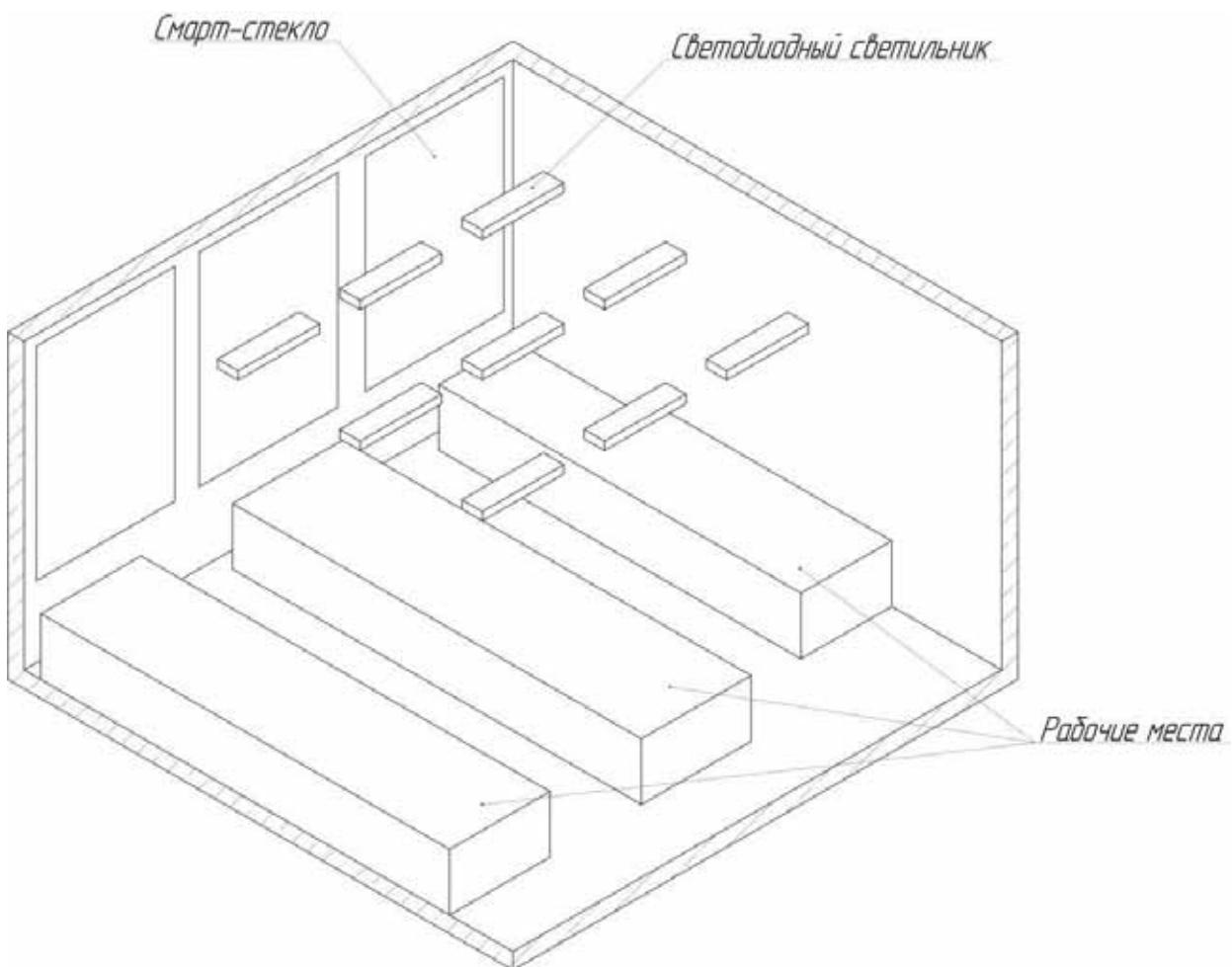


Рисунок 4.1 – Структура помещения

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	76

Чтобы соответствовать современным системам управления освещением разрабатываемая система должна обеспечивать следующие функции [13]:

- коммутация и плавная адресная регулировка яркости светильников;
- поддержание постоянного заданного уровня освещённости в помещении;
- учёт уровня естественной освещённости помещения;
- сценарное управление группами светильников в соответствии с предустановленными параметрами;
- работа по расписанию (день недели, время суток);
- обеспечение интерфейса управления для ПК/ПЛК, возможность интеграции её в систему диспетчеризации объекта.

При разработке АСУО также необходимо, чтобы она соответствовала требованиям указанным ниже.

Информационный обмен между элементами системы должен осуществляться по стандартным протоколам.

Для АСУО должны быть определены следующие режимы функционирования::

1. ручной (наладочный) режим;
2. автоматический режим (простой и сценарный).

Ручной режим включает в себя:

- проверку исправности оборудования;
- проверка и вывод информации об уровне освещенности;
- ручное включение (отключение) исполнительных устройств

Автоматический режим включает в себя:

- автоматическое регулирование мощности светильников;
- автоматическое регулирование уровней затенения смарт-стекол;
- автоматический съем данных контроля (датчиков);
- автоматическую обработку полученных данных (определение действий по поддержанию уровня освещенности), выполняемую в ПЛК.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 77

Сценарный режим включает в себя все действия вышеперечисленных режимов работы и по создаваемому сценарию, в котором задаются время, мощность, уровни освещенности.

АСУО должна обладать свойствами приспособляемости заключающимися в возможности сохранения или повышения производительности при изменении условий эксплуатации.

Данная АСУО должна обеспечивать непрерывную работу системы освещение в течение всего срока службы входящих в нее исполнительных устройств. АСУО должна обладать надежностью, должна обеспечивать функциональность во всех режимах работы и быстрое восстановление работоспособности при различных сбоях

Требования к надежности технических средств задаются согласно ГОСТ Р 27.003-2011 Надежность в технике . Управление надежностью. Руководство по заданию технических требований к надежности [31]. Требования к надежности автоматизированных систем управления задаются согласно ГОСТ Р 24.701-86 Надежность автоматизированных систем управления [32].

Все технические решения, использованные при разработке компонентов АСУО, а также требования к аппаратному обеспечению, должны соответствовать действующим нормам и правилам техники безопасности, пожаробезопасности и взрывобезопасности, а также охраны окружающей среды при эксплуатации.

Все внешние элементы технических средств АС, находящиеся под напряжением, должны иметь защиту от случайного прикосновения, а сами технические средства иметь защитное заземление в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81[33].

Факторы, оказывающие вредные воздействия на здоровье со стороны всех элементов АС (в том числе инфракрасное, ультрафиолетовое, рентгеновское и электромагнитное излучения, вибрация, шум, электростатические поля, ультразвук строчной частоты и т.д.), не должны превышать действующих норм (СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03)[2].

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	78

Технические средства АСУО должны быть защищены от внешних воздействий в полном соответствии с ГОСТ 24.104-85 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования [34].

Используемые при проектировании, разработке и вводе в опытную эксплуатацию АСУО аппаратное обеспечение, а также прикладное программное обеспечение должны быть лицензионными и сертифицированы на территории Российской Федерации для работы в используемых режимах. В случае использования собственных разработок должно быть наличие документальных свидетельств на владение интеллектуальной собственностью и авторскими правами.

При разработке АСУО должно быть максимизировано использование общероссийских классификаторов в соответствии с ГОСТ Р 1.0-2012 Стандартизация в Российской Федерации [35]. В случае применения исполнителем специфицированных, но не стандартизованных решений должно быть представлено обоснование на каждый такой случай.

4.2 Алгоритм работы системы

Основное назначение системы управления комбинированным освещением – создание необходимого уровня освещенности с минимальными энергозатратами и максимальным использованием естественного освещения, что значит искусственное освещение в случае недостаточности естественного должно его компенсировать. Исходя из этих данных, и технических требований АСУО должна иметь следующий алгоритм работы.

Система может работать в трех режимах работы:

1. ручной (наладочный) режим;
2. автоматический режим (простой и сценарный).

При ручном режиме работы происходит ручное управлении светодиодными светильниками и смарт-стеклами через панель оператора или диспетчерский ПК.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	79

В ручном режиме запрашивается необходимая мощность каждого из имеющихся светильников в диапазоне от 0 до 100% (в отдельности (P_c), группами (P_g), всеми сразу (P_n)), степень затемнения смарт-стекла в диапазоне 0 до 100% (каждого в отдельности (T_c)), а также выводятся показания датчиков освещенности (E_{do}). Возможен переход в другие режимы работы.

При переходе в режим автоматического управления запрашиваются данные на ввод необходимого уровня освещенности в зонах освещения(E_h).

После ввода данных система на основе постоянного анализа показаний датчиков освещенности осуществляет регулирование мощности каждого светильника и смарт-стекла. Если показания уровня освещенности в какой-либо из зон выше заданного значения, то мощность наиболее близко расположенных светильников начинает снижаться до достижения необходимого значения, если при полном отключении светильников заданное значение не достигнуто, то происходит затемнение смарт-стекол оконных проемов, до достижения заданного уровня освещенности, иначе выдается сообщение об ошибке в работе системы.

Сценарный автоматический режим работы системы осуществляет сценарное управление системой, включающее в себя:

- настройку мощности светильников в соответствии со сценарием;
- настройку уровня затемнения смарт-стекол в соответствии со сценарием;
- сценарий может включать в себя: повременное регулирование, регулирование освещенностью отдельных зон и их совокупность.

На основе вышеуказанного алгоритма работы была составлена блок-схема, представленная в приложении Г[36-38].

4.3 Функциональная схема системы

На основе алгоритма работы системы описанного в пункте 4.2 и технических требований к системе – пункт 4.1, структуры помещения рисунок и данных о по-

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.2017.375.00.00 ПЗ	80

ложении датчиков (рисунок 2.11) и осветительных приборов можно разработать структурно-функциональную схему системы.

В целом вся система делится на 3 составляющих блока:

- блок управления;
- блок датчиков;
- блок исполнительных устройств.

4.3.1 Блок управления

Блок управления системой должен осуществлять на основе сигналов с блока датчиков, панели управления оператора и диспетчерского ПК расчеты и формировать соответствующие управляющие воздействия на блок исполнительных устройств. Наиболее удобным логическим устройством для применения в промышленных системах автоматизации является промышленный контроллер, способный напрямую формировать сигналы управления.

Для построения системы будем использовать контроллер ОВЕН МОДУС 5684 – головной контроллер для построения небольших АСУ (таблица 4.1) с расширительными модулями ввода аналогового сигнала МОДУС 5630, вывода аналогового сигнала МОДУС 5635 и модуля-шлюза сигналов протокола освещения DALI – МОДУС 5671 соединение блоков осуществляется через специальную шину IMBX.

Выбор контроллера производства ОВЕН обусловлен тем, что данные контроллеры являются несложными в освоении, имеют большое количество расширительных модулей, а также являются отечественными, следовательно ценовая политика более лояльна. Модель МОДУС 5684 выбрана ввиду своей сравнительной простоты, наличия специализированного модуля расширения DALI и доступности, внешний вид промышленного контроллера представлен на рисунке 4.2 [39, 40].

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	81



Рисунок 4.2 – Внешний вид ОВЕН МОДУС 5684

Таблица 4.1 – Характеристики ОВЕН МОДУС 5684

Параметр	Значение
Конструктивное исполнение	
Тип корпуса	Для крепления на DIN-рейку (35 мм)
Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254–96	IP20
Габаритные размеры, мм	(90×71,6×66) ±1
Питание	
Напряжение питания постоянного тока, В	от 19 до 32 (номинальное 24)
Потребляемая мощность контроллером без подключенных модулей, Вт, не более	5
Системные характеристики	
Центральный процессор	ARM9 200MHz
Встроенная память	ОЗУ 64 Мб, Flash 256 Мб
Дополнительные устройства	
Энергонезависимые часы реального времени	точность хода при 25 °C – не более ±2 с в сутки;
Сторожевой таймер (Watchdog Timer)	есть
Объем Retain-памяти	128 Кб
Человеко-машинный интерфейс	
Индикаторы состояния и отображения режима работы	7
Переключение режима работы	3-позиционный переключатель
Интерфейсы связи	
Ethernet 10/100 Base-T, шт	2
USB-HOST, шт	2
Debug, шт	1
Разъем Micro SD (поддерживаются карты объемом до 2Гб)	1
Прочие характеристики	
Время выполнения одного цикла программы	установленное по умолчанию (стабилизированное) – 10 мс
Количество модулей на шине	Не более 16ти
Общие сведения	
Температура окружающего воздуха, °C	-20..+55
Масса контроллера, кг, не более	0,3
Средняя наработка на отказ, ч	100 000

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист 82
15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ					

Так как данный головной контроллер не имеет требуемых для нашей системы входных и выходных разъемов, то необходимо использование модуля ввода аналого сигнала (для получения показания датчиков) МОДУС 5630 (см. рисунок 4.3) в количестве 3-х штук (количество датчиков равно 9, портов ввода на каждом модуле – 4, неиспользованные порты в дальнейшем можно использовать для расширения функционала системы), технические характеристики модуля представлены в таблице 4.2 [41, 42].



Рисунок 4.3 – Внешний вид ОВЕН МОДУС 5630

Таблица 4.2 – Характеристики ОВЕН МОДУС 5630

Параметр	Значение
Конструктивное исполнение	
Тип корпуса	Для крепления на DIN-рейку
Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254–96	IP20
Габаритные размеры (В x Ш x Г), мм	(90x35,6x61) ±1
Питание	
Потребляемая мощность по каналу 5 В, Вт, не более:	0,55
- по каналу 5 В	-
- по каналу 24 В	
Диапазон напряжения питания по каналу 5 В, В	От 5,0 до 5,5
Характеристики аналоговых входов	
Предел основной приведенной погрешности, %	0,5
Предел дополнительной приведенной погрешности, вызванной изменением температуры на 10 °C в пределах рабочего диапазона температур, %	0,25
Количество аналоговых выходных каналов	4
Сопротивление нагрузки, подключаемое к токовому выходу, Ом	От 0 до 1300

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 83

Продолжение таблицы 4.2

Сопротивление нагрузки, подключаемое к выходу тип «Напряжение», кОм, не менее	2,0
Напряжение питания аналогового выхода (типа «Напряжение» и типа «Ток»), В	От 12 до 36
Гальваническая развязка	Есть, индивидуальная по каждому выходу
Электрическая прочность в изоляции, В	500 (между каждым из выходов и шиной IMBX, а также между выходами)
Разрядность АЦП аналогичного выхода (типа «Ток» и типа «Напряжения»), бит	10
Общие сведения	
Масса модуля, кг, не более	0,2
Средняя наработка на отказ, ч	100 000
Средний срок службы, лет	8

Также для управления смарт-стеклами то необходимо использование модуля вывода аналогово сигнала МОДУС 5635 с 4 выходными каналами напряжения (см. рисунок 4.4), технические характеристики модуля представлены в таблице 4.3 [43, 44].



Рисунок 4.4 – Внешний вид ОВЕН МОДУС 5635

Таблица 4.3 – Характеристики ОВЕН МОДУС 5635

Параметр	Значение
Конструктивное исполнение	
Тип корпуса	Для крепления на DIN-рейку
Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254–96	IP20
Габаритные размеры (В x Ш x Г), мм	(90x35,6x61) ±1
Питание	
Потребляемая мощность по каналу 5 В, Вт, не более:	0,55
- по каналу 5 В	-
- по каналу 24 В	

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
						84

Продолжение таблицы 4.3

Диапазон напряжения питания по каналу 5 В, В	От 5,0 до 5,5
Характеристики аналоговых входов	
Предел основной приведенной погрешности, %	0,5
Предел дополнительной приведенной погрешности, вызванной изменением температуры на 10 °С в пределах рабочего диапазона температур, %	0,25
Количество аналоговых выходных каналов	4
Сопротивление нагрузки, подключаемое к токовому выходу, Ом	От 0 до 1300
Сопротивление нагрузки, подключаемое к выходу тип «Напряжение», кОм, не менее	2,0
Напряжение питания аналогового выхода (типа «Напряжение» и типа «Ток»), В	От 12 до 36
Гальваническая развязка	Есть, индивидуальная по каждому выходу
Электрическая прочность в изоляции, В	500 (между каждым из выходов и шиной IMBX, а также между выходами)
Разрядность АЦП аналогичного выхода (типа «Ток» и типа «Напряжения»), бит	10
Общие сведения	
Масса модуля, кг, не более	0,2
Средняя наработка на отказ, ч	100 000
Средний срок службы, лет	8

Для формирования сигналов для источников освещения по протоколу дали необходимо использовать специализированный расширительный модуль МОДУС 5671 (рисунок 4.5), технические характеристики которого указаны в таблице 4.4 [45, 46].



Рисунок 4.5 – Внешний вид ОВЕН МОДУС 5671

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	85

Таблица 4.4 – Характеристики ОВЕН МОДУС 5671

Параметр	Значение
Конструктивное исполнение	
Тип корпуса	Для крепления на DIN-рейку
Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254–96	IP20
Габаритные размеры (В x Ш x Г), мм	(90x35,6x61) ±1
Питание	
Потребляемая мощность, Вт, не более:	9
- по каналу 24 В, не более	2
- по каналу 5 В, не более	
Электрическая прочность изоляции, В	1500 (между выходами DALI и шиной IMBX)
Общие сведения	
Масса модуля, кг, не более	0,1
Средняя наработка на отказ, ч	100 000
Средний срок службы, лет	8
Максимальное число подключаемых ЭБ, шт	64
Возможность объединения ЭБ в группы	есть
Максимальное расстояние от модуля до ЭБ, м, не более	300
Полярность подключения ЭБ к модулю	универсальная
Защита от короткого замыкания	есть
Время автоматического восстановления работоспособности интерфейса DALI, после короткого замыкания, мин, не более	1
Выходное напряжение источника питания интерфейса DALI, В, не более	21

Для осуществления человеко-машинного интерфейса также необходимо использовать операторскую панель, выберем сенсорную панель СП310-Р (рисунок 4.6), технические характеристики приведены в таблице 4.5 [47, 48].

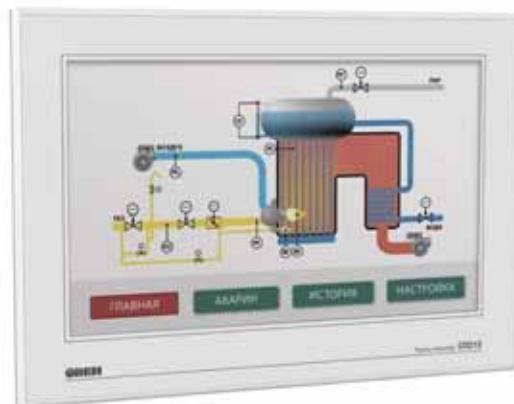


Рисунок 4.6 – Внешний вид СП310-Р

					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист 86
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

Таблица 4.5 – Характеристики ОВЕН СП310-Р

Наименование	Значение
Процессор	
Модель	AT91SAM9G35-CU
Частота, МГц	400
Человеко-машинный интерфейс	
Тип дисплея, диагональ, мм (в дюймах)	16,7 млн цветов TFT (10,1)
Разрешение дисплея, пиксел	800×480
Рабочая зона дисплея (ширина × высота), мм	219,6×131,8
Встроенные часы реального времени*	есть
Память	
Память программ (Flash-RAM), Мб	128
Питание	
Тип питающего напряжения	постоянное
Диапазон питающего напряжения, В	23...27
Номинальное напряжение питания, В	24
Потребляемый ток, А, не более**	0,27
Потребляемая мощность, Вт, не более**	10
Корпус панели	
Конструктивное исполнение	для щитового крепления
Габаритные размеры (ширина × высота × глубина), мм	272,2×191,7×51,2
Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254:	
- с лицевой стороны	IP65
- со стороны разъемов	IP20
Масса (с элементами крепления), кг, не более	2,0
Порты	
Количество (тип) портов	1 × PLC(DB9M) – RS-485, RS-232 1 × Download(DB9M) - RS-485, RS-232 1 × USB-Device (USB-B) 1 × USB-Host (USB-A) 1 × Ethernet (RJ45)
Протокол (тип связи и особенности работы)	Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus TCP
Скорость обмена по интерфейсам RS, бод	от 4800 до 187500

4.3.2 Блок датчиков

Блок датчиков является основным средством измерения параметров процесса управления освещением, для дальнейшего его анализа в блоке управления.

					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист 87
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

Исходя из структуры помещения и назначения системы, для контроля состояния системы необходимо иметь информацию об уровнях освещенности.

Для этого используются датчики уровня (ДО), датчики освещенности передают сигнал о текущей освещенности, разрабатываемой системе будем использовать комнатный датчик Thermokon Li04 (рисунок 4.7), технические характеристики указаны в таблице 4.6 [49].



Рисунок 4.7 – Внешний вид Li04

Таблица 4.6 – Технические характеристики Li04

Характеристика	Значение
Напряжение питания	15...25 В
Фотодиод	BPW21
Диапазон измерения	2 клк, 20 клк, 100 клк
Выходной сигнал	вольтовой: 0-10 В, токовый: 4...20 мА, LON
Максимальная потребляемая мощность	токовый выход: 20мА/24 В=83 мкВт вольтовый выход: 15 мА /24 В=625 мкВт LON:30 мА /24 В=1,25 мВт

4.3.1 Блок исполнительных устройств

К исполнительным устройствам МХК относится совокупность управляемых светодиодных светильников и смарт-стекол.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	88

Светодиодные светильники получают управляющие сигналы от блока управления (изменение мощности от 0 до 100%) в соответствии с алгоритмом работы системы.

Для построения системы был выбран светильник Varton A070, позволяющий осуществлять диммирование по протоколу DALI, внешний изображен на рисунке 4.8 [50].



Рисунок 4.8 – Внешний вид светильника Varton A070

Технические характеристики светильника указаны в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Технические характеристики Varton A070

Характеристика	Значение
Мощность	27 Вт
Световой поток	3000 лм
КСС	косинусная (тип Д)
Габаритные размеры	595x595x50 (мм)
Коэффициент мощности	≥0,95
Климатическое исполнение	УХЛ4
Срок службы светодиодов	50000 часов
Возможность управления, тип	управляемый по DALI

Смарт-стекла получают управляющие сигналы от блока управления (изменение светопропускающей способности (затемнение) от 0 до 100%) в соответствии с алгоритмом работы системы.

Для создания смарт-стекла будем использовать пленку PDLC SmartFilm, наклеиваемую на уже смонтированные окна, технические характеристики пленки указаны в таблице 4.8 [51].



Рисунок 4.9 – Внешний вид пленки SmartSlim

Таблица 4.8 – Технические характеристики SmartSlim

Характеристика	Значение
Толщина	0,53 мм
Цвет	Белый
Режим работы	Дифференциальный
Способ управления	0...10 В (0 – затемнение, 10 - прозрачность)
Пропускание света	Прозрачный - ≥95%, затемненный - ≤15%

Продолжение таблицы 4.8

Рабочая температура	от -20°C до +70°C
Энергопотребление	5 Вт/м ²
Скорость переключения	≤50 мс
Срок службы	≥50 млн. включений, ≥50 000 часов

На основе данных о входных и выходных сигналах, протоколах обмена, интерфейсах вышеперечисленных устройств и механизмов составлена структурно-функциональная схема АСУО, представленная в приложении Д [52].

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
				15.04.2017.375.00.00 ПЗ	90

Выводы по разделу четыре

1. Разработаны технические требования к АСУО.
2. Разработана структурно-функциональная схема.
3. Разработан алгоритм работы АСУО.
4. Подобраны элементы блоков управления, датчиков и исполнительных устройств.

Результаты работы представлены в приложениях Г, Д.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 91

5 РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В условиях рыночной экономики важны расчеты показателей экономической эффективности разработки, оценивающие перспективность разработки через: себестоимость, экономического эффекта от внедрения и срок окупаемости.

5.1 Расчет себестоимости установки

Себестоимость – отправная точка в большинстве экономических расчетов, позволяющая оценить начальные капиталовложения. Себестоимость в свою очередь применительно к АСУО складывается из ряда составляющих:

- материальные затраты (комплектующие изделия, энергия);
- прочее (накладные расходы, непосредственно связанные с производством и монтажом).

5.1.1 Расчет затрат на комплектующие части

Исходя из данных об устройствах, составляющих систему (смотри главу 4), составим сводную таблицу стоимости комплектующих. Стоимость компонентов была взята с различных Интернет-ресурсов.

Таблица 5.1 – Стоимость комплектующих АСУО

Наименование	Цена за ед.	Кол.	Сумма
ПЛК ОВЕН МОДУС 5684	11 500,00р.	1	11 500,00р.
Расширительный модуль ОВЕН МОДУС 5630	4 500,00р.	3	11 500,00р.
Расширительный модуль ОВЕН МОДУС 5635	3 500,00р.	1	3 500,00р.
Расширительный модуль ОВЕН МОДУС 5671	4 000,00р.	1	4 000,00р.
Панель оператора ОВЕН СП310-Р	15 000,00р.	1	15 000,00р.
Ящик для электрооборудования	4 500,00р.	1	4 500,00р.
Датчик освещенности Li04	1 500,00р.	9	11 500,00р.
Блок питания DR-30-24	1 000,00р.	1	1 000,00р.
Светодиодный светильник Varton A070	3 500,00р.	9	31 500,00р.
PDLC SmartSlim	4 000,00р./ м ²	11,5 м ²	46 000,00р.
ИТОГО:			140 000,00 р.

					Лист 92
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	
15.04.2017.375.00.00 ПЗ					

Итоговая сумма затрат на комплектующие части составила 140000,00 рублей.

5.1.2 Расчет полной себестоимости установки

Затраты на разработку для систем освещения варьируются от сложности разрабатываемой системы, для АСУО представленной в данной работе затраты могут составить от 5000,00 до 20000,00 рублей, примем для расчетов 15000,00 рублей.

Исходя из статистических данных о стоимости доставки комплектующих, затраты на эту статью калькуляции составляют порядка 10% от себестоимости, в нашем случае это сумма 14000,00 рублей.

Сборочные работы системы в большинстве случаев являются одними из самых трудозатратных, ответственных и сложных, в нашем случае в эти затраты также включены стоимости электропроводов, так как расчет необходимого объема производится на месте сборки, поэтому затраты на их выполнение составляют порядка 30-50% от себестоимости, примем для расчетов 35%. В нашем случае они составят 49000,00 рублей.

Также немаловажную роль играет пусконаладочные работы затраты на которые примем в размере 10% от себестоимости 14000,00 рублей.

По расчетным данным составим калькуляционную таблицу полной себестоимости.

Таблица 5.2 – Полная себестоимость АСУО

№ п.п.	Статья калькуляции	Сумма, рублей
1	Стоимость комплектующих	140 000,00
2	Транспортные расходы	14 000,00
3	Сборочные работы	49 000,00
4	Пусконаладочные работы	14 000,00
8	Суммарные затраты на разработку	15 000,00
ИТОГО:		232 000,00

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист 93
------	------	---------	-------	------	-------------------------	------------

5.2 Эффект от внедрения

Экономический эффект – полезный результат деятельности, на данной работе рассматривается эффект от внедрения АСУО (эффект от автоматизации). Эффект от использования автоматизированных систем освещения в сущности является экономией на электроэнергии и затрат времени на настройку (в случае необходимости) освещения.

Для оценки экономического эффекта необходимо определить исходные данные, энергозатраты существующей системы. Известно, что система состоит из девяти светильников общей мощностью 0,9 кВт (каждого светильник по 100 Вт), при непрерывной работе 176 часов в месяц и тарифной ставке на электроэнергию в Челябинской области для предприятий в размере 2,92 руб/кВт·ч получим 462,53 рублей затрат в месяц.

Для разработанной АСУО суммарная мощность, исходя из технических характеристик составных элементов (смотри главу 4), равняется 0,27 кВт (из этого потребление светильниками – 0,243 кВт, по 27 Вт каждый), при непрерывной работе 176 часов в месяц (при максимальной мощности) получим 138,75 рублей затрат в месяц.

Помимо экономического эффекта есть эффект снижения утомляемости, связанный с равномерностью освещенности, после изменения расположения светильников, и возможностью регулирования уровня освещенности.

Утомляемость от неравномерного освещения возникает уже после первого часа работы, что ведет за собой снижение концентрации и необходимость в отдыхе от 5 до 15 минут каждый час, при соблюдении не соблюдении времени отдыха снижает работоспособность, соблюдение же данного режима отдыха, в свою очередь влечет падение производительности труда в среднем на 15%, а значит возрастает время выполнения работ, как и в первом случае [53].

Пусть в помещении работает программист со средней заработной по данным заработной платой 31 680 рублей в месяц (180 рублей в час по данным Челябин-

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
						94

ского областного Центра занятости населения), определенную задачу он выполняет за 176 часов рабочего месяца при высоком уровне утомления (от неравномерного освещения), тогда при снижении утомляемости он выполнит тот же объем работ на 15% быстрее, т.е за 150 часов, как следствие произойдет снижение затрат на решение данной задачи до 27 000 рублей в месяц.

Таблица 5.3 – Эффект от внедрения АСУО

Параметр	До внедрения	После	Эффект
Потребляемая мощность	1000 Вт	270 Вт	снижение на 730 Вт
Затраты на электроэнергию, в месяц	462,53 р.	138,75 р.	снижение на 323,78 р.
Затраты на решение задачи, в месяц	31 680 р.	27 000 р.	снижение на 4 680 р.
Коэффициент неравномерности освещения	5,09	1,12; 1,26	снижение на 3,97 снижение на 3,83
Возможность регулирования освещенности	нет	да	-

Оценим срок окупаемости данной системы, возврат вложенных средств осуществляется за счет экономии затрат (смотри таблицу 5.3). Годовая экономия затрат:

$$\mathcal{E}Z = 12 \cdot (4680 + 323,78) \text{ рублей} = 60045,36 \frac{\text{рубль}}{\text{год}}; \quad (46)$$

Рассчитаем срок окупаемости за счет экономии затрат.

$$T_{\text{ок.}} = \frac{K}{\mathcal{E}Z} = \frac{232000 \text{ рублей}}{60045,36 \frac{\text{рубль}}{\text{год}}} = 3,86 \text{ года} \approx 3 \text{ год } 11 \text{ месяцев}; \quad (47)$$

где $T_{\text{ок.}}$ – срок окупаемости, лет;

K – полная себестоимость АСУО, рублей;

$\mathcal{E}Z$ – экономия затрат, рублей/год.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 95

Выводы по разделу пять

Разработанная АСУО позволяет снизить затраты связанные с энергопотреблением на 70%, а также затраты на решение задач за счет снижения утомляемости сотрудников. Срок окупаемости АСУО – 3 года и 11 месяцев.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.2017.375.00.00 ПЗ 96

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам выполнения выпускной квалификационной работы магистра:

- были изучены системы автоматизированного управления освещением и способы управления ими, используемые технические средства при построении систем;
- сформированы математические модели распределения естественного и искусственного освещения в помещении. Правильность моделей подтверждена по итогам проведения серии экспериментов и обработки их результатов;
- на основе математической модели распределения искусственного освещения проведена оптимизация исходного положения осветительных приборов;
- сформированы технические требования к системе автоматизированного управления освещением;
- на основе структуры помещения и технических требований спроектированы структурно-функциональная схема АСУО и алгоритм работы системы, произведен подбор элементной базы.

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист 97
------	------	---------	-------	------	-------------------------	------------

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Государственная программа РФ «Энергосбережение и повышение эффективности на период до 2020 года». Утверждена распоряжением правительства РФ от 27 декабря 2012 г. №2446-р.
- 2 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 54 с.
- 3 СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минрегион России, 2011. – 69 с.
- 4 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственно и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. Санитарные правила и нормы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 20 с.
- 5 СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 76 с.
- 6 ЕН 12464-1:2011. Освещение рабочих мест. Внутреннее освещение рабочих мест. – М.: Стандартинформ, 2013. – 72 с.
- 7 Петров, В. И. Азбука освещения / В. И. Петров. – М.: Вигма, 1999. – 67 с.
- 8 Искусственные источники света. –
https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственные_источники_света
- 9 Моргунов, Д. Н. Анализ характеристик светодиодных источников света / Д. Н. Моргунов, С. И. Васильев // Известия Оренбургского государственного университета. – 2006. – №6. – С.75–77.
- 10 Регулирование яркости светодиодов. –
http://alprof.info/articles/opisanie/regulirovanie_iarkosti_svetodiodov/
- 11 Восприятие световых пульсаций органами зрения человека. – <http://eco-e.ru/goodies/stati/svetovaya-sreda/pulsion/displays/44-kak-pulsatsiya-osveshcheniya-i-mertsanie-monitora-dejstvuyut-na-zrenie-i-mozg-cheloveka>

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.2017.375.00.00 ПЗ	98

12 Широков, Ю. Стандарты управления освещением / Ю. Широков // Современные технологии автоматизации. – 2014. – №3. – С.96 –103.

13 Обзор протоколов управления освещением. -
<http://www.russianelectronics.ru/developer-r/review/2195/doc/58067/>

14 Применение DMX512. – <http://dsl.msk.ru/rus/around/dmx512/dmx512.htm>

15 RDM – протокол управления освещением. -
<http://microsin.net/adminstuff/others/rdm-for-lighting-control.html>

16 DALI Интеллектуальное освещение. - <http://dali-light.ru/>

17 Умное стекло. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Умное_стекло

18 Патентный поиск. – <http://www.findpatent.ru/>

19 DIALux – проектирование освещения. – <http://www.dialux-help.ru/>

20 Айзенберг, Ю. Б. Справочная книга по светотехнике / Ю. Б. Айзенберг. – М.: Знак, 2006. – 972 с.

21 Мешков, В. В. Основы светотехники / В. В. Мешков. – М.: Энергия, 1979. – 368 с.

22 Кнорринг, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.

23 Кнорринг, Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.

24 Баранов, Л. А. Светотехника и электротехнология / Л. А. Баранов, В. А. Захаров. – М.: КолосС, 2006. – 344 с.

25 Аббасов, М. Э. Методы оптимизации / М. Э. Аббасов. – СПб.: Издательство «ВВМ», 2014. – 64 с.

26 Козинский, В.А. Электрическое освещение и облучение / В. А. Козинский. – М.: Агропромиздат, 1991. – 239 с.

27 Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

28 ТКА-ПКМ 08 Руководство по эксплуатации -
[http://www.tkaspb.ru/produkt/manual/manual_tka-pkm\(08\)_17-01.pdf](http://www.tkaspb.ru/produkt/manual/manual_tka-pkm(08)_17-01.pdf)

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	99

- 29 Реброва, И. А. Планирование эксперимента: Учебное пособие / И. А. Реброва. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.
- 30 Теория вероятности и математическая статистика / А. И. Кибзун, Е. Р. Горянова, А. В. Наумов, А. Н. Сиротин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 224 с.
- 31 ГОСТ Р 27.003-2011. Надежность в технике. Управление надежностью. Руководство по заданию технических требований к надежности. – М.: Стандартинформ, 2013. – 17 с.
- 32 ГОСТ Р 24.701-86. Надежность автоматизированных систем управления. – М.: Стандартинформ, 2009. – 11 с.
- 33 ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.
- 34 ГОСТ 24.104-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2009. – 17 с.
- 35 ГОСТ Р 1.0-2012. Стандартизация в Российской Федерации. – М.: Стандартинформ, 2013. – 16 с.
- 36 ГОСТ 2.605-68. ЕСКД. Плакаты учебно-технические. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.
- 37 ГОСТ 19.005-85. ЕСПД. Р-схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические и правила выполнения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 13 с.
- 38 ГОСТ 19.701-90. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. – М.: Стандартинформ, 2010. – 24 с.
- 39 ОВЕН МОДУС 5684. – http://www.owen.ru/catalog/modus_5684_0/opisanie
- 40 ОВЕН МОДУС 5684. Руководство по эксплуатации. – http://www.owen.ru/uploads/rie_modus_5684_1184.pdf
- 41 ОВЕН МОДУС 5630. – http://www.owen.ru/catalog/modus_5630/opisanie
- 42 ОВЕН МОДУС 5630. Руководство по эксплуатации. – http://www.owen.ru/uploads/rie_modus_5630_1174.pdf
- 43 ОВЕН МОДУС 5635. – http://www.owen.ru/catalog/modus_5635/opisanie

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ 100

- 44 ОВЕН МОДУС 5635. Руководство по эксплуатации. –
http://www.owen.ru/uploads/rie_modus_5635_1180.pdf
- 45 ОВЕН МОДУС 5671. – http://www.owen.ru/catalog/modus_5635/opisanie
- 46 ОВЕН МОДУС 5671. Руководство по эксплуатации. –
http://www.owen.ru/uploads/rie_modus_5671_1214.pdf
- 47 ОВЕН СП310-Р.
http://www.owen.ru/catalog/sensornie_paneli_operatora_oven_sp3xx/38711838
- 48 ОВЕН СП310-Р. Руководство по эксплуатации. –
[http://www.owen.ru/uploads/sp3xx._rukovodstvo_iekspluatacii_\[2062\].pdf](http://www.owen.ru/uploads/sp3xx._rukovodstvo_iekspluatacii_[2062].pdf)
- 49 Thermokon Li04. – <http://www.thermokon.su/light-occupensy/li04.php>
- 50 Vartton A070. – <http://varton.ru/products/administrativnoe-osveshchenie/A070/>
- 51 PDLC SmartSlim. – <http://www.smarttint.com/>
- 52 ГОСТ 2.701-2008. ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению схем. – М.: Стандартинформ, 2009. – 16 с.
- 53 Крушельницкая, Я. В. Физиология и психология труда / Я. В. Крушельницкая. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 367 с.
- 54 СТО ЮУрГУ 04–2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / сост. Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
- 55 EN 12464-1:2011. «Lighting of work places. Indoor work places».

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
					15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ 101

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Отчет о патентных исследованиях

						Лист 102
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	

ЗАДАНИЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УТВЕРЖДАЮ
Доцент, к.т.н. Нуждов В.М.

« » 20 г.

ЗАДАНИЕ № 1 на проведение патентных исследований

Наименование работы (темы) Автоматизированная система управления освещением.

Шифр работы (темы) _____

Этап работы _____, сроки его выполнения 29 декабря 2016 г.

Задачи патентных исследований: поиск и выявление в России систем автоматизированных систем управления освещением.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Виды патентных исследований	Подразделения-Исполнители (соисполнители)	Ответственные исполнители (Ф.И.О.)	Сроки выполнения патентных исследований. Начало. Окончание.	Отчетные документы
Проведение анализа тенденций развития	ЮУрГУ, кафедра «МиА»	Попов Евгений Андреевич	20.12.16 29.12.16	Отчет о патентных исследованиях

Руководитель научной работы _____
личная подпись _____
Нуждов В. М.
расшифровка
подписи _____
дата _____

РЕГЛАМЕНТ ПОИСКА

Регламент поиска №1

24 декабря 2016 г.

Наименование работы (темы) Автоматизированная система управления освещением.

Шифр работы (темы) _____
Этап работы _____.

Цель поиска информации: определение достигнутого технического уровня в РФ и формирование групп патентов-аналогов для дальнейшей оценки перспективности защиты результатов исследований.

Обоснование регламента поиска: поиск проводился по патентной литературе в объеме патентных фондов развитых стран, по ведущим базам данных патентной информации. Глубина поиска 10 лет.

Начало поиска 20 декабря 2016 _____ Окончание поиска 29 декабря 2016 _____.

Предмет поиска (объект исследования, его составные части, товар)	Страна поиска	Источники информации, по которым будет проводиться поиск						Ретро-спектр вность	Наименование информационной базы (фонда)	
		Патентные	Наименование	Наименование НТИ	Наименование коньюктурные	Код товара: ГС, СМТК, БН	Наименование	Классификационные индексы		
Автоматизированные системы управления освещением , реагирующие на изменение внешних условий. В частности системы управления внутренним освещением	RU	Патенты	МПК H05B 37/2						2006-2016	ФИПС. Роспатент. http://www1.fips.ru/
										Полезные модели РФ. Промышленные образцы РФ. http://www.freepm.ru/

ОТЧЕТ О ПОИСКЕ

1. Поиск проведен в соответствии с заданием доцента, кандидата технических наук Нуждова В.М.

№ от и Регламентом поиска №1 от 24 декабря 2016 г.

2. Этап работы

3. Начало поиска 20 декабря 2016 . Окончание поиска 29 декабря 2016 .

4. Сведения о выполнения регламента поиска: Регламент выполнен полностью.

5. Предложения по дальнейшему проведению патентных исследований.

6. Материалы, отобранные для последующего анализа.

Таблица 6.1 – Патентная документация

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи. Вид и номер охранного документа.	Заявитель (патентообладатель), страна. Номер заявки, дата приоритета, конвенционный приоритет.	Название изобретения (полезной модели, промышленного образца)	Сведения о действии охранныго документа или причина его аннулирования (только для анализа патентной чистоты)
1 Автоматизированные системы управления освещением, реагирующие на изменения внешних условий. В частности управление внутренним освещением.	Россия, патент №2538786 МПК H05B 37/2 (2006.01)	КОНИКЛЕЙКЕ ФИЛИПС ЭЛЕКТРОНИКС, H.B. (NL) 08.01.2010	Система управления освещением, реагирующая на условия окружающего освещения.	Системы управления освещением согласно различным вариантам выполнения и реализации настоящего изобретения направлены на устранение недостатков, характерных для обычных подходов. Например, в некоторых вариантах выполнения используются контроллеры освещения, которые

	<p>Контролируют датчики, не имеющие проводной связи с местом монтажа на потолке или стене.</p> <p>Эти датчики могут находиться рядом или внутри рабочей зоны пользователя, например, рядом с компьютерным дисплеем или другим оборудованием, с которым работает пользователь. Эти датчики можно легко переносить в другое место каждый раз, когда происходит реконфигурация рабочих зон или изменяется их планировка. Датчики могут даже перемещаться вместе с пользователем всякий раз, когда пользователь перемещается для работы на новом месте, например, внутри офисного здания. Кроме того, датчики, находящиеся вблизи пользовательского дисплея, могут более эффективно обнаруживать тот свет, который в наибольшей мере непосредственно нужен пользователю. Датчики, например, могут быть интегрированы в устройства, с которыми работает пользователь, такие как настольный компьютер или компьютер типа лэптоп.</p> <p>Контроллер освещения использует информацию от указанных датчиков для управления множеством осветительных устройств, например, осветительной сетью, в соответствии с настройками, заданными пользователем, или некоторыми настройками по умолчанию. Эти осветительные устройства могут быть размещены или управляться таким образом, чтобы они влияли на освещение зоны рядом с рабочей зоной пользователя. Например, осветительная сеть может включать в себя одно или несколько осветительных устройств, расположенных в заранее определенных местах на потолке или стенах и ориентированных под конкретными углами так, чтобы они освещали зону рядом с компьютерным дисплеем или другим оборудованием, с которым работает пользователь.</p> <p>Устройствам, которые интегрированы с датчиком. Как альтернатива, контроллер может идентифицировать датчик путем приема запроса</p>
--	--

			от датчика или устройства.
Автоматизированные системы управления освещением, реагирующие на изменение внешних условий. В частности системы управления внутренним освещением.	Россия, патент №2538319 МПК H05B 37/2 (2006.01)	КОНИКЛÉЙКЕ ФИЛИПС ЭЛЕКТРОНИКС (NL) 24.09.2010	Система освещения и способ управления системой. Изобретение относится к управлению интерактивным освещением, конкретно к управлению и созданию световых эффектов, такому как регулирование световых сцен, основываясь на индикации местоположения, получаемой от устройства ввода, и более конкретно к системе и способу управления интерактивным освещением для управления и создания световых эффектов с использованием устройства индикации местоположения. Основная идея изобретения состоит в том, чтобы предоставить управление интерактивным освещением посредством комбинации индикации местоположения и управляемого световым эффектом подхода в управлении освещением для того, чтобы усовершенствовать создание световых эффектов, такое как регулирование световых сцен, в частности с большими и разнородными инфраструктурами освещения.
Автоматизированные системы управления освещением, реагирующие на изменения внешних условий. В частности системы управления внутренним освещением.	Россия, патент №2551888 МПК H05B 37/2 (2006.01)	КОНИКЛÉЙКЕ ФИЛИПС ЭЛЕКТРОНИКС (NL) 07.02.2011	Способ управления уровнем света в освещении зданий. Изобретение относится к управлению уровнем света в освещении зданий. Техническим результатом является обеспечение автоматической энергосберегающей системы управления освещением зданий. Результат достигается тем, что уровень света управляется системой управления, функционально связанный, по меньшей мере, с одним датчиком интерьера для обнаружения уровня света интерьера; по меньшей мере, с одним устройством управления электрическим светом; по меньшей мере, с одним устройством управления оконными драпировками для управления допустимого уровня дневного света; и обрабатывающим блоком для обработки заданных значений управления, включающих в

			себя заданное значение уровня света интерьера. Уровень электрического света и допустимый уровень дневного света управляются параллельно с помощью работы устройства управления электрическим светом и устройства управления оконными драпировками
Автоматизированные системы управления освещением, реагирующие на изменение внешних условий. В частности системы внутренним освещением.	Россия, патент №2566077 МПК A61N 5/06 (2006.01) 18.02.2014	Общество ограниченной ответственностью "Трейдматик" (RU)	<p>Способ управления динамическим освещением.</p> <p>Изобретение относится к освещению, а именно к способам управления освещением, и может быть использовано в быту и медицине для создания световых эффектов, для достижения высокоеффективного психоэмоционального, психофизического воздействия. Достигаемый технический результат - обеспечение автоматической/полуавтоматической обратной связи системы освещения с психофизическим состоянием человека. Согласно способу используют как минимум пару датчиков из группы: трехосевой акселерометр, электронный компас, внешний термометр, гальванический датчик, устройство для измерения давления человека, датчик запаха, датчик сжатия, оптический датчик, акустический датчик, гироскоп. К используемым датчикам подводят напряжение и проводным или беспроводным способом собирают показания с датчиков, которые передают на управляющий процессор/контроллер. Поступающие данные обрабатывают и сравнивают с нормативными показателями, и в случае отклонения собираемых данных от нормы ведут управление напряжением или режимами свечения лампы, изменения их до соответствия нормативным показателям.</p>
Автоматизированные системы управления освещением, реагирующие на изменение внешних условий. В частности системы внутренним освещением.	Россия, патент №2013151449 МПК H05B 37/2	ЯН Хунмин (NL), ПАНДХАРИПАНДЕ Ашиш Виджай (NL), ПЕННИНГ ДЕ ВРИС Хендрикус Теодорус Герардус Мария (NL)	<p>Система и способы для интегрированного с естественным освещением управления</p> <p>Система и способы для интегрированного с естественным освещением управления</p>

Автоматизированные системы управления, реагирующие на изменения внешних условий. В частности системы внутренним освещением.	Россия, патент №2588597 МПК H05B 37/2	КОНИКЛЕЙКЕ ФИЛЛИП Н.В. (NL) 02.04.2012	Устройство и способ управления освещенностью от множества источников света.
<p>Изобретение относится к устройству установки уровней диммирования множества источников света. Техническим результатом является предоставление устройств для интеллектуального управления освещением. Результат достигается тем, что оптимизируют уровни диммирования источников освещения системы освещения посредством оптимизации уровней диммирования таким образом, что потребляемая мощность устройств освещения снижается. Результат достигается тем, что контроллер освещения выполнен с возможностью устанавливать уровни диммирования множества источников света, причем управляемый контроллер освещения содержит процессор, выполненный с возможностью определять, исходя из информации о целевом уровне мощности или целевом снижении мощности, уровень диммирования для каждого из упомянутого множества источников света, чтобы снизить потребляемую мощность от множества источников света до целевого уровня мощности или целевого снижения мощности и чтобы обеспечивать целевую пространственную освещенность.</p>			

Выводы патентного исследования.

Работа, в рамках которой проводились патентные исследования, имеет целью создание автоматизированной системы управления освещением, учитывающей изменение внешних условий.

Цель патентных исследований – определение технического уровня разрабатываемых в России новых автоматических систем управления и прогнозирование дальнейшего развития в этой области.

В процессе патентного поиска были использованы следующие источники:

- 1) Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС) <http://fips.ru/>;
- 2) Полезные модели РФ. Промышленные образцы РФ. <http://www.freepm.ru/>.

Разрабатываемая автоматическая система управления транспортным средством имеет в своем составе:

- 1) управляемые источники освещения;
- 2) датчики освещенности;
- 3) систему управляемого затемнения;
- 4) промышленный контроллер.

Разрабатываемую автоматическую систему управления планируется использовать для систем освещения помещений различного назначения, для максимизации использования естественного освещения.

В результате патентных исследований были выявлены следующие ближайшие к разрабатываемой системе аналоги, а именно:

- a) патент РФ – «Система управления освещением, реагирующая на условия окружающего освещения» №2538786;
- b) патент РФ – «Система освещения и способ правления системой» №2538319;
- c) патент РФ – «Способ управления уровнем света в освещении зданий» №2551888;
- d) патент РФ – «Способ правления освещением» №2566077;
- e) патент РФ – «Система и способы для интегрированного с естественным освещением управления освещённостью» №2013151449;
- f) патент РФ – «Устройство и способ управления освещенностью от множества источников света» №2588597.

Патентные исследования на автоматическую систему управления выполнены в соответствии с заданием, регламент

поиска выполнен в полном объеме.

Заключение:

Проведенные патентные исследования подтверждают научную значимость и прикладную перспективность проведенных теоретических исследований.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Характеристики исследуемых помещений

						Лист 113
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	

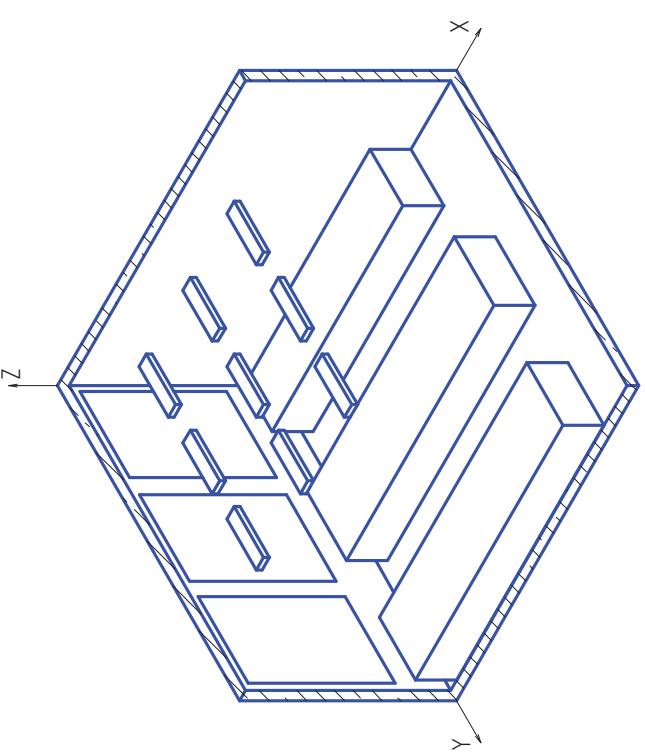
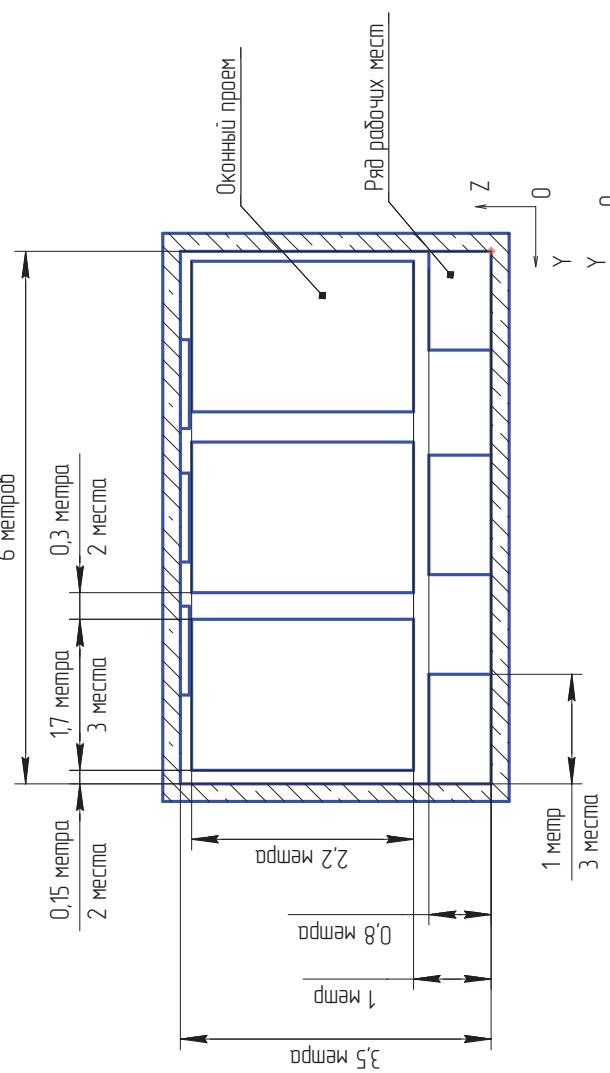


Рисунок Б.1 - Характеристики исследуемых помещений

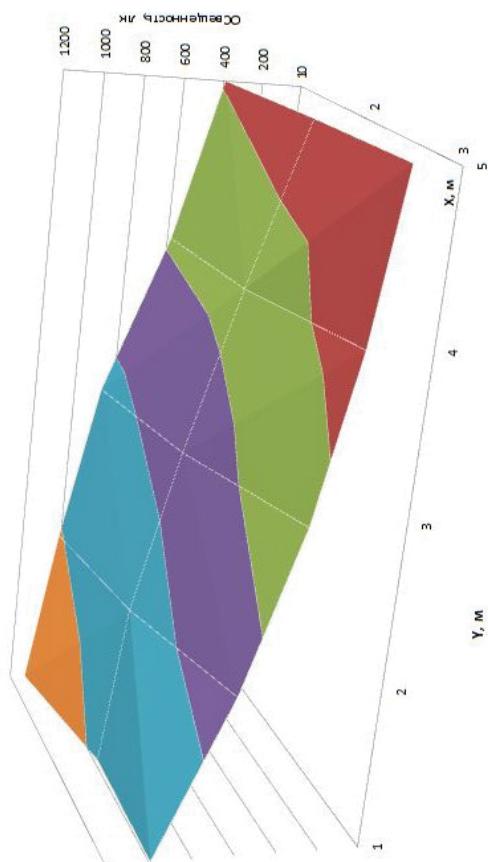
№ узла	Ложн. узла	Базм. узл. №	Нагр. № джн	Ложн. у джна
--------	------------	--------------	-------------	--------------

15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ ВКР	Формат	А3
15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ ВКР	Кодировка	

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Графики освещенности помещений

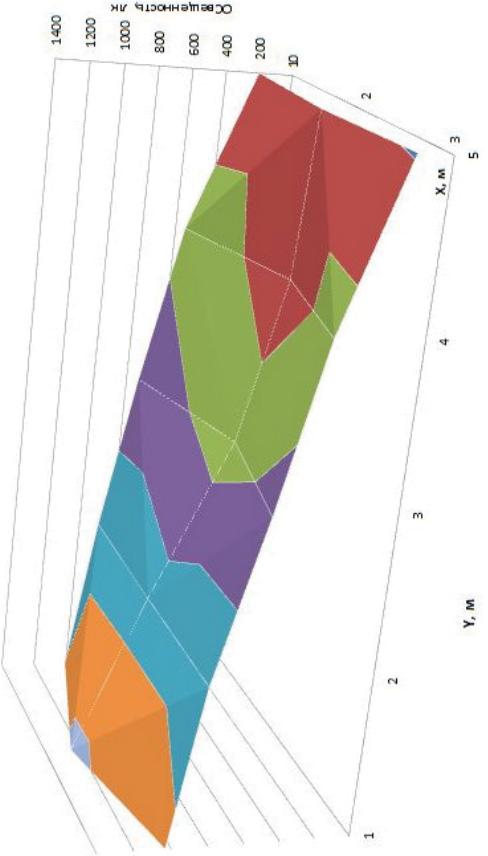
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
						115

Экспериментальные данные (северная ориентация окон)



Данные DIALux для северной ориентации окон

Экспериментальные данные (южная ориентация окон)



Данные DIALux для южной ориентации окон

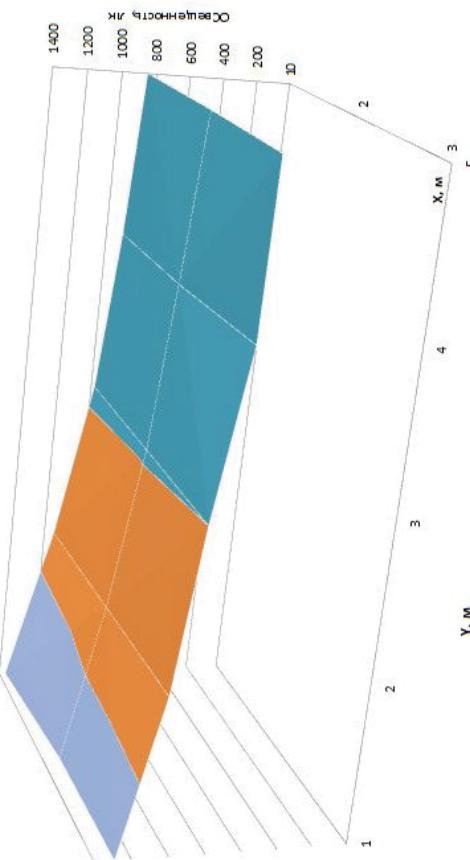
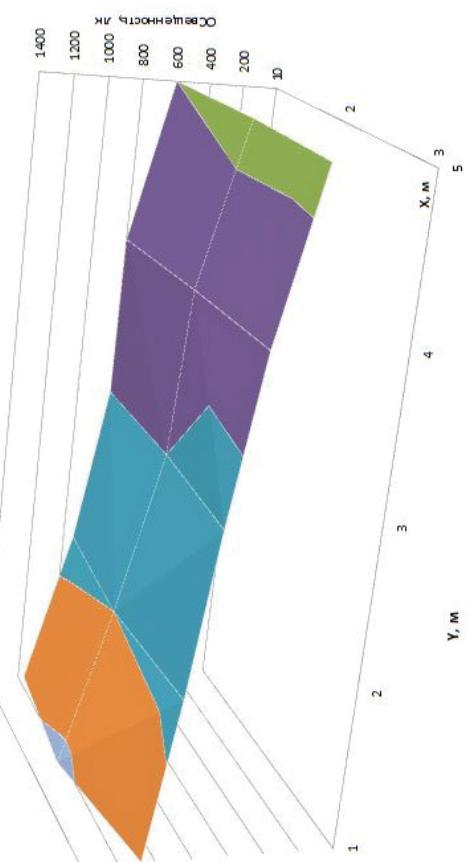


Рисунок В.1 - Графики естественной освещенности помещений

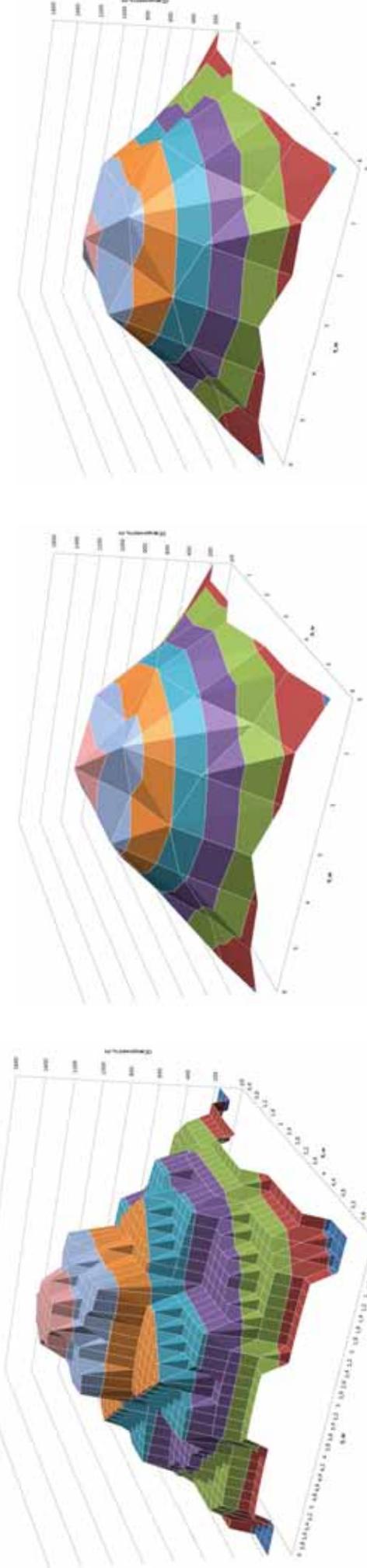
№ ноды	Ложн. у дама	Б3ам. унг. №	Наг. № дама	Ложн. у дама
--------	--------------	--------------	-------------	--------------

Изм/дист	№ докум.	Подп. Дата	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ ВКР
Формат		Коридор	

Лист	3
------	---

Разработанная математическая модель

Экспериментальные данные (северная ориентация окон) Экспериментальные данные (южная ориентация окон)



Оптимизированное расположение светильников по математической модели

Оптимизированное расположение светильников по DIALux

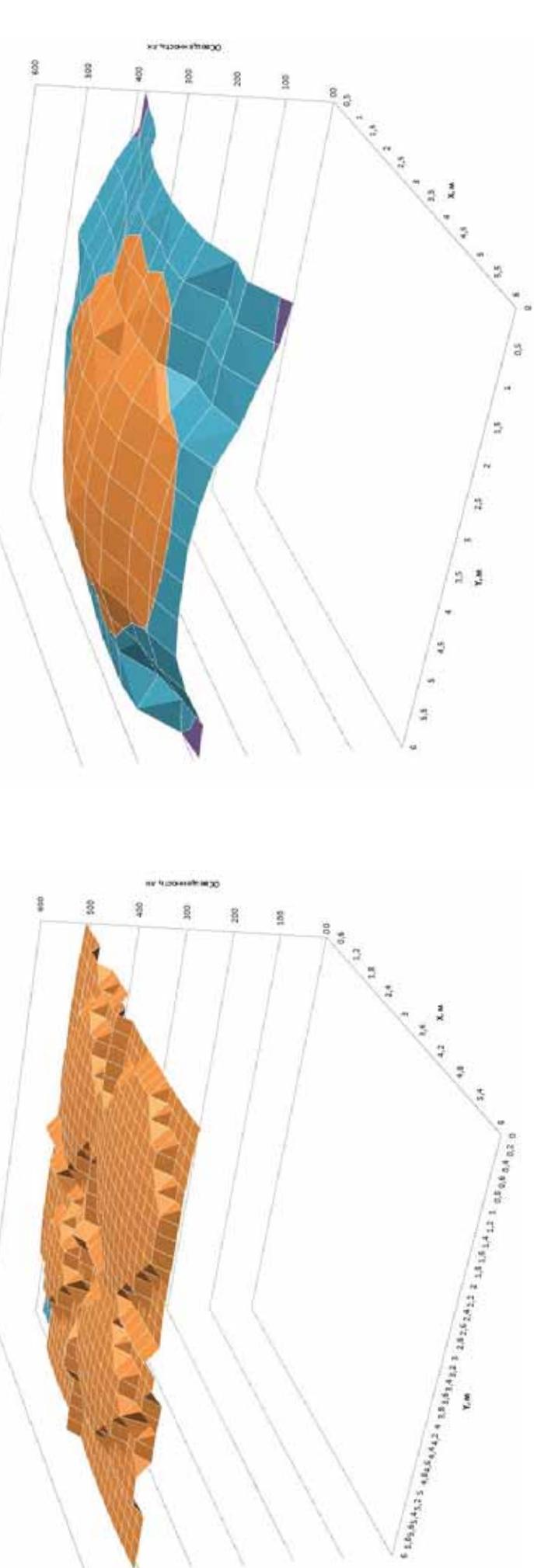


Рисунок В.2 - Графики искусственной освещенности помещений

№ node	Load u doma	B3dm_u doma	Ndg_u doma	Ndg_dgdn	Load_u doma
--------	-------------	-------------	------------	----------	-------------

15.04.2017.375.00.00	ПЗ ВКР	1.5.04.04.2017.375.00.00	ПЗ ВКР	Лист
----------------------	--------	--------------------------	--------	------

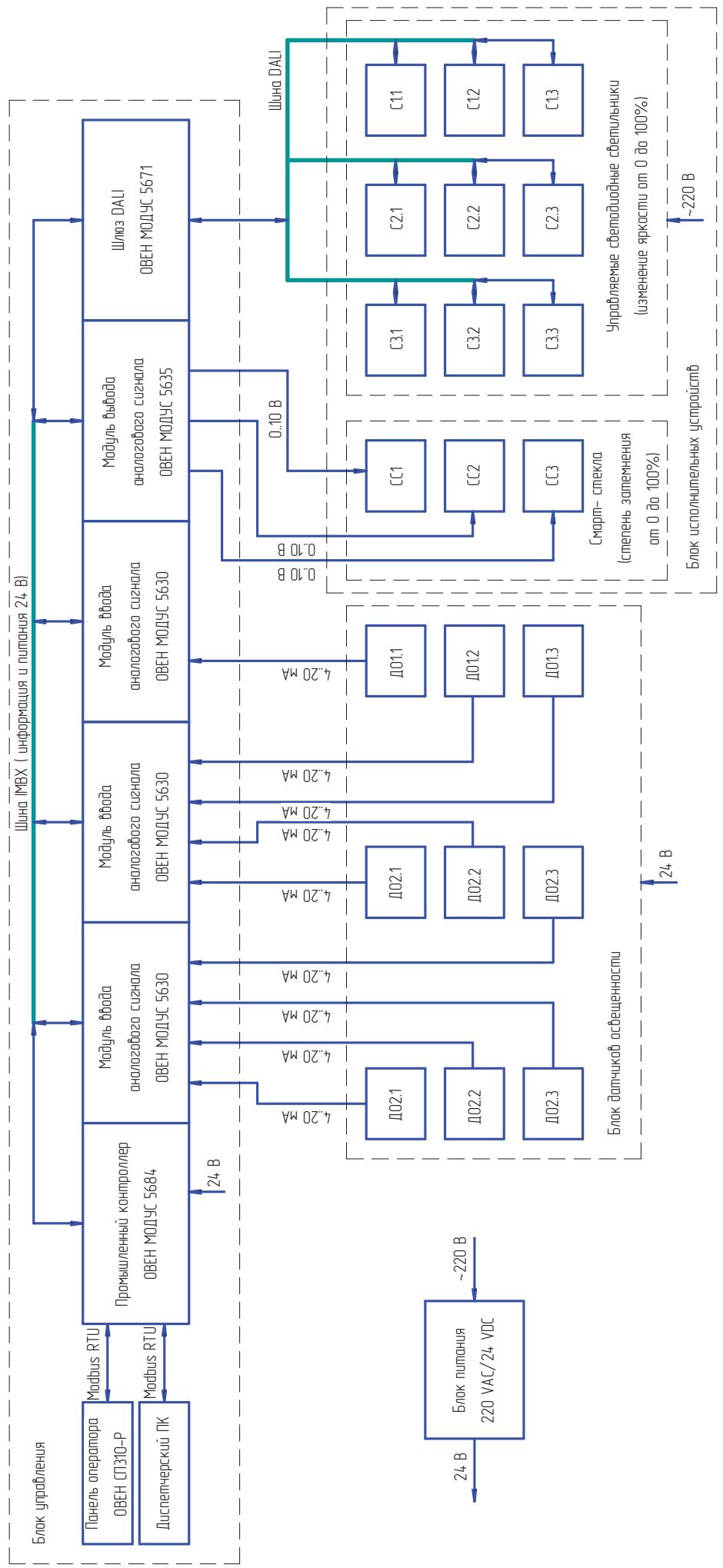
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Блок-схема алгоритма работы АСУО

						Лист 118
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Структурно-функциональная схема АСУО

						Лист 120
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	

504.04.2017.375.00.000 C2



Обозначение	Расшифровка		
D01.1..D013	датчики освещенности первој линији		
D02.1..D023	датчики освещенности второј линији		
D03.1..D033	датчики освещенности третој линији		
C1.1..C13	светоподиљные светильники первој линији		
C2.1..C23	светоподиљные светильники второј линији		
C3.1..C33	светоподиљные светильники третој линији		
C1	смарт-спекло первого оконного приема		
C2	смарт-спекло второго оконного приема		
C3	смарт-спекло третьего оконного приема		

15.04.04.2017.375.00.00 C2

Изм. Лист	№ документ	Лист	Лист	Масса	Масса
Автоматизированная система управления освещением					
Разраб	Попов				
Прос					
Т.Контр.					
И.Контр.					
Утв.					

Формат
Карта
Формат
Карта
Формат
Карта

Карта

Формат
Карта

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Иллюстративные материалы

						Лист 122
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	15.04.04.2017.375.00.00 ПЗ	

Выпускная квалификационная работа магистра

Тема работы: «Автоматизированная система
управления освещением»

Руководитель работы:

Доцент, к.т.н
В. М. Нуждов

Автор работы:

студент группы П-263
Е. А. Попов

ЮУрГУ, Челябинск, 2017

Автоматизированная система управления освещением (АСУО)

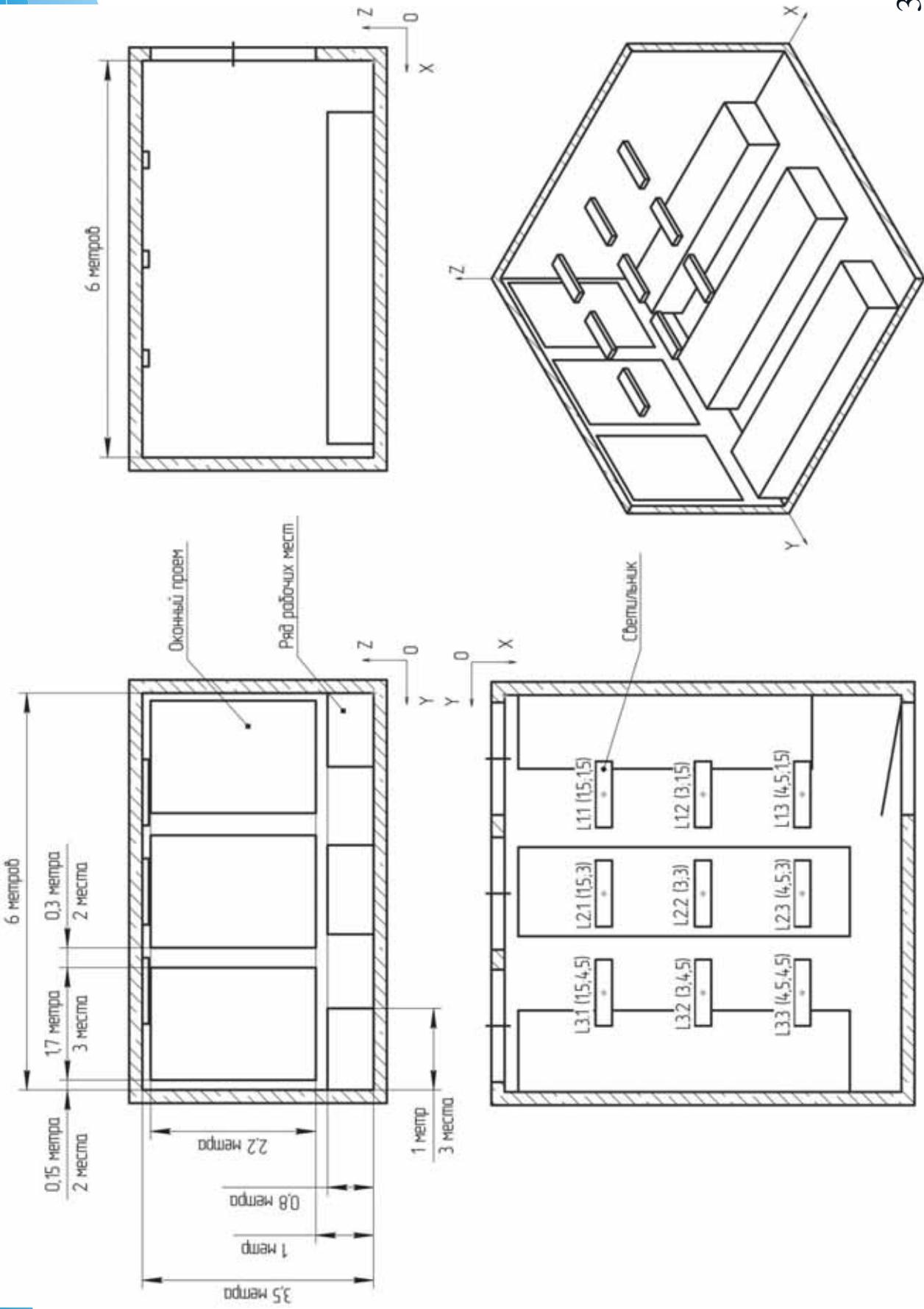
Цель работы:

- проектирование АСУО.

Задачи, решаемые в работе:

- математическое моделирование распределения освещенности помещения от искусственных и естественных источников освещения;
- экспериментальное определение распределения освещенности помещения от искусственных и естественных источников освещения;
- оптимизация расположения светильников из условия равномерности освещенности;
- изучение методов управления и используемых технических средств для автоматизированного управления освещением;
- разработка проектных решений.

Построение модели исследуемых помещений



Исследование распределения искусственной освещенности по математической модели

Принятые допущения:

- светильник – точечный источник света;
- эффективный угол излучения светильника – 90° ;
- при угле $>90^\circ$ освещенность равна 10% от рассчитываемой;
- освещаемая поверхность имеет вид окружности;
- эффекты отражения не учитываются.

$$\text{Основной закон светотехники: } E = \frac{I_D \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$

Математическое описание кривой силы света светильника: $I_{aD} = I_D \cdot \cos \alpha$

Суммарная освещенность в расчетной точке:

$$E_{\text{сумм_точ}} = \sum_{i=1, j=1}^3 \left[I_{D,i,j} \cdot \cos \left(\arctg \left(\frac{\sqrt{(x_{i,j} - x_{\text{точ}})^2 + (y_{i,j} - y_{\text{точ}})^2}}{h} \right)^3 \right) \right]$$

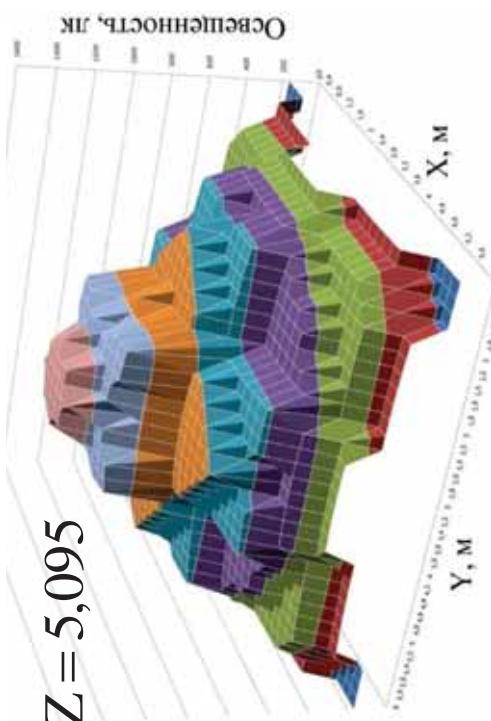
Коэффициент неравномерности освещаемой поверхности: $Z = \frac{E_{\max} + E_{\min}}{2 \cdot E_{\min}}$

Численное и натурное моделирование распределения

искусственной освещенности помещения

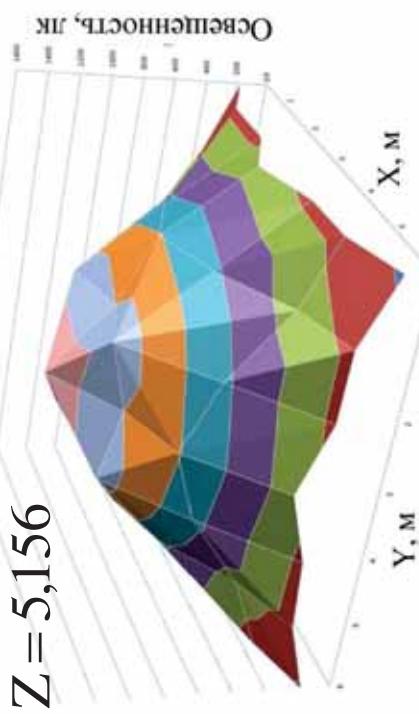
Разработанная математическая модель

$$Z = 5,095$$

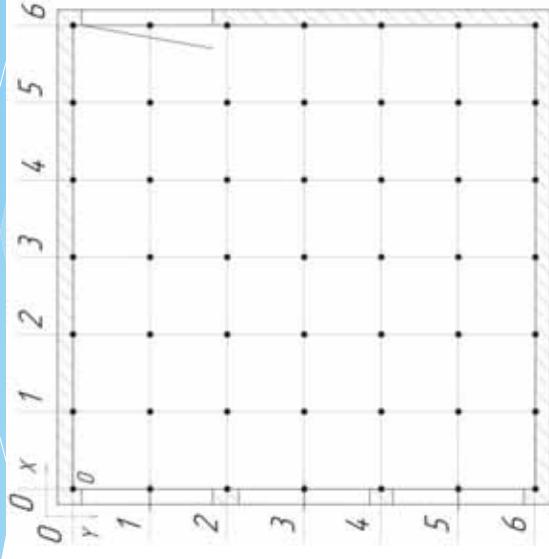


Экспериментальные данные
(северная ориентация окон)

$$Z = 5,156$$

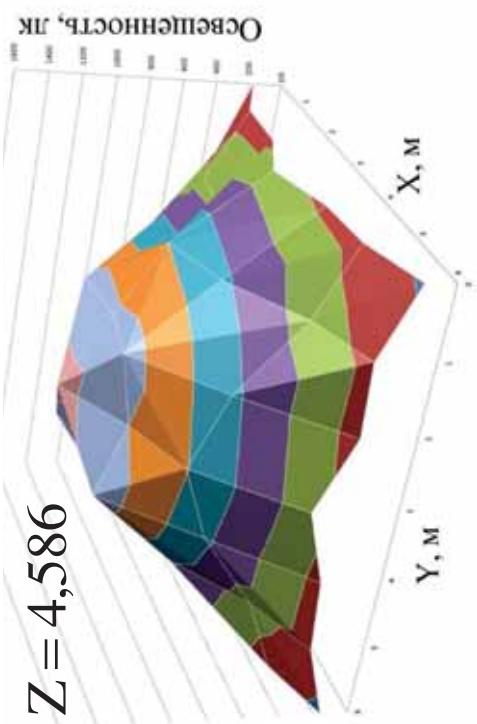


расположение точек измерения освещенности



Экспериментальные данные
(южная ориентация окон)

$$Z = 4,586$$



Оптимизация расположения светильников

Матрица освещенности: $E = \begin{bmatrix} E_{\text{суммточк},1} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & E_{\text{суммточк},n} \end{bmatrix}$

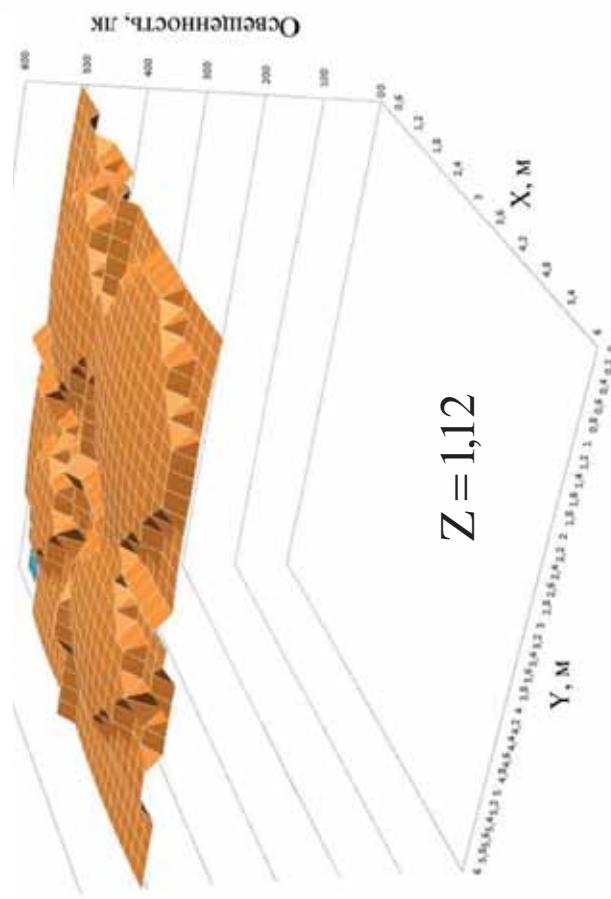
Целевая функция: коэффициент неравномерности освещаемой поверхности :

где E_{\max} – максимальная освещенность на поверхности;
 E_{\min} – минимальная освещенность на поверхности

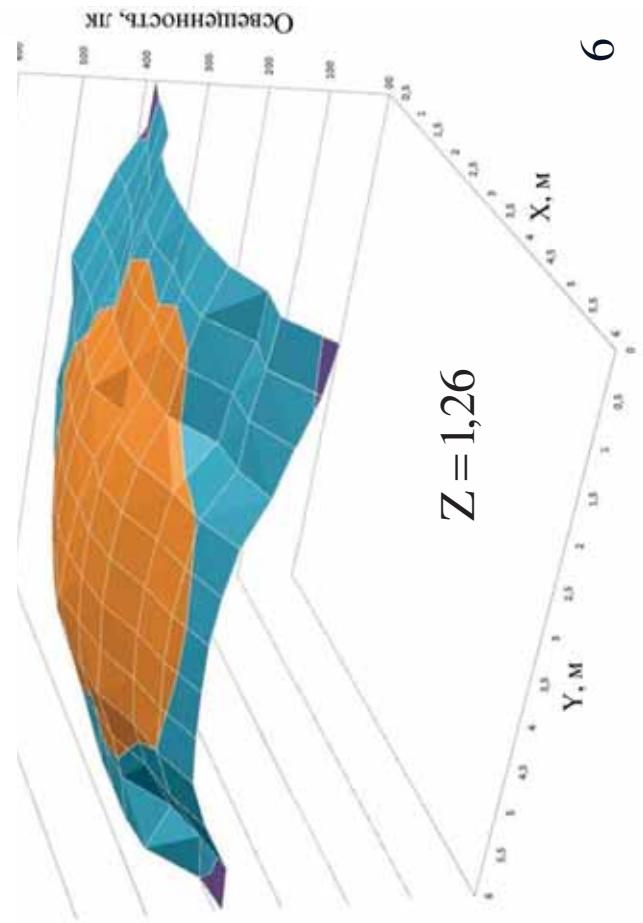
$$Z = \frac{\max(E) + \min(E)}{2 \cdot \min(E)}$$

Критерий оптимальности: $Z \rightarrow 1$

Оптимизированное расположение светильников
по математической модели



$Z = 1,12$



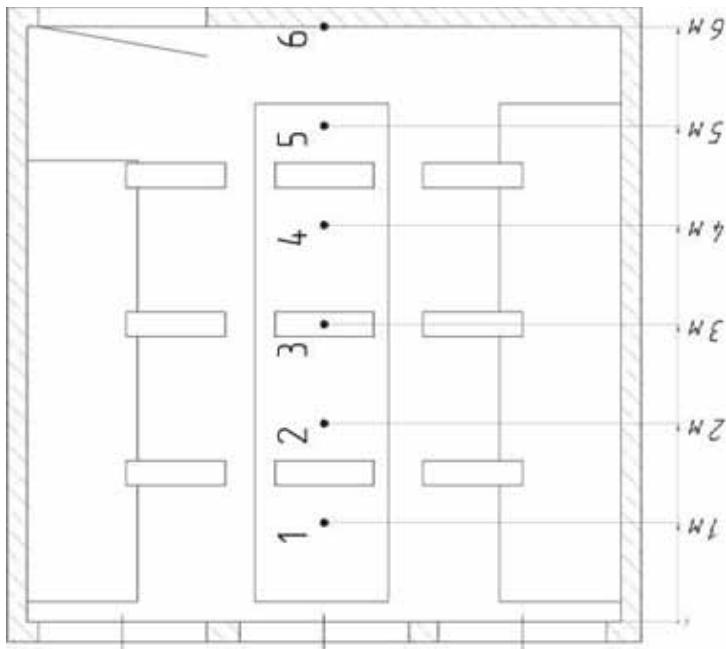
$Z = 1,26$

Исследование распределения естественной освещенности по математической модели

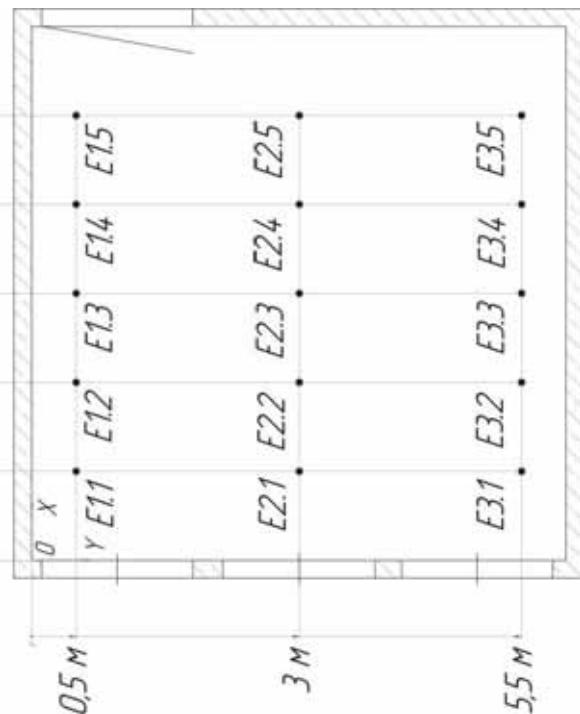
Коэффициент естественной освещенности $e_p = \frac{\varepsilon_0 q f_0 \tau_0}{K_3}$ (KEO) в произвольной точке:

$$\text{Освещенность в точке: } E_B = 0,01 \cdot e_p \cdot E_H$$

Точки расчета КЕО



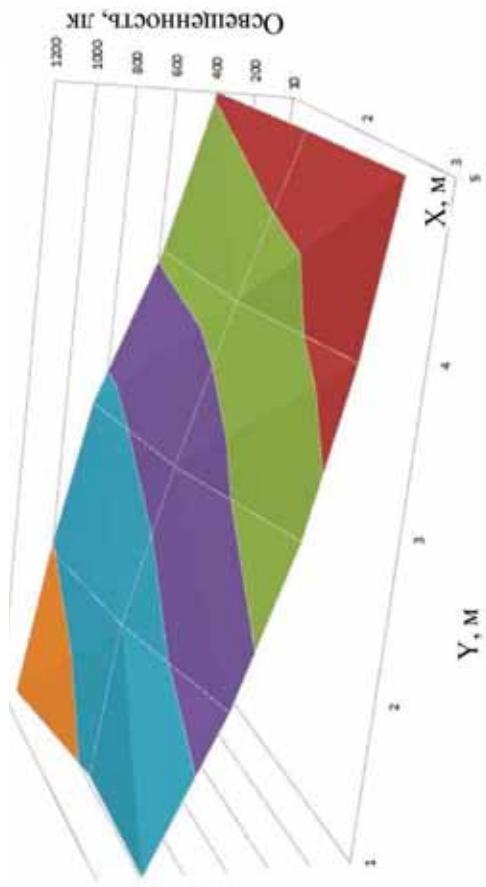
Точки измерения освещенности



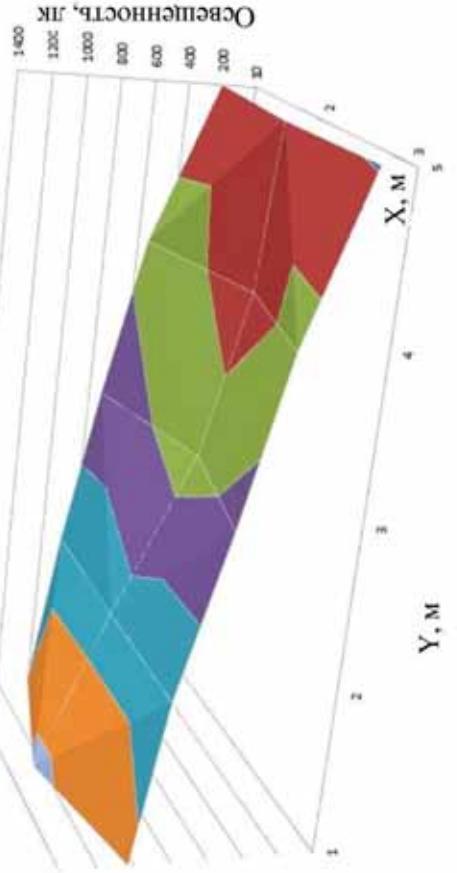
Характер изменения освещенности: $E_B = -K_1 \cdot X^3 + K_2 \cdot X^2 - K_3 \cdot X + K_4$

Численное и натурное моделирование распределения естественной освещенности помещений

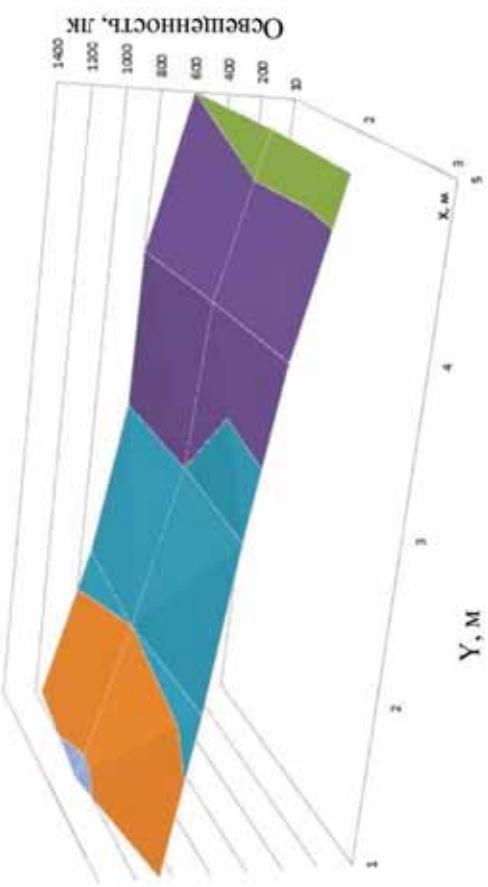
Экспериментальные данные
(северная ориентация окон)



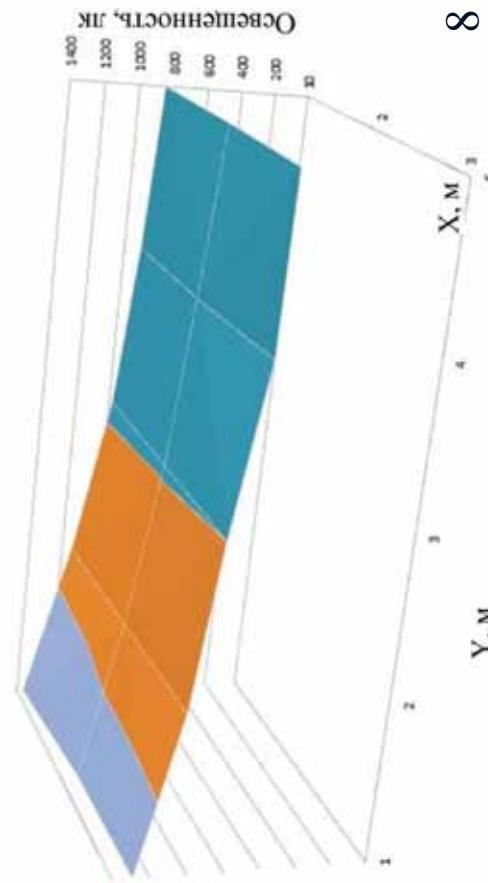
Экспериментальные данные
(южная ориентация окон)



Данные DIALux
(северная ориентация окон)



Данные DIALux
(южная ориентация окон)



Автоматизированная система управления освещением (АСУО)

Назначение системы:

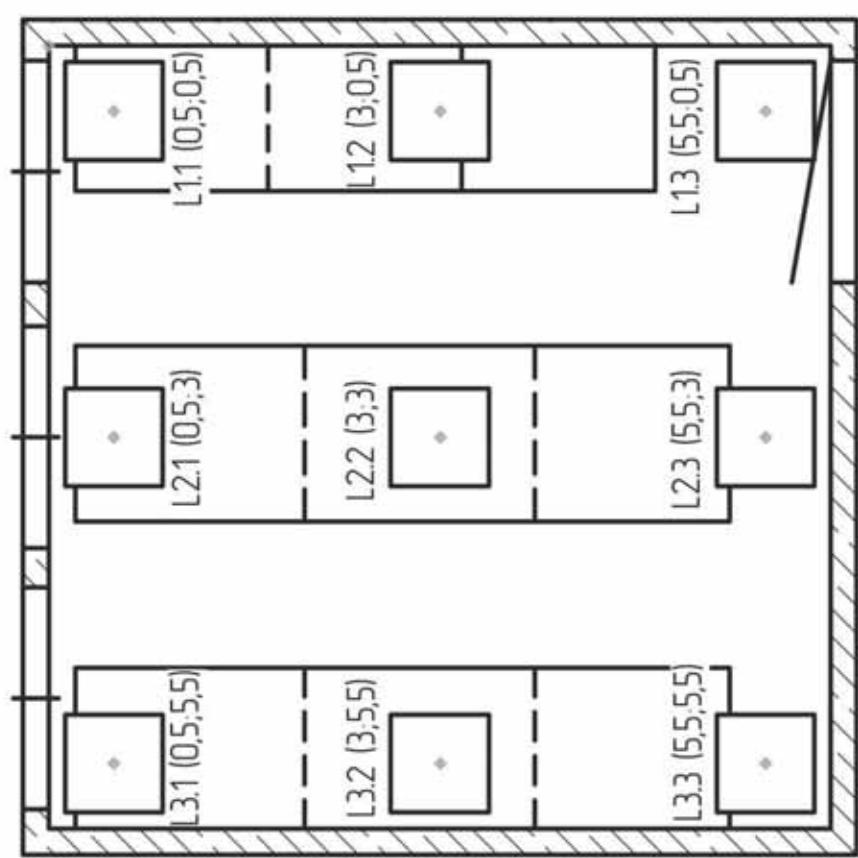
- АСУО предназначена для обеспечения управления освещением помещения, учитываяющего естественное освещение.

Цели создания:

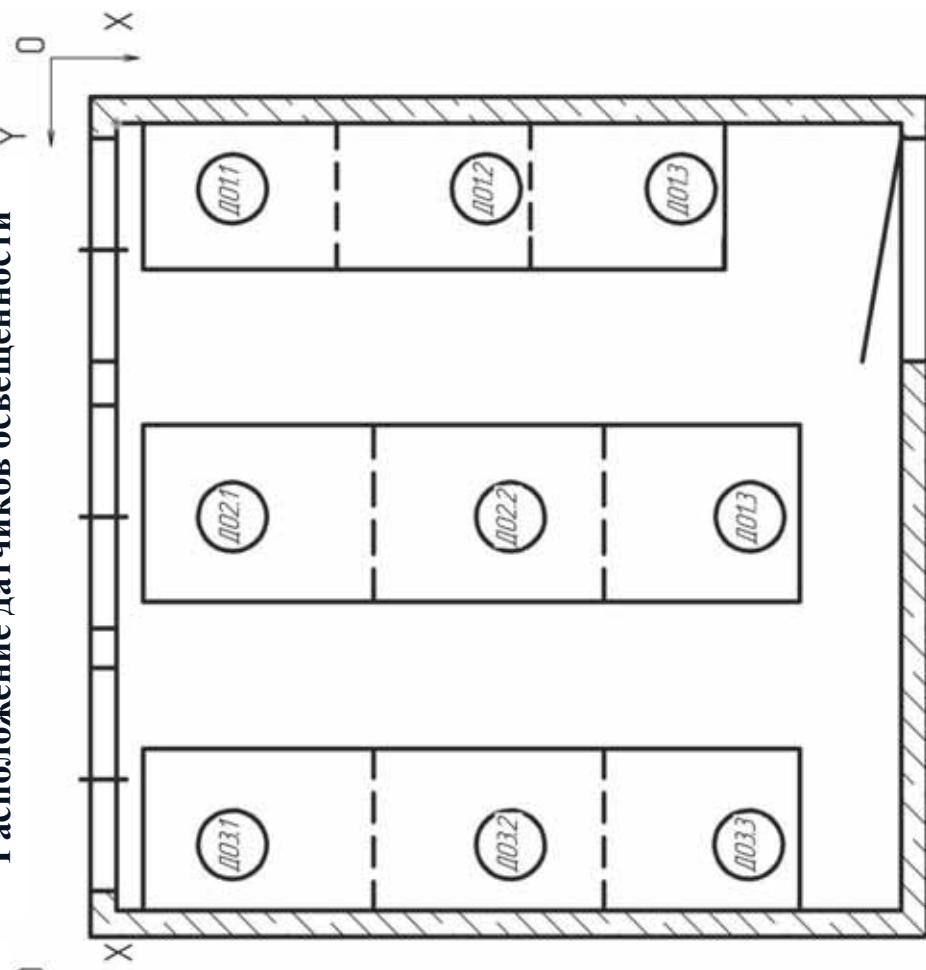
- обеспечение заданного закона изменения освещенности, через адресную регулировку светильников и средств затемнения;
- снижение энергопотребления;
- повышение работоспособности персонала.

Автоматизированная система управления освещением (АСУО)

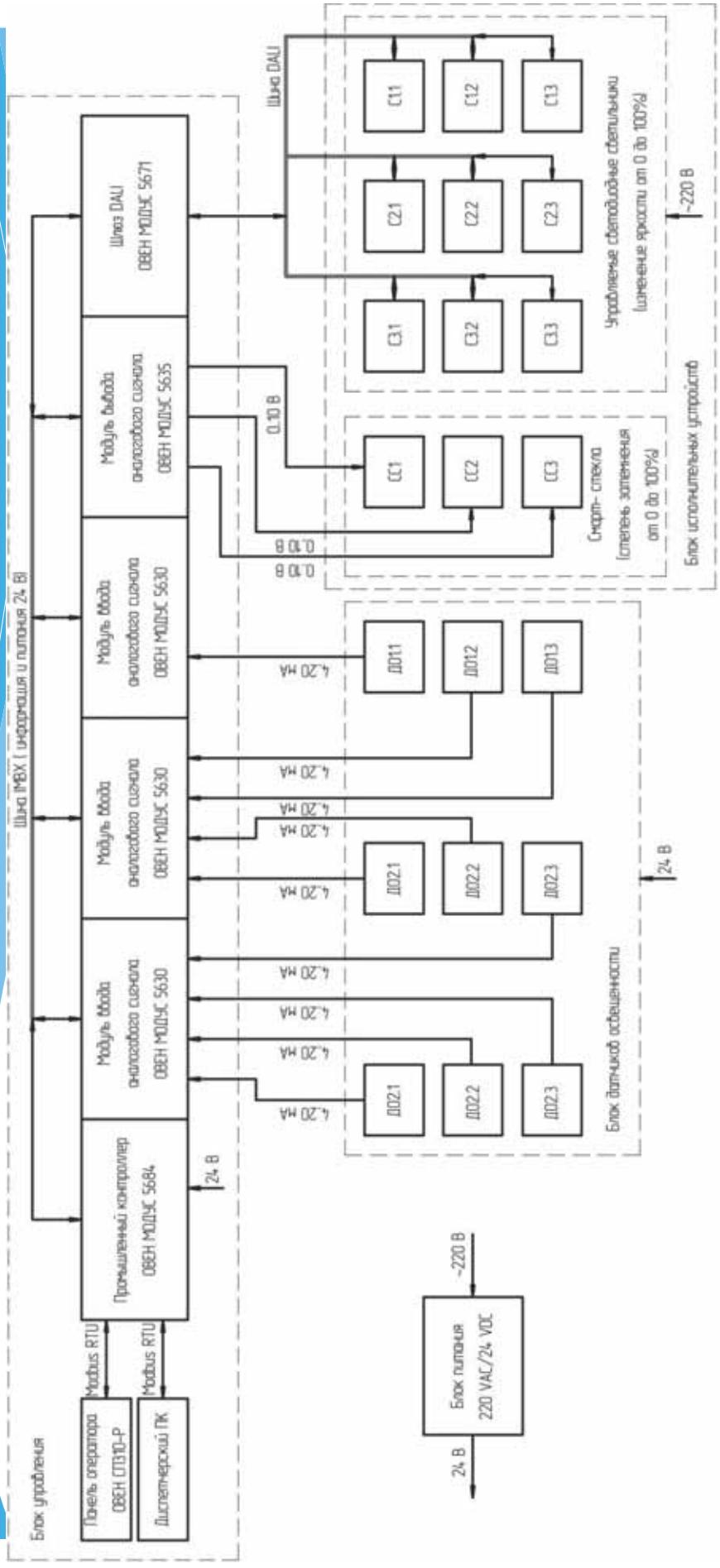
Расположение светильников



Расположение датчиков освещенности

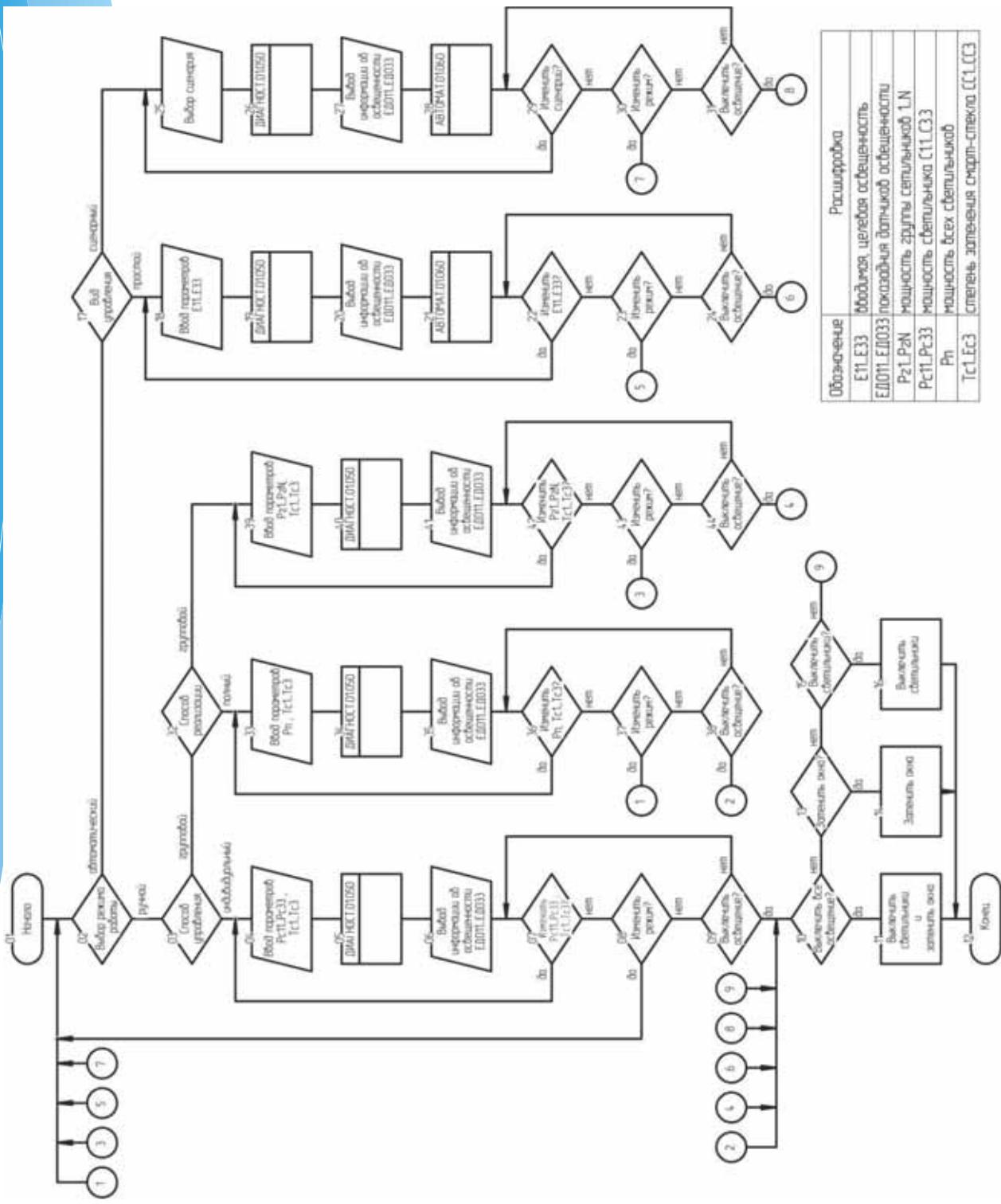


Разработка структурно-функциональной схемы АСУО

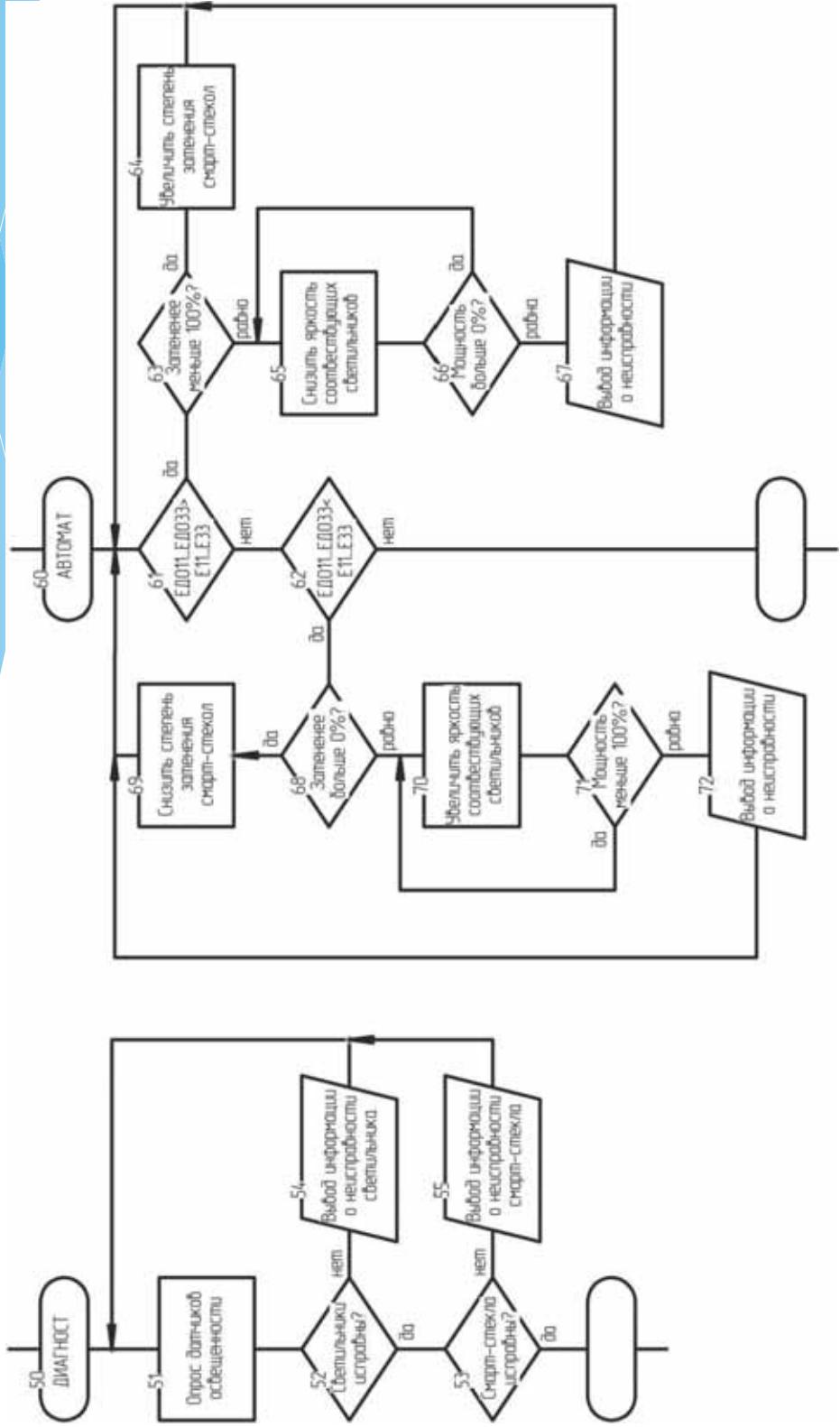


Обозначение	Расшифровка
D011..D013	датчики освещенности первой линии
D021..D023	датчики освещенности второй линии
D031..D033	датчики освещенности третьей линии
C11..C13	светодиодные светильники первой линии
C21..C23	светодиодные светильники второй линии
C31..C33	светодиодные светильники третьей линии
C1..C3	сирены-спекло первого оконного приема
C2..C3	сирены-спекло второго оконного приема
C3..C3	сирены-спекло третьего оконного приема

Разработка блок-схемы алгоритма работы АСУО



Разработка блок-схемы алгоритма работы АСУО



Расчет эффективности разработанной АСУО

Полная себестоимость АСУО

Статья калькуляции	Сумма, рублей
Стоимость комплектующих	140 000,00
Транспортные расходы	14 000,00
Сборочные работы	49 000,00
Пусконаладочные работы	14 000,00
Суммарные затраты на разработку	15 000,00
ИТОГО:	232 000,00

Внедрение АСУО позволяет:

- Снизить затраты на электроэнергию на 70%.
- Снизить затраты на решение задач за счет снижения утомляемости сотрудников.

Эффект от внедрения АСУО

Параметр	Имеется	АСУО	Эффект
Потребляемая мощность	1000 Вт	270 Вт	снижение на 730 Вт
Затраты на электроэнергию, в месяц	462,53 р.	138,75 р.	снижение на 323,78 р.
Затраты на з/п работнику, в месяц	31 680 р.	27 000 р.	снижение на 4 680 р.
Коэффициент неравномерности освещения	5,09	1,12	снижение на 3,97
Возможность регулирования освещенности	нет	да	-

Предполагаемый срок окупаемости:

$$T_{\text{окупаемости}} = \frac{232\ 000 \text{ рублей}}{12 \text{ месяцев} \cdot (323,78 + 4680) \text{ рублей}} = 3,86 \text{ года} \approx 3 \text{ года } 11 \text{ месяцев}$$

Заключение

- Разработаны математические модели распределения естественного и искусственного освещения в помещении.
- Предложена эффективная методика расчета освещенности от искусственных источников освещения.
- Решена задача оптимизации положения светильных приборов из условия равномерности освещенности.
- Спроектирована автоматизированная система управления освещением.